

# **QFL5700-Química Atmosférica**

**1a. Aula - Mudanças climáticas  
e conexões**

**Prof. Pérola Vasconcellos**

# MUDANÇA CLIMÁTICAS

---

Acelerada pelas ATIVIDADES HUMANAS

1. Queima de combustíveis
2. Mudança do uso da terra

Ocasionalmente:

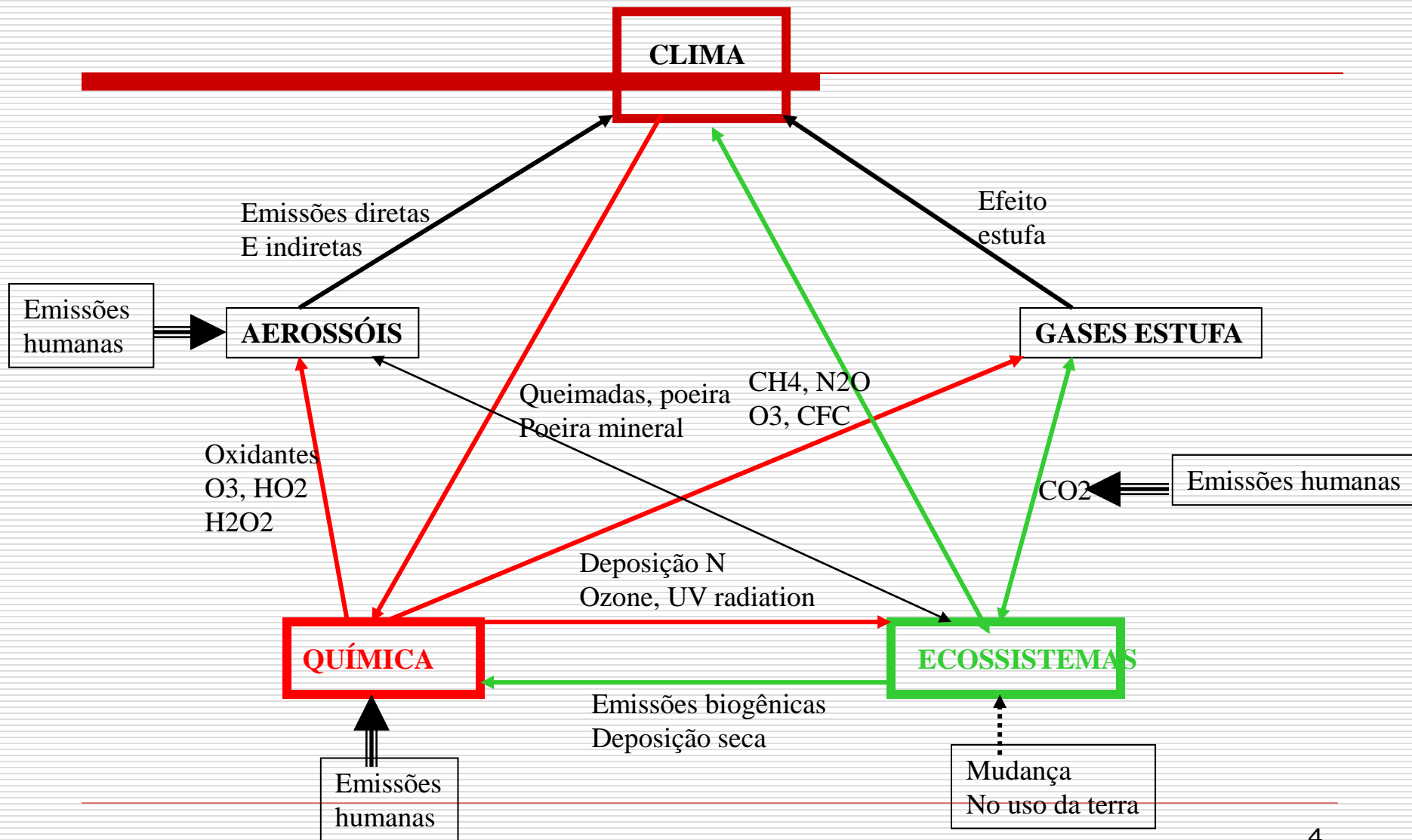
- ↑ Gases estufa
- ↑ Compostos clorados na estratosfera
- ↑ Desflorestamento

# CONEXÕES

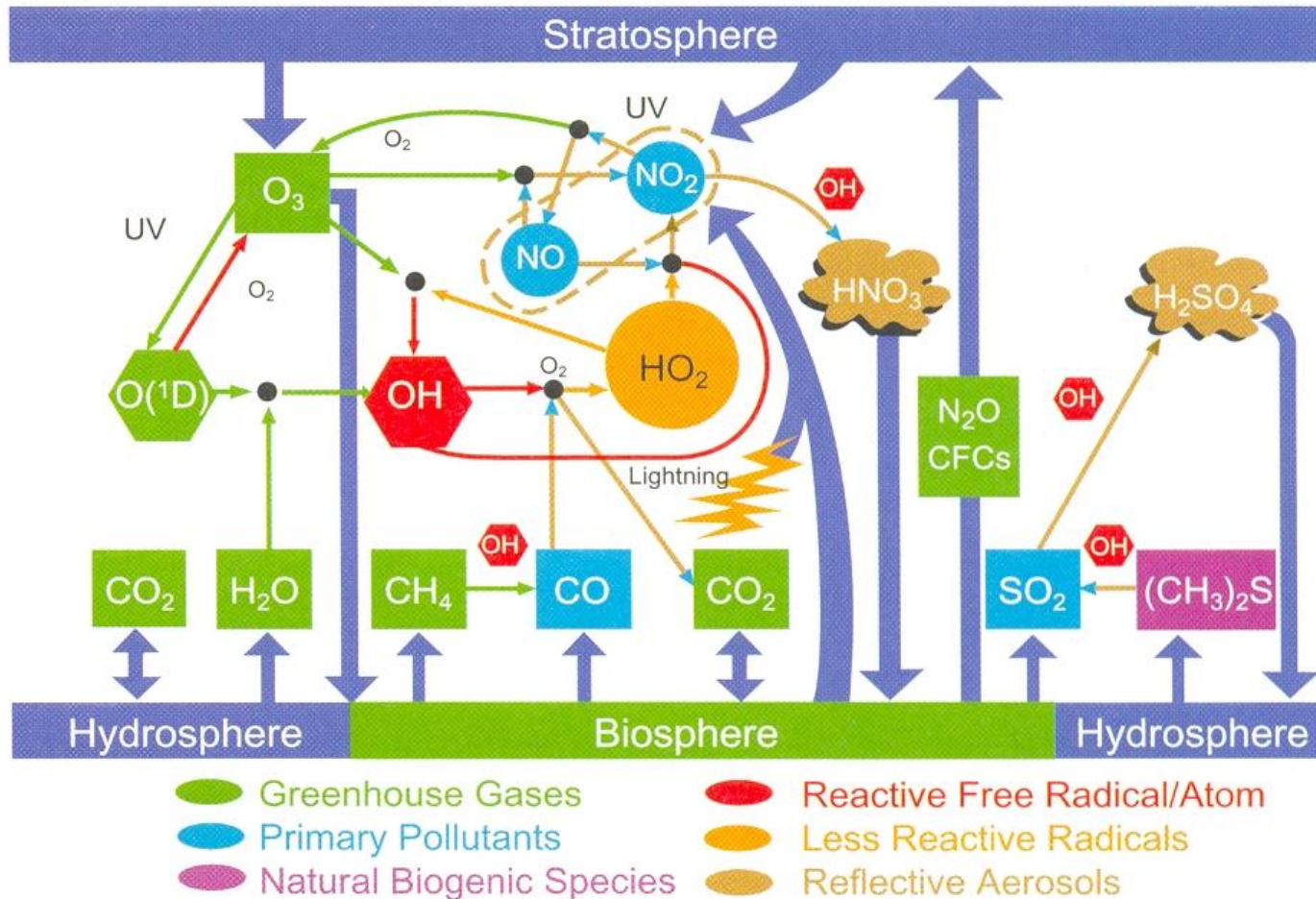
---



# Conexões Clima-química-ecossistemas



# Tropospheric Life Cycles of Climatically Important Species

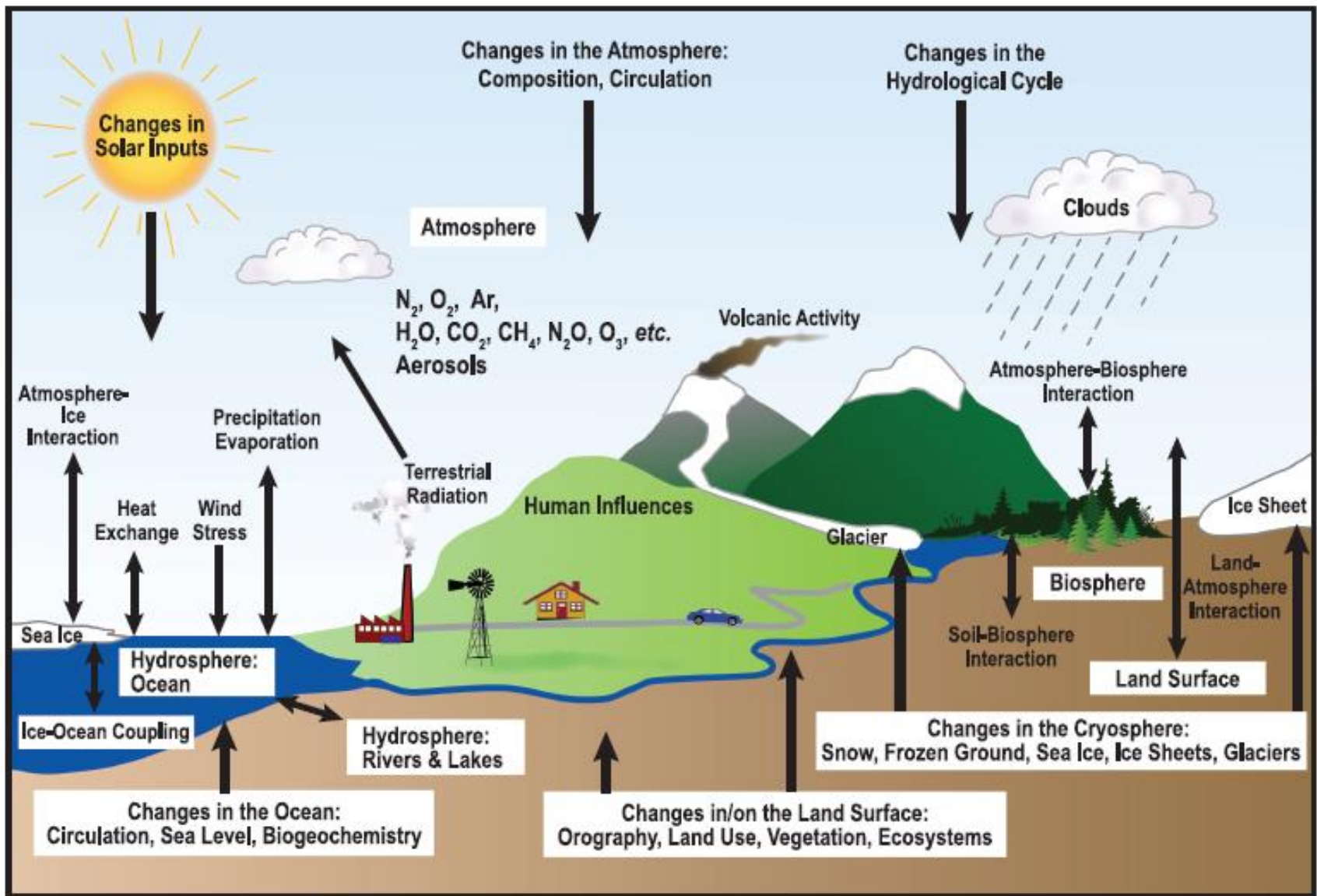


# PROCESSOS

---

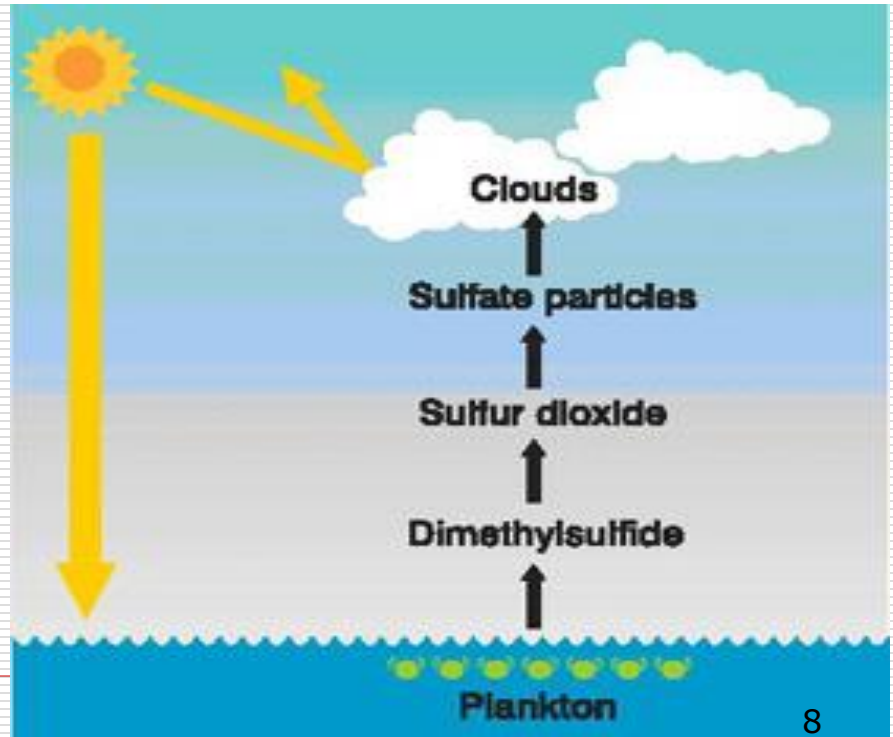
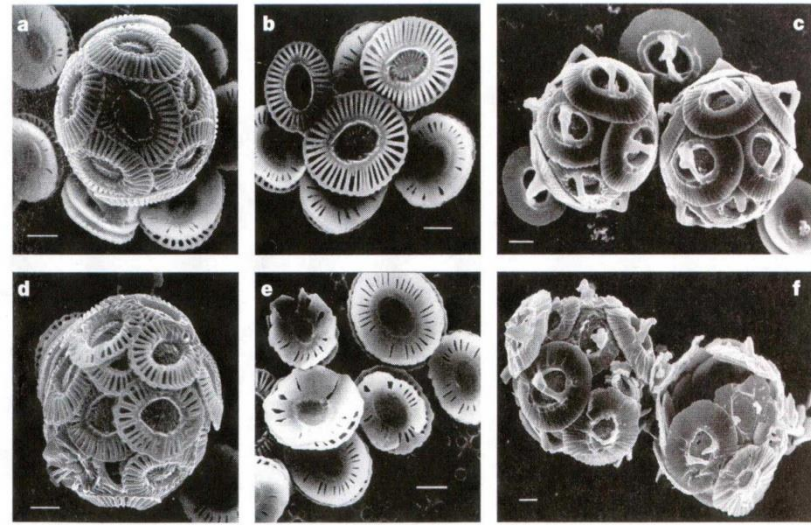
☐ NATURAIS

☐ ANTRÓPICOS

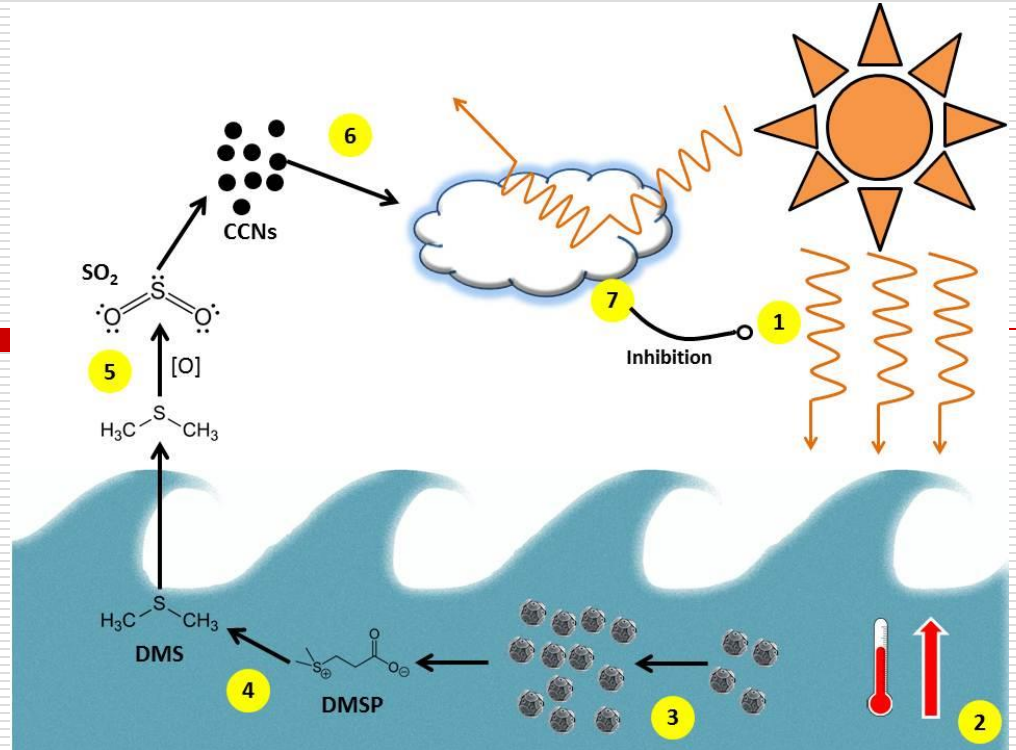
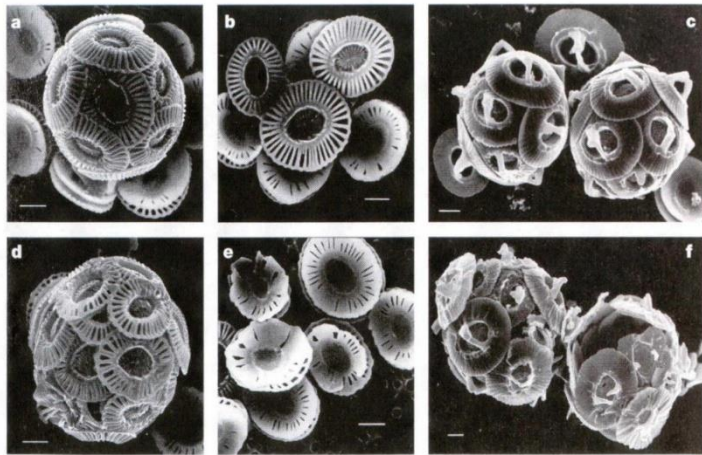


FAQ 1.2, Figure 1. Schematic view of the components of the climate system, their processes and interactions.

# EMILIANA HUXLEYI







<https://sites.google.com/site/clawshypo/the-claw-hypothesis>

- (1) CLAW hypothesis. starts off with a hypothetical increase in global surface temperature.
- (2) The oceans, being heat reservoirs, will absorb more heat and hence their temperature will increase.
- (3) Phytoplankton such as coccolithophorids, will thrive in increased temperatures and their population will increase greatly.
- (4) Coccolithophorids synthesize dimethylsulphoniopropionate (DMSP), and their enhanced growth consequently increases the production of DMSP, leading to an increase in the amount of its breakdown form, dimethylsulphide (DMS).
- (5) DMS is released into the atmosphere, where it is oxidized to form sulphur dioxide, a type of sulphate aerosol.
- (6) Sulphate aerosols are known as cloud condensation nuclei (CCN). Increased water evaporation resulting from raised temperature and increased amount of CCN in the atmosphere thus elevates the liquid water content of clouds and cloud area.
- (7) The increase in rate of cloud formation due to increased CCN levels and liquid water content thus leads to greater cloud albedo. This causes a decrease in the amount of solar energy reaching the earth's surface and thus lowers the surface temperature. As a result, the population of phytoplankton shrinks and DMS production decreases. A decrease in DMS prescribes a decrease in surface albedo from clouds and hence, a negative feedback loop is established.

# Relações entre os compartimentos

---

- ❑ Oceanos = 71% da área da Terra
- ❑ = 97% da água da Terra
  
- ❑ Capacidade de estocar e redistribuir calor e água em todo o globo através das correntes (moderando eventos extremos).
  
- ❑ Circulação da matéria para longe dos pontos de origem

# Processos que afetam a distribuição de calor e água nos oceanos

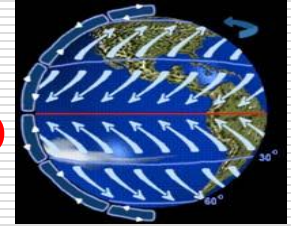
---

## **ventos**

- efeitos da rotação da Terra
- topografia do oceano
- salinidade, temperatura, pressão → densidade

-Importância crucial → trocas de água e nutrientes entre a superfície e o fundo do oceano

# Ventos



→ carregam nutrientes do continente para o oceano. Ex: ferro

---

→ poeira da África chega à região do Caribe.

O ferro do material particulado é depositado sobre os recifes de corais fertilizando as algas.

A poeira pode também carregar patógenos que atacam os corais.

O deserto de Gobi (Norte da China, Sul da Mongólia) emite poeira: esta é transportada a 6 mil km de distância até as ilhas Havaianas, fornecendo fósforo.

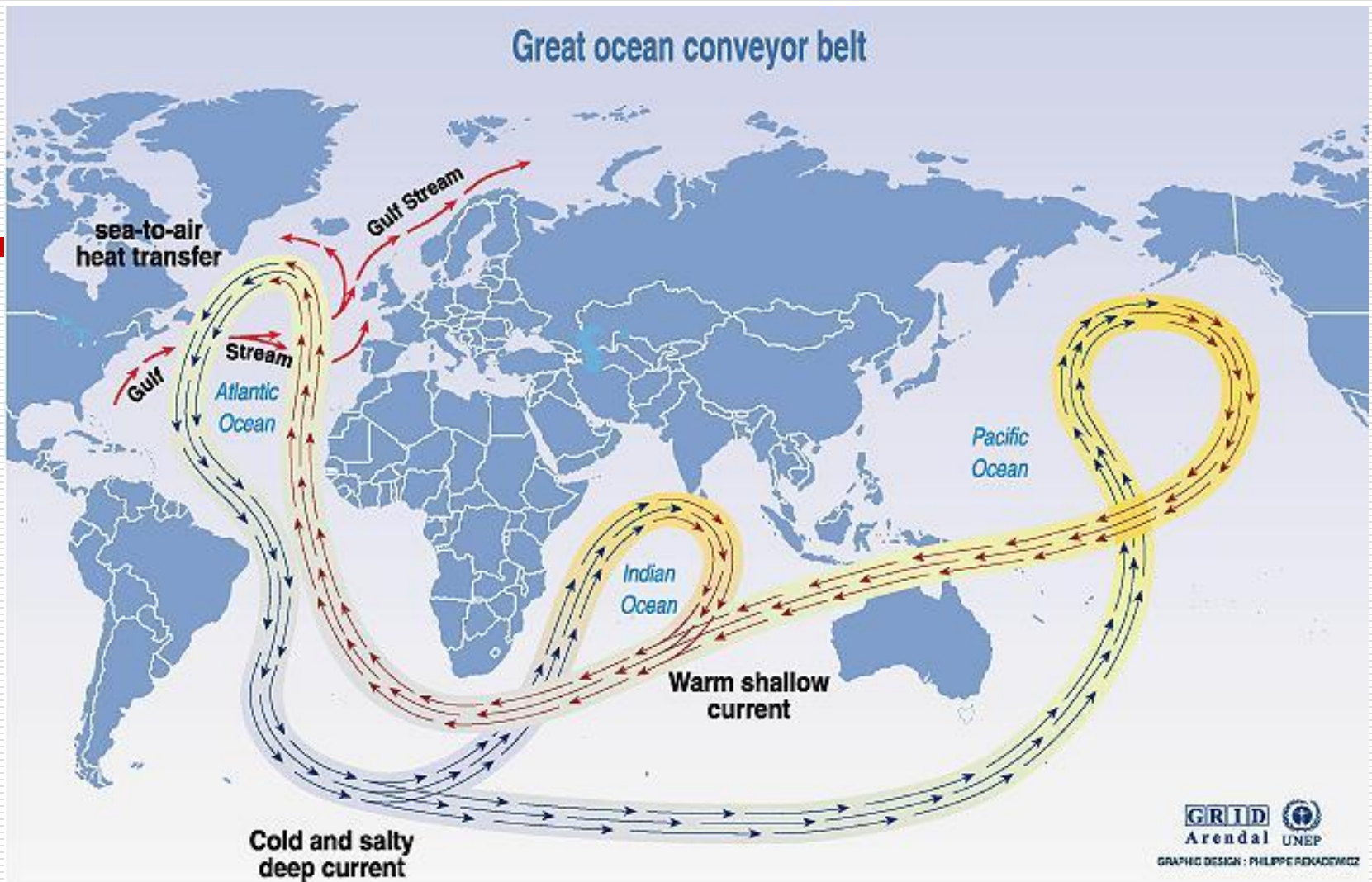
→ Amazônia → recebe poeira da África, fonte de nutrientes

→ rios voadores

# Mais conexões → BIOTA

---

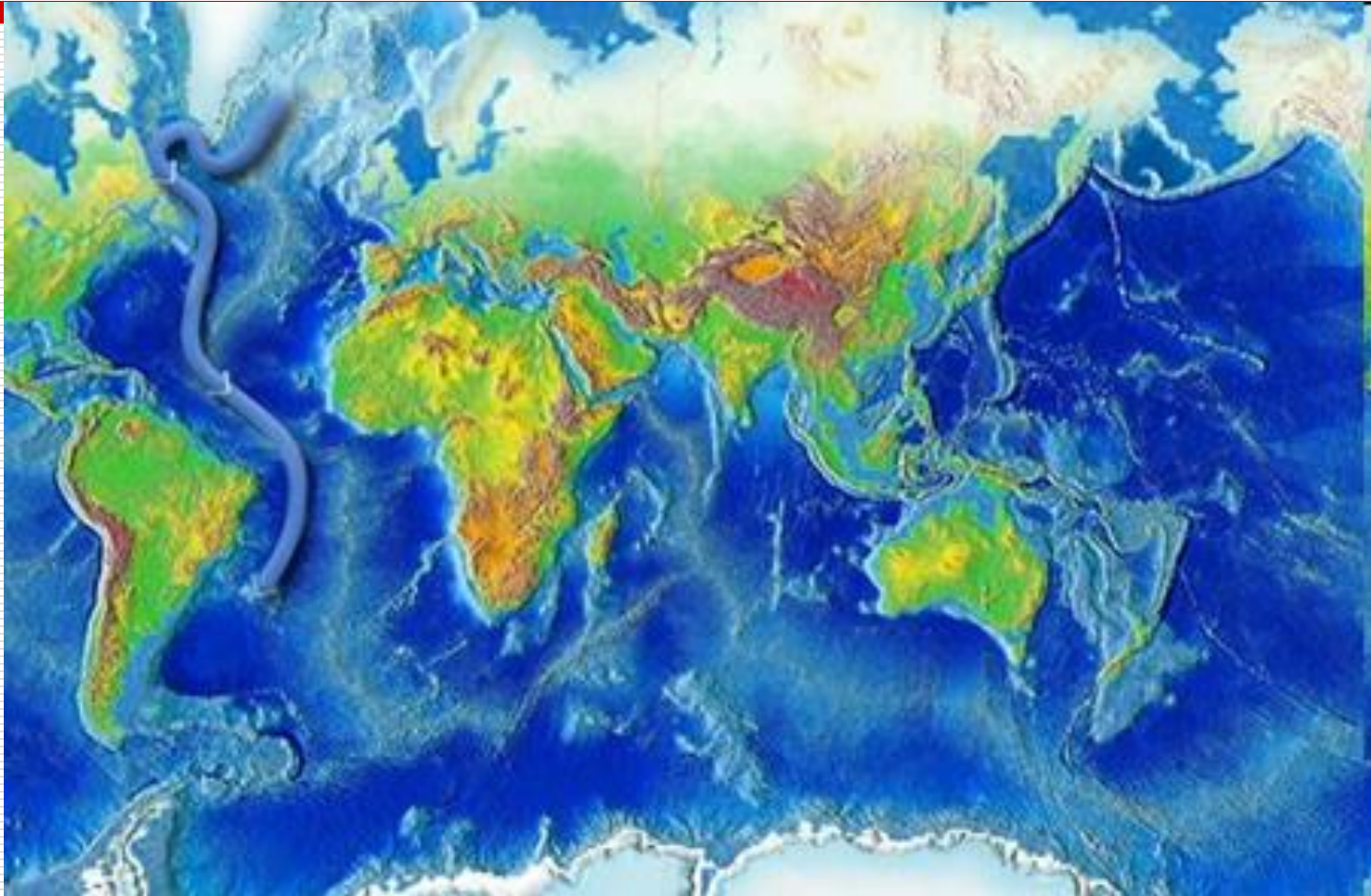
- terra → oceano → O fósforo emitido do continente através do intemperismo vai para o oceano;
- Oceano → terra → através dos pássaros e animais migratórios;
- Ilha de Naru (O. Pacífico) → o transporte do fósforo é um processo importante para a vegetação local e a química do solo;
- Amazônia → conexão biogeoquímica. A vegetação desenvolveu um modo de repartir o fósforo com a vizinhança.



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 (termohalino)<sub>14</sub>

# Cinturão Oceânico ou Termohalina



# Cinturão Oceânico ou Termohalina





# Cinturão Oceânico ou Termohalina



# Cinturão Oceânico ou Termohalina



# Cinturão Oceânico ou Termohalina



# Conexões não tão ocultas oceano-atmosfera

---

## □ El Niño

- Ocorrem: Inundações e queima de florestas (África, Austrália e Am. do Sul).  
→ mudanças no comportamento dos ventos no Oceano Pacífico equatorial, o qual causam mudanças na temperatura da sup. causando ainda mais mudanças no comportamento dos ventos  
→ aquecimento das águas do Pacífico (2 a 4°C) com movimento à América do Sul.

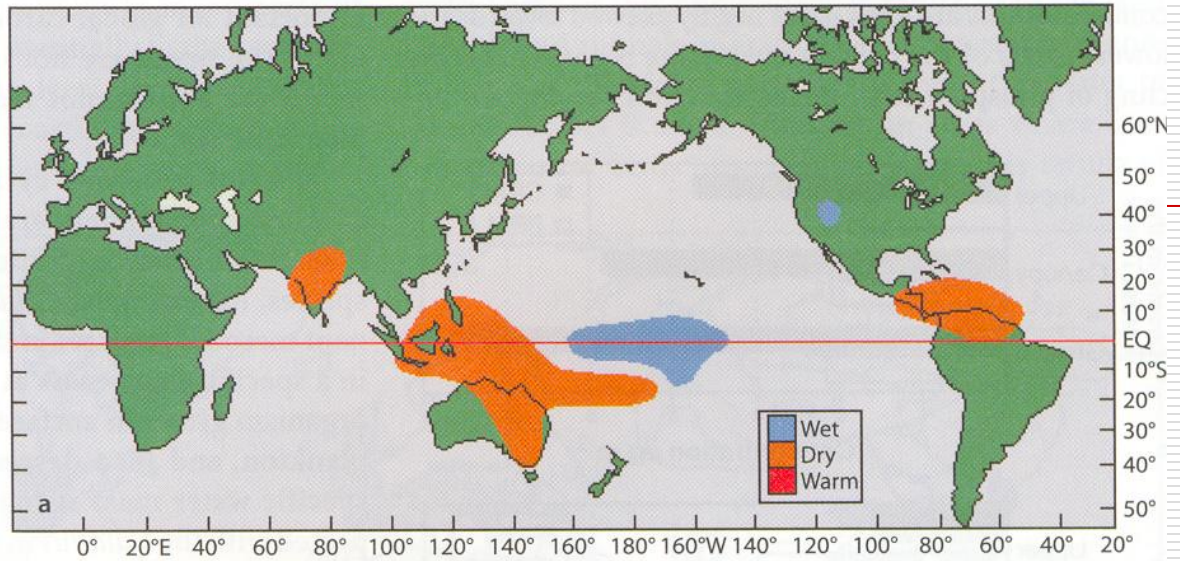
# Consequências

- ❑ Circulação global → sofre um reajuste
- Chuvas torrenciais na costa do Equador e do Peru
- Chuva no oeste americano e seca no leste
- Secas no nordeste/norte do Brasil, Austrália, Indonésia e sul da África.

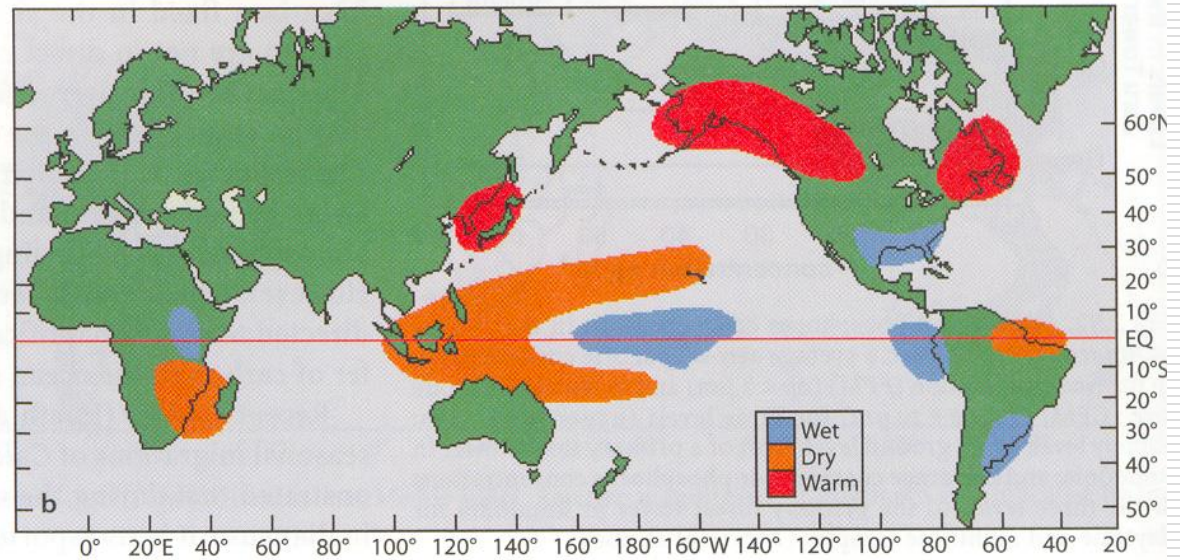
Fig. 2.53.

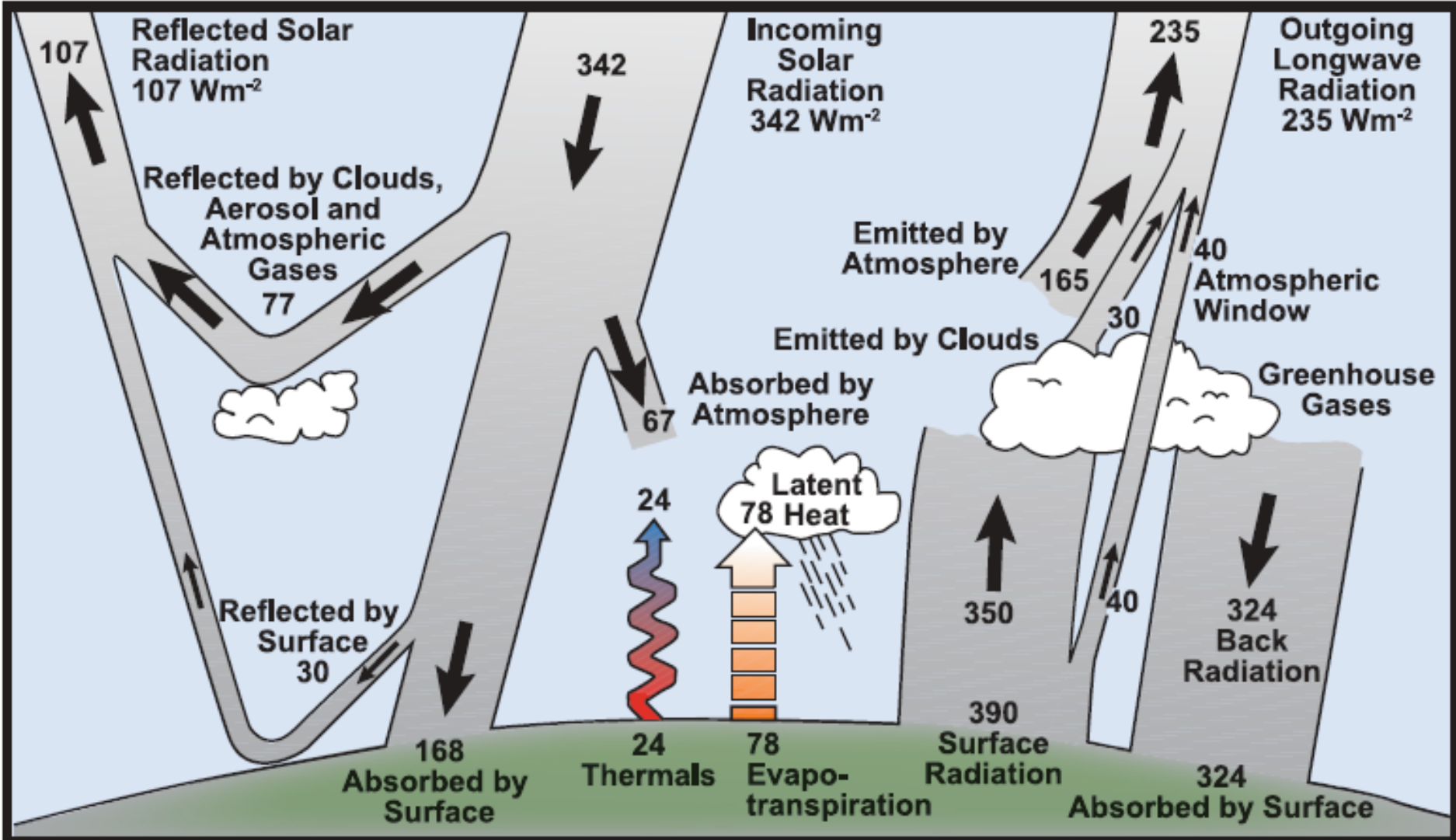
Impacts of ENSO on different regions of the world.  
a Northern hemisphere summer; b northern hemisphere winter (source: NOAA, <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/>)

Verão no HN



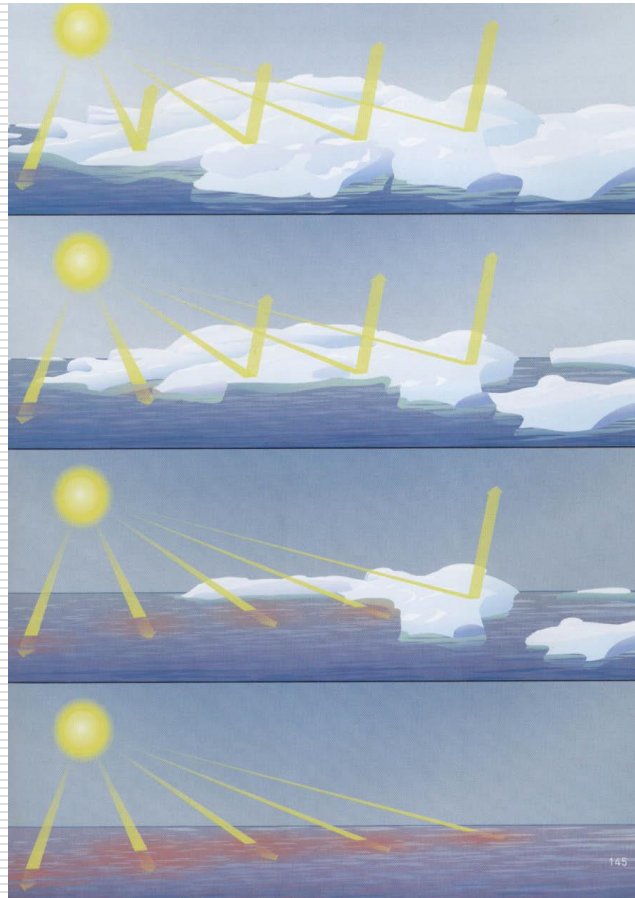
Inverno no HN





# FEEDBACK POSITIVO

---





# Gases Estufa

---

# Evidências do aquecimento

---

- ❑ Difícil separar causas antrópicas X naturais
- ❑ Efeito estufa  $\neq$  aquecimento global
- ❑ Efeito estufa = processo natural
- ❑ Aquecimento global = aumento da temperatura da superfície devido às atividades humanas

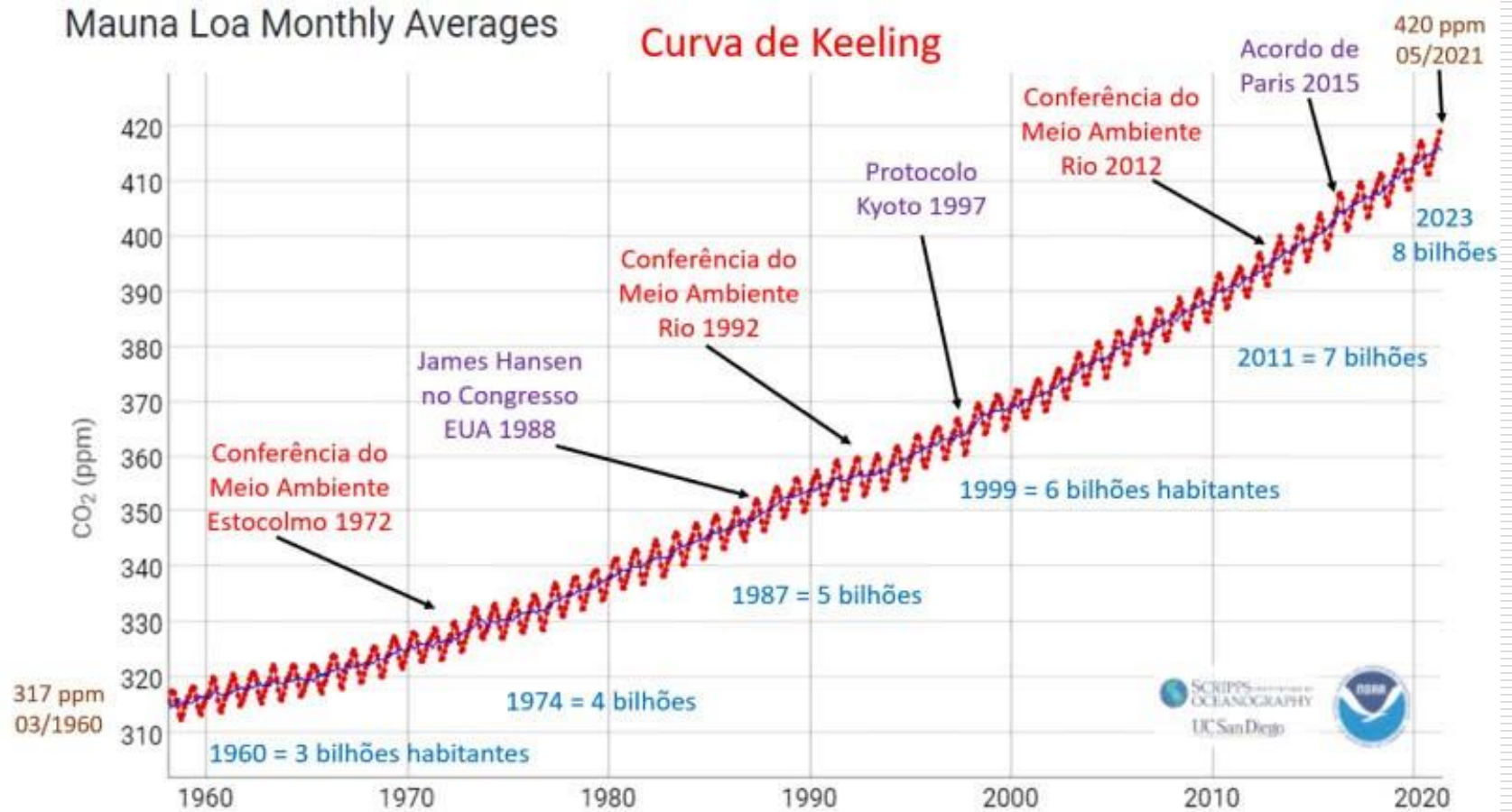
# Situação atual

---

- ❑ Estamos no meio de um curto período interglacial
- ❑ Deveríamos estar esfriando – indo para uma nova idade do gelo
- ❑ Holoceno (iniciou há 11 mil anos) → Antropoceno (Paul Crutzen)



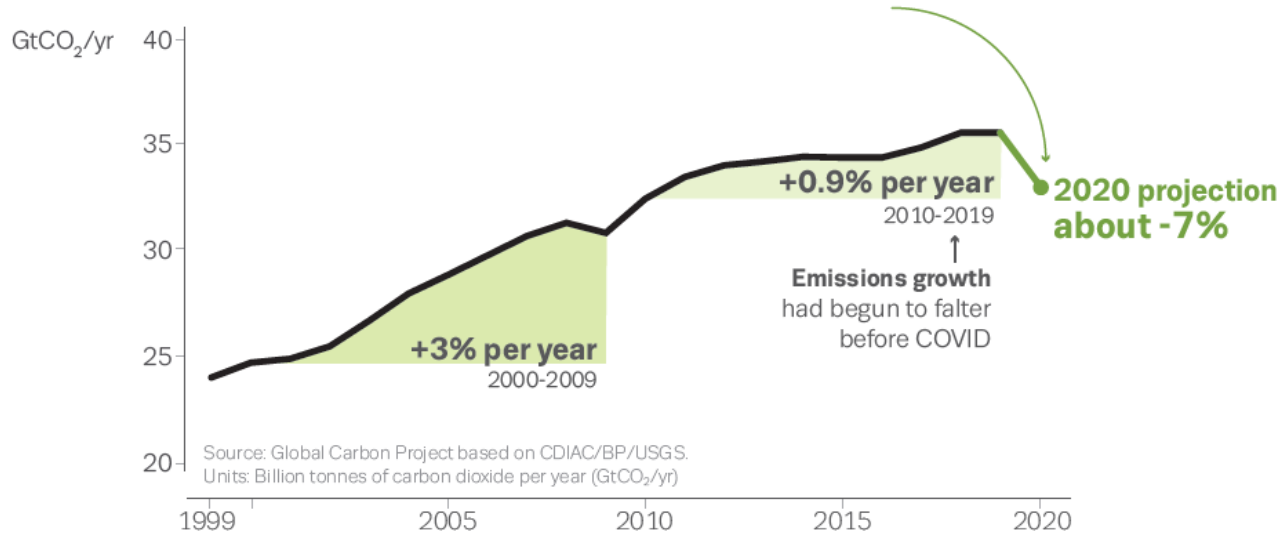
# Curva de Keeling



# Global Carbon Budget 2020

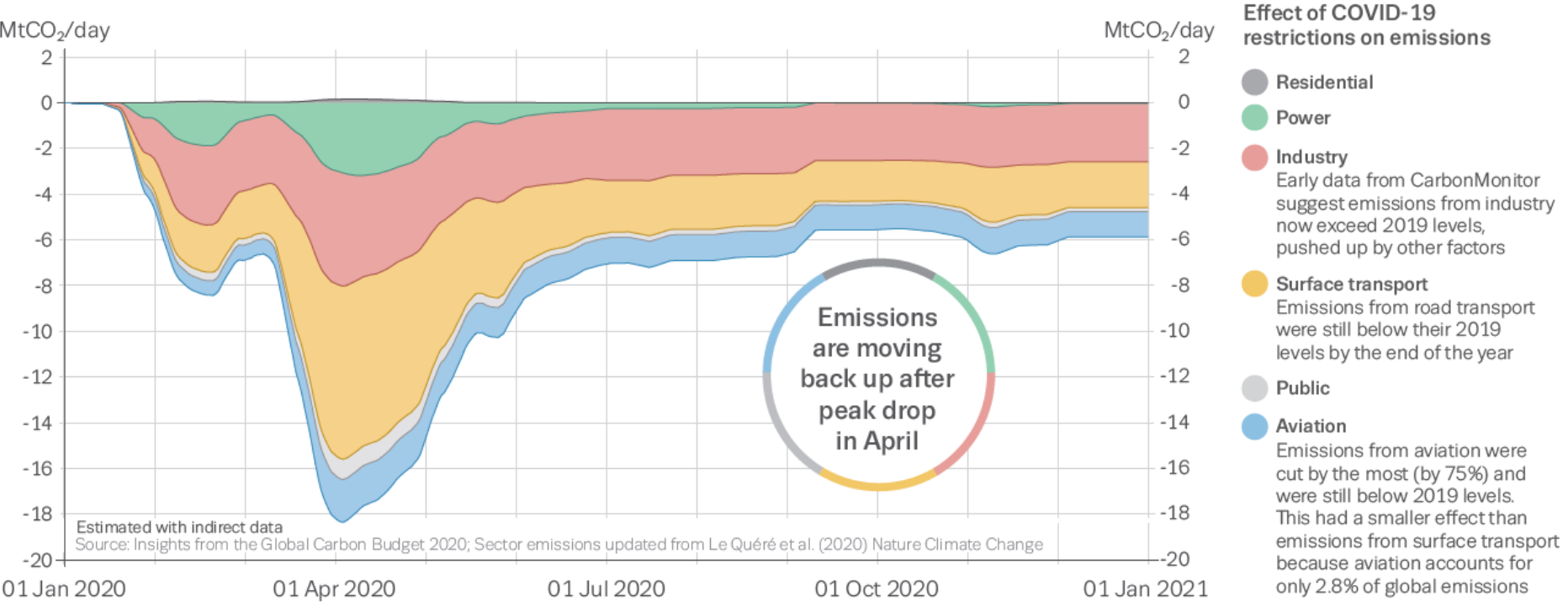
COVID lockdown causes record decrease in CO<sub>2</sub> emissions for 2020

2020 fossil emissions decrease of 2.4 billion tonnes is largest ever recorded

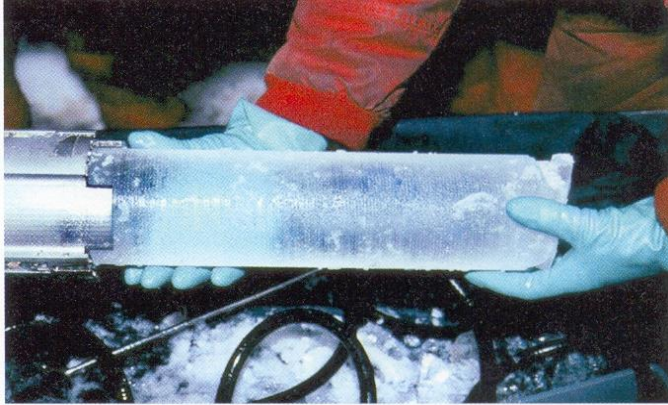


**CO<sub>2</sub> emissions**  
cuts of 1 to 2 billion tonnes are needed each year between 2020 and 2030 to limit climate change in line with Paris Agreement goals

# Emissions from road transport cause the largest share of the global 2020 decrease

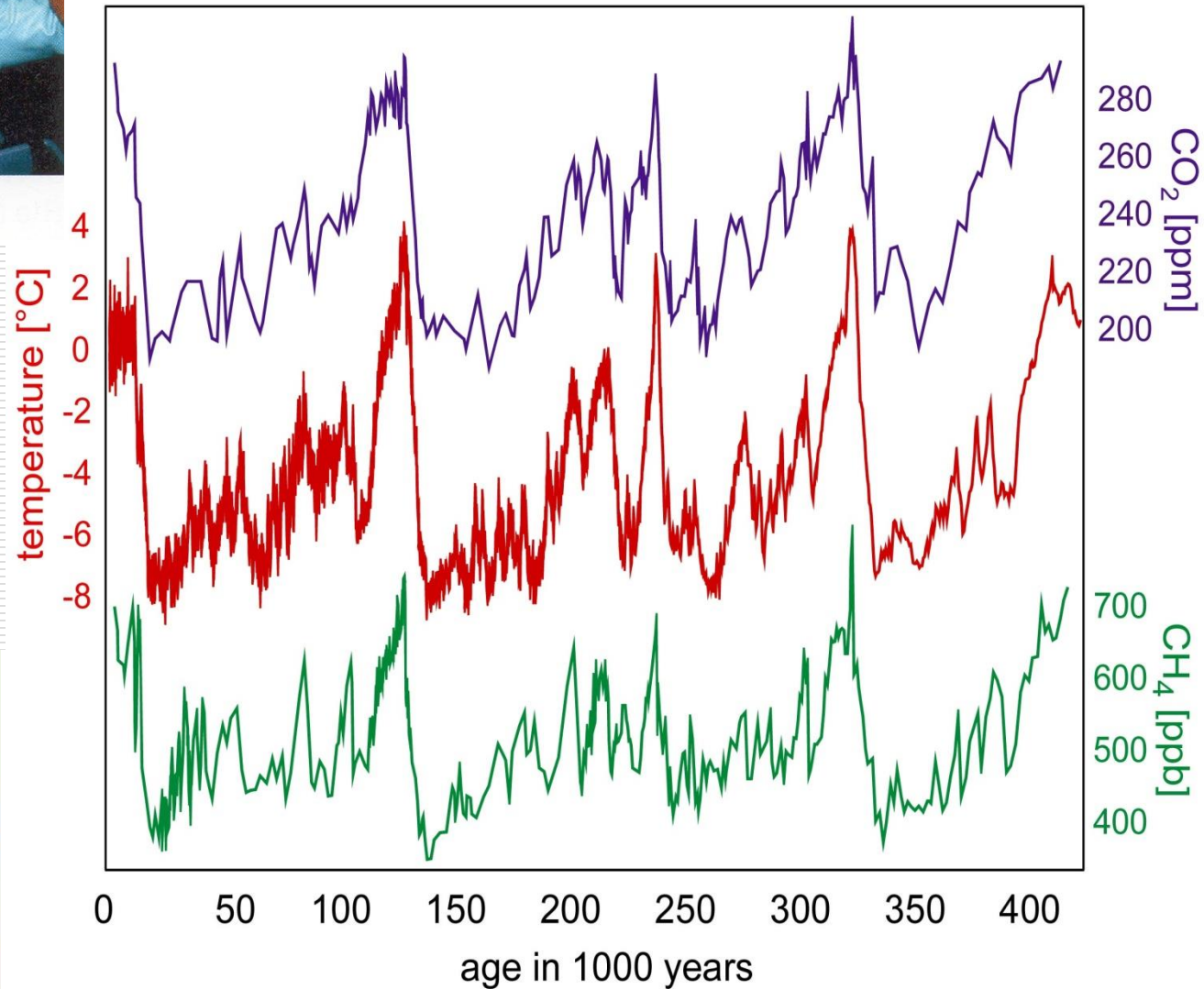


# Vostok (Antarctica): 4 glacial cycles



GLACIOLOGIST REMOVING AN ICE CORE, ANTARCTICA, 1993

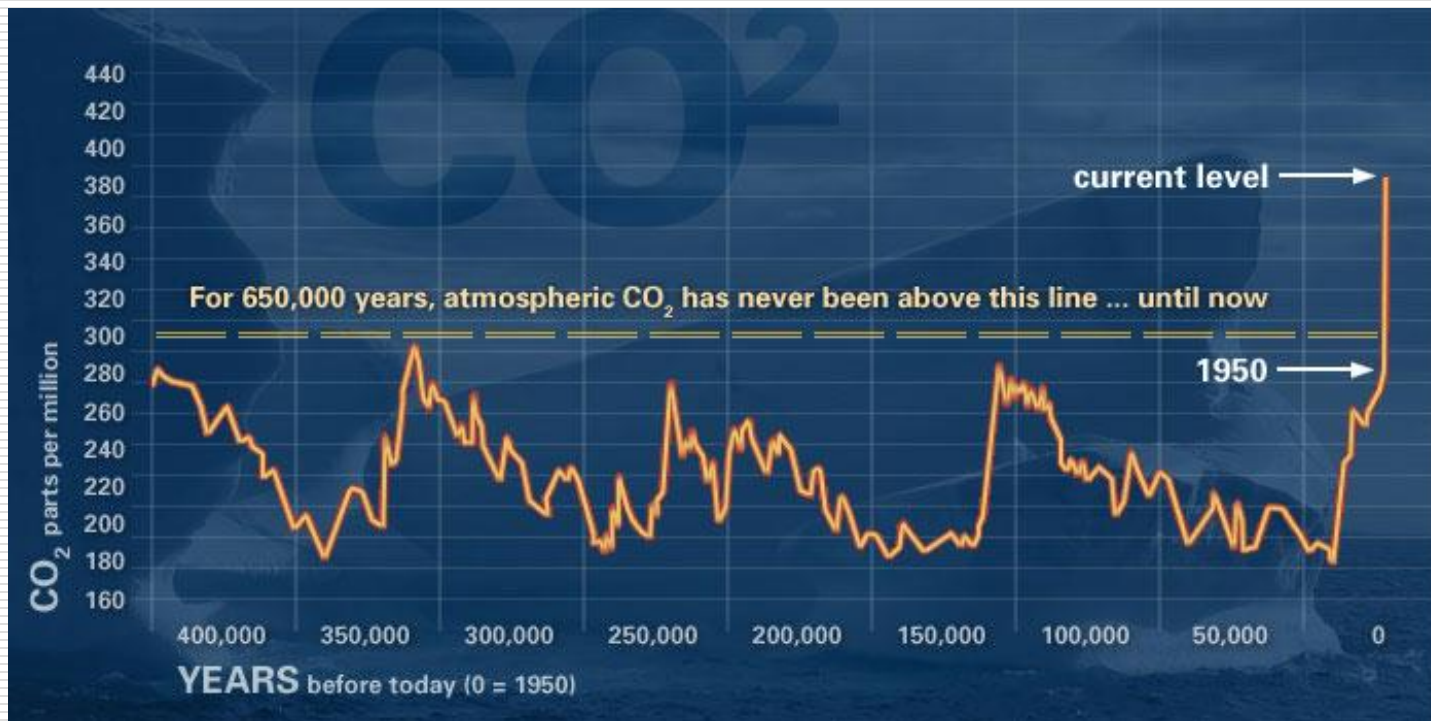
In: Uma verdade inconveniente, 2007



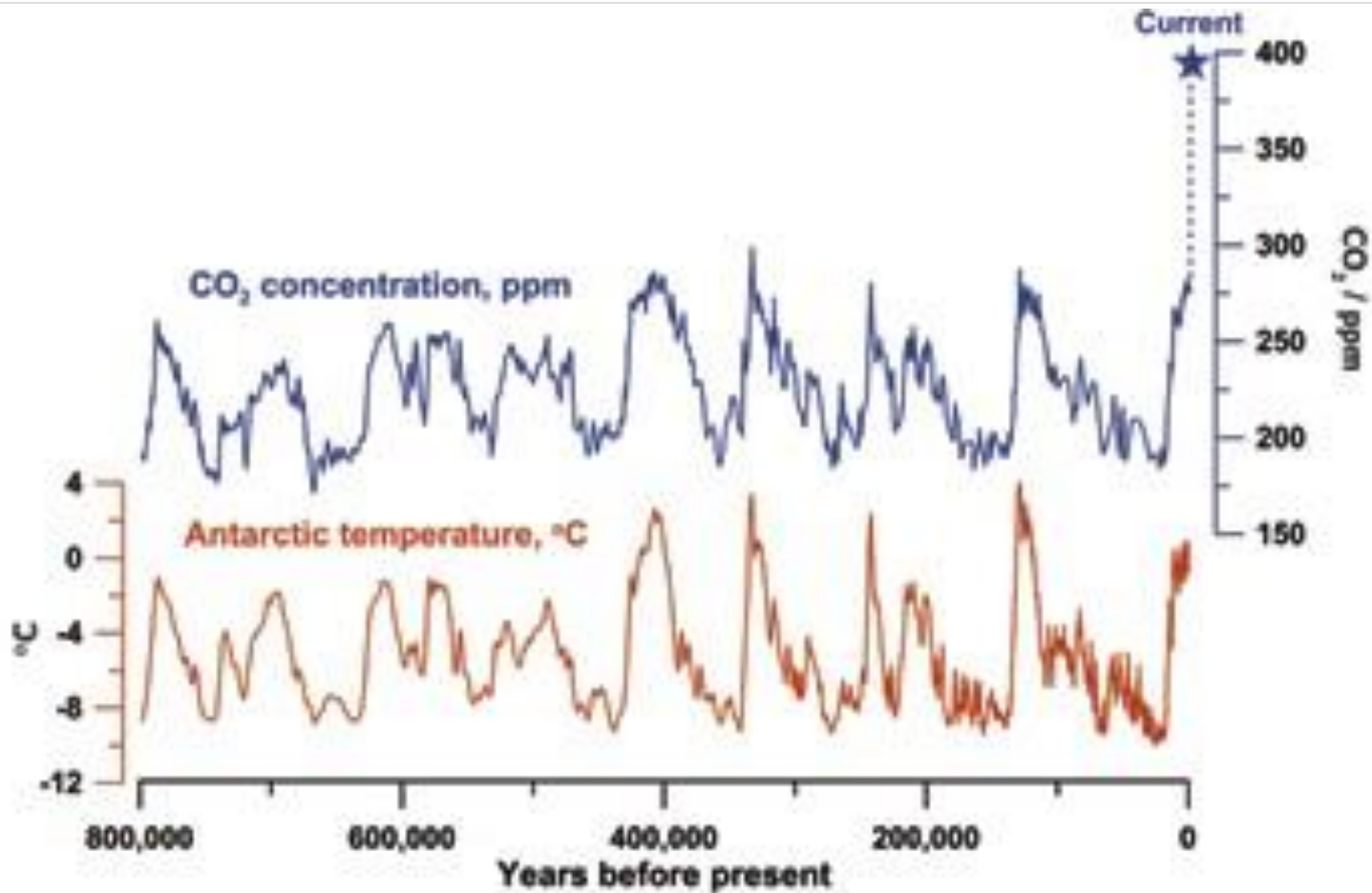
NSF, 2008



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

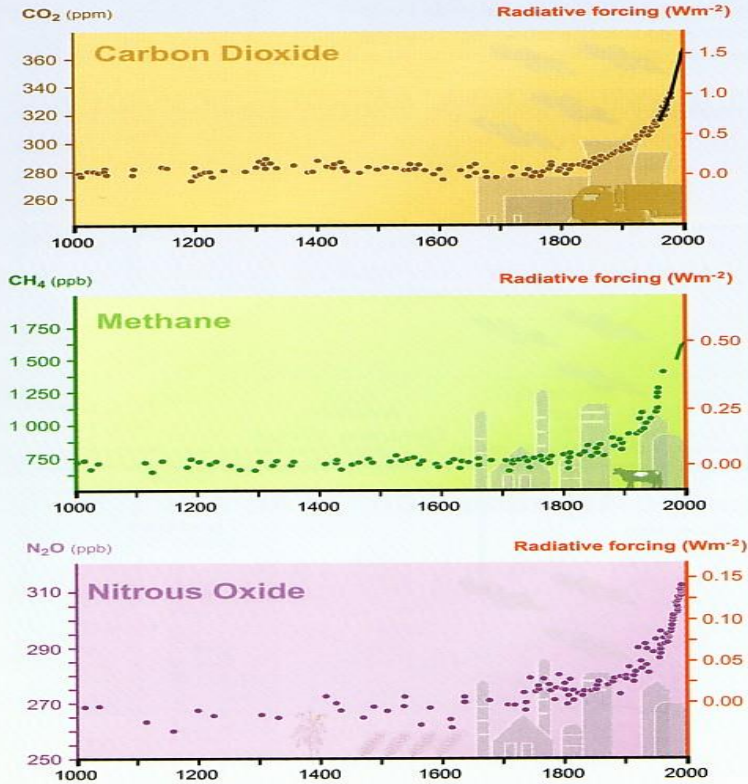




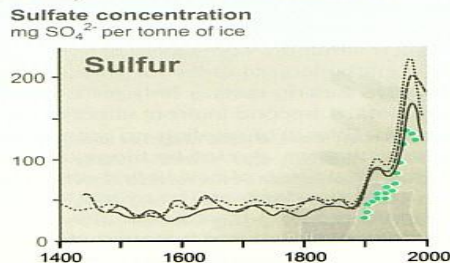


Indicators of the human influence on the atmosphere during the industrial era

Global atmospheric concentrations of three well-mixed greenhouse gases



Sulfate aerosols deposited in Greenland ice



$SO_2$  emissions from United States and Europe ( $Mt S yr^{-1}$ )

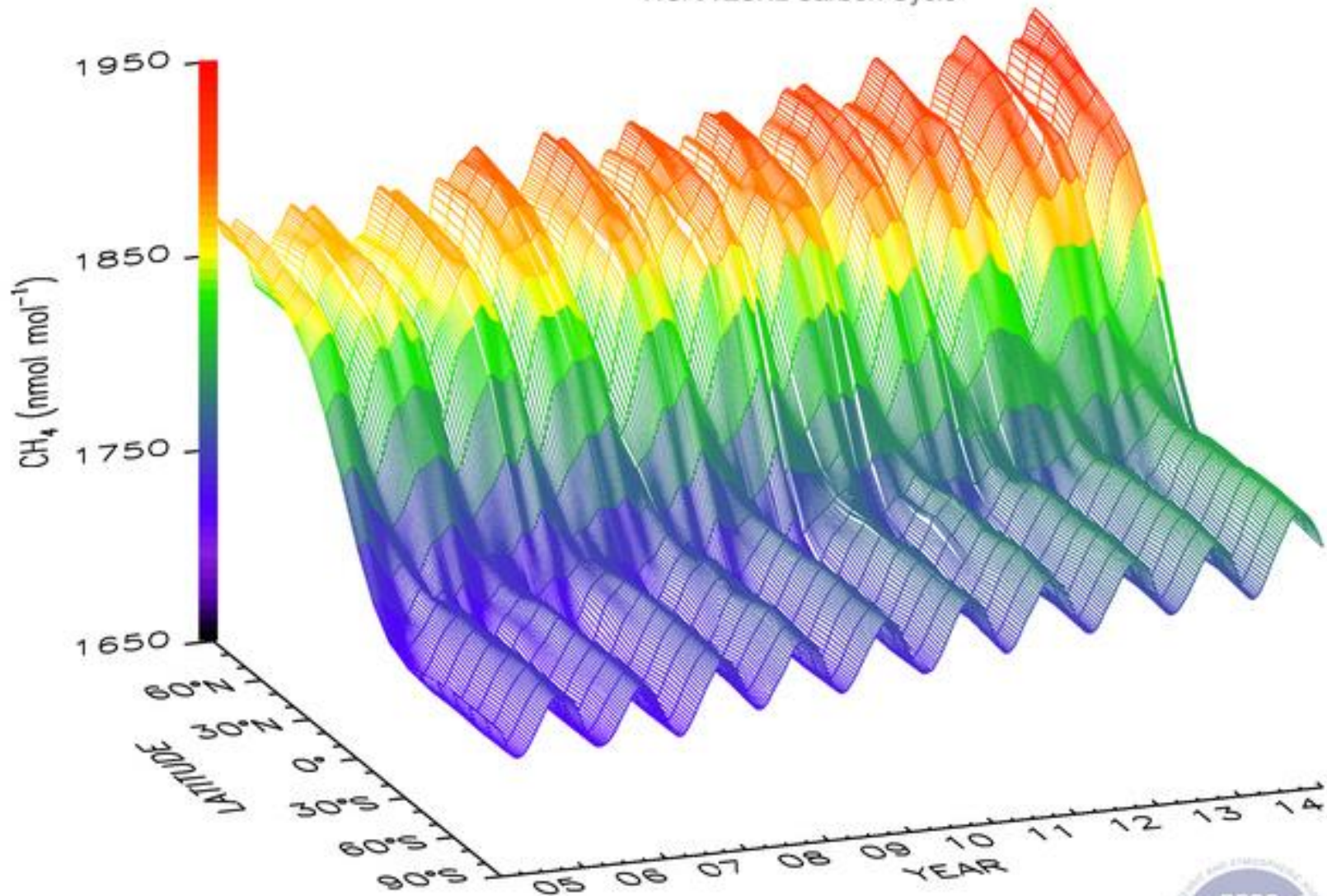
Figure 2-1: Records of past changes in atmospheric composition over the last millennium demonstrate the rapid rise in greenhouse gases and sulfate aerosols that is attributable primarily to industrial growth since 1750. The top three panels show increasing atmospheric concentrations of carbon dioxide ( $CO_2$ ), methane ( $CH_4$ ), and nitrous oxide ( $N_2O$ ) 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 ( $SO_2$ ) 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  $SO_2$  emissions from the U.S. and Europe (shown as symbols), and both show a decline in recent decades. Sulfate aerosols produce negative radiative forcing.

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

A concentração atmosférica dos gases estufa ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) está aumentando em resposta às atividades humanas

# Global Distribution of Atmospheric Methane

NOAA ESRL Carbon Cycle



Three-dimensional representation of the latitudinal distribution of atmospheric methane in the marine boundary layer. Data from the Carbon Cycle cooperative air sampling network were used. The surface represents data smoothed in time and latitude. Contact: Dr. Ed Dlugokencky, NOAA ESRL Carbon Cycle, Boulder, Colorado, (303) 497-6228, ed.dlugokencky@noaa.gov, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/>.



May 2015

# *Limites Climáticos "Perigosos"*

- 0,6 C Branqueamento de corais

---

- 0,6 C Perda de gelo da Antártica Ocidental
- 0,7 C Desaparecimento da geleira do Kilimanjaro
- 1,0 C Desaparecimento das geleiras dos Andes tropicais
- > 1,0 C Extinção de espécies (fauna e flora)
- 1,6 C Início do derretimento da geleira da Groelândia
- 3-4 C Colapso da floresta Amazônica
- 4 C Colapso da corrente termohalina

# Consequências

---

- ❑ No mundo: 200 milhões de pessoas vivem na costa em zona de risco
- ❑ Na África do Sul: 60 milhões vivem na costa
- ❑ Entre 30 à 200 milhões de pessoas passarão fome se a temperatura aumentar de 2 to 3°C
- ❑ 250 à 550 milhões com fome: com aumento de 3°C
- ❑ Entre 0.7 à 4.4 bilhões de pessoas terão corte de água com o aumento de 2°C

# ENERGIA

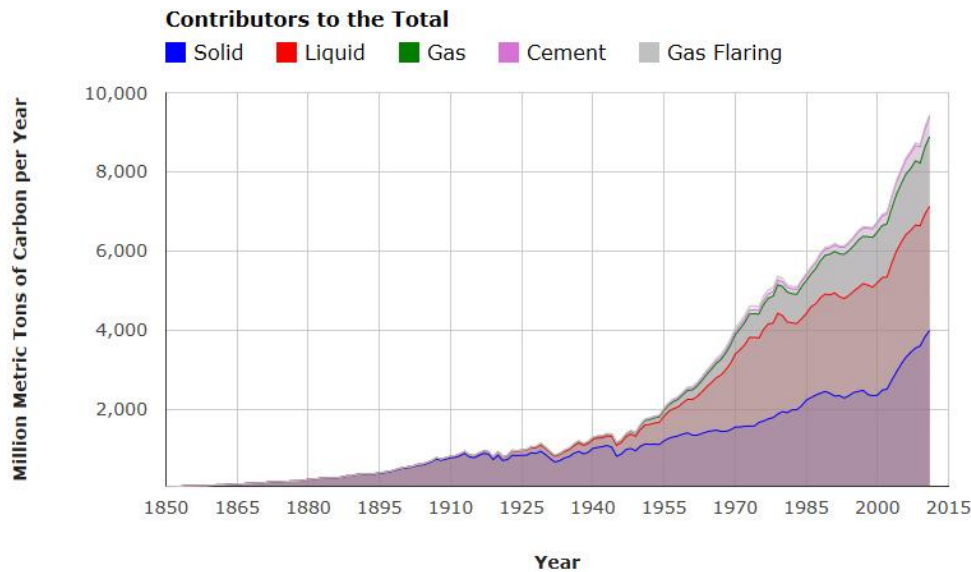
---



# Emissões Antrópicas de CO<sub>2</sub>



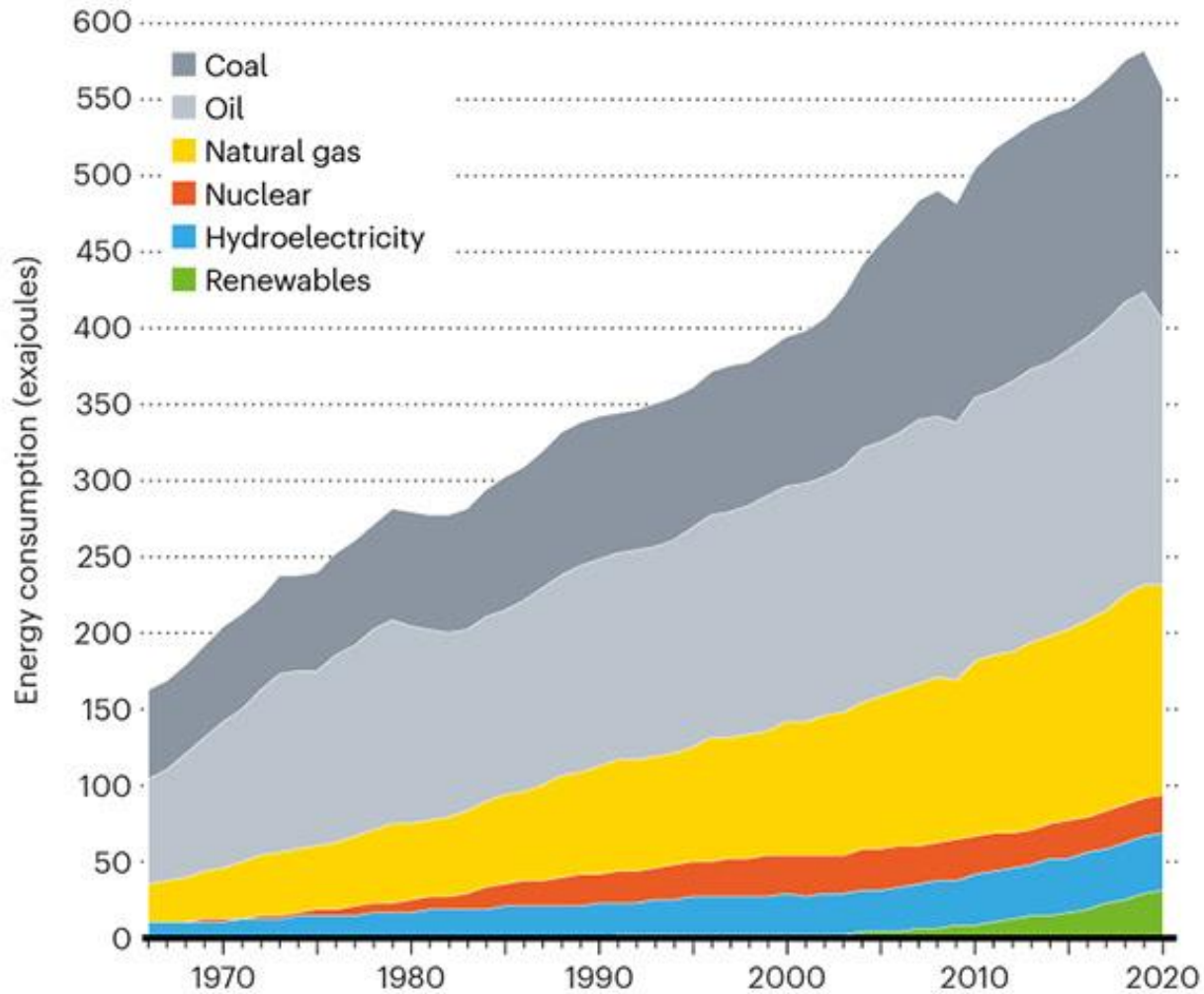
<https://ograndeabc.com.br/2020/10/17/empresas-do-polo-petroquimico-do-abc-promovem-nova-doacao-de-cestas-basicas-a-comunidade/>



Source: Boden, T.A., G. Marland, and R. J. Andres. 2015. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/00001\_V2015.

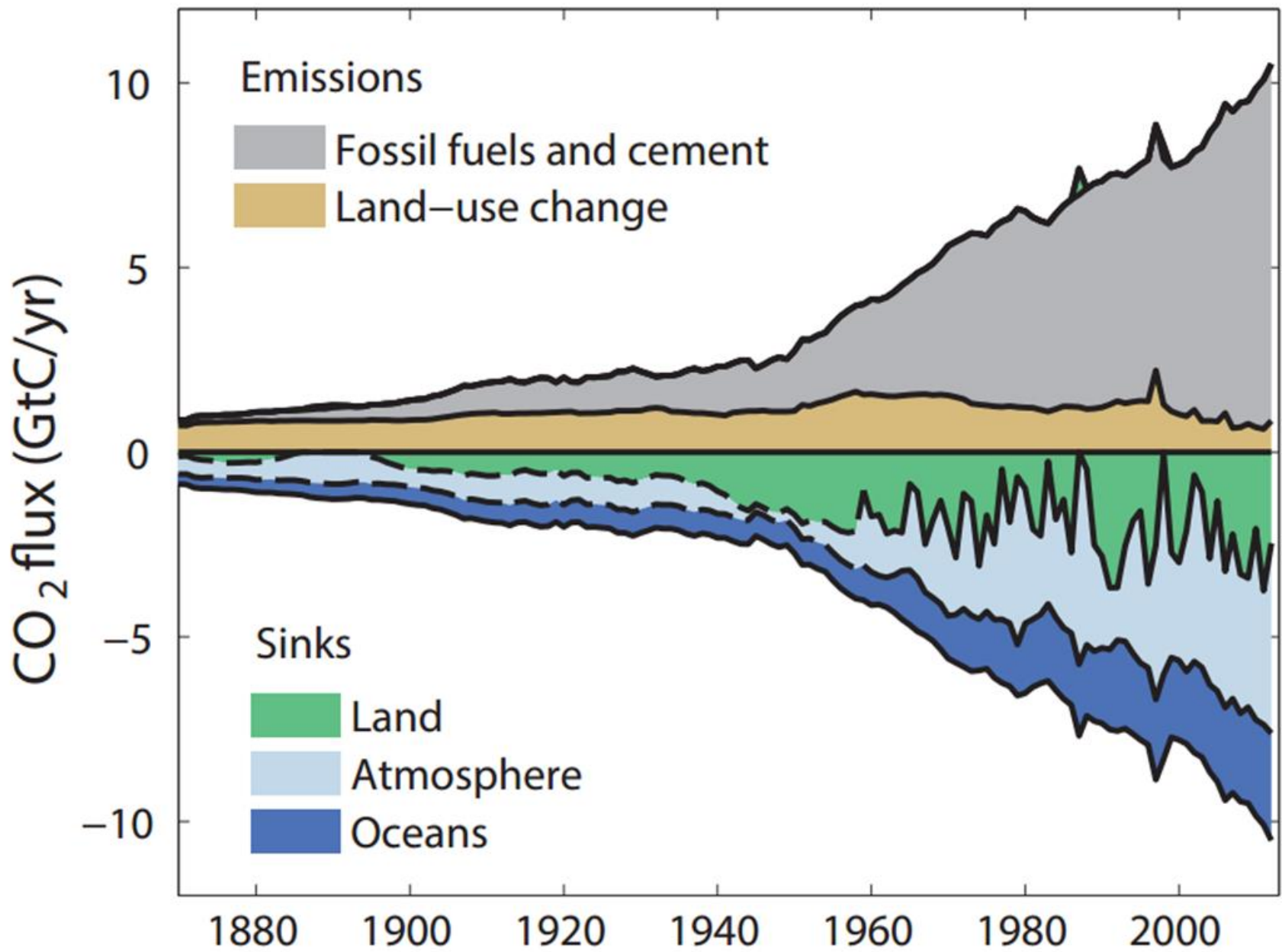
# FUELLING THE WORLD

Thanks to both government incentives and falling prices, renewables such as wind and solar are expanding quickly. But backing out of existing fossil fuels will be difficult.

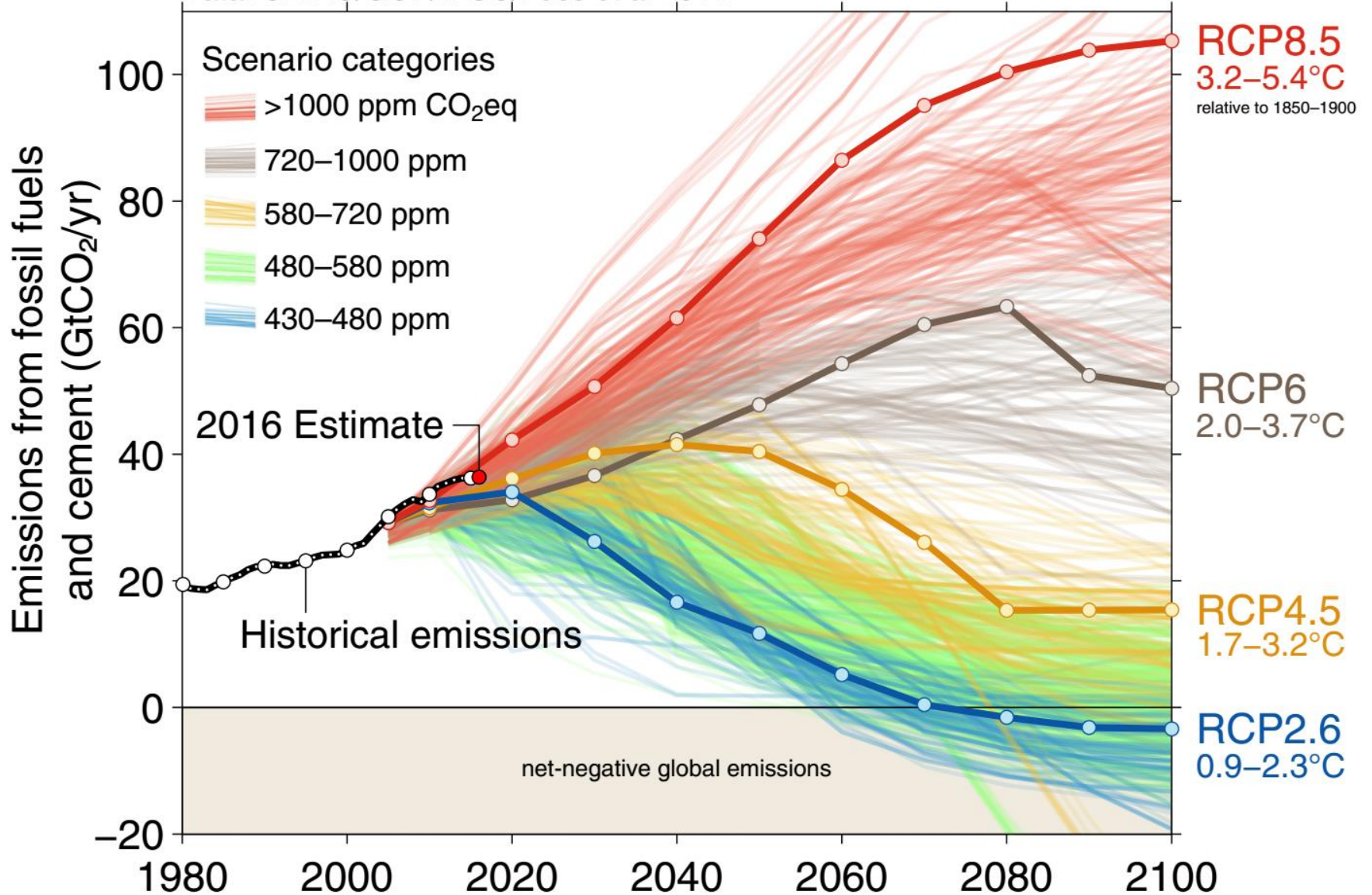


©nature





Data: CDIAC/GCP/IPCC/Fuss et al 2014



# Energia nuclear é inevitável para salvar clima, diz Nobel

Sete laureados reunidos na Alemanha pedem ação imediata contra gases-estufa

**'Não deveríamos jogar roleta com o planeta', diz Mario Molina, que elucidou papel de gás industrial no buraco da camada de ozônio**

MARCELO LEITE  
ENVIADO ESPECIAL A LINDAU (ALEMANHA)

Há poucos lugares no mundo, além de Estocolmo, onde se podem juntar numa mesa sete prêmios Nobel de Química. Aconteceu ontem de manhã numa cidadezinha do sul da Alemanha, durante a 59ª Reunião de Prêmios Nobel em Lindau, diante de seis centenas de jovens pesquisadores.

Talvez ainda mais raro, todos concordaram: a mudança do clima é criada pelo homem e por ele tem de ser resolvida. Com urgência. E a maioria acha que talvez não dê para abrir mão da energia nuclear.

Se Nobel é sinônimo de craque em ciência, esse grupo deveria bastar para convencer de que o aquecimento global não é invenção de ambientalistas: Gerhard Ertl, alemão (2007); Robert Grubbs, americano (2005); Walter Kohn, austríaco (1988); Harold Kroto, britânico (1996); Rudolph Marcus, canadense (1992); Mario Molina, mexicano (1995); e Sherwood Rowland, americano (1995).



O mexicano Mario Molina, que desvendou o buraco no ozônio

Kal Fösterling - 01.Jun.09/Efe

preciso cortar emissões pela metade nas próximas décadas.

Da plateia veio a pergunta que não queria calar, sobretudo quando por haver nela 45 pesquisadores indianos e 27 chineses: é inevitável diminuir o crescimento da população ou do nível de vida no planeta para conter a mudança climática?

Mais uma vez foi Molina quem falou pela maioria: "Inevitável, não". Para ele, a humanidade já dispõe das tecnologias para enfrentar o problema. "Só é um desafio gigantesco."

Na primeira rodada da mesa, cada um havia listado contribuições que a química poderia dar para ajudar a atacar o desafio. Muitas: baterias mais eficientes, novos materiais para abaixar o custo e melhorar o desempenho de painéis fotovoltaicos e de turbinas de vento, processos para retirar CO<sub>2</sub> da atmosfera e armazená-lo.

Resvalando da química para a física, a energia nuclear também foi lembrada. A fusão de átomos para obter energia, que três décadas atrás era encarada como a grande solução, permanece ainda como promessa —para daqui a 50 ou cem anos.

Já a fissão (quebrar núcleos atômicos), base das atuais usinas nucleares, tem um papel mais ou menos garantido, reconhecem os químicos.



# Eventos climáticos

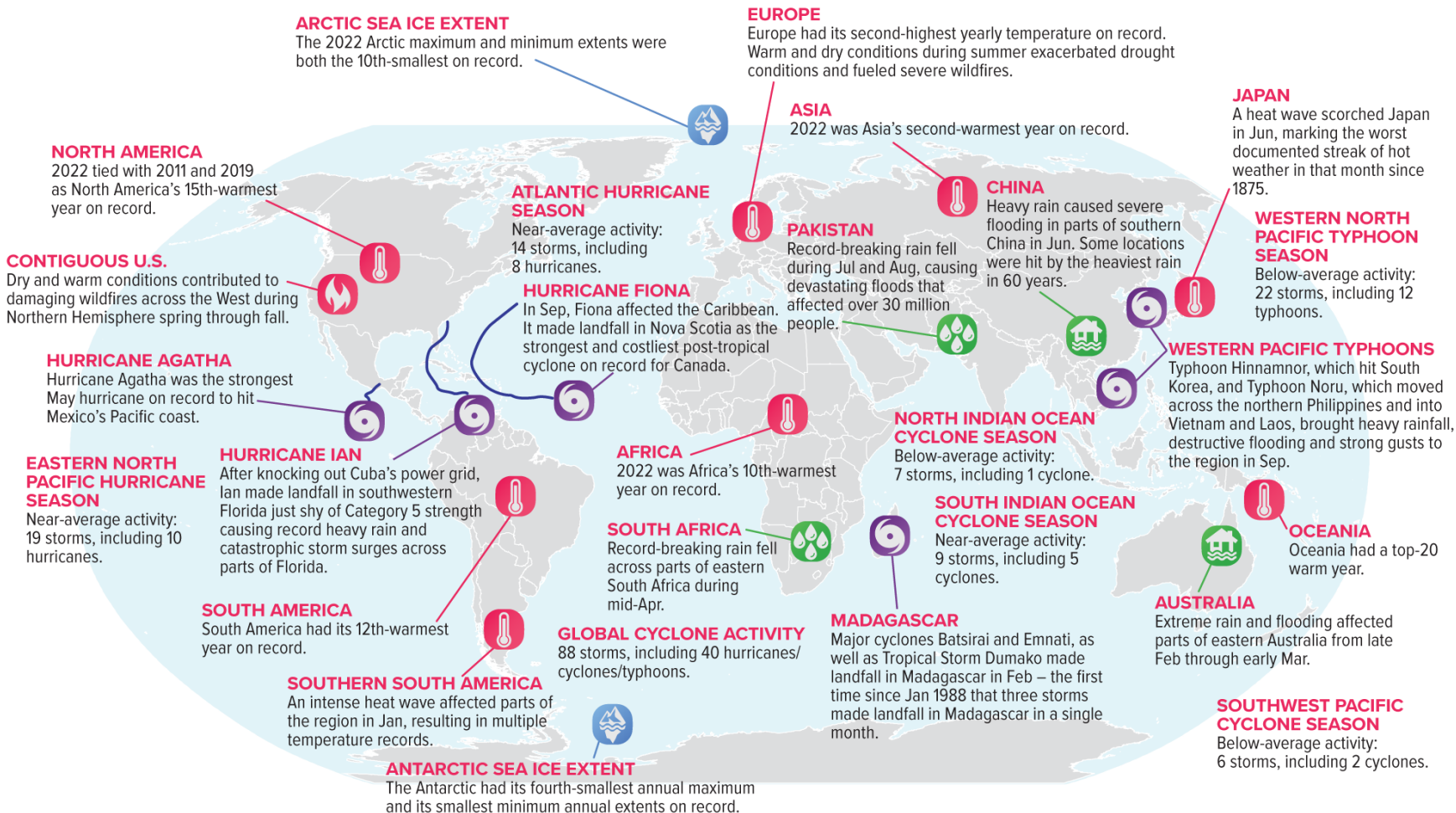
---

# Selected Significant Climate Anomalies and Events in 2022



## GLOBAL AVERAGE TEMPERATURE

The Jan-Dec 2022 average global surface temperature was the sixth highest since global 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: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/>

# Dresden, August 2002



source: Spiegel Nr. 7 2003; Quarterly report of the IPCC special topic July 2003

# TEMPESTADES

Evaporação mais rápida



**aumento da umidade no ar**

Rio Amazonas, 2005



Furacão Mitch (Honduras – 1998)



Argentina's Upsala Glacier was once the largest in South America, but it is now disappearing at a rate of 200 m per year.





Arctic Sea Ice  
Minimum Extent  
4.72 Million km<sup>2</sup>  
September 16, 2021

Yellow line: 1981-2010 Avg Min



<https://svs.gsfc.nasa.gov/4435>

---



# 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](http://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).

# Brasil

---



Mudanças climáticas poderão extinguir 10% das espécies de anfíbios da Mata Atlântica

*08 de agosto de 2018 – Revista FAPESP*

Global Change is uneven and unfair not only to humans!

## The Tale of the Disappearing Frogs of Central American Mountains



**Figure 1 | Amphibian alarm call.** The Panamanian golden frog is one of roughly 110 species of harlequin frog (*Atelopus*), many of which are dying out. Although this species still survives, its numbers have fallen significantly.

## Chytridthermal- optimum hypothesis for Batrachochytrium

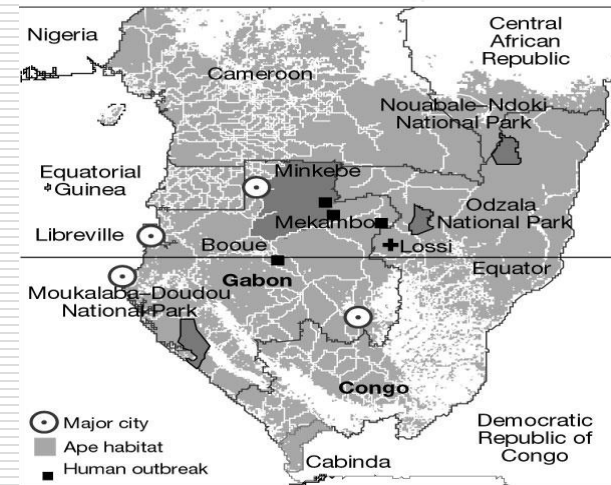
Blaustein, A. R. and A. Dobson – Nature, vol.439, pp. 143-144, January, 2006

Pounds, J. A. et al. Nature. Vol. 439, pp.161-167. 2006

## Catastrophic ape decline in western equatorial Africa



W. WALLAUER  
Saved? An international declaration aims to secure the future of wild great apes by 2015.



Walsh et al, 2003

# “O alerta da rã dourada”

“ Primeira vítima documentada do aquecimento global.”

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



# Ecosistemas



**Desertos na Amazônia**



**A elevação dos mares  
pode inundar o último  
refúgio dos  
tigres-de-bengala  
na África.**



**Extinção de espécies**



**Muitos animais terão  
que migrar**

## 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.



# Amazônia

---



Por **Elton Alisson**, da Agência Fapesp

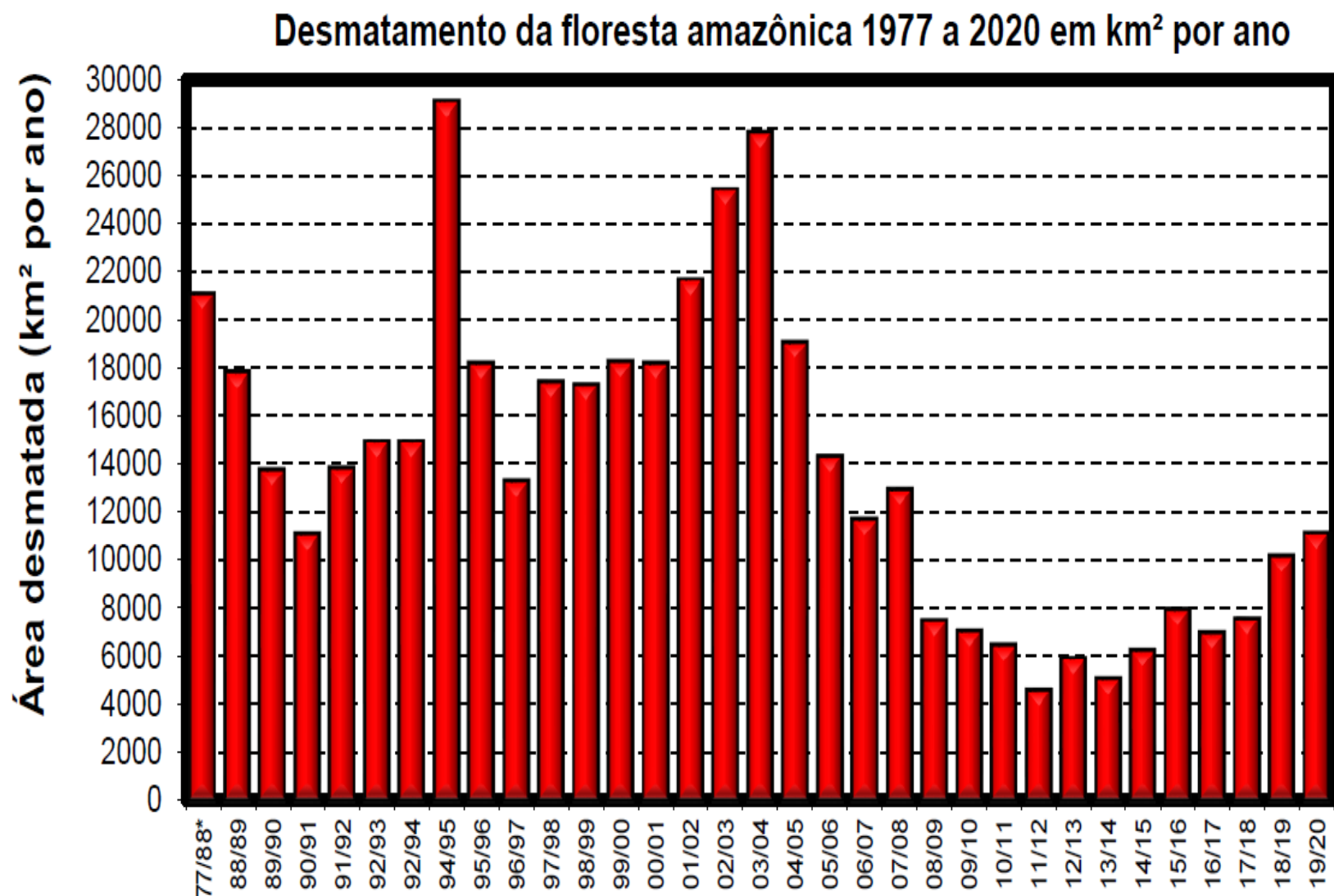
access\_time 22 fev 2018,

# Poeira da África

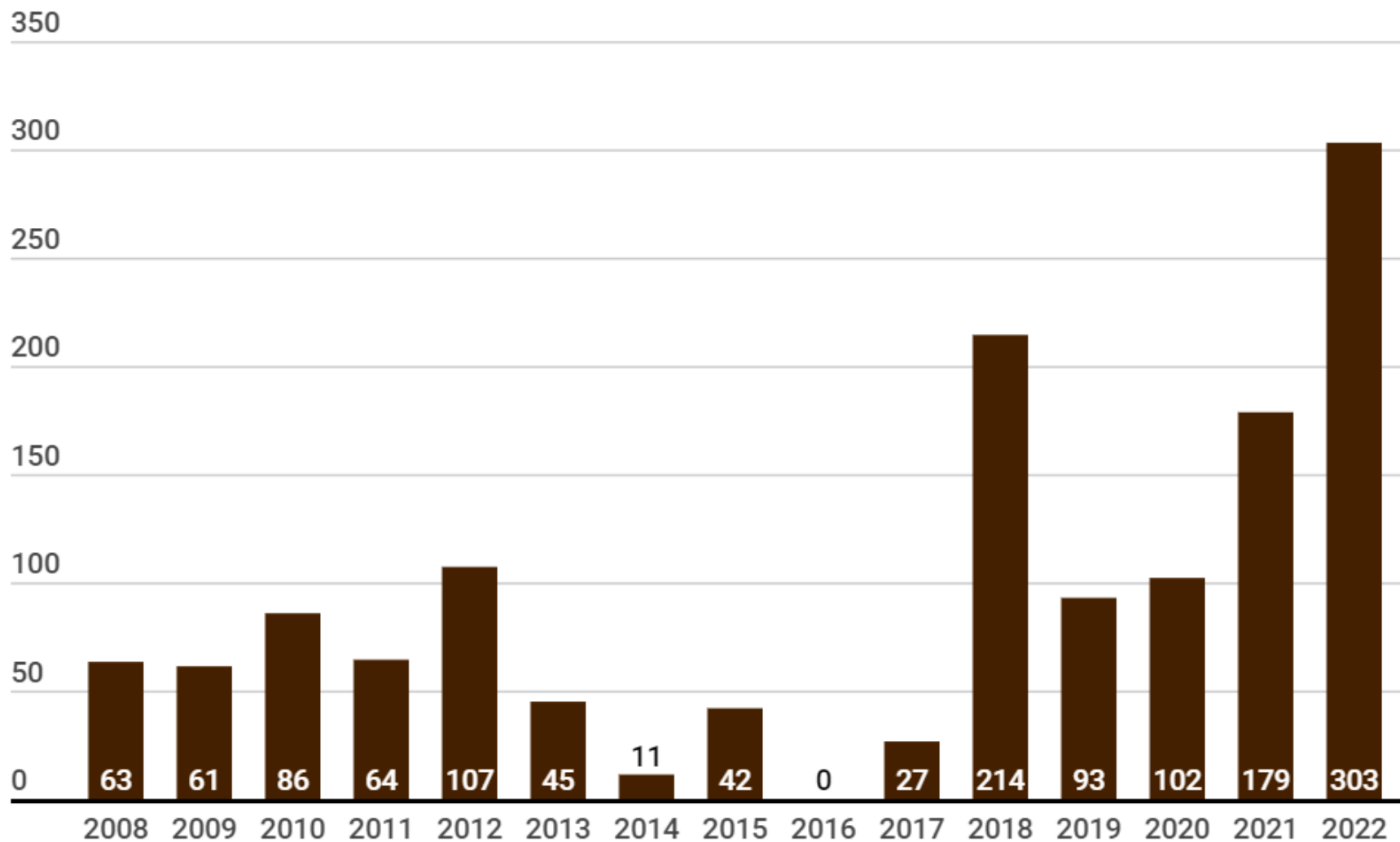
---

- 230 Tg saem da África
- 120 Tg são depositados no Oceano Atlântico
- 40 Tg chegam na Amazônia
- 30 Tg retornam à África e Europa

Figura 1.3 - Série temporal da taxa anual de desmatamento na Amazônia desde a 1977 até 2020 (extraído de INPE PRODES, 2020).



## Desmatamento na Amazônia Legal (km<sup>2</sup>) em fevereiro



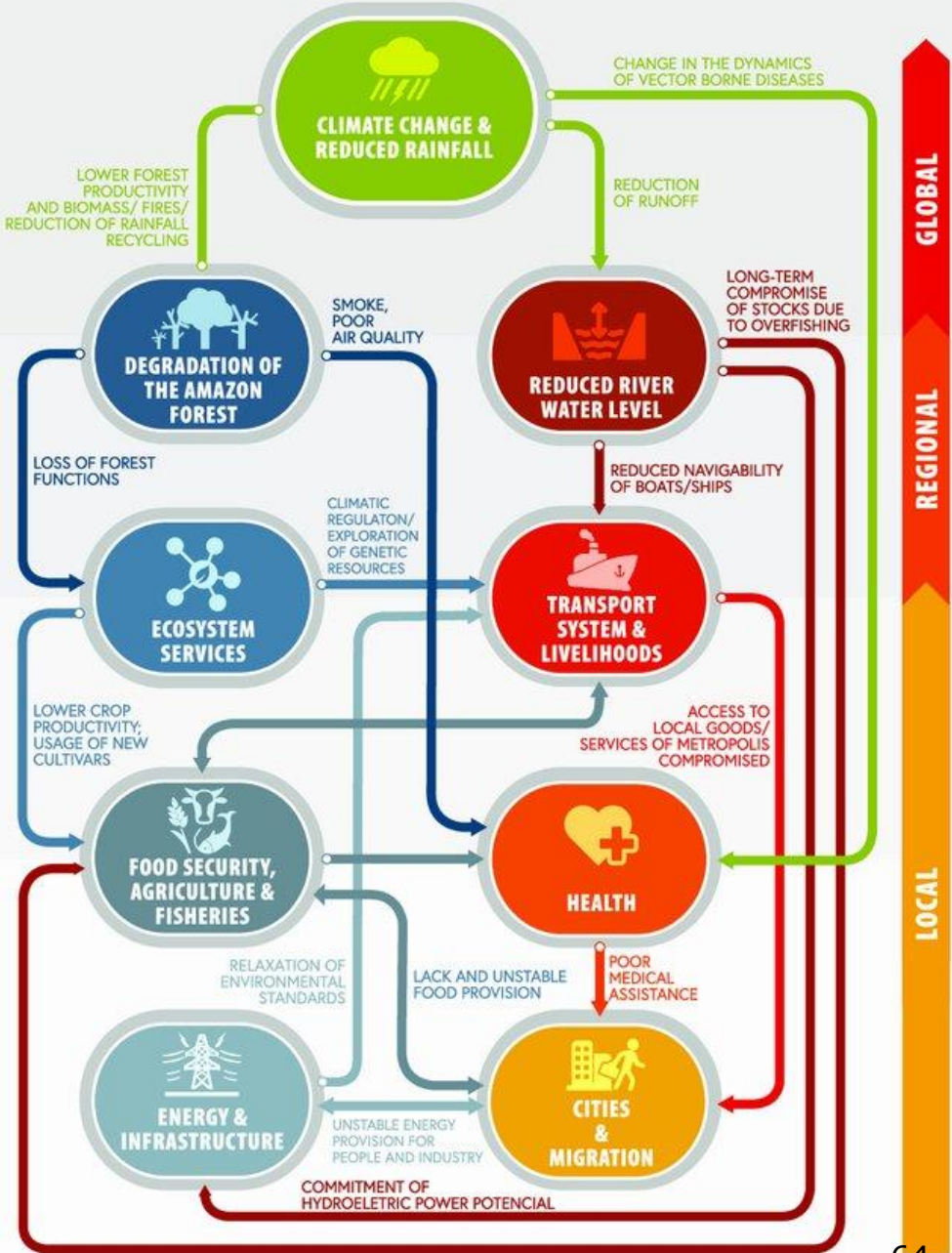
Fonte: Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) do Imazon

## Série histórica de focos de incêndio para cada mês de junho desde 1998

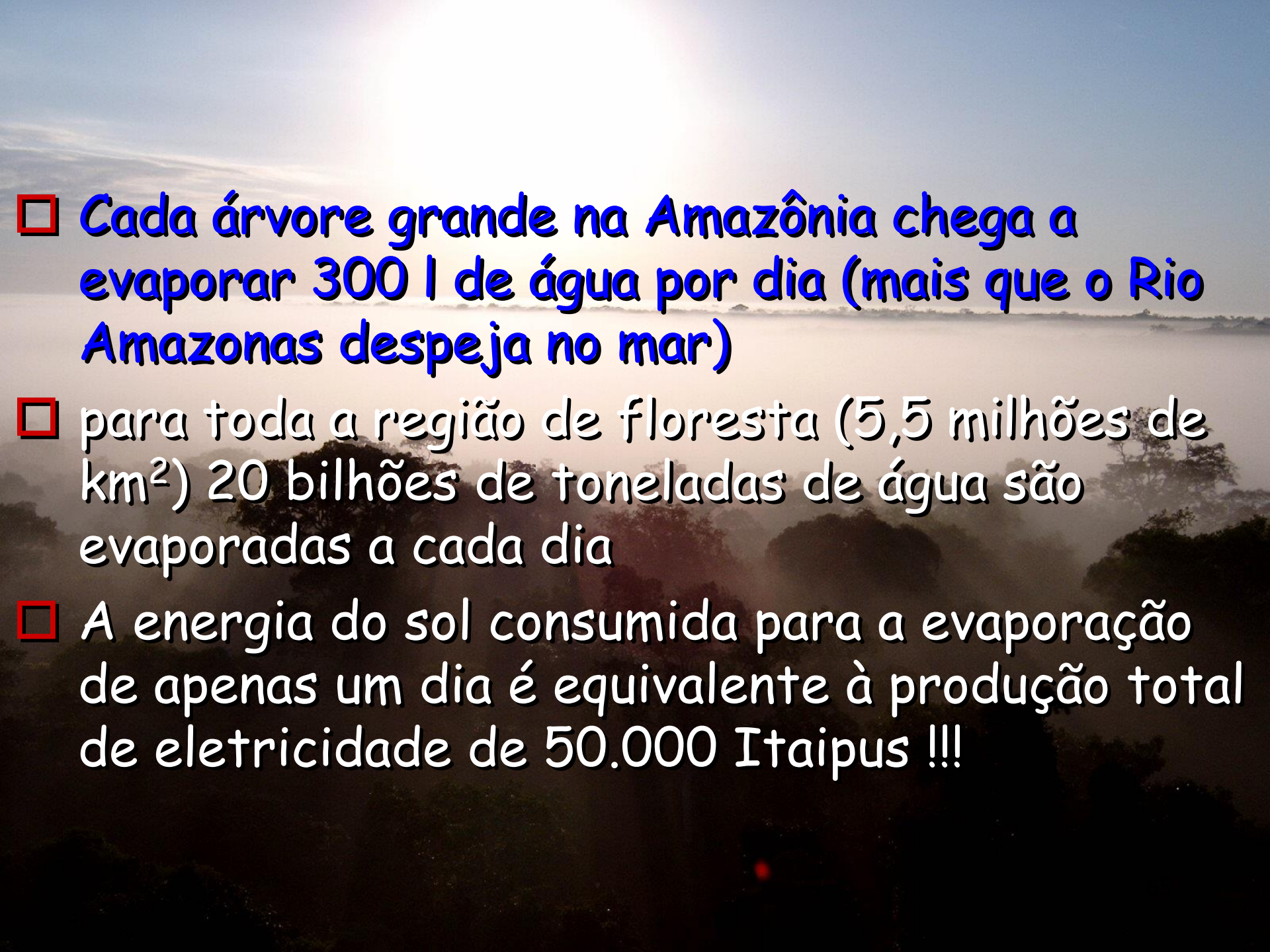


Fonte: Inpe

Causal chain of climate change, ecological degradation of the Amazon forest, and their impacts on different sectors of the region's socioeconomy.

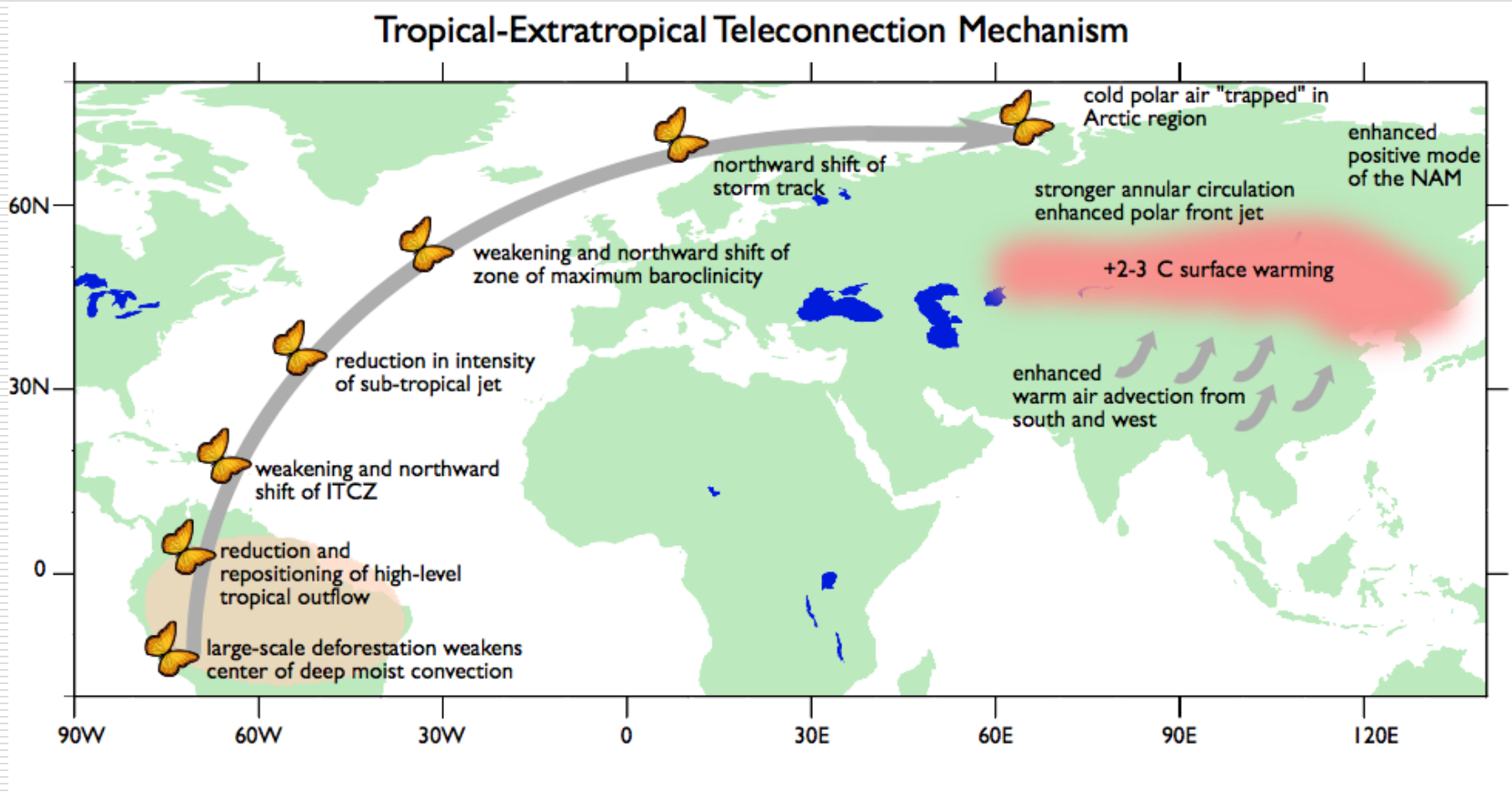


- November 2018
- Proceedings of the National Academy of Sciences
- DOI:
- 10.1073/pnas.1721770115

- 
- ❑ Cada árvore grande na Amazônia chega a evaporar 300 l de água por dia (mais que o Rio Amazonas despeja no mar)
  - ❑ para toda a região de floresta (5,5 milhões de km<sup>2</sup>) 20 bilhões de toneladas de água são evaporadas a cada dia
  - ❑ A energia do sol consumida para a evaporação de apenas um dia é equivalente à produção total de eletricidade de 50.000 Itaipus !!!



# Linking the Amazon and Tibet?



# SUPERPOPULAÇÃO

*O Mundo Sem Nós* (título original: *The World Without Us*) é um livro de caráter científico que aborda os acontecimentos que ocorreriam se os seres humanos desaparecessem da Terra. O livro é de autoria do jornalista estadunidense Alan Weisman e foi publicado pela St. Martin's Thomas Dunne Books em 2007.



- ❑ 7,6 bilhões de seres humanos → 4 vezes mais do que há 1 século
- ❑ Últimos 10 anos → 1 bilhão de pessoas a mais
- ❑ Previsão para 2050 → 9 bilhões

**ESTIMATIVA: Se todas as mulheres tiverem apenas 1 filho...**

1. 2050 → 1 bilhão a menos
2. 2075 → 3,5 bilhões de habitantes
3. 2100 → 1,6 bilhão de habitantes (nível séc XIX)

POPULATION OF CITIES WITH 10 MILLION INHABITANTS OR MORE, 1950, 1975, 2000 AND 2015  
(in millions)

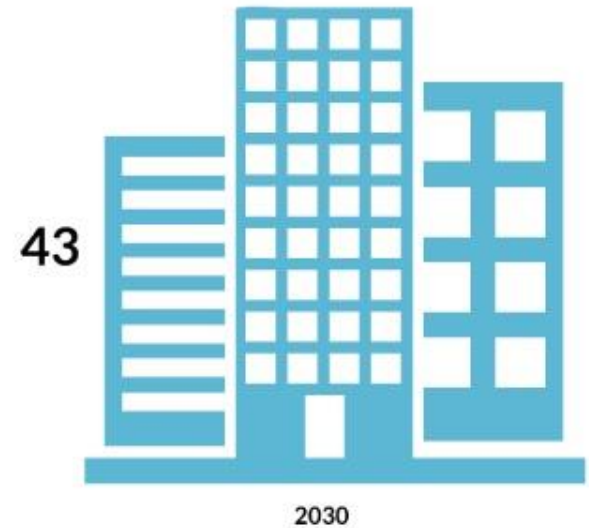
<i>City</i>	<i>1950</i>	<i>City</i>	<i>1975</i>	<i>City</i>	<i>2000</i>	<i>City</i>	<i>2015</i>
1 New York	12.3	1 Tokyo	19.8	1 Tokyo	26.4	1 Tokyo	26.4
		2 New York	15.9	2 Mexico City	18.1	2 Bombay	26.1
		3 Shanghai	11.4	3 Bombay	18.1	3 Lagos	23.2
		4 Mexico City	11.2	4 Sao Paulo	17.8	4 Dhaka	21.1
		5 Sao Paulo	10.0	5 New York	16.6	5 Sao Paulo	20.4
				6 Lagos	13.4	6 Karachi	19.2
				7 Los Angeles	13.1	7 Mexico City	19.2
				8 Calcutta	12.9	8 New York	17.4
				9 Shanghai	12.9	9 Jakarta	17.3
				10 Buenos Aires	12.6	10 Calcutta	17.3
				11 Dhaka	12.3	11 Delhi	16.8
				12 Karachi	11.8	12 Metro Manila	14.8
				13 Delhi	11.7	13 Shanghai	14.6
				14 Jakarta	11.0	14 Los Angeles	14.1
				15 Osaka	11.0	15 Buenos Aires	14.1
				16 Metro Manila	10.9	16 Cairo	13.8
				17 Beijing	10.8	17 Istanbul	12.5
				18 Rio de Janeiro	10.6	18 Beijing	12.3
				19 Cairo	10.6	19 Rio de Janeiro	11.9
						20 Osaka	11.0
						21 Tianjin	10.7
						22 Hyderabad	10.5
						23 Bangkok	10.1

Rank	City, Country	Population in 2016 (thousands)	City, Country	Population in 2030 (thousands)
1	Tokyo, Japan	38 140	Tokyo, Japan	37 190
2	Delhi, India	26 454	Delhi, India	36 060
3	Shanghai, China	24 484	Shanghai, China	30 751
4	Mumbai (Bombay), India	21 357	Mumbai (Bombay), India	27 797
5	São Paulo, Brazil	21 297	Beijing, China	27 706
6	Beijing, China	21 240	Dhaka, Bangladesh	27 374
7	Ciudad de México (Mexico City), Mexico	21 157	Karachi, Pakistan	24 838
8	Kinki M.M.A. (Osaka), Japan	20 337	Al-Qahirah (Cairo), Egypt	24 502
9	Al-Qahirah (Cairo), Egypt	19 128	Lagos, Nigeria	24 239
10	New York-Newark, USA	18 604	Ciudad de México (Mexico City), Mexico	23 865
11	Dhaka, Bangladesh	18 237	São Paulo, Brazil	23 444
12	Karachi, Pakistan	17 121	Kinshasa, Democratic Republic of the Congo	19 996
13	Buenos Aires, Argentina	15 334	Kinki M.M.A. (Osaka), Japan	19 976
14	Kolkata (Calcutta), India	14 980	New York-Newark, USA	19 885
15	Istanbul, Turkey	14 365	Kolkata (Calcutta), India	19 092
16	Chongqing, China	13 744	Guangzhou, Guangdong, China	17 574
17	Lagos, Nigeria	13 661	Chongqing, China	17 380
18	Manila, Philippines	13 131	Buenos Aires, Argentina	16 956
19	Guangzhou, Guangdong, China	13 070	Manila, Philippines	16 756
20	Rio de Janeiro, Brazil	12 981	Istanbul, Turkey	16 694
21	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, USA	12 317	Bangalore, India	14 762
22	Moskva (Moscow), Russian Federation	12 260	Tianjin, China	14 655
23	Kinshasa, Democratic Republic of the Congo	12 071	Rio de Janeiro, Brazil	14 174
24	Tianjin, China	11 558	Chennai (Madras), India	13 921
25	Paris, France	10 925	Jakarta, Indonesia	13 812
26	Shenzhen, China	10 828	Los Angeles-Long Beach-Santa Ana, USA	13 257
27	Jakarta, Indonesia	10 483	Lahore, Pakistan	13 033
28	Bangalore, India	10 456	Hyderabad, India	12 774
29	London, United Kingdom	10 434	Shenzhen, China	12 673
30	Chennai (Madras), India	10 163	Lima, Peru	12 221
31	Lima, Peru	10 072	Moskva (Moscow), Russian Federation	12 200
32			Bogotá, Colombia	11 966
33			Paris, France	11 803
34			Johannesburg, South Africa	11 573
35			Krung Thep (Bangkok), Thailand	11 528
36			London, United Kingdom	11 467
37			Dar es Salaam, United Republic of Tanzania	10 760
38			Ahmadabad, India	10 527
39			Luanda, Angola	10 429
40			Thành Phố Hồ Chí Minh (Ho Chi Minh City), Viet Nam	10 200
41			Chengdu, China	10 104

The World's cities in 2016. Data booklet – United Nations.

# More megacities to come!

By 2030, **43 cities** around the globe will have **10 million** or more inhabitants.



World Urbanization Prospects: The 2018 Revision

Access the report: [bit.ly/wup2018](https://bit.ly/wup2018) • #UNPopulation



UN DESA

# COMO ESTUDAR TANTAS MUDANÇAS ?

---

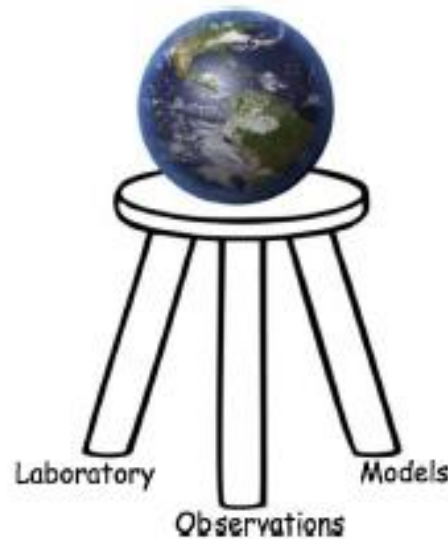
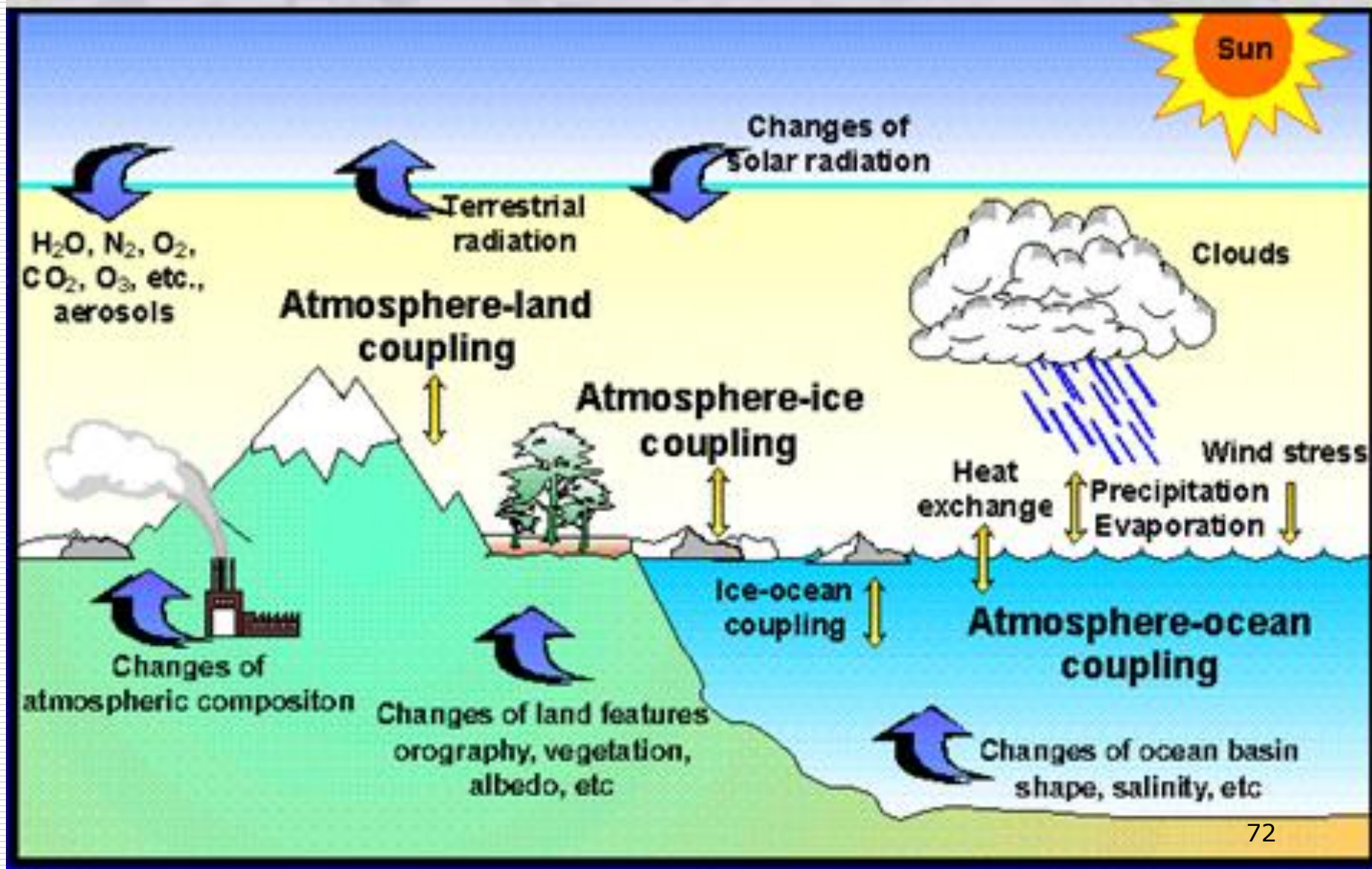


Fig. 8. Keeping the three-legged stool approach to atmospheric chemistry research balanced requires laboratory studies, field observations and modeling that must each be rooted strongly in fundamental science.

The international global atmospheric chemistry (IGAC) project:  
Facilitating atmospheric chemistry research for 25 years

Megan L. Melamed<sup>a,\*</sup>, Paul S. Monks<sup>b</sup>, Allen H. Goldstein<sup>c</sup>, Mark G. Lawrence<sup>d</sup>,  
Jeff Jennings<sup>a</sup>

# Modeling the Earth System



# Infrastructures needed to address Earth System Questions: Supercomputing





Susan Solomon is internationally recognized as a leader in atmospheric science, particularly for her insights in explaining the cause of the Antarctic ozone "hole". She and her colleagues have made important contributions to understanding chemistry/climate coupling, including leading research on the irreversibility of global warming linked to anthropogenic carbon dioxide emissions, and on the influence of the ozone hole on the climate of the southern hemisphere. Her current focus is on issues relating to both atmospheric chemistry and climate change.



James Edward Hansen é um climatologista norte-americano. Graduou-se em física e matemática na Universidade de Iowa, obtendo mestrado em astronomia e doutorado em física.



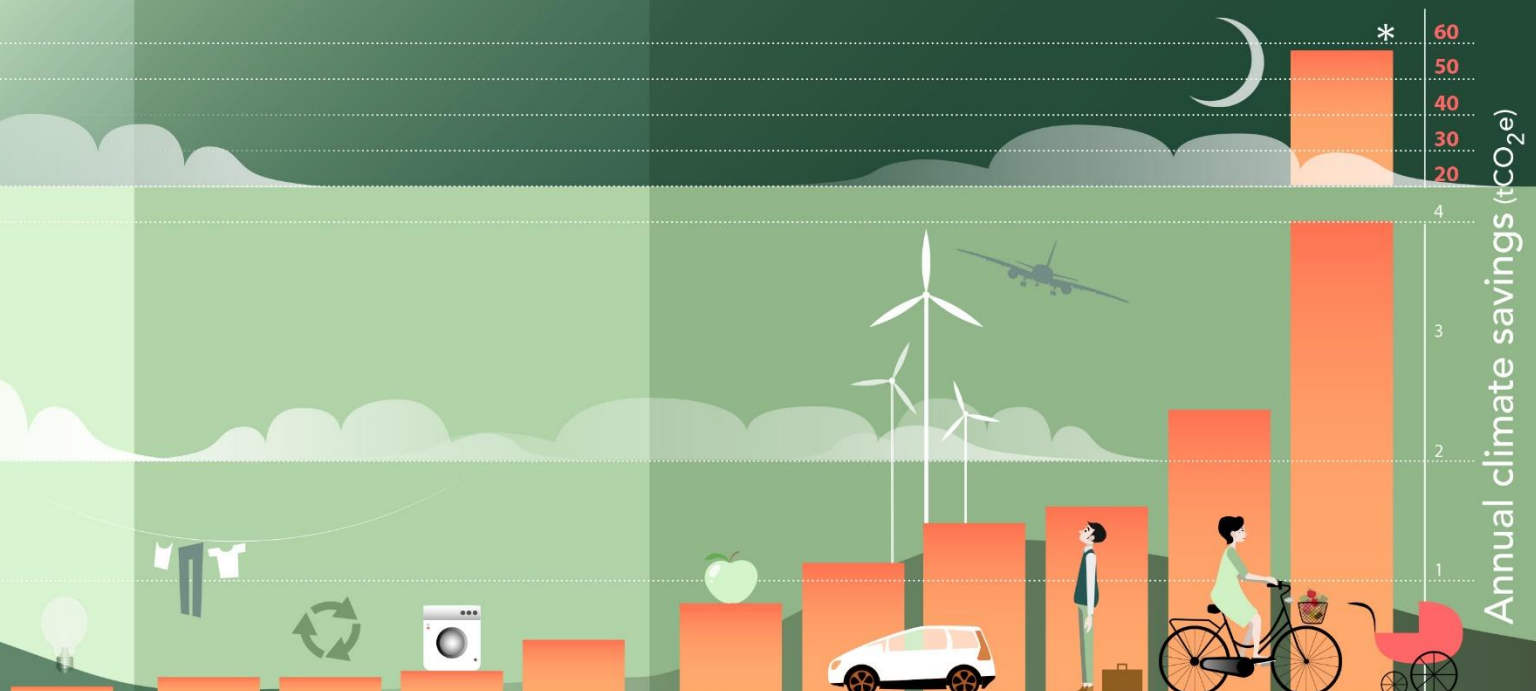
Alguns governantes americanos o odiaram!!

# Personal choices to reduce your contribution to climate change

\* Cumulative emissions from descendants; decreases substantially if national emissions decrease.

Average values for developed countries, based on current emissions.

Annual climate savings (tCO<sub>2</sub>e)



**Low Impact**

< 0.2 tCO<sub>2</sub>e

**Moderate Impact**

0.8-0.2 tCO<sub>2</sub>e

**High Impact**

> 0.8 tCO<sub>2</sub>e

Seth Wynes & Kimberly Nicholas, 2017, Environmental Research Letters