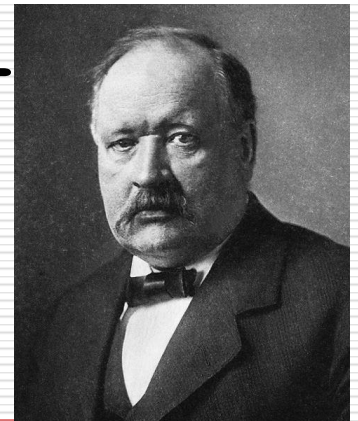


EFEITO ESTUFA INTENSIFICADO



Os pioneiros

- ❑ Jean Baptiste Fourier (França) ➔ em 1827 sugeriu que a atmosfera se comportava como um vidro em uma estufa.
- ❑ John Tyndall (Inglaterra) ➔ em 1865, reconheceu que alguns gases absorviam infravermelho.
- ❑ Svante August Arrhenius (Suécia) ➔ em 1896, propôs um modelo Matemático - dobrando CO_2
– aumento em 4-5° K.

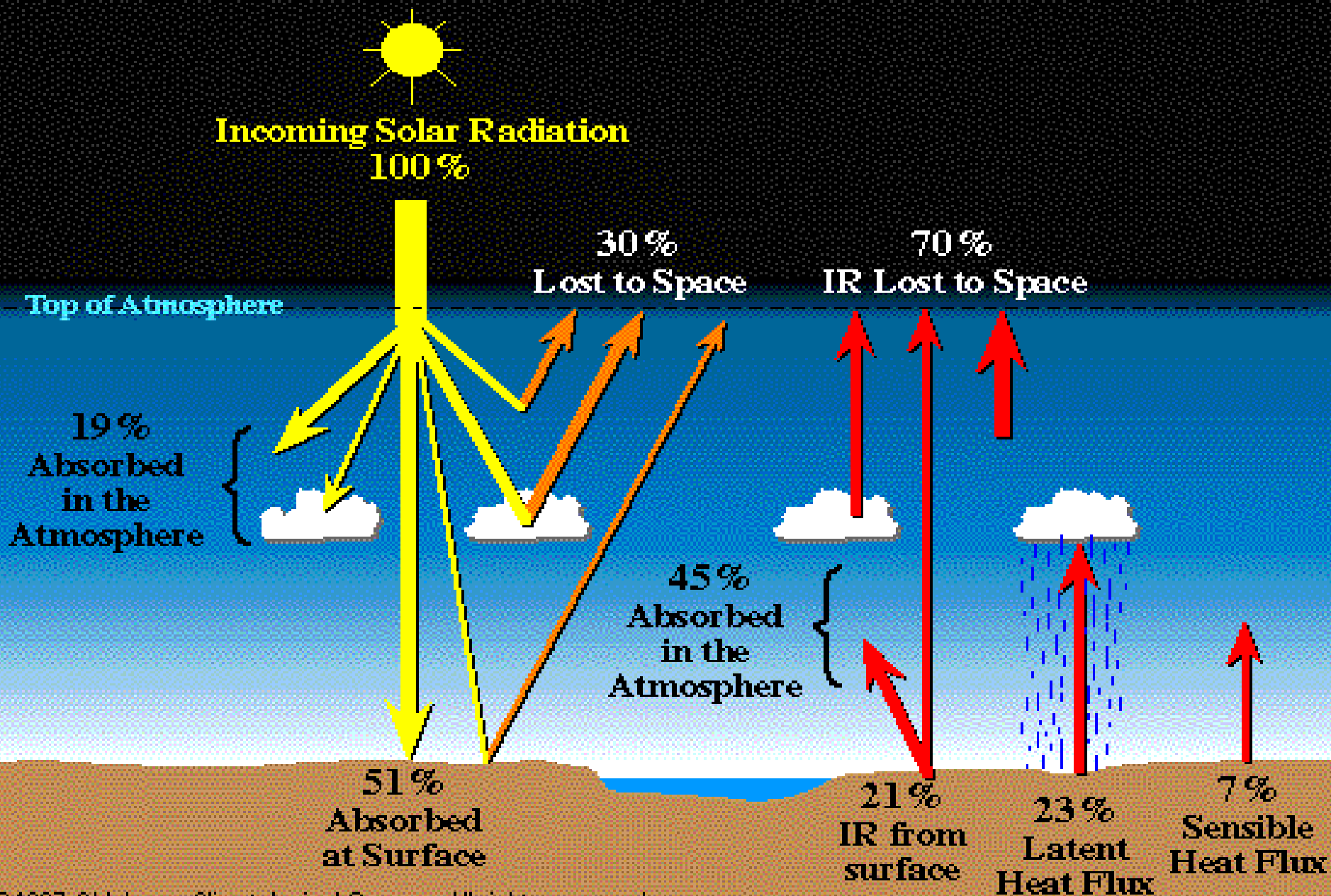


□ A Terra recebe radiação:

- Ultravioleta ($< 0,380 \mu\text{m}$) → removida na estratosfera
 - Luz visível ($0,400\text{-}0,750 \mu\text{m}$)
 - Infravermelho ($0,750\text{-}100 \mu\text{m}$)

 - Da luz incidente total
 - 50% alcança a superfície e é absorvida
 - 20% são absorvidos por gases O_3 estratosférico e O_2 (U.V.), e pelo CO_2 e H_2O (I.V.)
 - 30% são refletidos de volta ao espaço pelas nuvens, gelo, neve e areia (sem ocorrer absorção)
- vapor d'água → responsável por 80% do efeito estufa natural.
-

The Annual Mean Global Energy Balance



Energia emitida pelo Sol

Energia emitida pela Terra

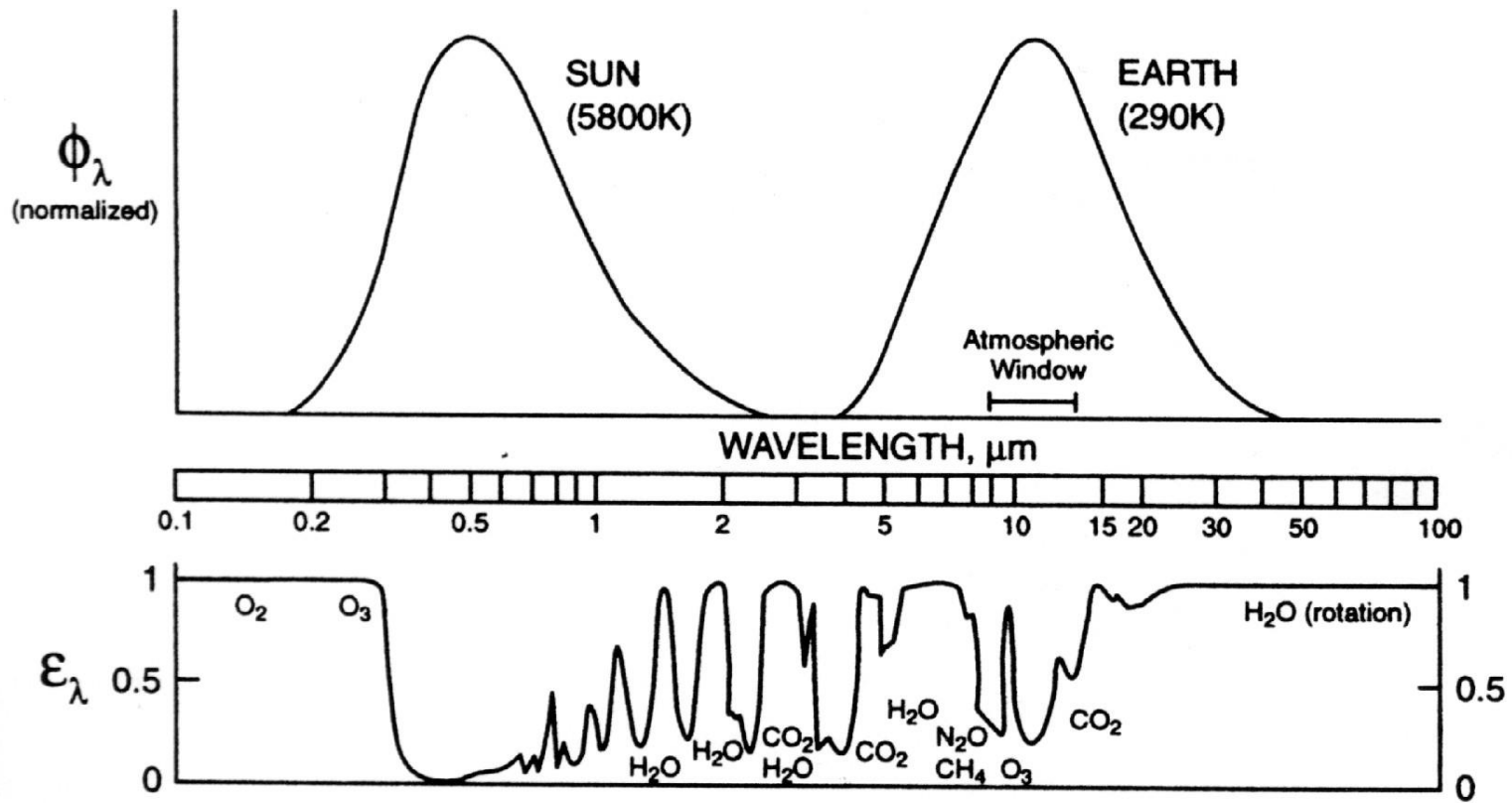


Fig. 7-11 Efficiency of absorption of radiation by the atmosphere as a function of wavelength. Major absorbers are identified.

-
- Parte do aumento de temperatura no último século → aumento de 0,3-3% do fluxo de energia do Sol (U.V.)
 - Emissão de energia da Terra → (4 – 50 μm) → região do infravermelho térmico.

Efeito estufa – responsável pela temperatura média de 15° e não -15°

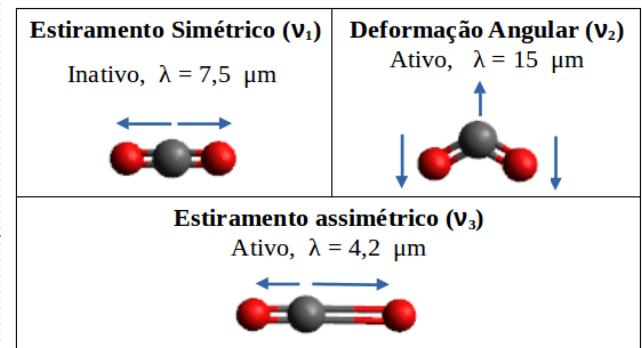
QUADRO 3.5 PRINCIPAIS GASES ESTUFA E SEU POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL. ESTIMATIVA DE CONTRIBUIÇÃO AO AUMENTO DO EFEITO ESTUFA

Gás	Principais fontes antrópicas	PAG*	Estimativa de contribuição
CO ₂	Combustão de combustível fóssil, queima de biomassa	1	55%
CH ₄	Campos de arroz, gado, produção de petróleo	11	15%
N ₂ O	Fertilizantes, queima de biomassa, produção de ácidos nítrico e adípico	270	6%
CFC-12	Gás para refrigeração	7.100	10%

PAG*: Potencial de aquecimento global.

Tipos de vibração molecular

- ❖ Existem um grande número de vibrações possíveis. As mais comuns são:
 - **Deformação axial ou Estiramentos:**
 - ⑩ Estiramento simétrico
 - ⑩ Estiramento assimétrico
 - **Deformação angular ou Dobramento:**
 - Angular simétrica no plano (tesoura)
 - Angular assimétrica no plano (balanço)
 - Angular simétrica fora do plano (torção)
 - Angular assimétrica fora do plano (abano)



Nas vibrações moleculares

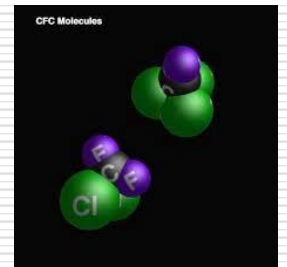
- A luz é absorvida totalmente quando sua frequência se iguala à frequência do movimento interno de uma molécula.
 - O movimento vibracional mais simples → movimento dos átomos ligados entre si. Ex: X-Y: ocorre o *estiramento de ligação*
-

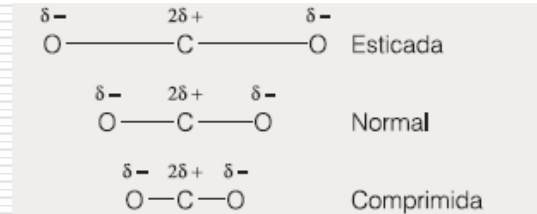
Movimento vibracional simples: *estiramento de ligação*

- C-H no metano e O-H na água: a frequência de *estiramento* não cai no IV térmico (4-50 μm)



- C-F a frequência de *estiramento* ocorre dentro da região do IV térmico





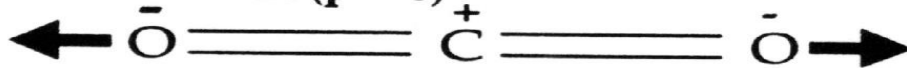
- **Estiramento simétrico:** durante o movimento vibracional em que ambas ligações C-O se estiram e encurtam simultaneamente → não apresenta diferença na posição entre os centros positivo e negativo de cargas (deformação axial simétrica). O momento dipolar claramente permanece zero ao longo de todo o movimento, fazendo com que esse modo vibracional seja inativo no infravermelho.

Vibrações moleculares

- Quando o momento dipolo da molécula muda com a ocorrência da vibração

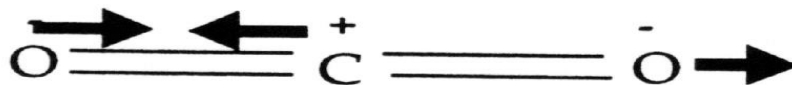


1. Symmetric stretch ($\mathbf{p} = 0$)



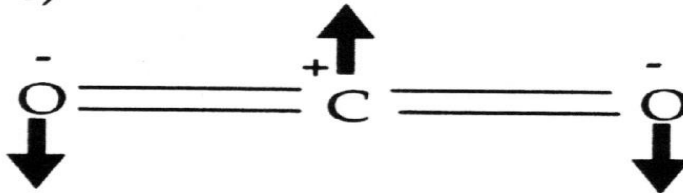
Não absorve I.V.

2. Asymmetric stretch ($\mathbf{p} \neq 0$)

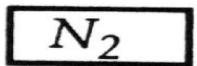


Absorção de I.V.

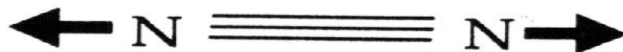
3. Bend ($\mathbf{p} \neq 0$)



Absorção de I.V.

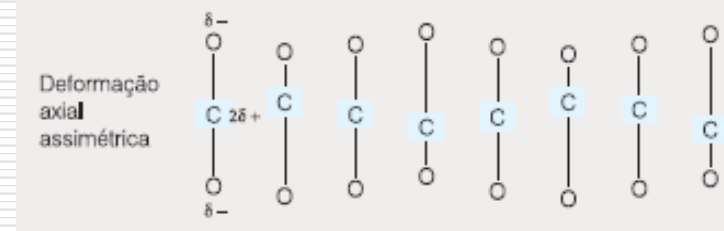


1. Symmetric stretch ($\mathbf{p} = 0$)



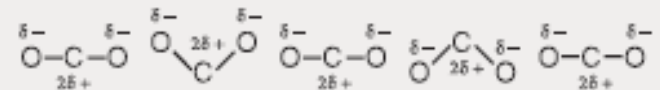
Não absorve I.V.

Fig. 7-10 Normal vibrational modes of CO₂ and N₂.



- **Estiramento assimétrico:** a contração de uma ligação C-O ocorre quando a outra é estirada (os centros de carga não coincidem).
- A deformação axial assimétrica, associada a rotações dos átomos, é responsável pela absorvidade do CO₂ na faixa em torno de 4,25 μm.
- Outro modo vibracional ativo dessa molécula no infravermelho é a deformação angular simétrica, esse modo é responsável pela absorvidade do CO₂ na faixa em torno de 15 μm.

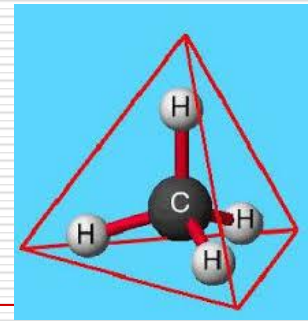
Vibração deformadora



Outra vibração importante: vibração de deformação angular

- oscilação na distância entre os átomos X e Z ligados a Y, mas não ligados entre si.

 - Ocorre a absorção da luz IV quando houver uma diferença na posição relativa entre os seus centros de carga positiva (núcleo) e negativa (nuvem de elétrons) durante a vibração → momento dipolar
-



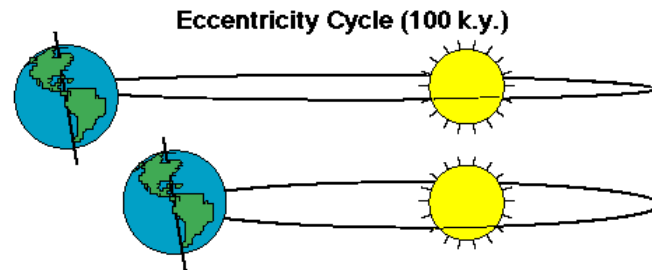
- Estrutural tetraédrica = momento dipolar médio igual a zero (as polaridades das ligações C-H cancelam-se, umas com as outras nessa geometria). As ligações se contraem e se estiram simultaneamente. A frequência não cai dentro da região IV térmico.
- Durante o movimento vibracional em que algumas das ligações se estiram e outras se contraem e naquela em que alguns ângulos de ligação H-C-H se tornam maiores = momento dipolar diferente de zero (assimetria vibracional) = absorvem luz IV.

Intensificação do Efeito Estufa

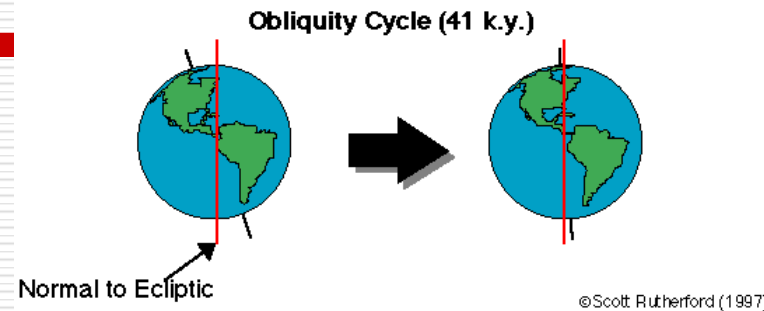
- ponto de divergência científica no debate do aquecimento global está ligado aos mecanismos de retroalimentação

1

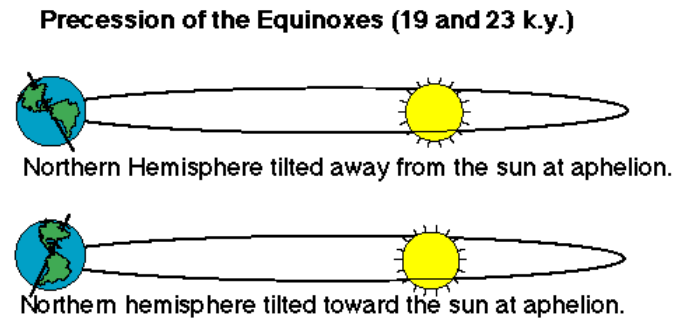
Variação na órbita da Terra



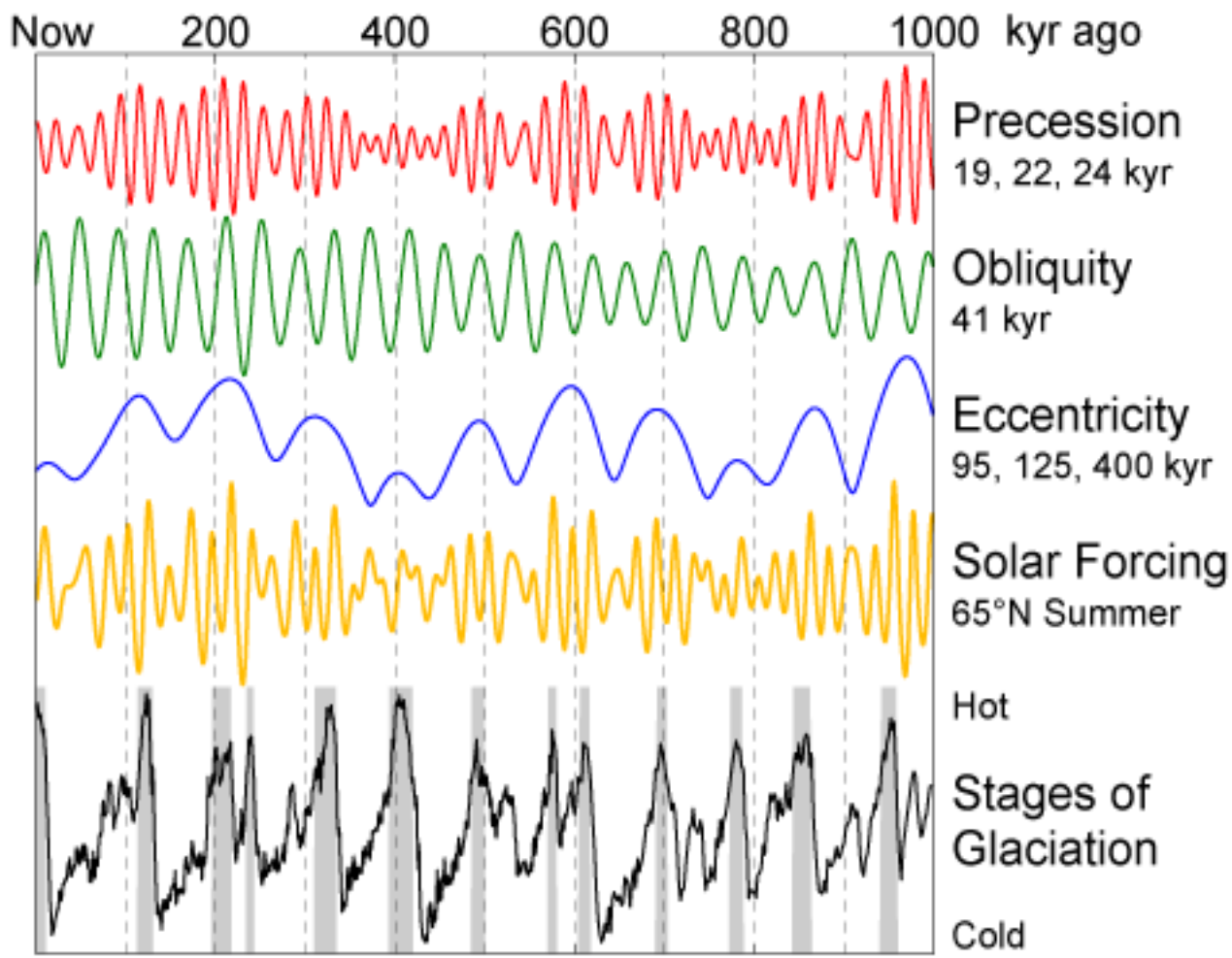
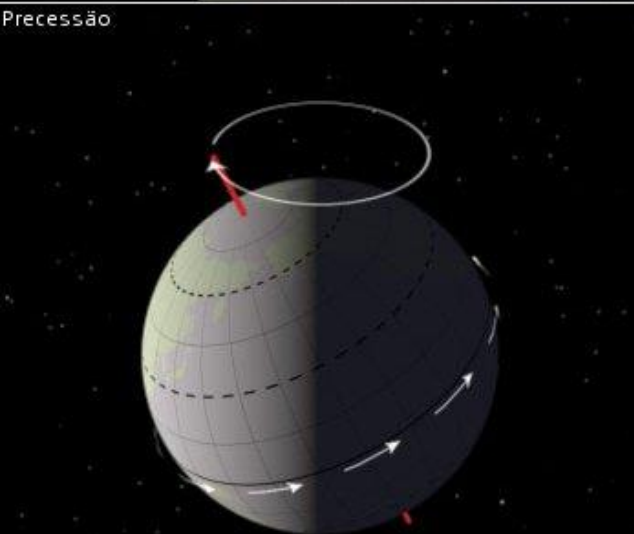
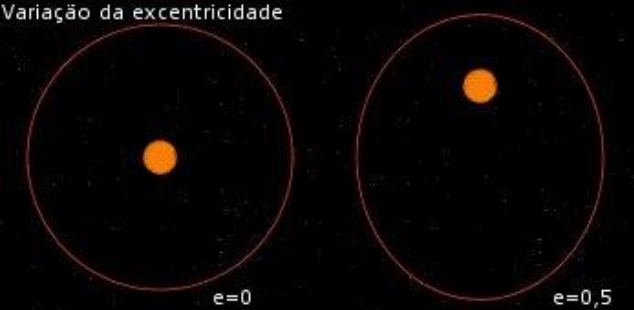
Aumento/decréscimo da inclinação do equador na órbita



Variação do eixo de rotação



Ciclo de Milankovitch



Efeito do ciclo de Milankovitch

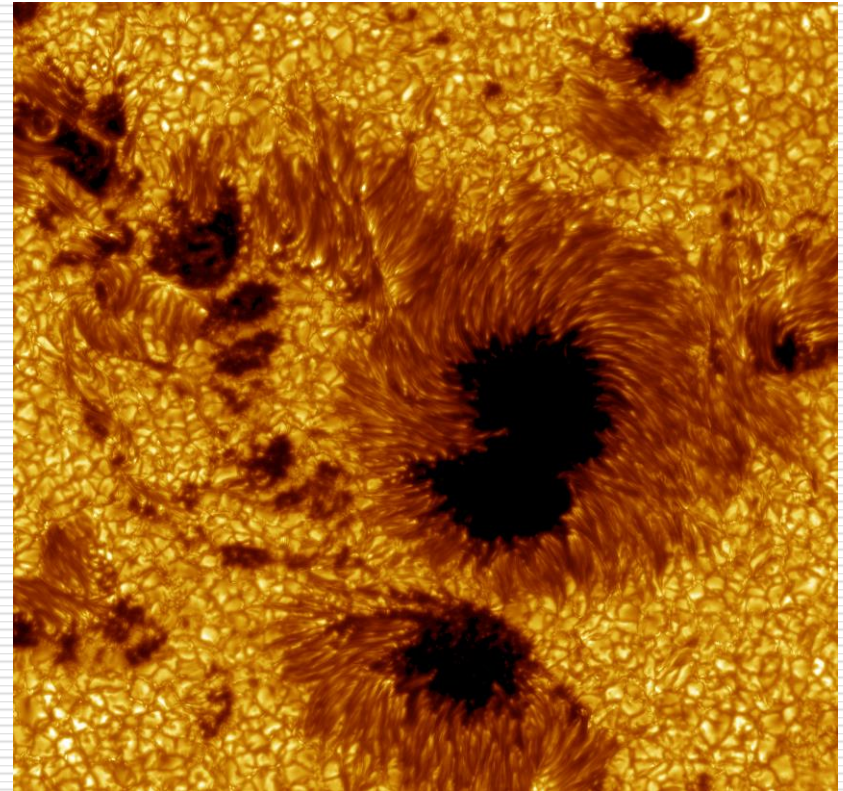
2

Manchas Solares

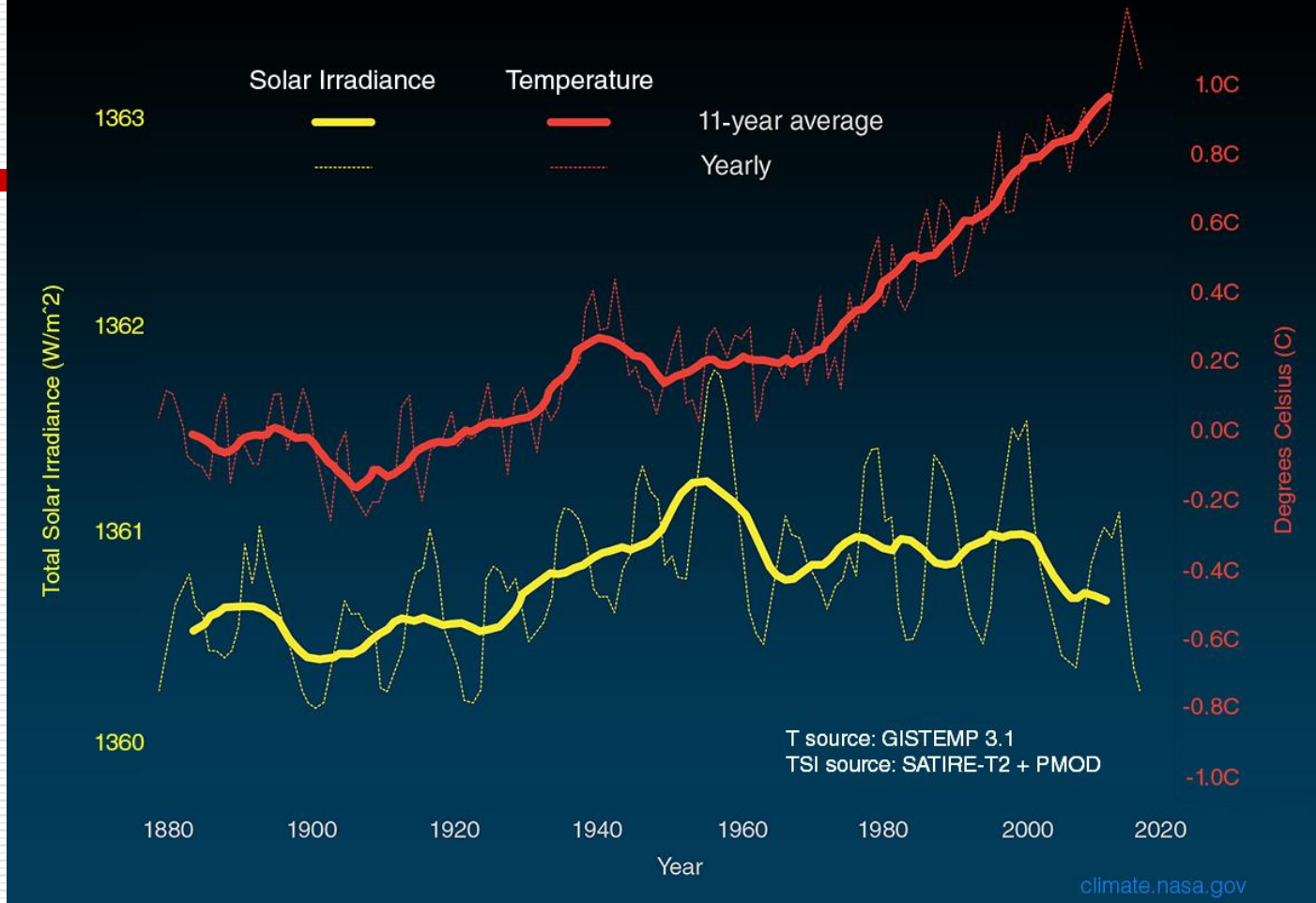
-tempestade magnética solar

EFEITO

→intensidade da radiação emitida aumenta



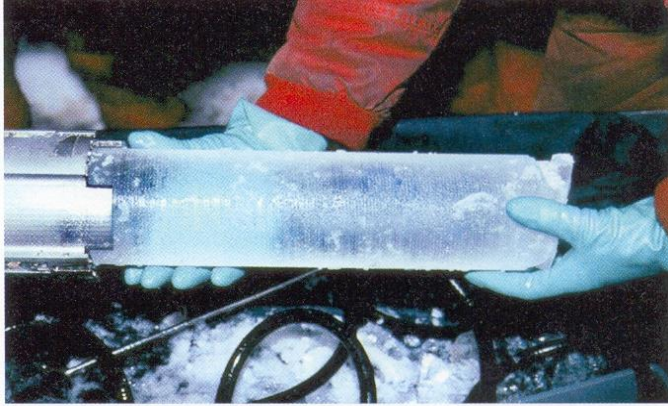
Temperature vs Solar Activity



The above graph compares global surface temperature changes (red line) and the Sun's energy that Earth receives (yellow line) in watts (units of energy) per square meter since 1880. The lighter/thinner lines show the yearly levels while the heavier/thicker lines show the 11-year average trends. Eleven-year averages are used to reduce the year-to-year natural noise in the data, making the underlying trends more obvious.

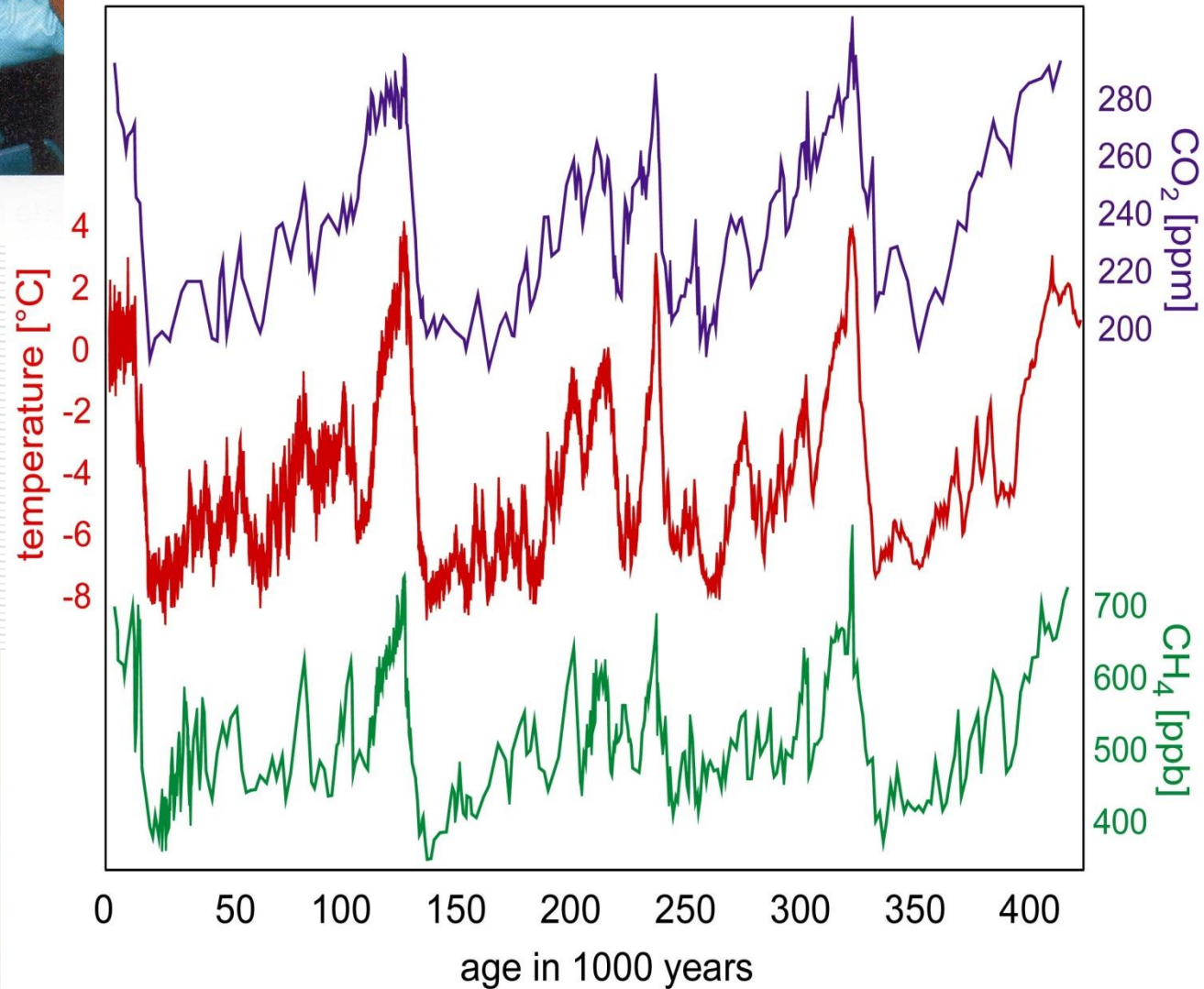
<https://climate.nasa.gov/causes/>

Vostok (Antarctica): 4 glacial cycles



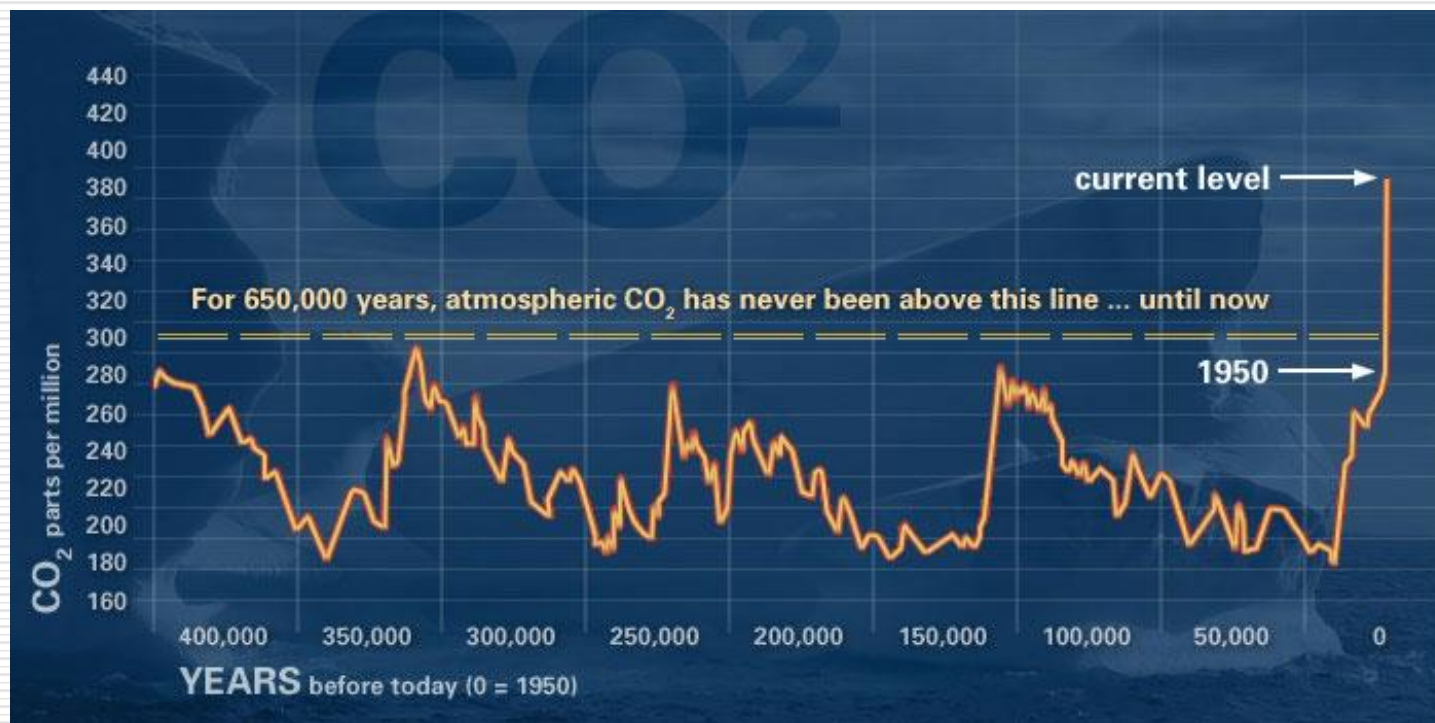
GLACIOLOGIST REMOVING AN ICE CORE, ANTARCTICA, 1993

In: Uma verdade inconveniente, 2007

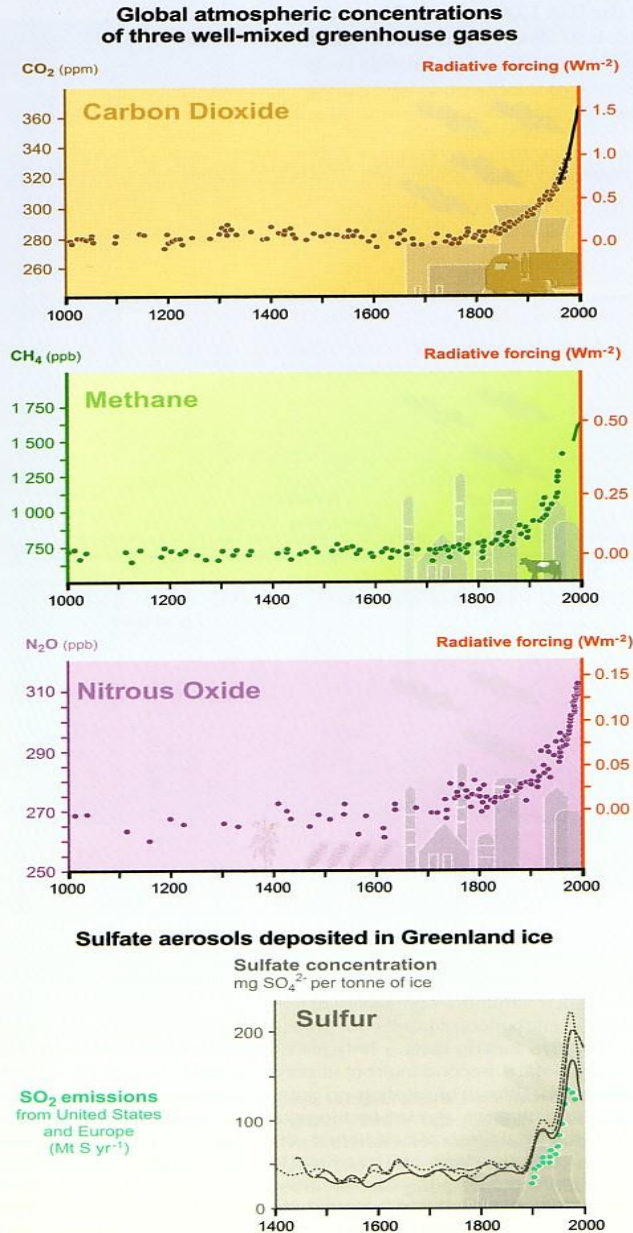




The dark band in this ice core from the West Antarctic Ice Sheet Divide (WAIS Divide) is a layer of volcanic ash that settled on the ice sheet approximately 21,000 years ago. — Credit: Heidi Roop, NSF



Indicators of the human influence on the atmosphere during the industrial era



WGI TAR Figures SPM-2, 3-2b, 4-1a, 4-1b, 4-2, & 5-4a

Figure 2-1: Records of past changes in atmospheric composition over the last millennium demonstrate the rapid rise in greenhouse gases and sulfate aerosols that is attributable primarily to industrial growth since 1750. The top three panels show increasing atmospheric concentrations of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) over the past 1,000 years. Early sporadic data taken from air trapped in ice (symbols) matches up with continuous atmospheric observations from recent decades (solid lines). These gases are well mixed in the atmosphere, and their concentrations reflect emissions from sources throughout the globe. The estimated positive radiative forcing from these gases is indicated on the righthand scale. The lowest panel shows the concentration of sulfate in ice cores from Greenland (shown by lines for three different cores) from which the episodic effects of volcanic eruptions have been removed. Sulfate aerosols form from sulfur dioxide (SO₂) emissions, deposit readily at the surface, and are not well mixed in the atmosphere. Specifically, the increase in sulfate deposited at Greenland is attributed to SO₂ emissions from the U.S. and Europe (shown as symbols), and both show a decline in recent decades. Sulfate aerosols produce negative radiative forcing.

The atmospheric concentration of greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) is increasing in response to human activities

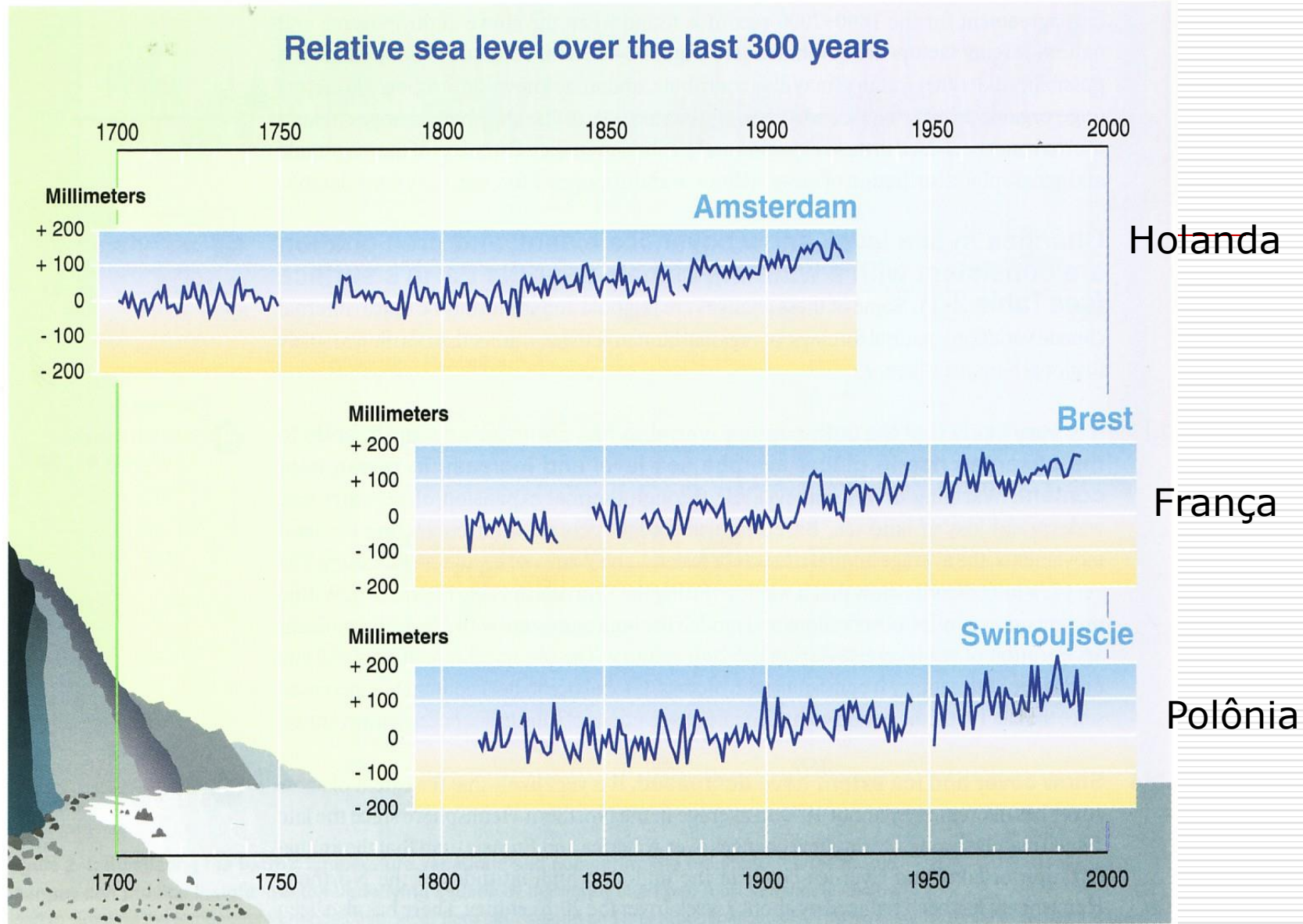
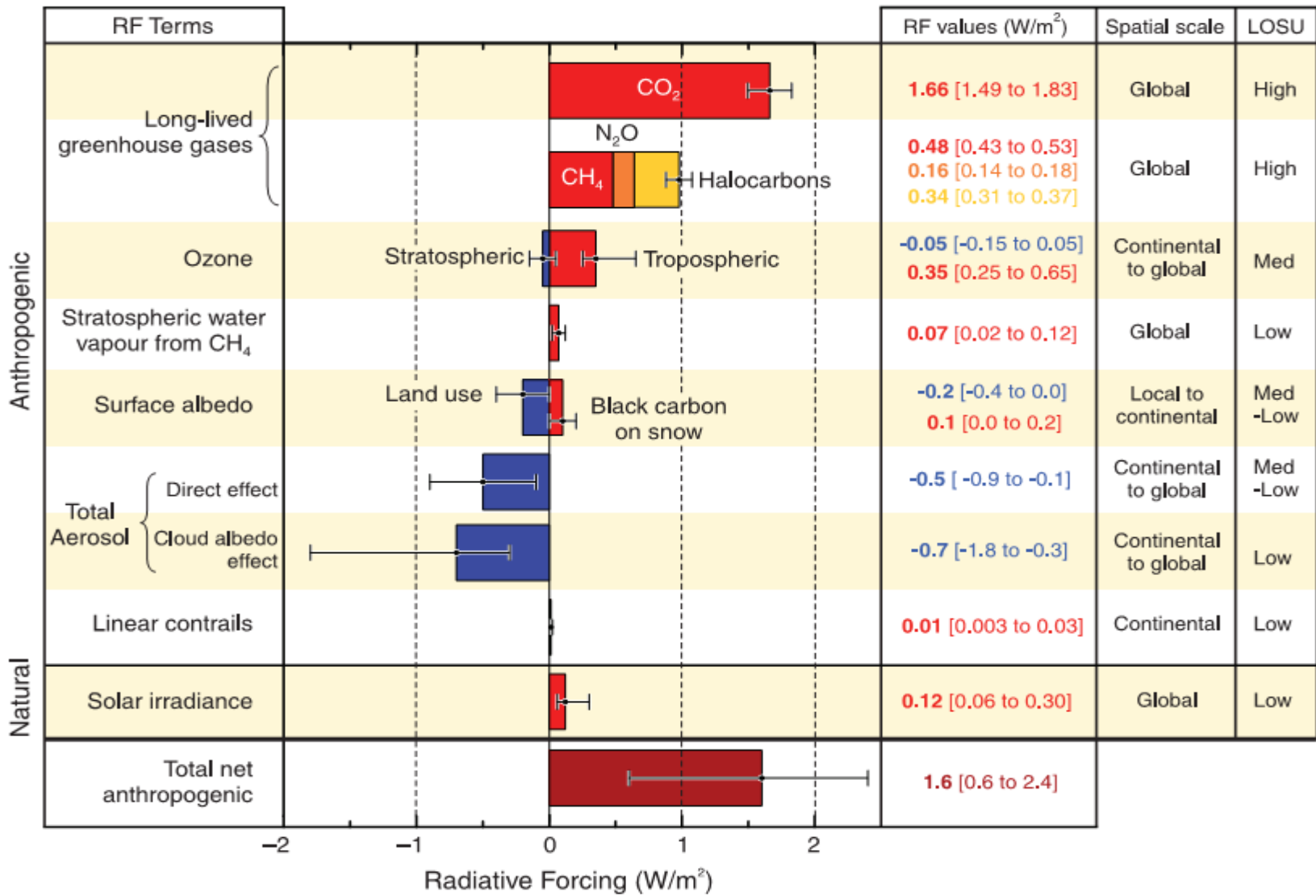


Figure 2-5: A limited number of sites in Europe have nearly continuous records of sea level spanning 300 years and show the greatest rise in sea level over the 20th century. Records shown from Amsterdam, The Netherlands, Brest, France, and Swinoujscie, Poland, as well as other sites, confirm the accelerated rise in sea level over the 20th century as compared to the 19th.

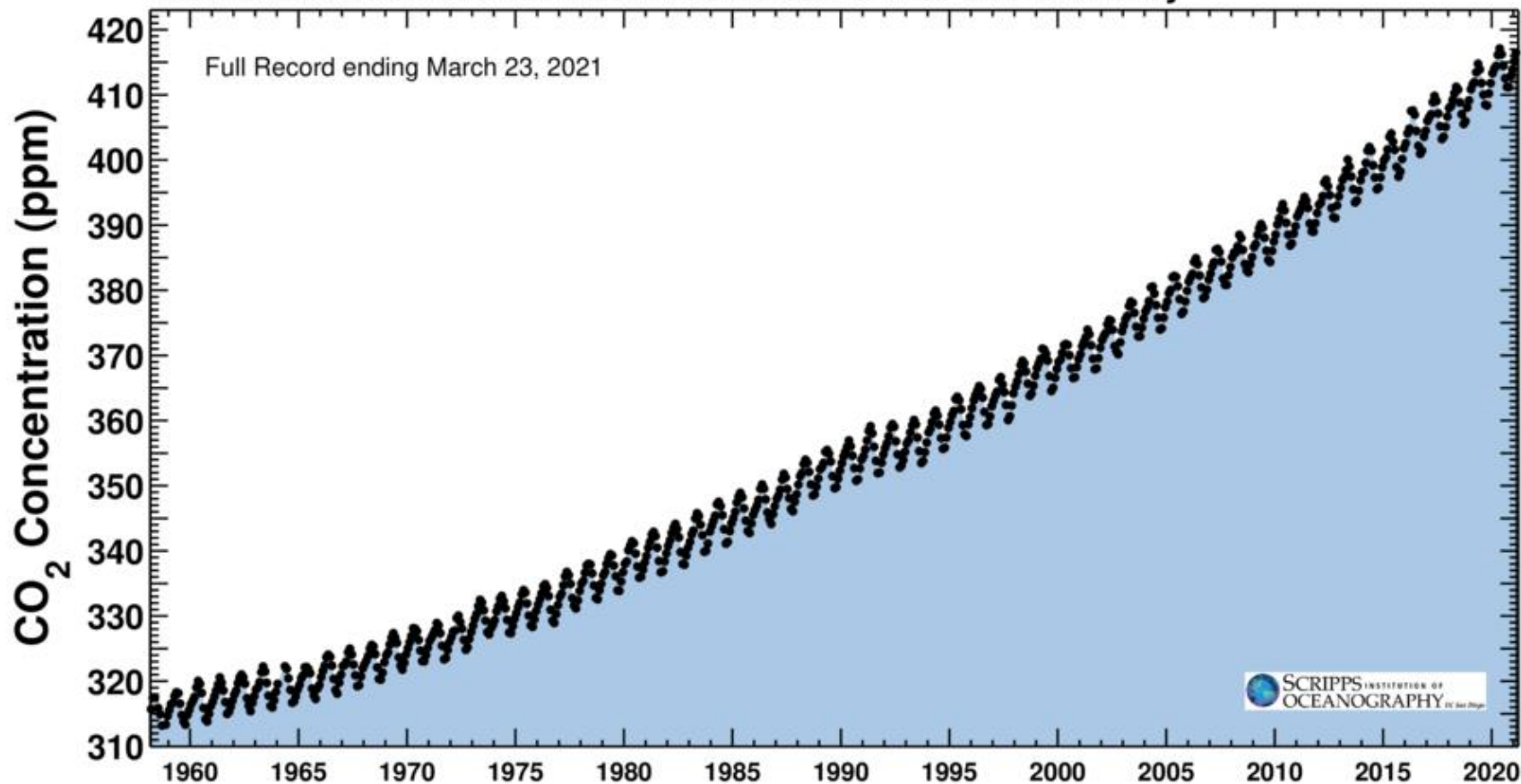
 WGI TAR Figure 11-7

Radiative forcing components

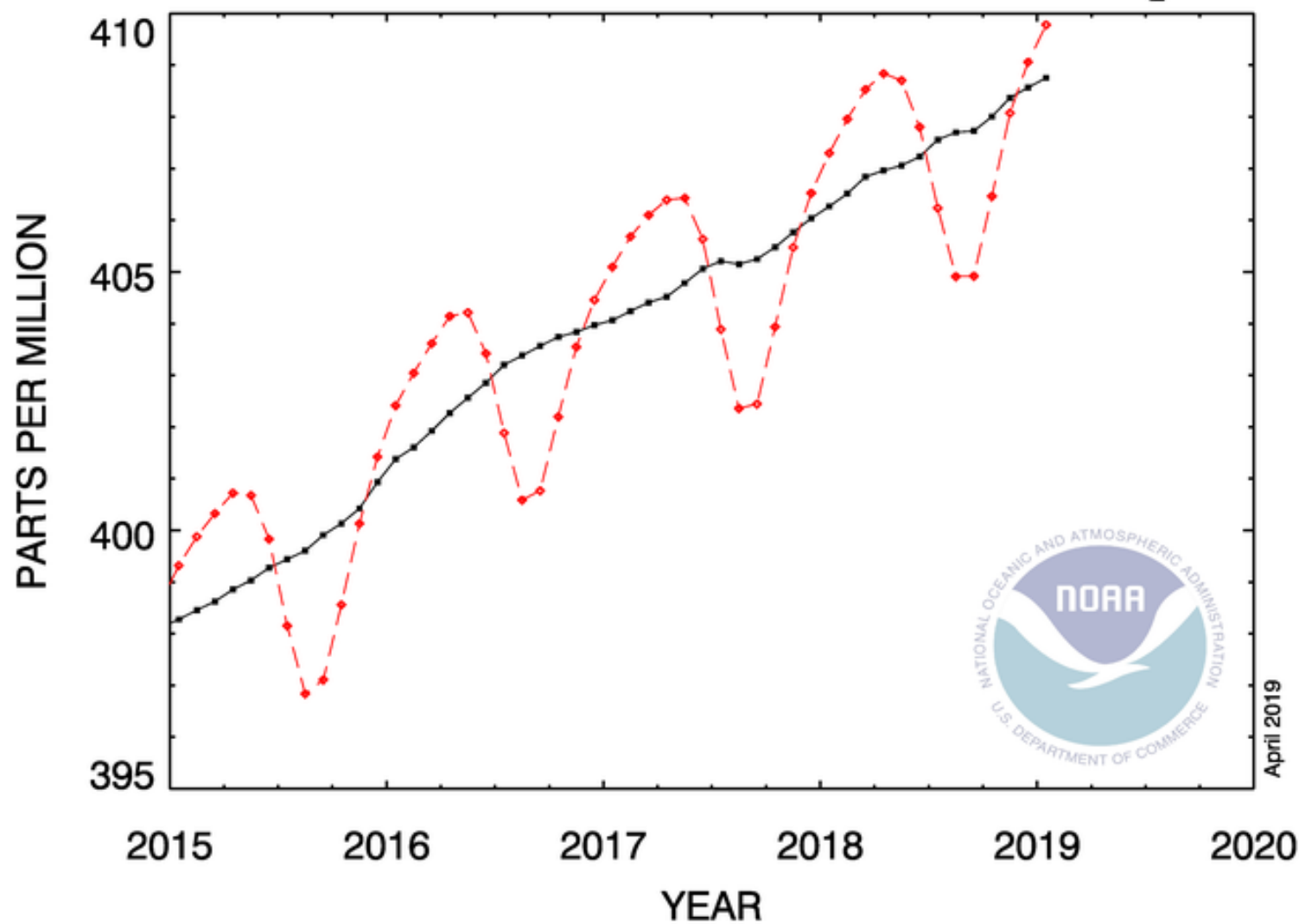


March 22, 2021

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



RECENT GLOBAL MONTHLY MEAN CO₂

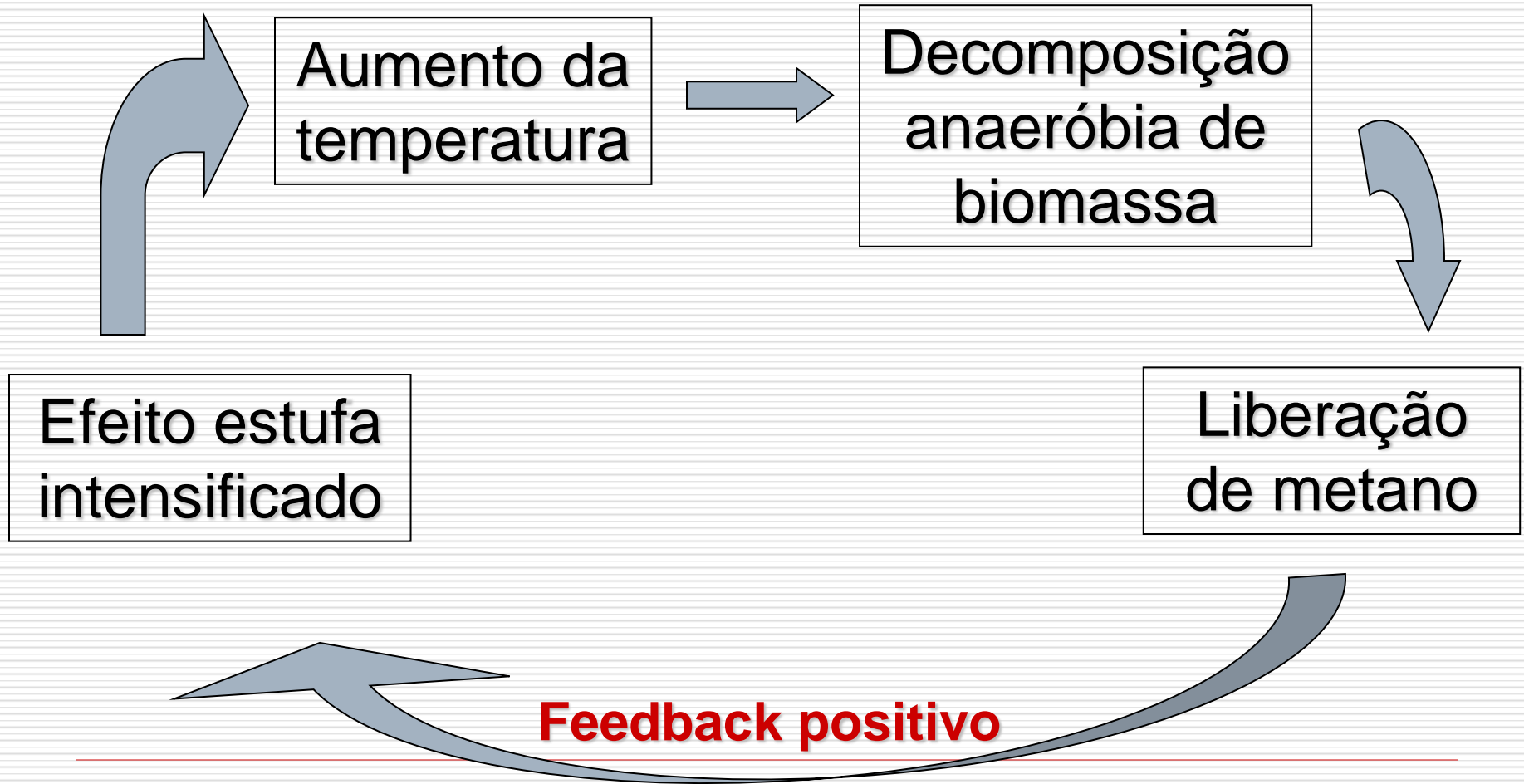


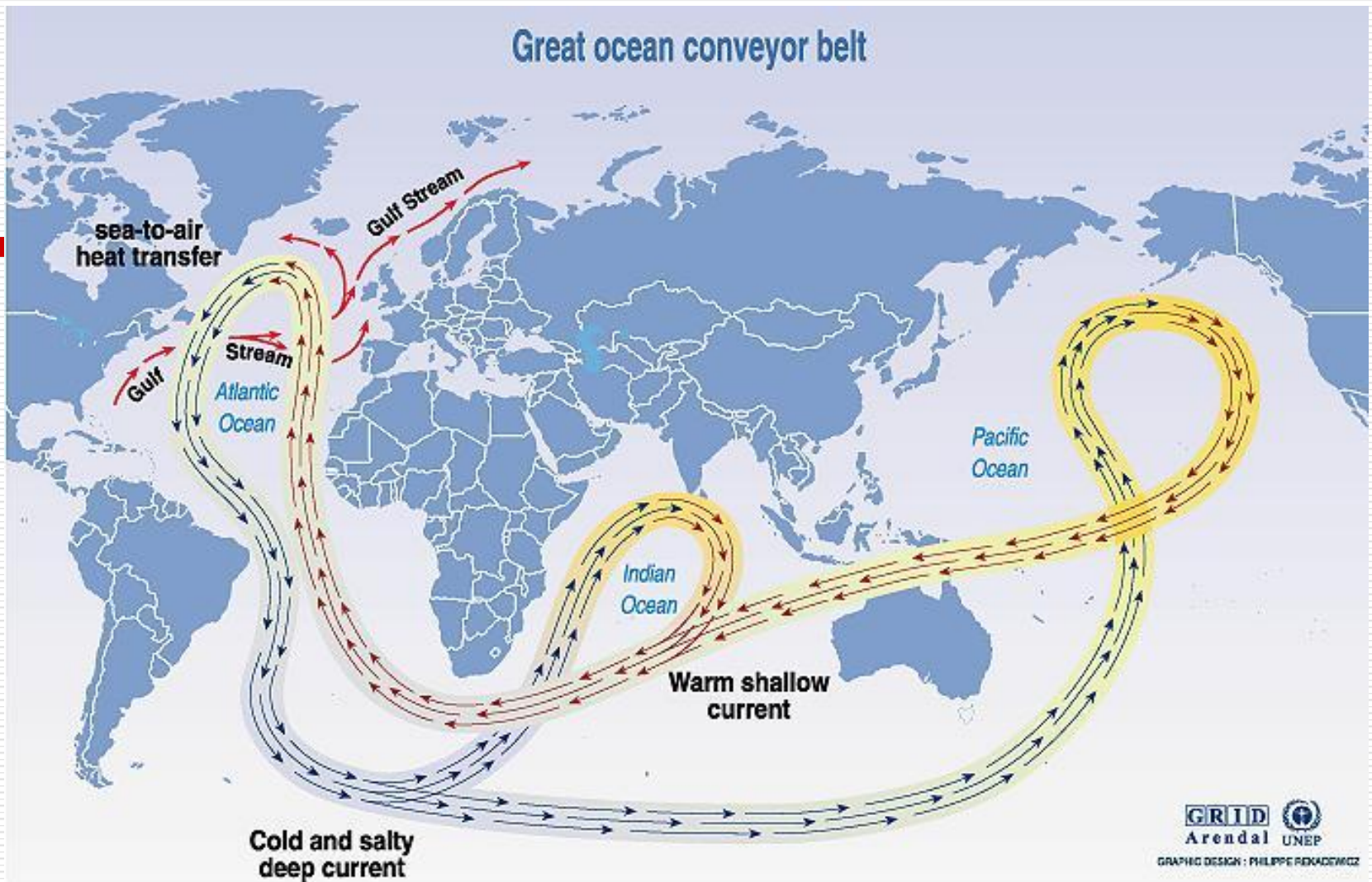
April 2019

MECANISMOS DE RETROAÇÃO

- ❑ Clatratos de metano no oceano
 - ❑ Enfraquecimento do cinturão oceânico
 - ❑ Mudanças nas florestas → de absorvedores para emissores de CO₂
 - ❑ Mudança no albedo da Terra → gelo e nuvens
-

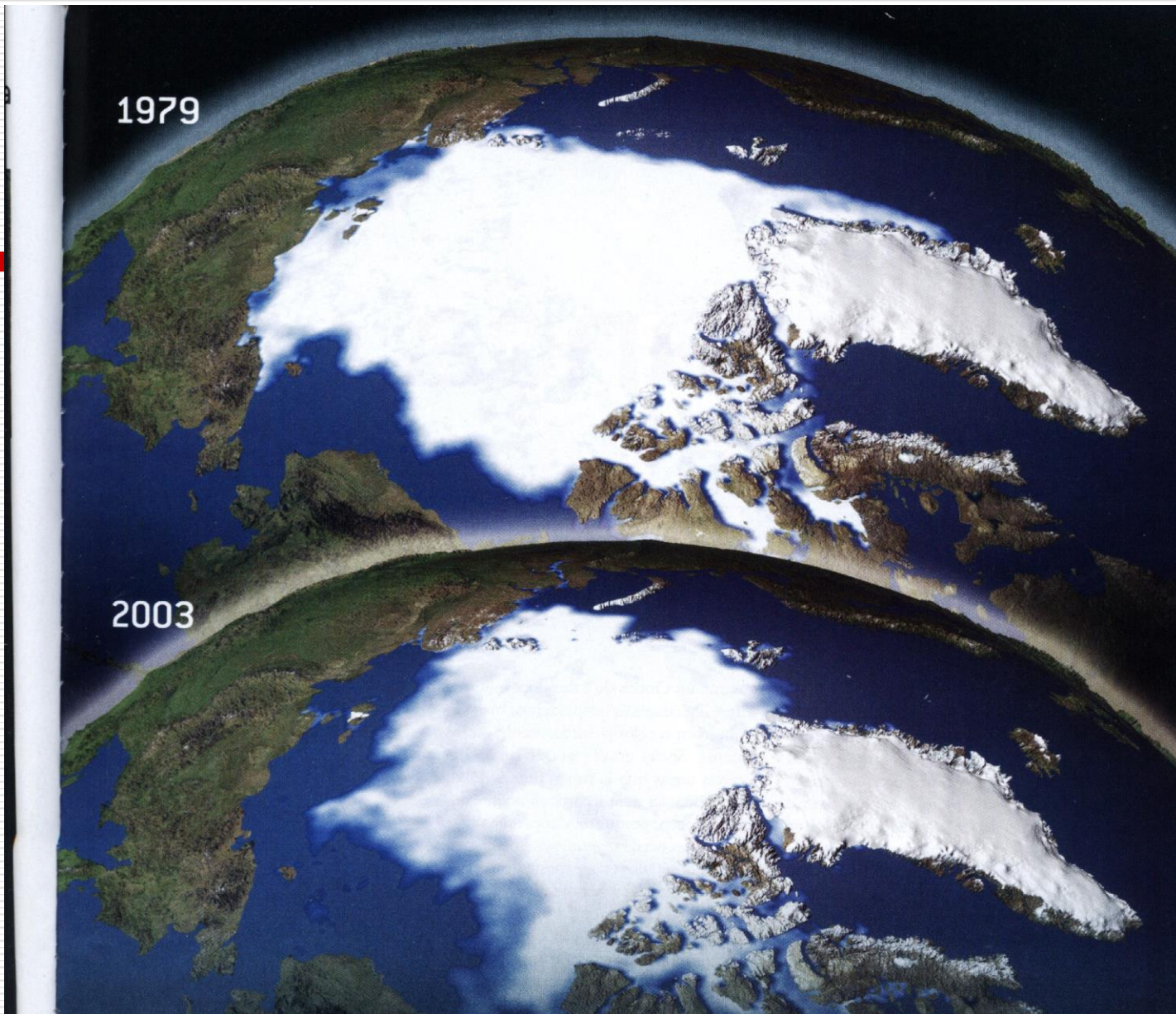
Metano





Source: Broecker, 1991, in *Climate change 1995, impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

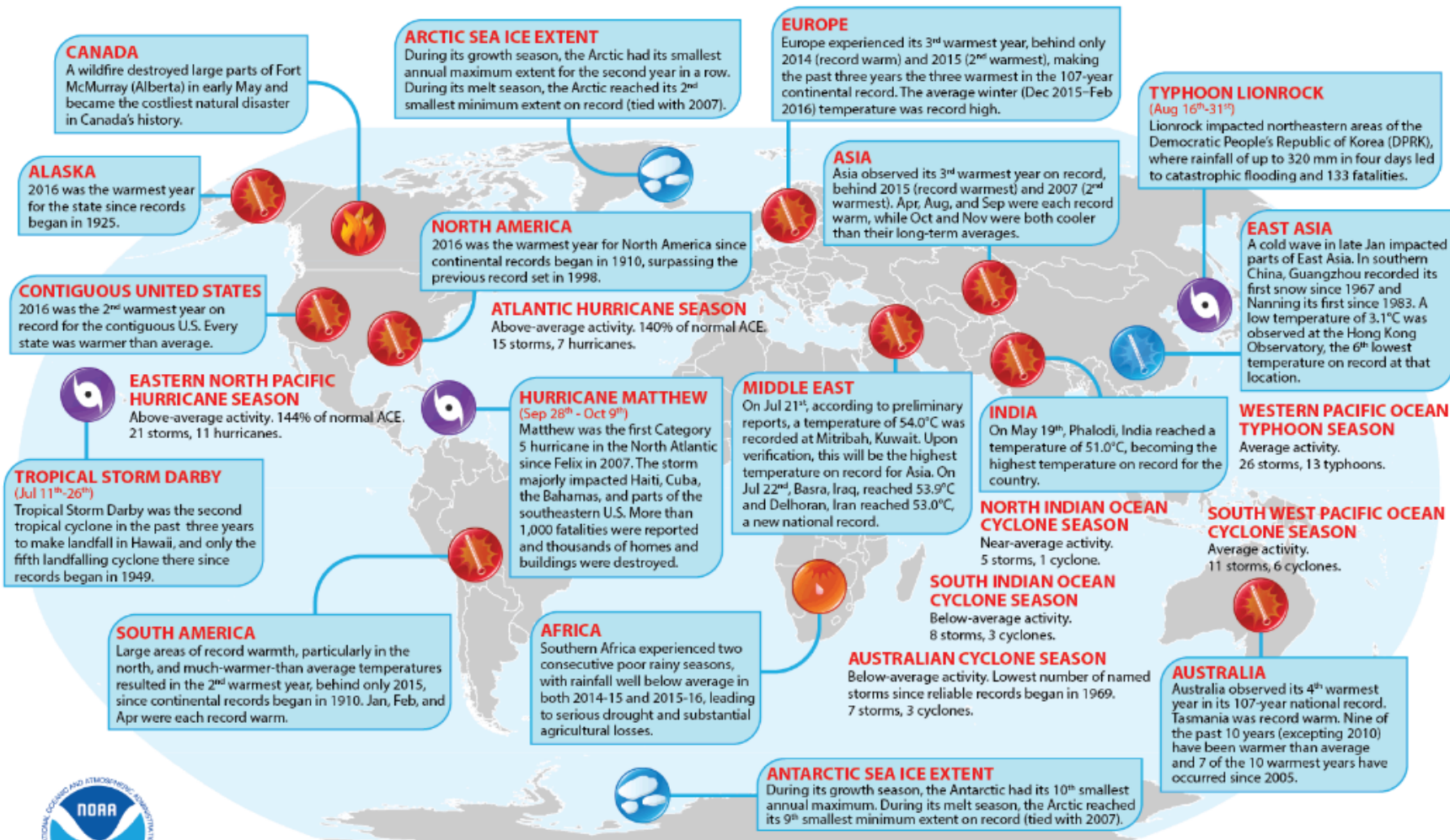
CINTURÃO OCEÂNICO



Capa do pólo norte (New Scientist, 2005)

Groenlândia – perda de 40 metros de gelo por dia

Selected Significant Climate Anomalies and Events in 2016

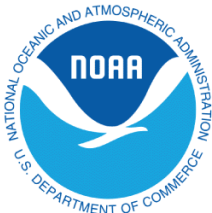
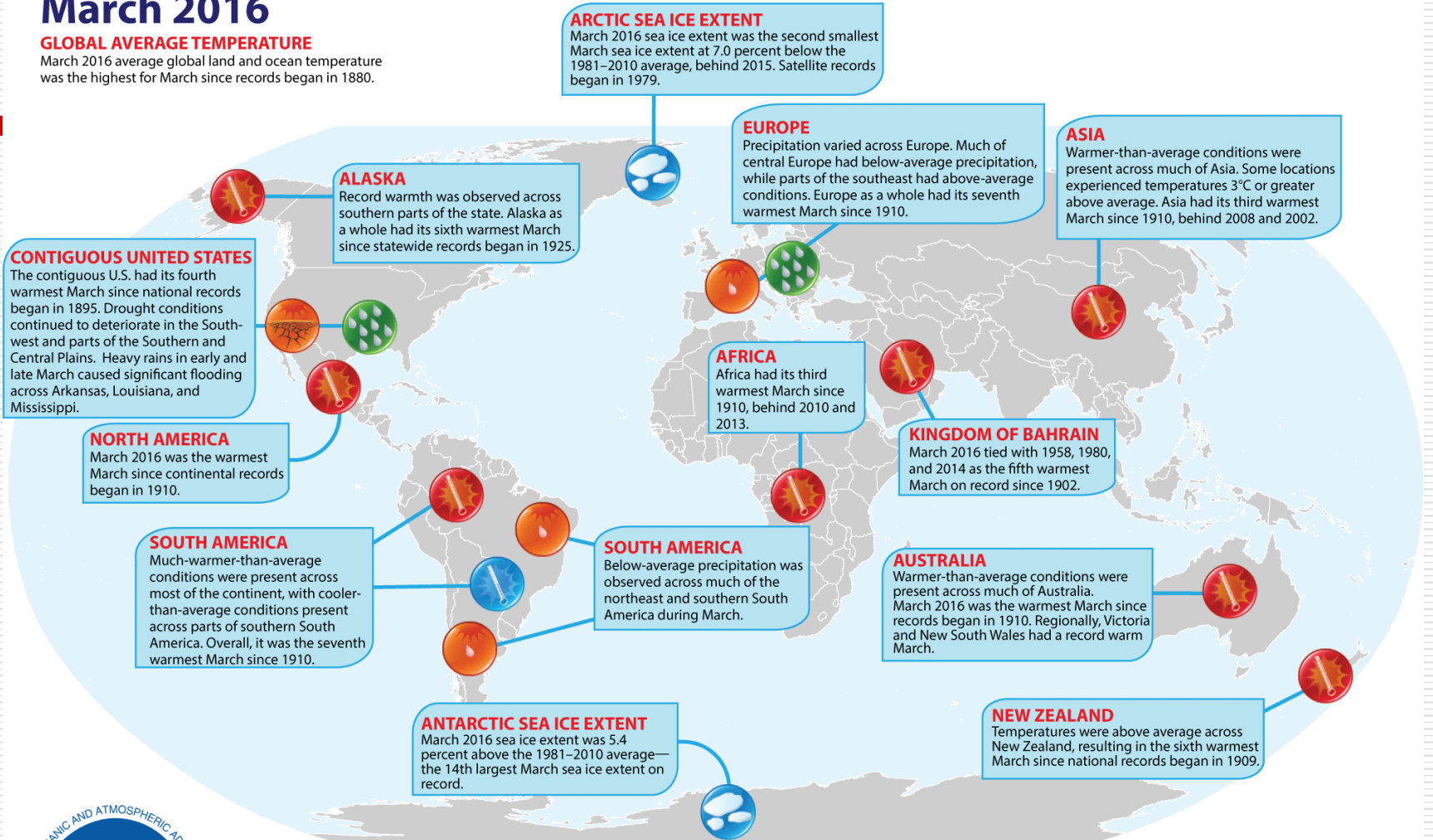


Please Note: Material provided in this map was compiled from NOAA's State of the Climate Reports and international partners. For more information please visit: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc>

Selected Significant Climate Anomalies and Events March 2016

GLOBAL AVERAGE TEMPERATURE

March 2016 average global land and ocean temperature was the highest for March since records began in 1880.



Please Note: Material provided in this map was compiled from NOAA's State of the Climate Reports. For more information please visit: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc>

Ice sheet changes



Source: China Daily

China - Gongga Snow Mountains are home to over 70 glaciers in western Sichuan Province

Greenland ice sheet
retreat of the Sermilik
glacier



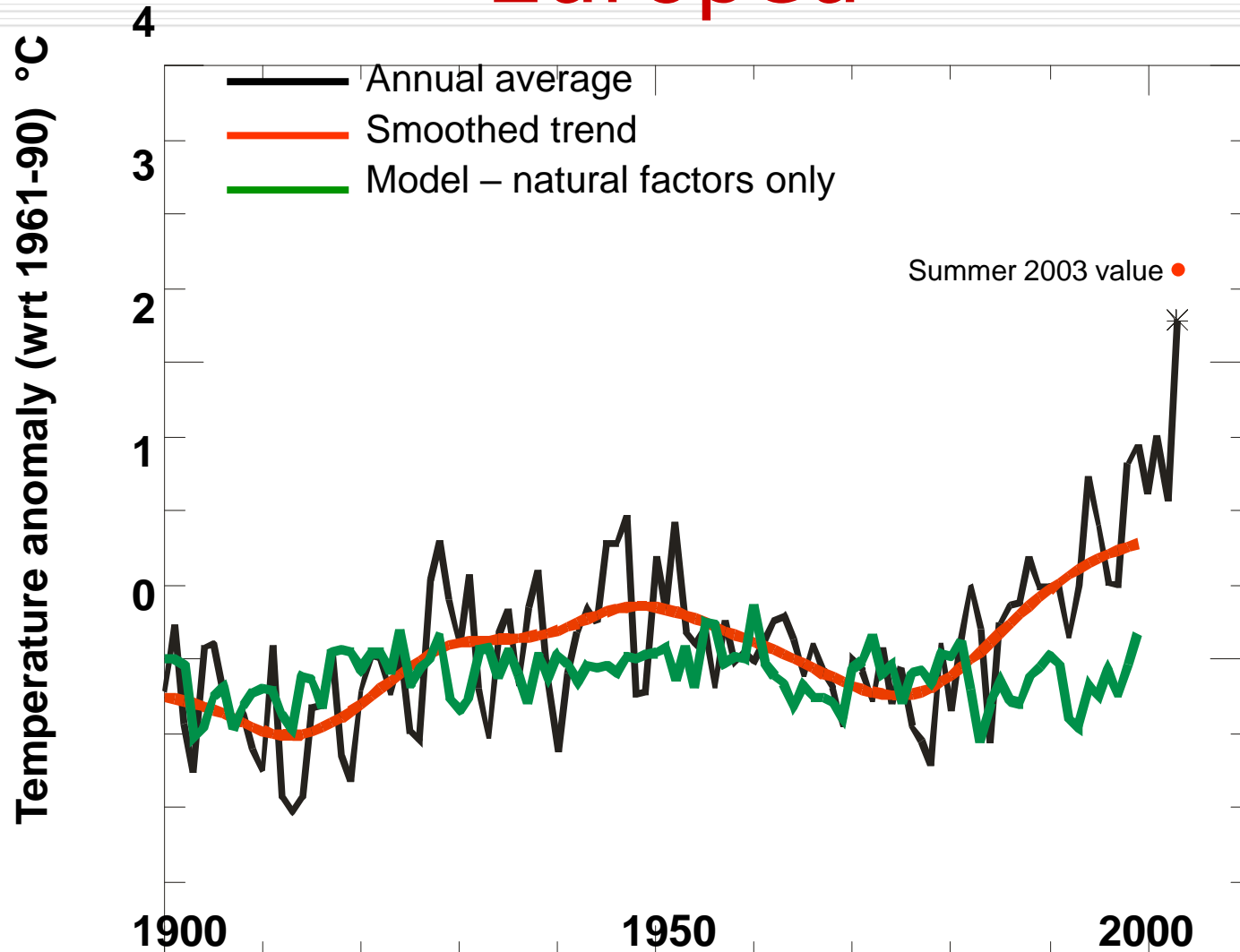
Source: BBC

Eventos extremos

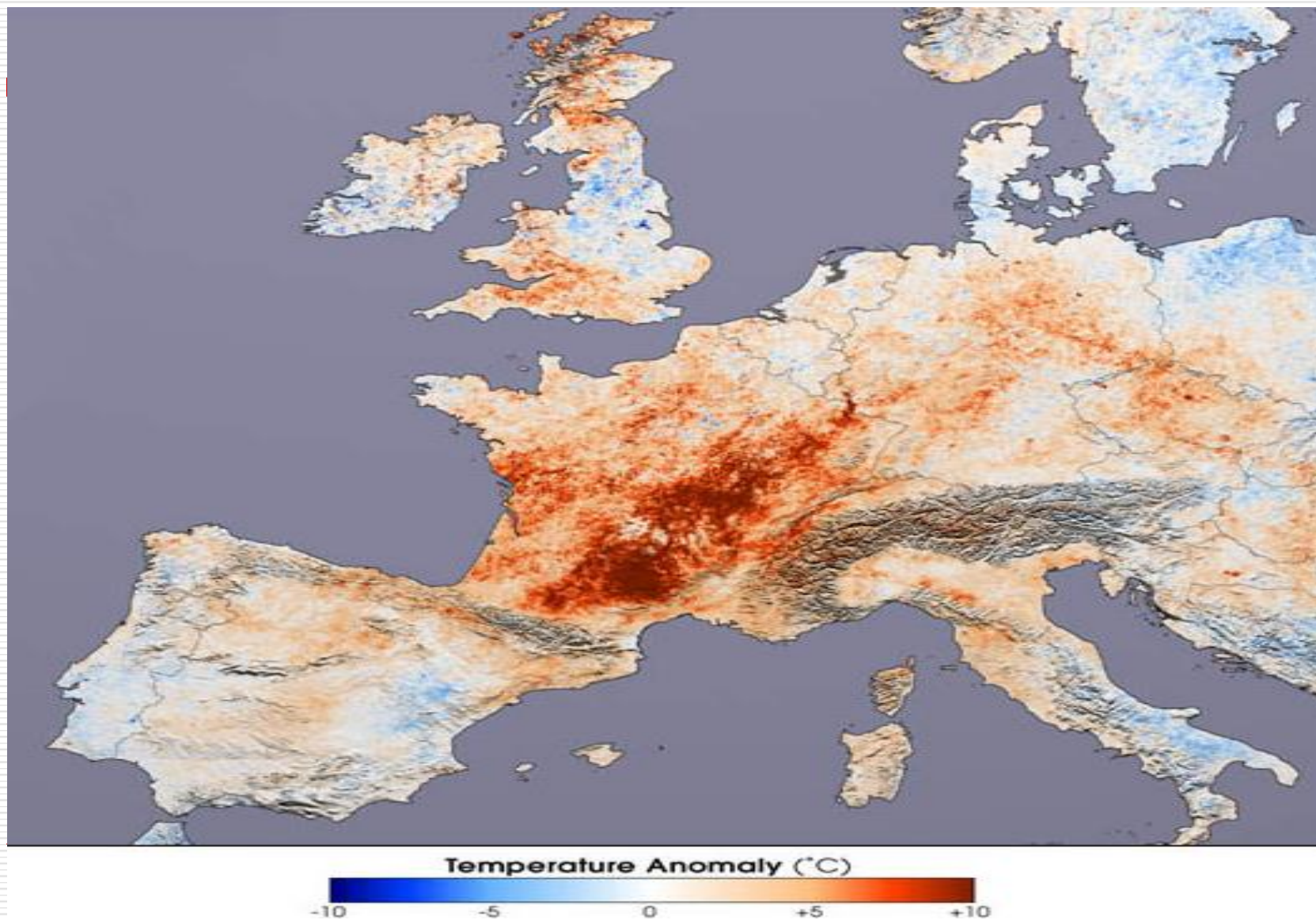
- Inundação UK – Boscastle
2004
 - £50milhoes de custos
- Onda de calor Europeu em
2003
 - ~30.000 mortes
 - \$13.5b custos
- Inundação naEuropa 2002
 - 37 mortes
 - \$16b custos
- Inundações UK 2000
 - £1b de custos



Temperaturas Anuais do verão Europeu

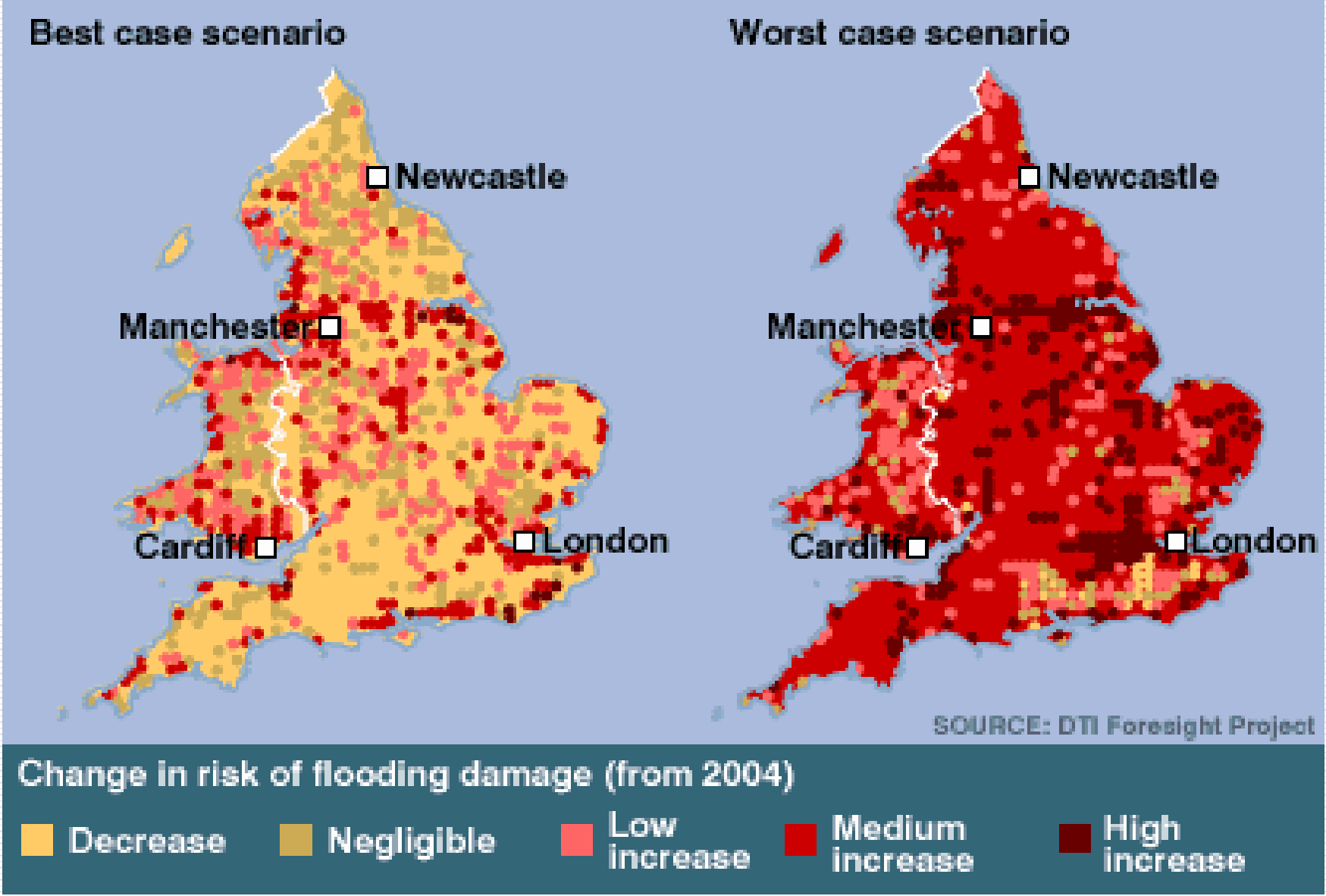


Onda de calor 2003



Source: NASA Earth Observatory

Possible flooding in the UK by 2080s



Consequências da variação da Temperatura

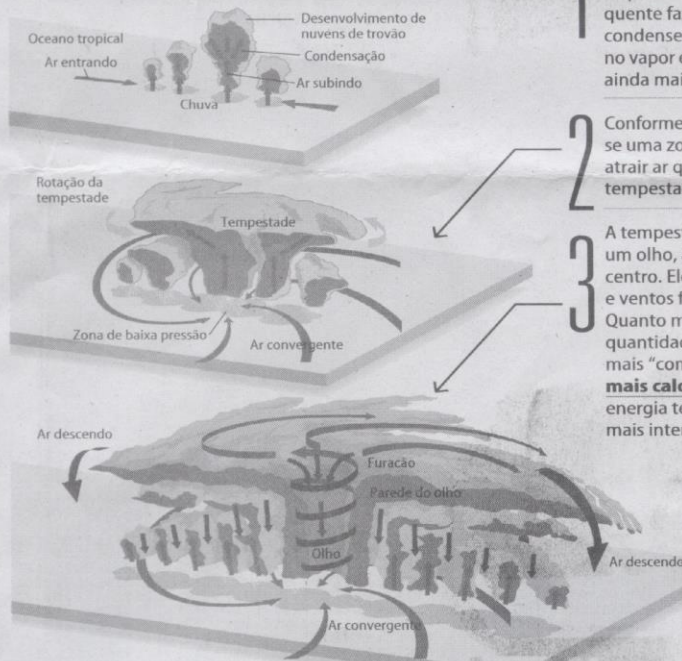
Efeitos	Por que se preocupar?
Maior evaporação de água	Temperaturas mais altas farão com que mais água se evapore. Os efeitos serão diferentes em cada região. Algumas regiões ficarão mais secas e outras, mais úmidas. Isto poderá causar graves problemas para os ecossistemas sensíveis a excesso e escassez de água. Também poderá afetar plantações e criações de animais. Secas e enchentes serão mais frequentes e mais intensas. No Brasil, com a dependência dos rios para produzir mais de 90% de energia elétrica, a falta de água, pode ser um problema crítico.
Degelo nos pólos	Recuo de geleiras. Redução de áreas em arquipélagos. Diminuição no número de lagos. Perda da água doce. Possibilidade de emissão do metano estocado no <i>permafrost</i> . Dano aos ecossistemas biológicos.
Alteração nas estações do ano	O aumento de temperatura poderá estender o verão e encurtar o inverno. Isto afetará os ecossistemas que são regulados pelas estações do ano. A migração dos pássaros, a produção de frutas e flores e o acasalamento dos animais poderão ocorrer, há perigo de que estes ecossistemas sejam permanentemente danificados. Por exemplo, se pássaros migrarem para uma região onde as árvores ainda não tiverem dado frutos, eles poderão se extinguir por não encontrarem alimento em épocas diferentes. Se estas alterações não forem coordenadas
Expansão térmica dos oceanos	A água aumenta de volume com o aumento de temperatura. O nível dos oceanos, portanto, pode aumentar significativamente. Isto poderá fazer com que praias, ilhas e cidades costeiras sejam cobertas por água salgada. Mesmo que ainda seja possível continuar vivendo em cidades costeiras, a água do mar poderá contaminar a água doce que abastece a população, afetando a qualidade de vida nestas regiões.
Aumento da temperatura dos oceanos	O aumento da temperatura dos oceanos pode causar a morte de corais, que são fontes de alimento para grande parte da vida marinha. Desta forma, a população de peixes e outros animais marinhos poderá diminuir ainda mais.

Aquecimento global produzirá KATRINAS mais fortes

TORMENTAS NO HORIZONTE

Como o aquecimento global eleva a intensidade dos furacões

■ Os furacões, também conhecidos como ciclones tropicais ou tufões (na Ásia), são tempestades com ventos cuja velocidade varia de 115 km/h (categoria 1) a mais de 240 km/h (categoria 5)



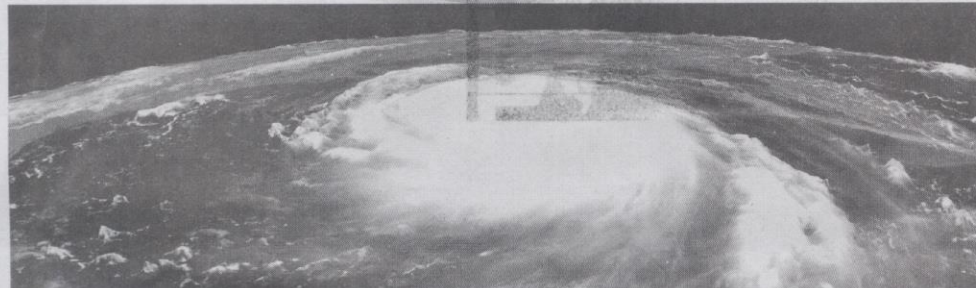
1 Para ser formado, um furacão precisa de grandes quantidades de ar quente e úmido, em mares tropicais a mais de 26,5° C. Quando sobe, o ar quente faz com que o vapor d'água nele se condense. O processo libera o calor contido no vapor e faz com que o ar aquecido se eleve ainda mais

2 Conforme a liberação de calor prossegue, cria-se uma zona de baixa pressão que continua a atrair ar quente e úmido. O centro da tempestade começa a girar

3 A tempestade torna-se um furacão. Forma-se um olho, área calma, de baixa pressão, no centro. Ele é cercado por um anel de nuvens e ventos fortes chamado de parede do olho. Quanto mais quente o mar, maior a quantidade de água evaporada —portanto, mais “combustível” para o furacão, que terá **mais calor liberado** na condensação. Essa energia térmica extra corresponde a ventos mais intensos, e furacões mais fortes

■ O problema é que a relação entre a temperatura da água e a evaporação é o que os cientistas chamam de não-linear, ou seja, pequenos aumentos provocam grande evaporação. Os cientistas descobriram que o aumento médio de 0,5° C na temperatura global do oceano devido ao efeito estufa dobrou, de 1970 para cá, a quantidade de furacões nas categorias 4 e 5, como o Katrina

— NOAA/France Press



Furacão Katrina, de categoria 5, se abate sobre a costa americana

VEJA 2005

Aquecimento já provoca extinção de dezenas de espécies de anfíbio

REINALDO JOSÉ LOPES

DA REPORTAGEM LOCAL

Para uma equipe internacional de pesquisadores, acabou a necessidade de usar os verbos no futuro para falar das extinções de animais causadas pelo aquecimento global. As vítimas, dizem eles, estão tombando no presente mesmo: mais de 70 espécies de sapos da América tropical, dizimadas por um fungo que se beneficia de temperaturas mais altas.

O trabalho, que está na edição de hoje da revista científica "Nature" (www.nature.com), está sendo considerado um marco na tentativa de entender como o aumento da temperatura do planeta vai afetar a vida. As conclusões são assustadoras não só porque traçam uma relação clara entre aquecimento e extinção mas também por mostrar que as consequências do fenômeno podem se revelar, na prática, imprevisíveis.

Isso fica claro quando se consi-

dera o fungo assassino *Batrachochytrium dendrobatidis*, que parasita a pele sensível dos sapos. Ele supostamente "gosta" de temperaturas amenas —entre 17°C e 25°C—, o que poderia sugerir que o aquecimento global não é uma boa pedida para ele. Mas uma série de interações complexas o favorece, conta o ecólogo J. Alan Pounds, da Reserva de Floresta Tropical de Altitude de Monte-verde, na Costa Rica.

"As mudanças nas interações entre espécies que resultarão do aquecimento serão muito importantes. E, por sua complexidade, podem ser muito difíceis de prever —são curingas no jogo", diz Pounds, coordenador do estudo.

Que as 110 espécies de sapos *Atelopus* andavam mal das pernas por causa do fungo, todo mundo já sabia. Pounds propôs um eio entre o problema e o aquecimento, e ele e seus colegas se puseram a investigar o caso.

Verificaram que 65% dessas es-

pécies andam sumidas da América do Sul e Central —para todos efeitos, seriam extinções. O grupo viu também que, em 80% dos casos, o sumiço acontecia após anos anormalmente quentes. E se concentrava em áreas de montanhas e planaltos baixos (entre 1.000 e 2.000 m). Não parecia fazer sentido, diante da paixão do fungo por climas relativamente suaves.

O grupo viu, porém, que o aquecimento estimulava a formação de nuvens nesses lugares, o que, de dia, refrescava a temperatura e, de noite, a puxava para cima (veja quadro à dir.). O resultado é que, na média, o fungo estava no clima ideal. Detalhe: o parasita já atinge anfíbios na mata atlântica de Minas, diz o biólogo Reuber Brandão, do Ibama.

"É um trabalho muito importante, pois liga pela primeira vez a extinção de um grupo inteiro de espécies ao aquecimento", avalia Chris Thomas, biólogo da Universidade de York (Reino Unido).

Climate change is turning parts of Antarctica green, say scientists
Researchers map ‘beginning of new ecosystem’ as algae bloom across surface of melting snow

[Jonathan Watts](#) – **The Guardian**

Wed 20 May 2020



Study author Andrew Gray geotagging the snow algae blooms. Photograph: Dr Matt Davey/University of Cambridge/SAMS/AFP via Getty Images

“O alerta da rã dourada”

“ Primeira vítima documentada do aquecimento global.”

Marty Crump estudou a espécie por 4 anos e registrou seu desaparecimento



Nível do mar

Branqueamento do coral



~~São Sebastião, 2016.~~



A elevação da temperatura do mar mata os organismos que dão cor ao coral

Foto: John Pascal

A foto mostra o antes, em março de 2016 (à esq.), e o depois, em maio do mesmo ano (à dir.), do branqueamento e da morte de um coral em Lizard Island, na Grande Barreira de Corais da Austrália.

Branqueamento da Grande barreira de corais australiana.
Com o El-Niño de 2002, 90% dos corais morreram e 60% do
complexo foi afetado.

Austrália é o maior poluidor *per capita* do mundo.



Geoengenharia

- ❑ Espelhos no espaço
- ❑ Injeção de enxofre na estratosfera
- ❑ Sequestro de CO₂
- ❑ Fertilização por ferro

We are not proposing that geo-engineering be carried out! We are proposing that the implications should be carefully explored.

Phil Rasch NCAR