



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
DCA/IAG/USP

AGM5823 – Tópicos em Química atmosférica

Ozônio estratosférico

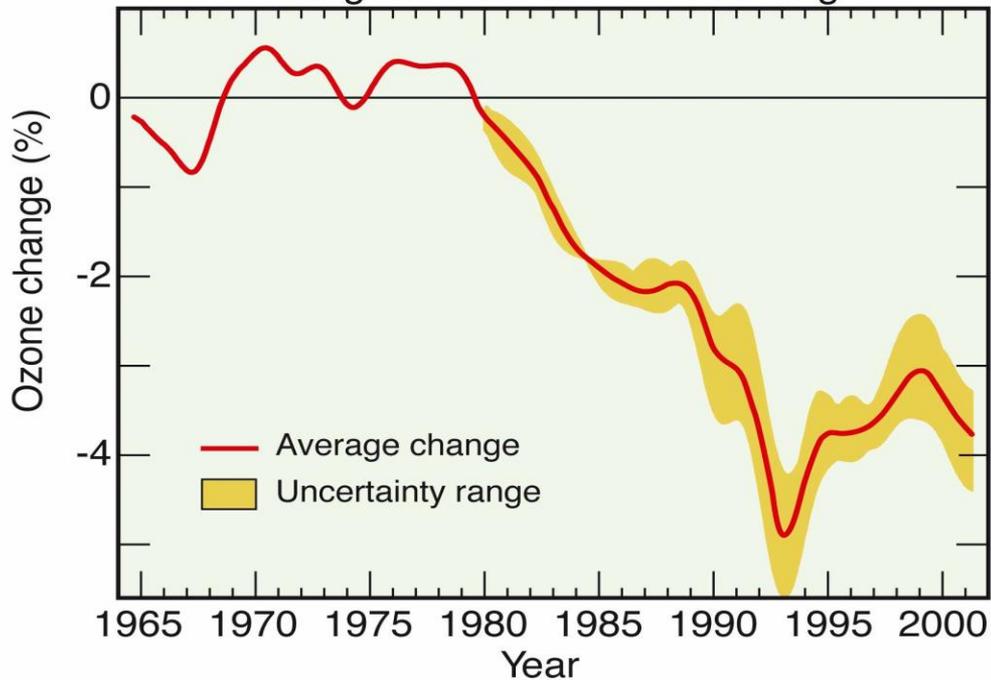
Pólo norte, Ártico - Parte 4

Profa. Adalgiza Fornaro

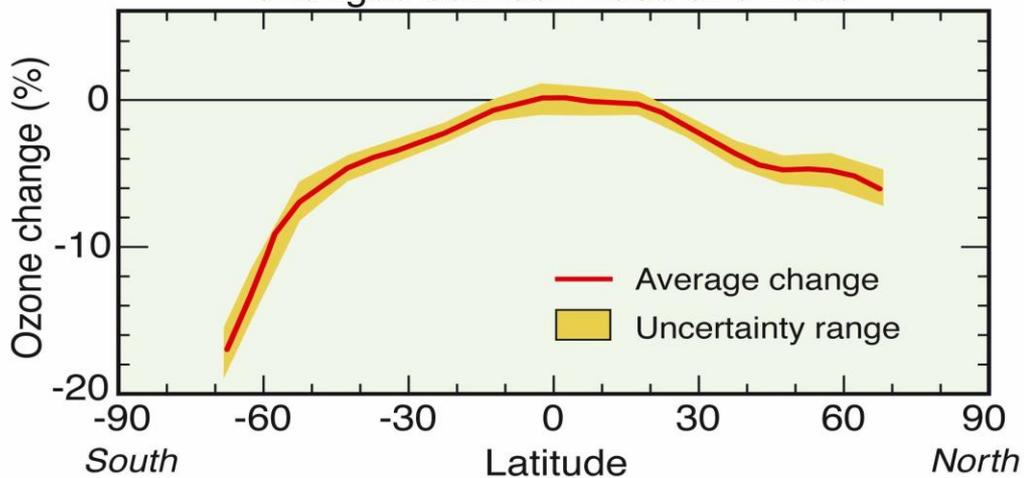
São Paulo, outubro de 2023

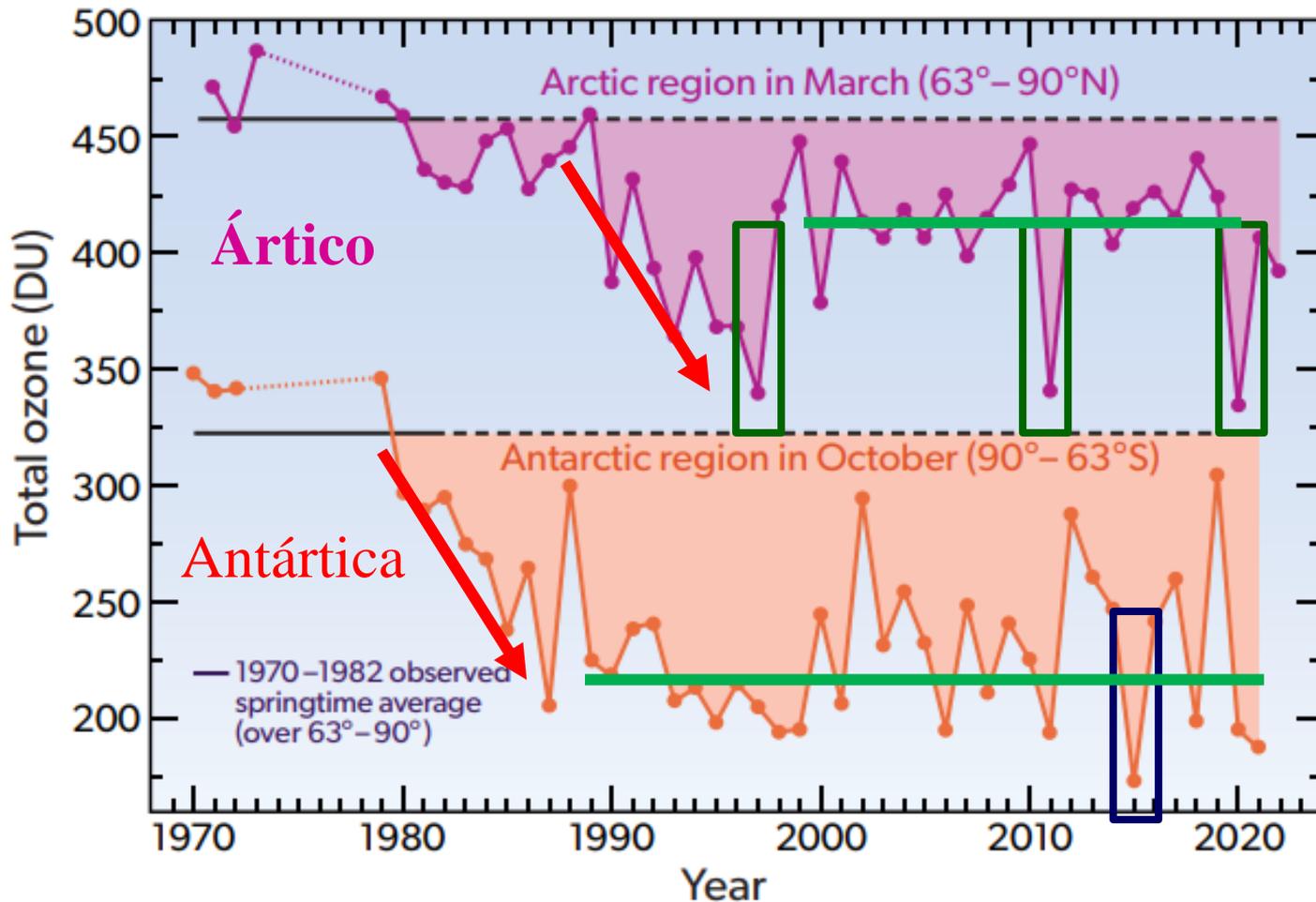
Global Total Ozone Change

Changes from 1964-1980 average



Changes between 1980 and 2000

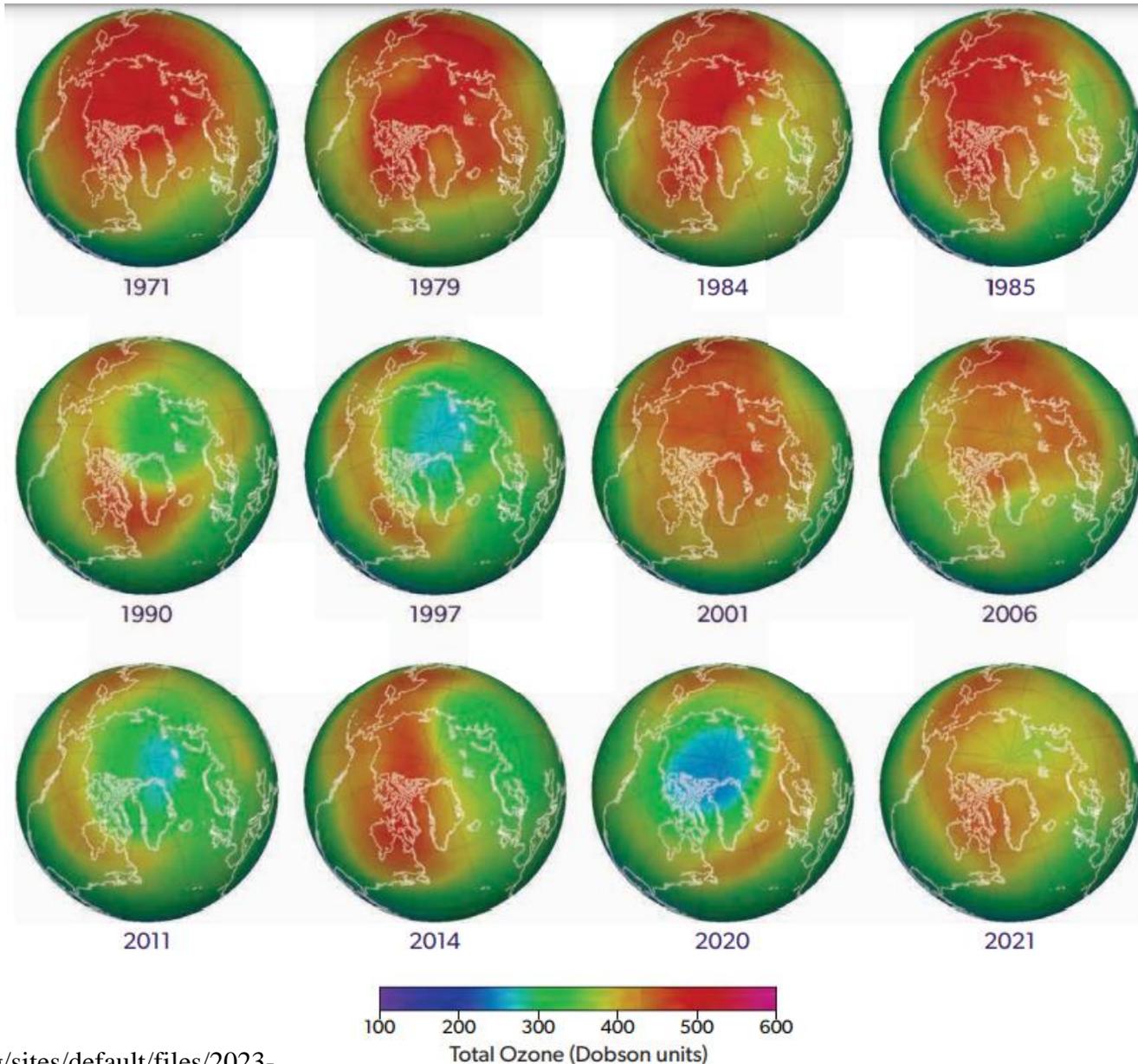




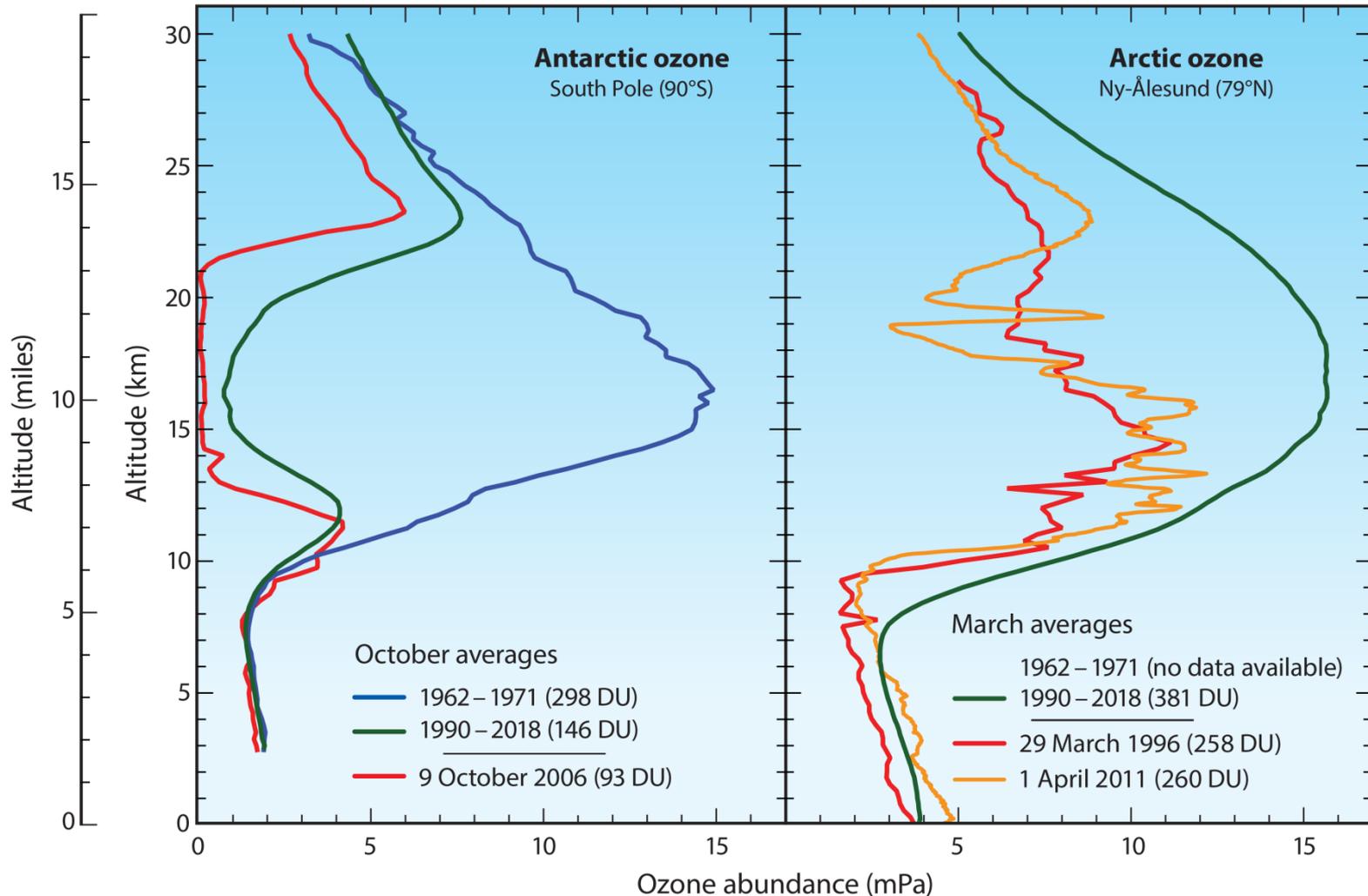
Obs.: aumento de partículas estratosféricas após a erupção vulcânica de Calbuco no sul do Chile, junto com vórtice polar frio e estável, contribuíram para os baixos valores de ozônio total observados na Antártica out-2015.

No Ártico em 1997, 2011 e 2020 perda de ozônio devido temperaturas baixas mais intensas na estratosfera.

Ozônio total no Ártico - médias mensais de março

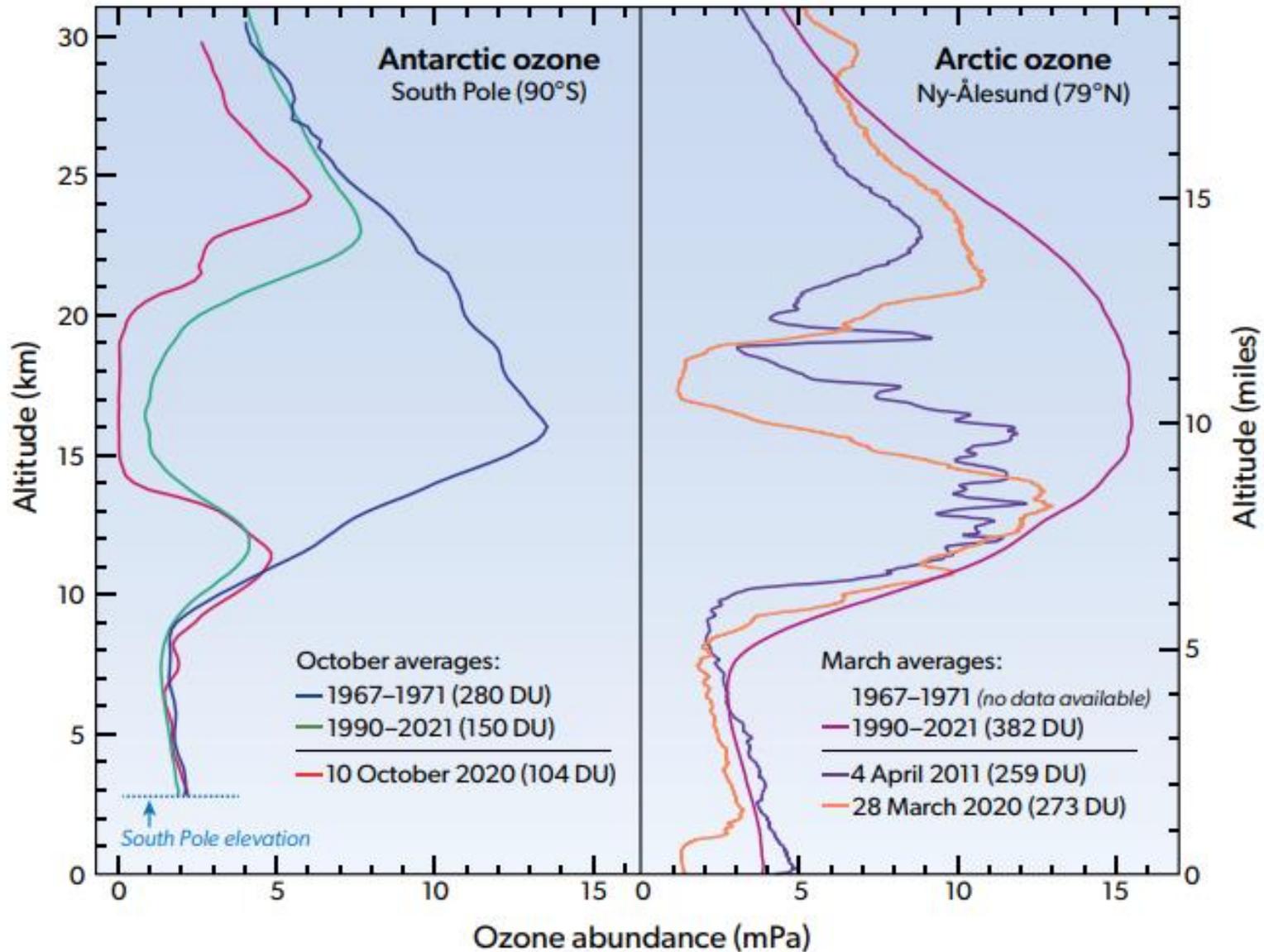


Pólo Sul vs Pólo Norte



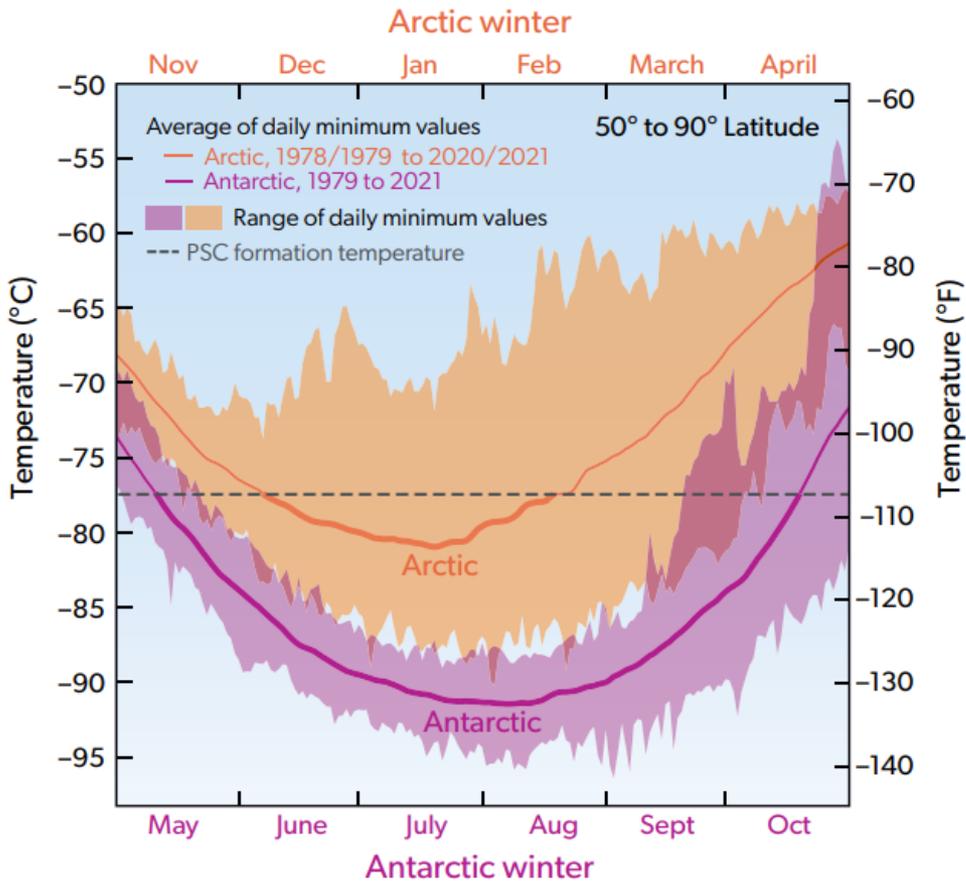
Distribuição vertical de ozônio na Antártica e no Ártico. Em altas latitudes durante o inverno e a primavera, a maior parte do ozônio estratosférico reside entre 10 e 30 km acima da superfície da Terra.

Destruição do ozônio polar

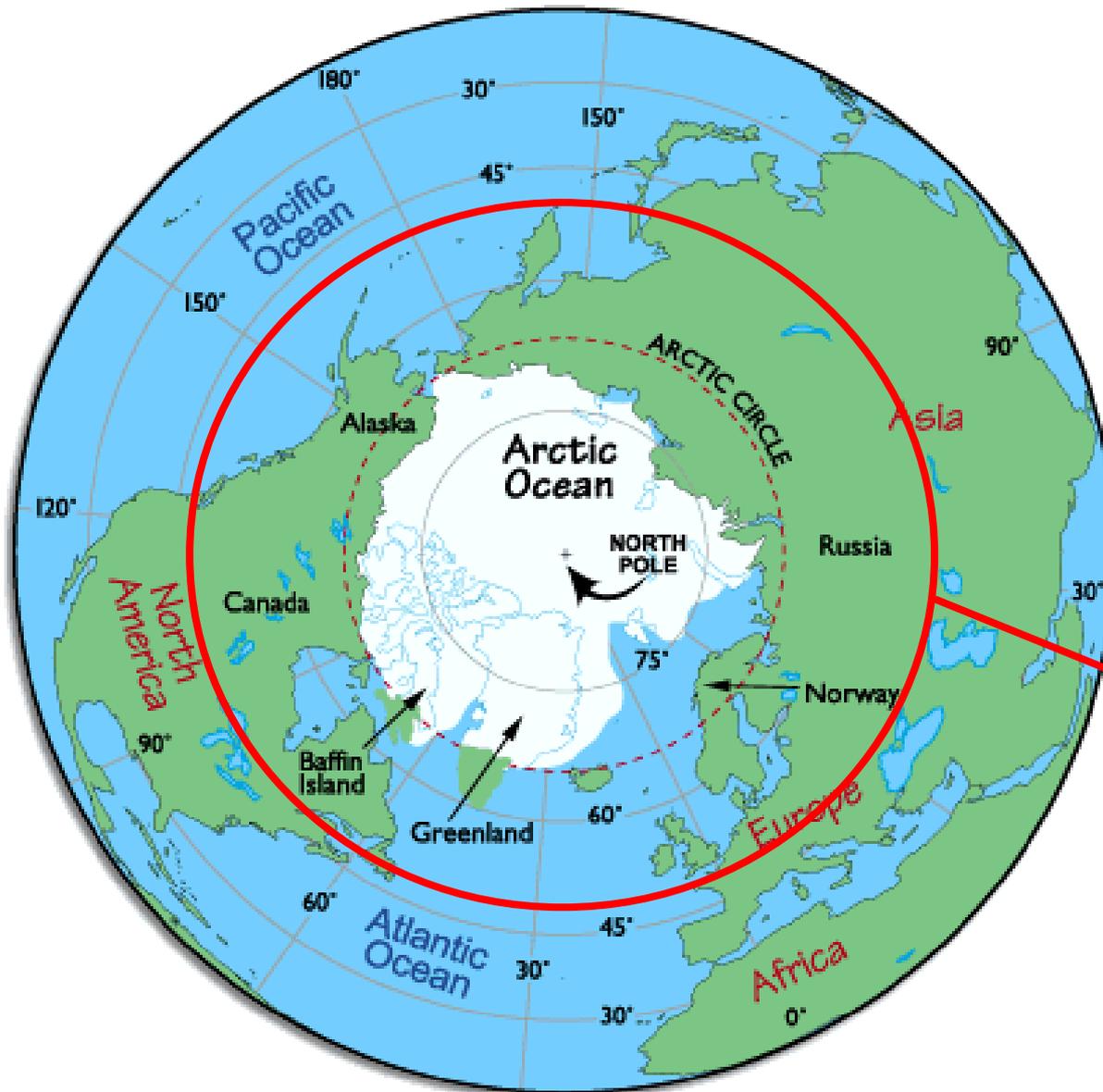


Temperaturas do Ártico e da Antártica.

As temperaturas do ar na estratosfera inferior de ambas as regiões polares atingem valores mínimos na estratosfera inferior nas respectivas estações de inverno. Os valores médios mínimos diários sobre a Antártica chegam a -92°C em julho e agosto, num ano típico. No Ártico, os valores mínimos médios estão próximos dos -80°C no final de dezembro e janeiro. Nuvens estratosféricas polares (PSCs) são formadas na camada de ozônio quando as temperaturas mínimas do inverno caem abaixo do seu limite de formação de cerca de -78°C .

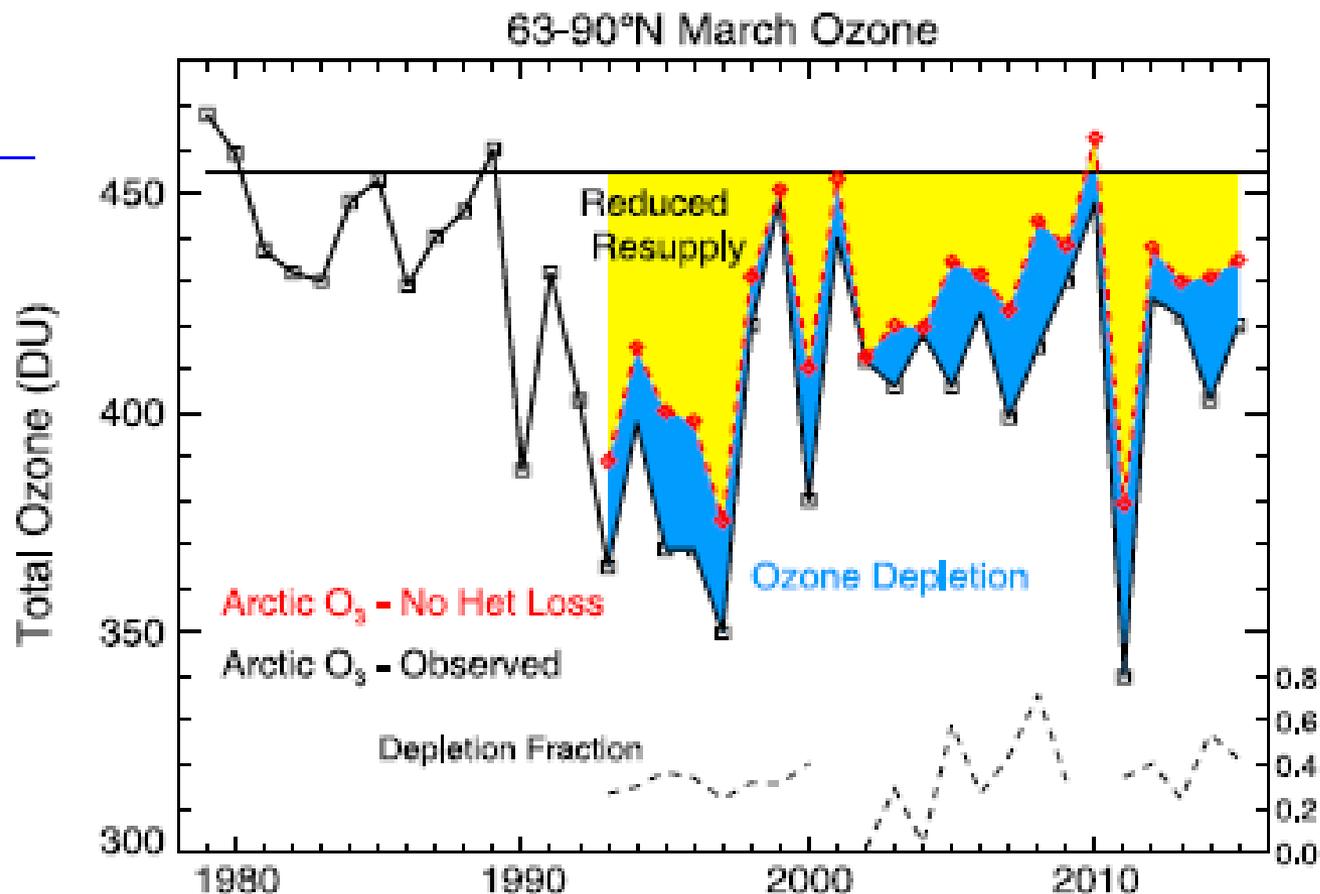


Ozônio estratosférico - pólo norte (Ártico)



A área que pode ser afetada pela formação do buraco no ozônio do Ártico é a área dentro do círculo vermelho.

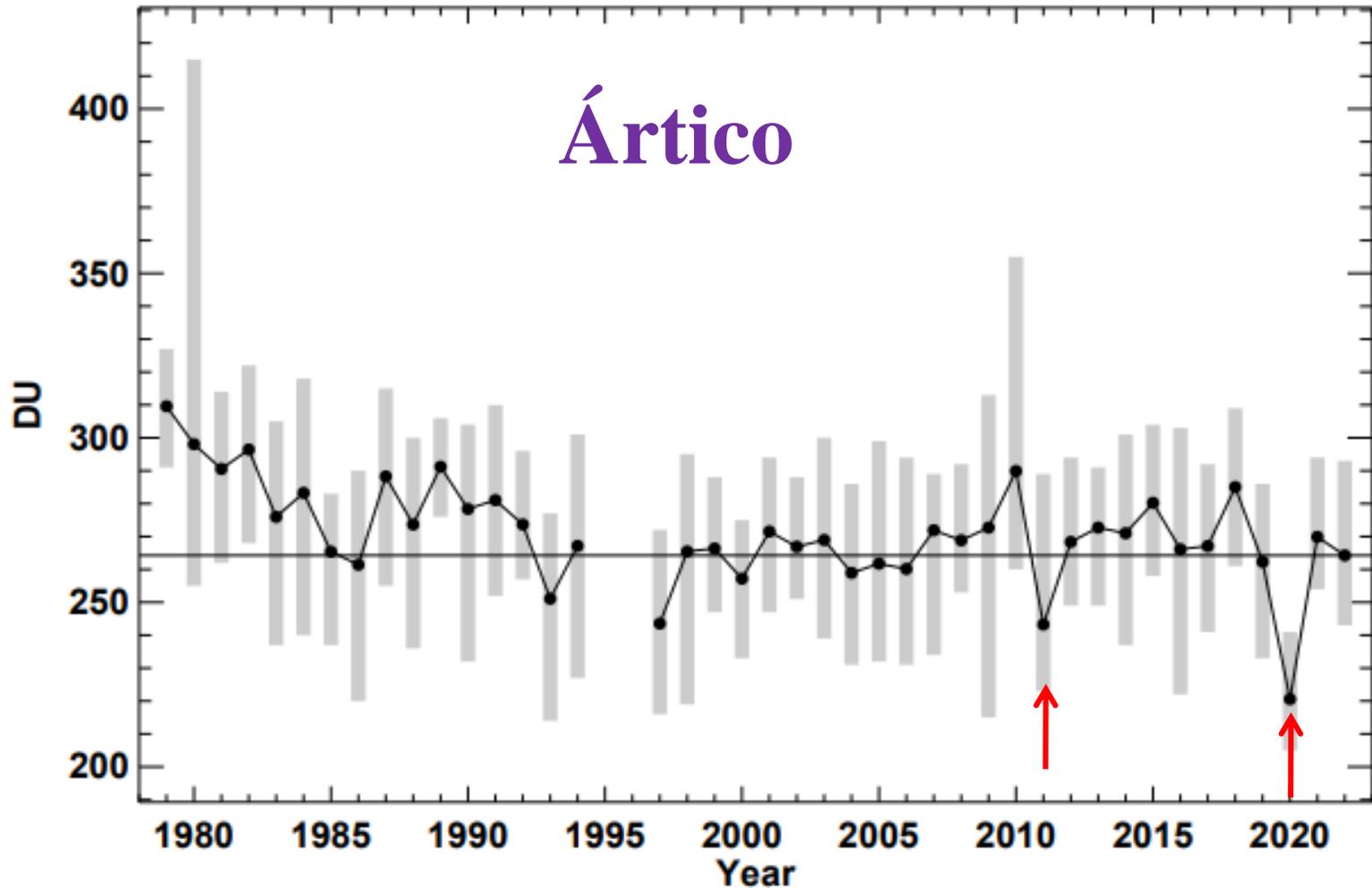
Ozônio estratosférico – Pólo Norte (Ártico)



A coluna total média de O₃ (63–90°N) em março a partir de observações de satélite, 1979–2015 (preto). A perda anual é mostrada pelo sombreamento azul. A linha em 455 DU representa o valor médio climatológico para março (OMM, 2014).

Strahan, S. E., A. R. Douglass, S. D. Steenrod (2016), Chemical and dynamical impacts of stratospheric sudden warmings on Arctic ozone variability, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 11,836–11,851, doi:10.1002/2016JD025128.

NH minimum ozone (March) TOMS+OMI+OMPS



P. Newman (NASA), E. Nash (SSAI), R. McPeters (NASA), S. Pawson (NASA) 2022-05-02T20:38:51Z

aquecimento
estratosférico
repentino

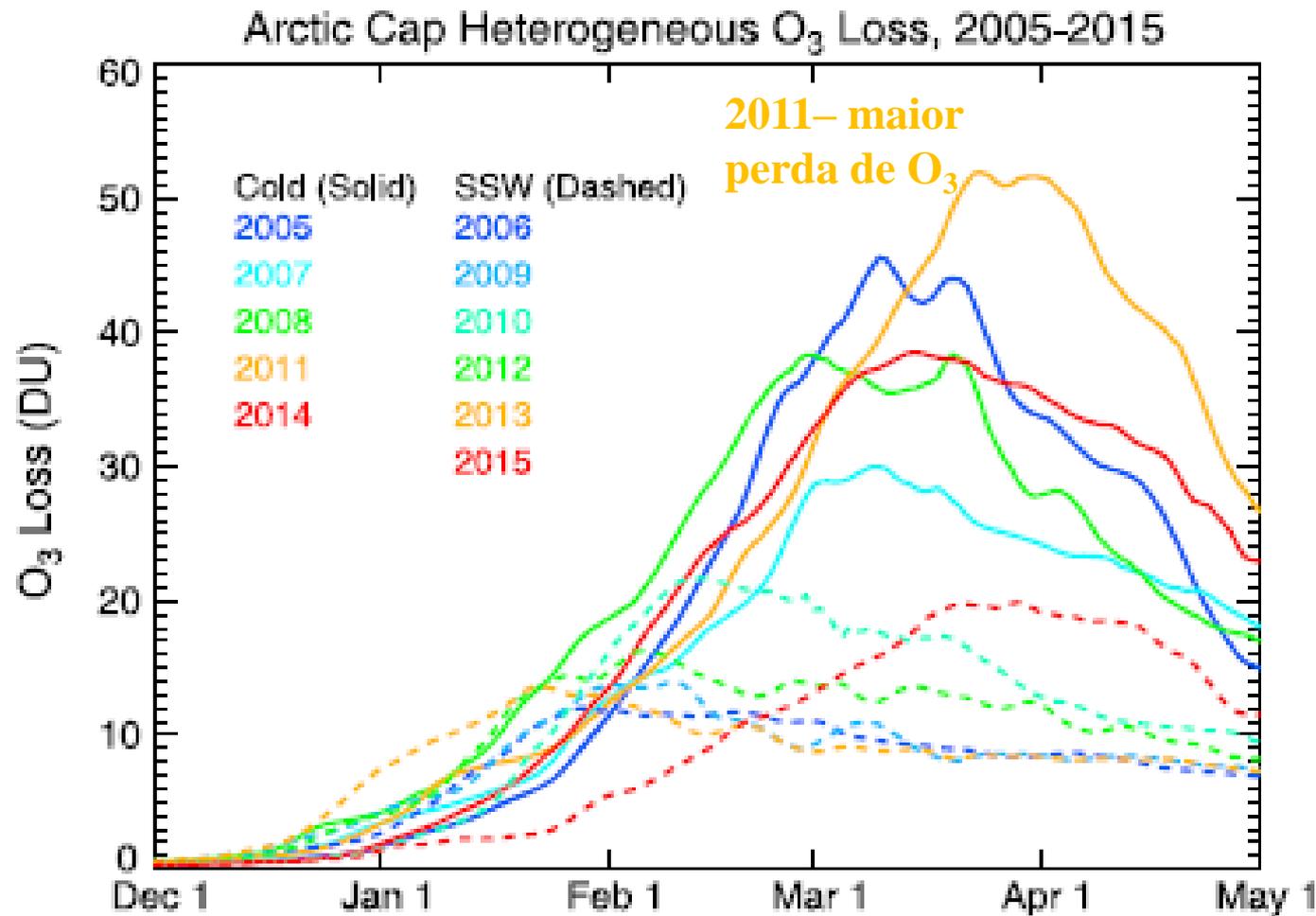
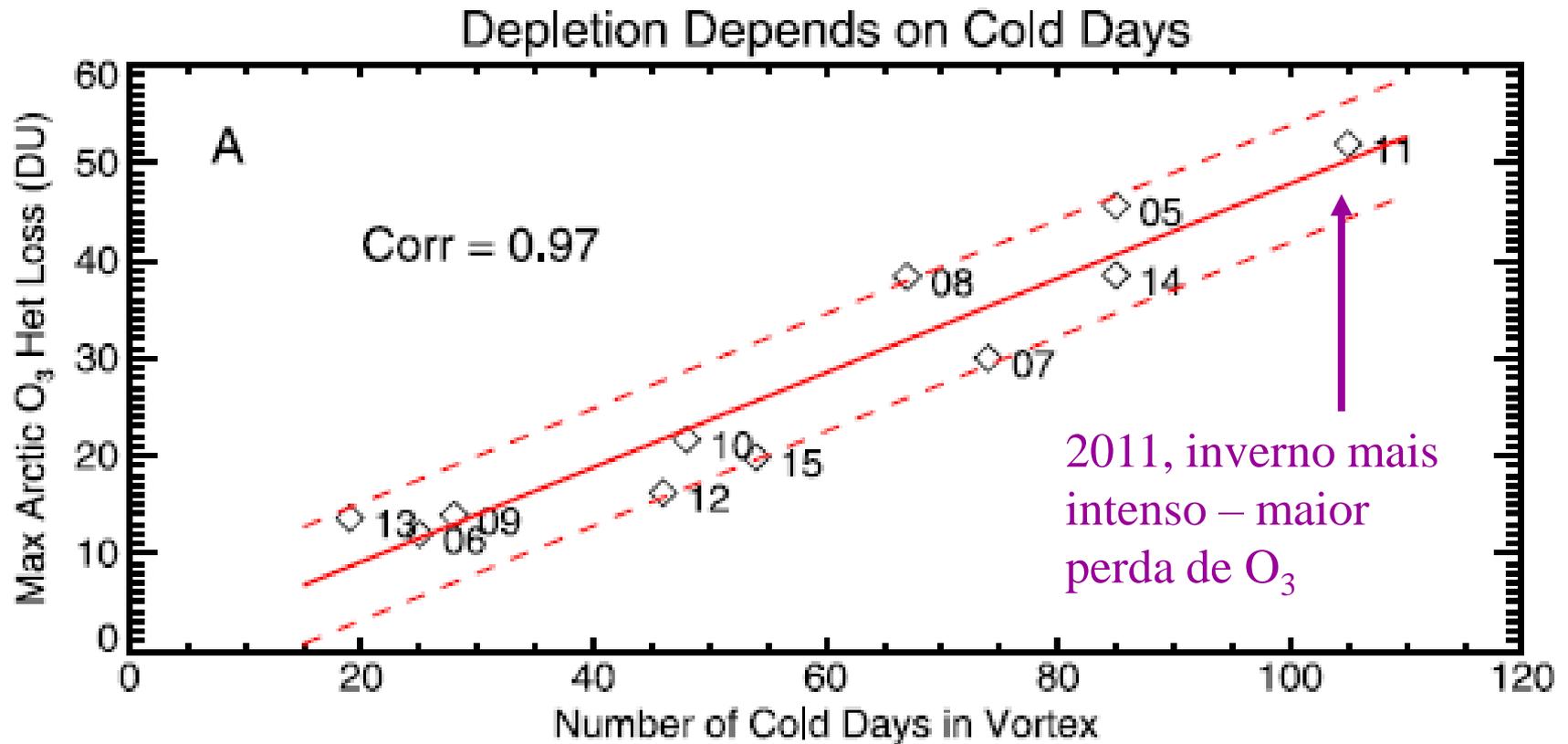


Figure 3. Time series of Arctic cap average (63–90°N EqL) heterogeneous chemical O₃ losses for 11 years. The results shown used 5 day smoothing.

Strahan, S. E., A. R. Douglass, S. D. Steenrod (2016), Chemical and dynamical impacts of stratospheric sudden warmings on Arctic ozone variability, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 11,836–11,851, doi:10.1002/2016JD025128.

Ozônio estratosférico – polo norte (Ártico)

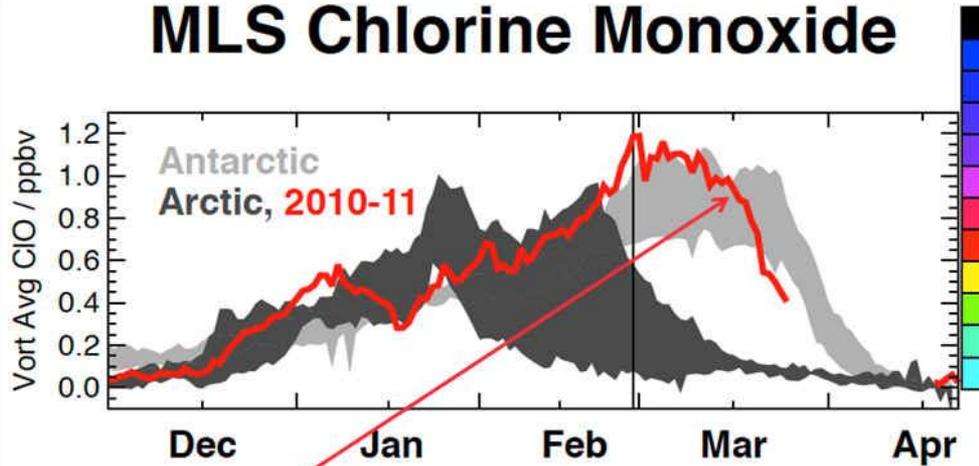
Depleção de ozônio em função dos dias frios - Ártico



Strahan, S. E., A. R. Douglass, S. D. Steenrod (2016), Chemical and dynamical impacts of stratospheric sudden warmings on Arctic ozone variability, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 11,836–11,851, doi:10.1002/2016JD025128.

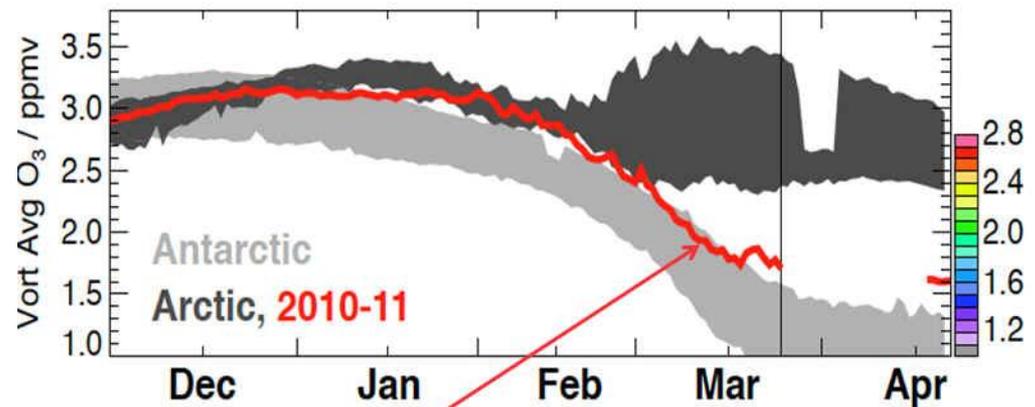
Ozônio estratosférico – Pólo Norte (Ártico)

MLS Chlorine Monoxide



Arctic ClO in 2011 was outside the range of the 2005-2010 winter observations, and comparable to Antarctic ClO.

Ozone

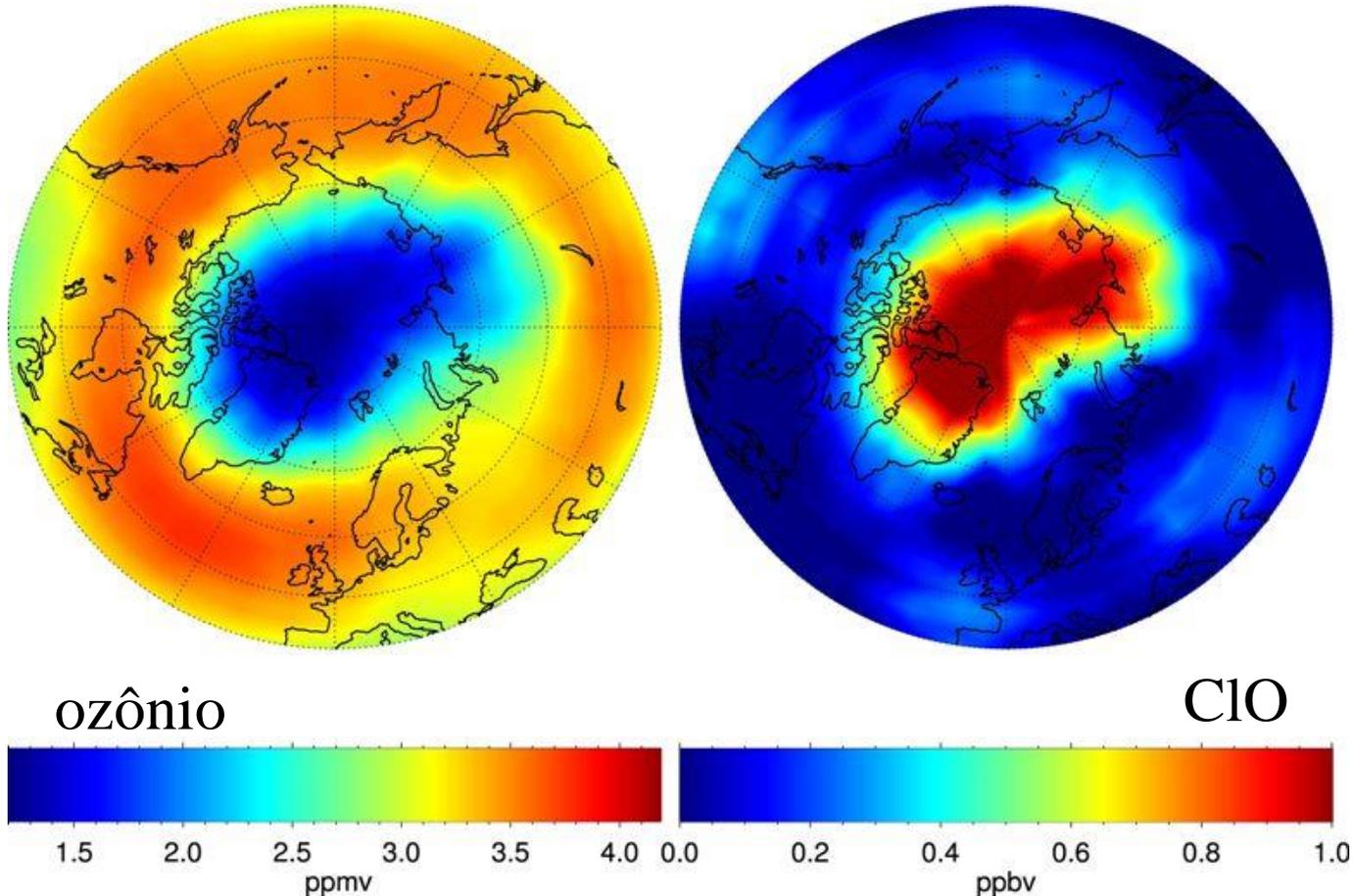


Arctic Ozone in 2011 was outside the range of the 2005-2010 winter observations, and almost as low as Antarctic ozone.

Ozônio estratosférico – polo norte (Ártico)

MIPAS O3 20110318 50.00 hPa

MIPAS CLO am 20110318 50.00 hPa



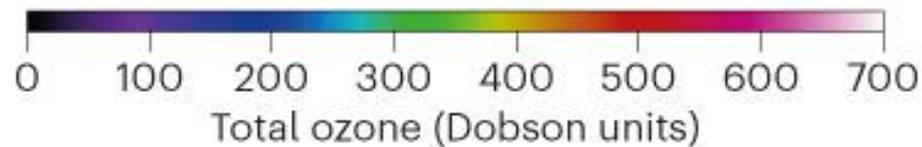
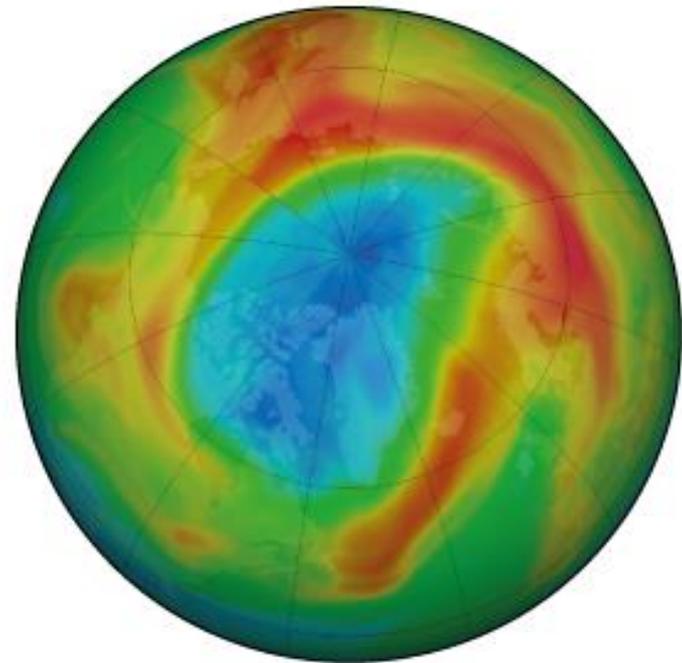
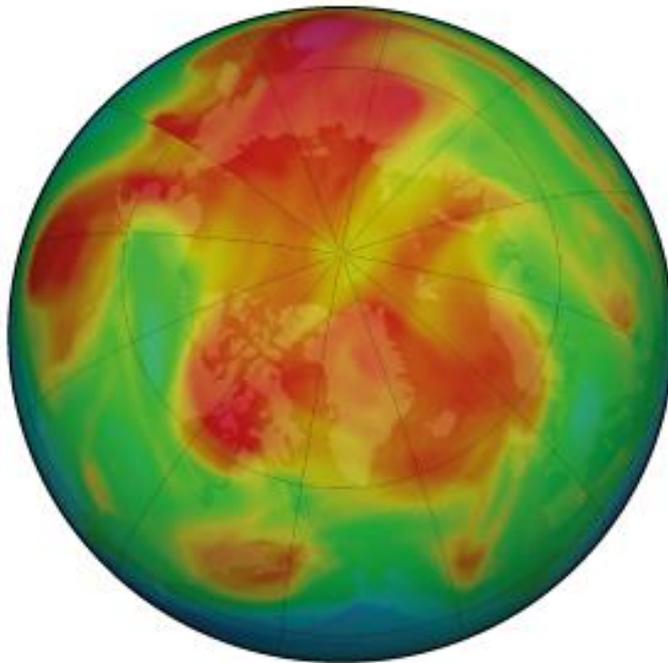
Março de 2011: Redução acentuada dos valores de ozônio (esquerda, azul escuro) e aumento significativo da concentração de monóxido de cloro (direita, vermelho) que está diretamente envolvido na degradação do ozônio.

ARCTIC OPENING

A rare and record ozone hole has formed over the Arctic. An opening in the ozone layer appears each spring over the Antarctic, but the last time this phenomenon was seen in the north was in 2011.

23 March 2019

23 March 2020

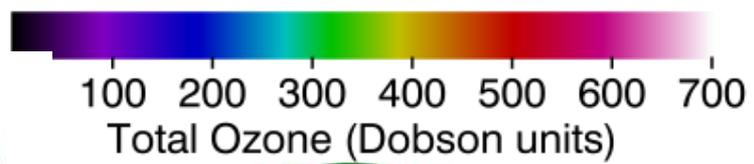


©nature

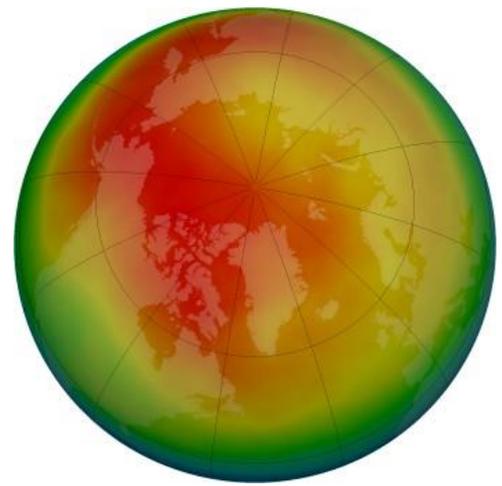
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00904-w>

Ártico – coluna total de ozônio

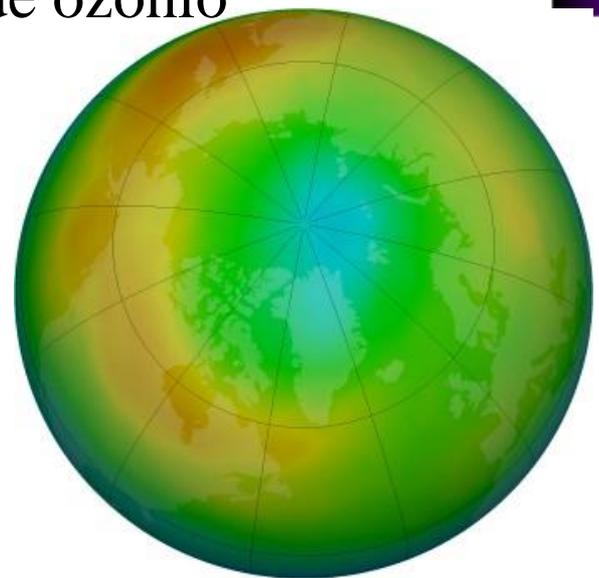
Hemisfério Norte



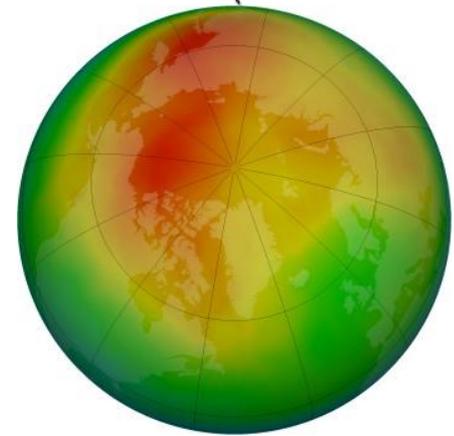
https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/monthly/monthly_2012-03_NH.html



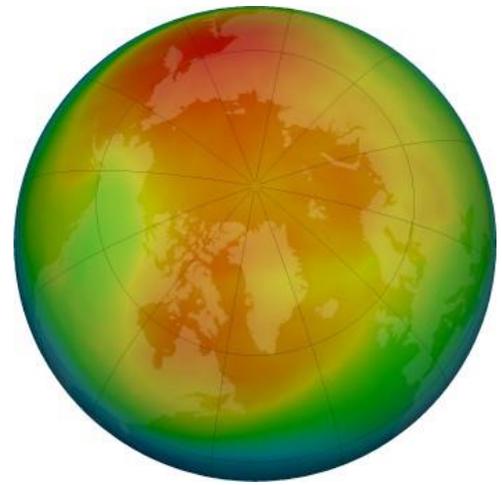
Março 2010



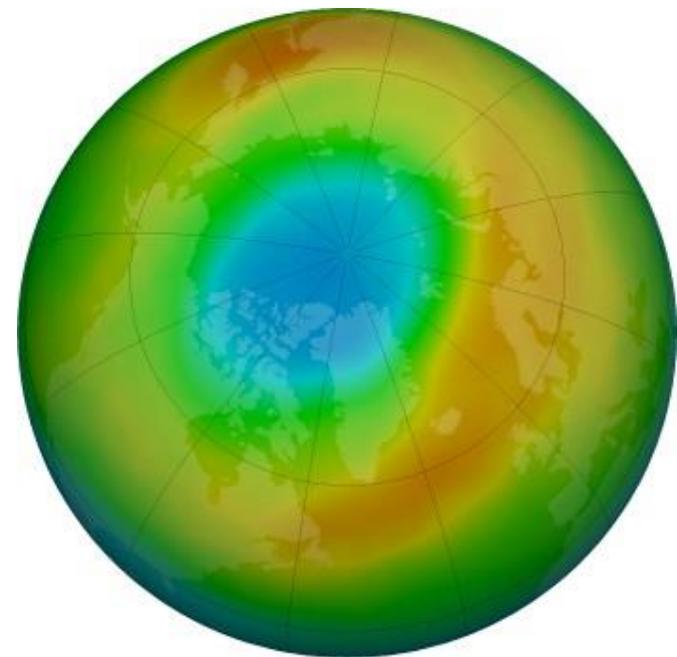
Março 2011



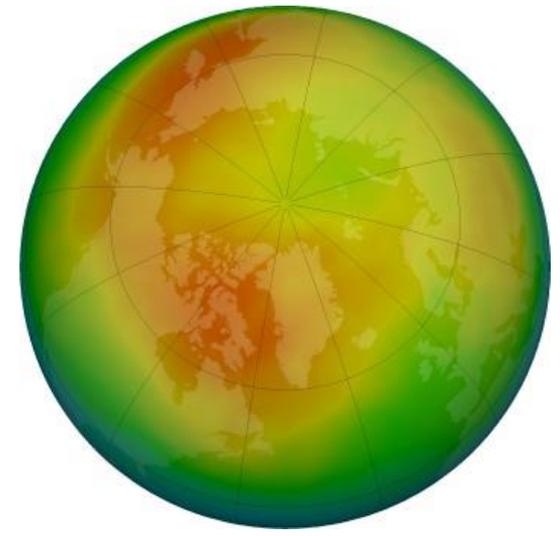
Março 2012



Março 2019

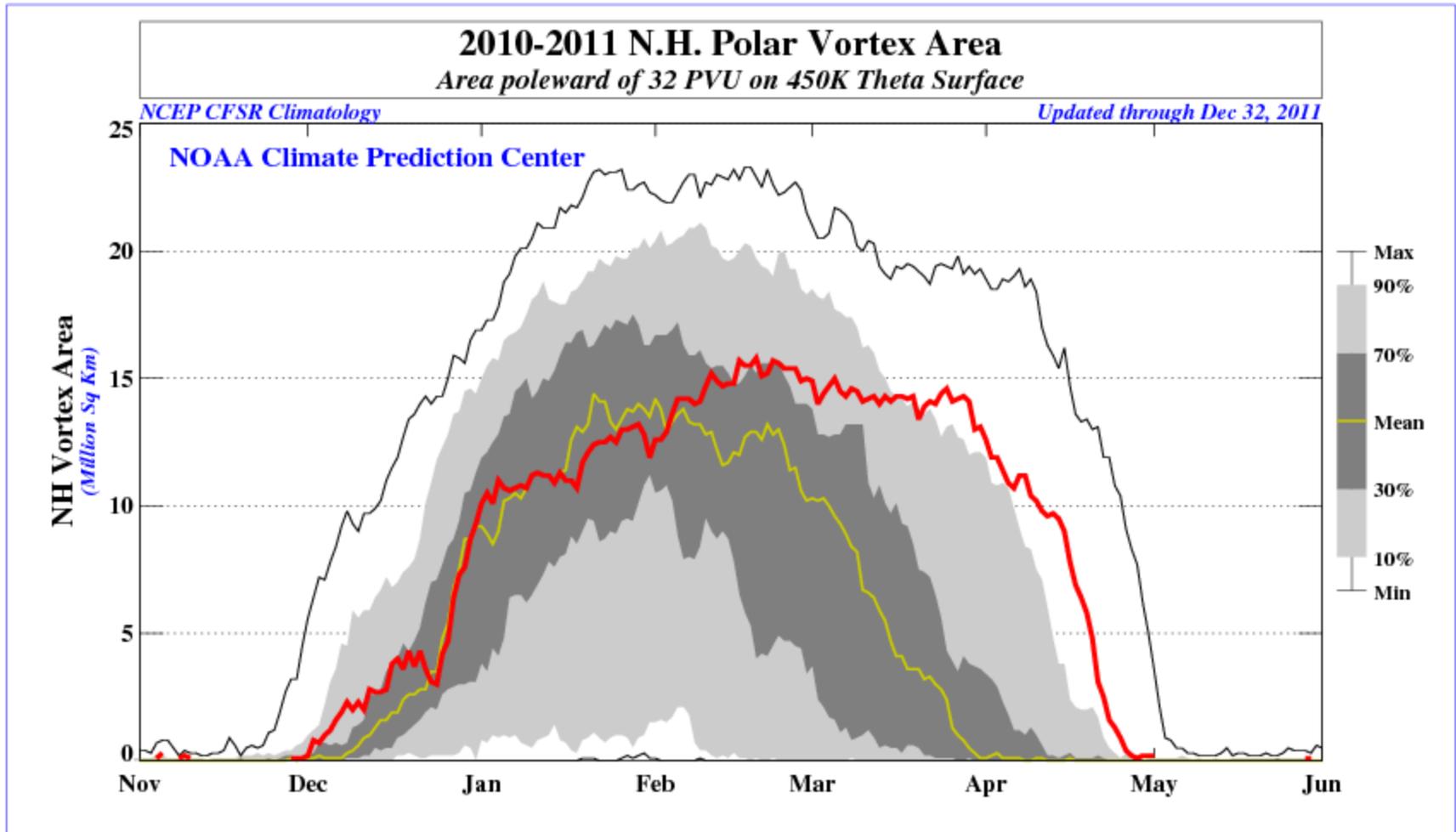


Março 2020



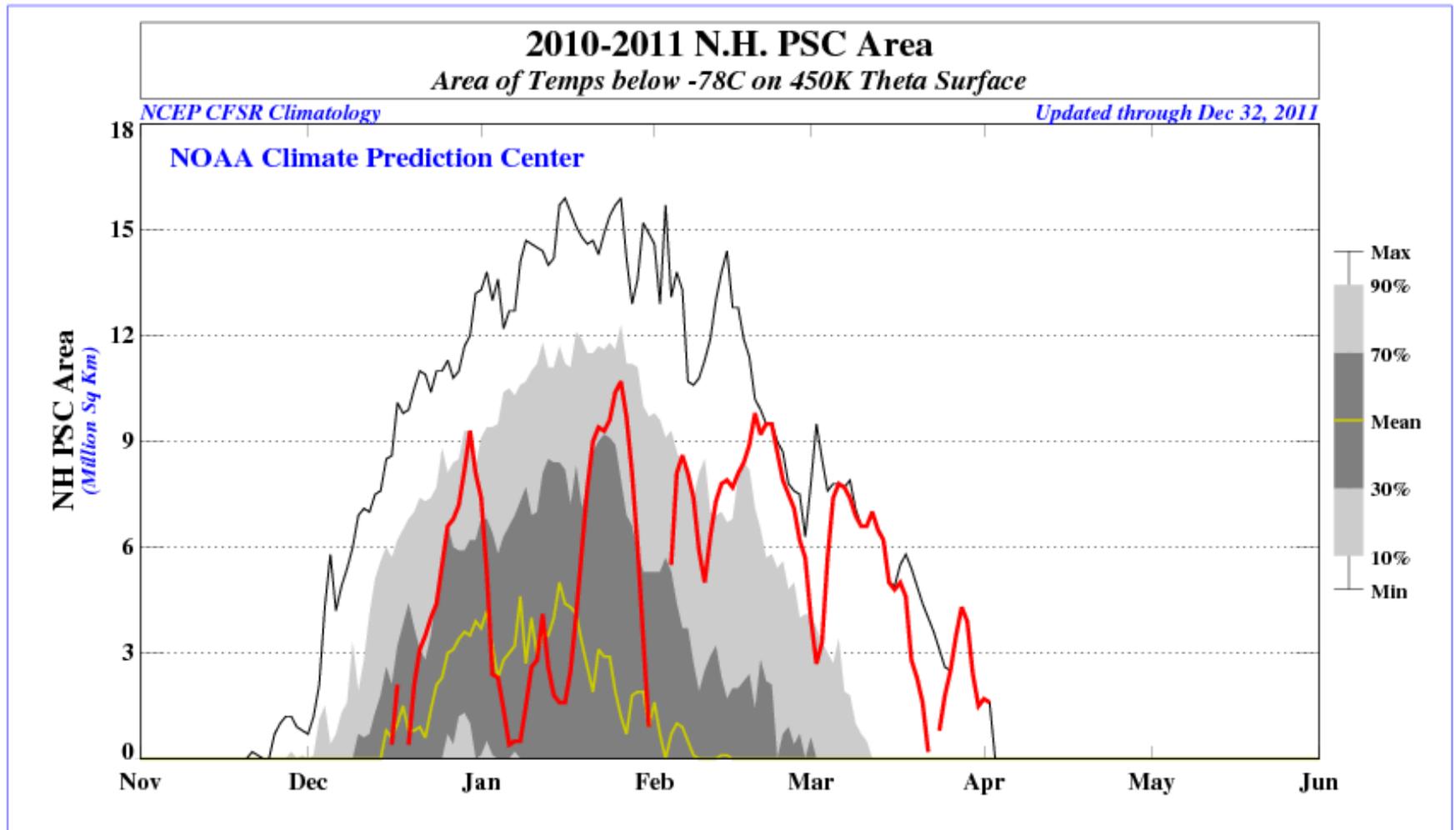
Março 2021

Hemisfério norte, área do vortex polar, 2010-2011



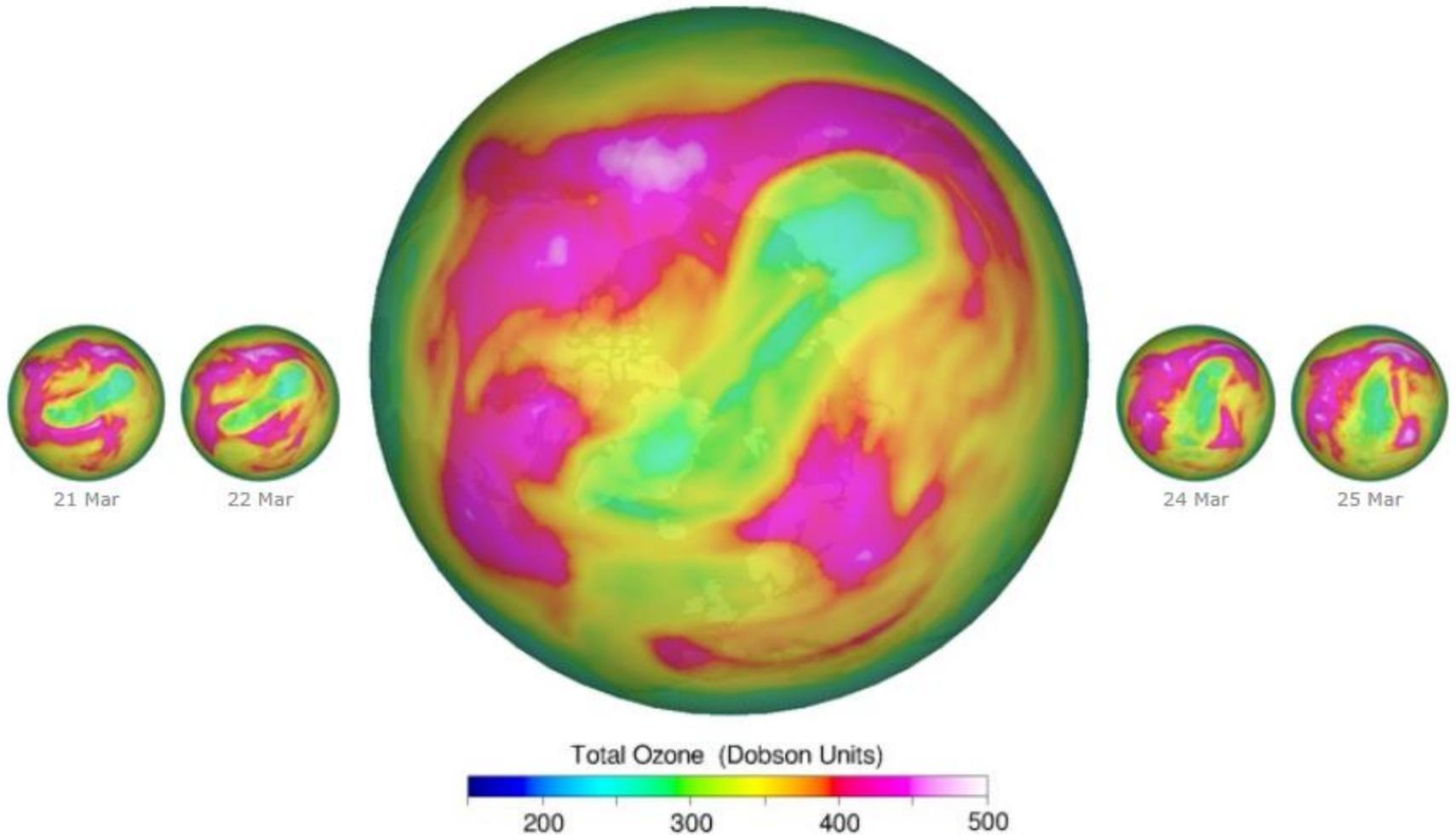
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/vtx450_nh_2010-2011.png

Hemisfério norte, área das PSC, 2010-2011



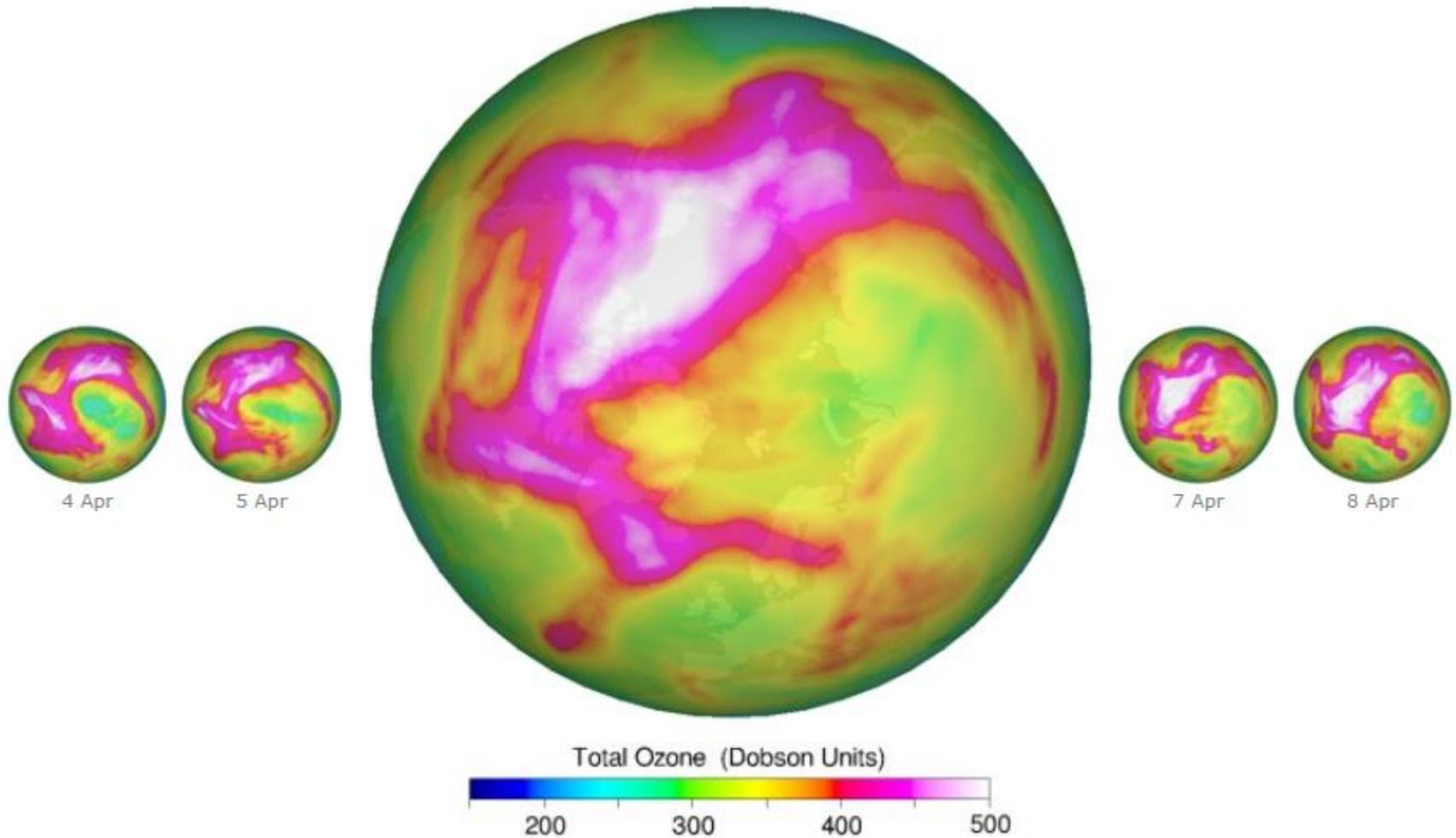
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/psc_nh_2010-2011.png

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de março de 2011



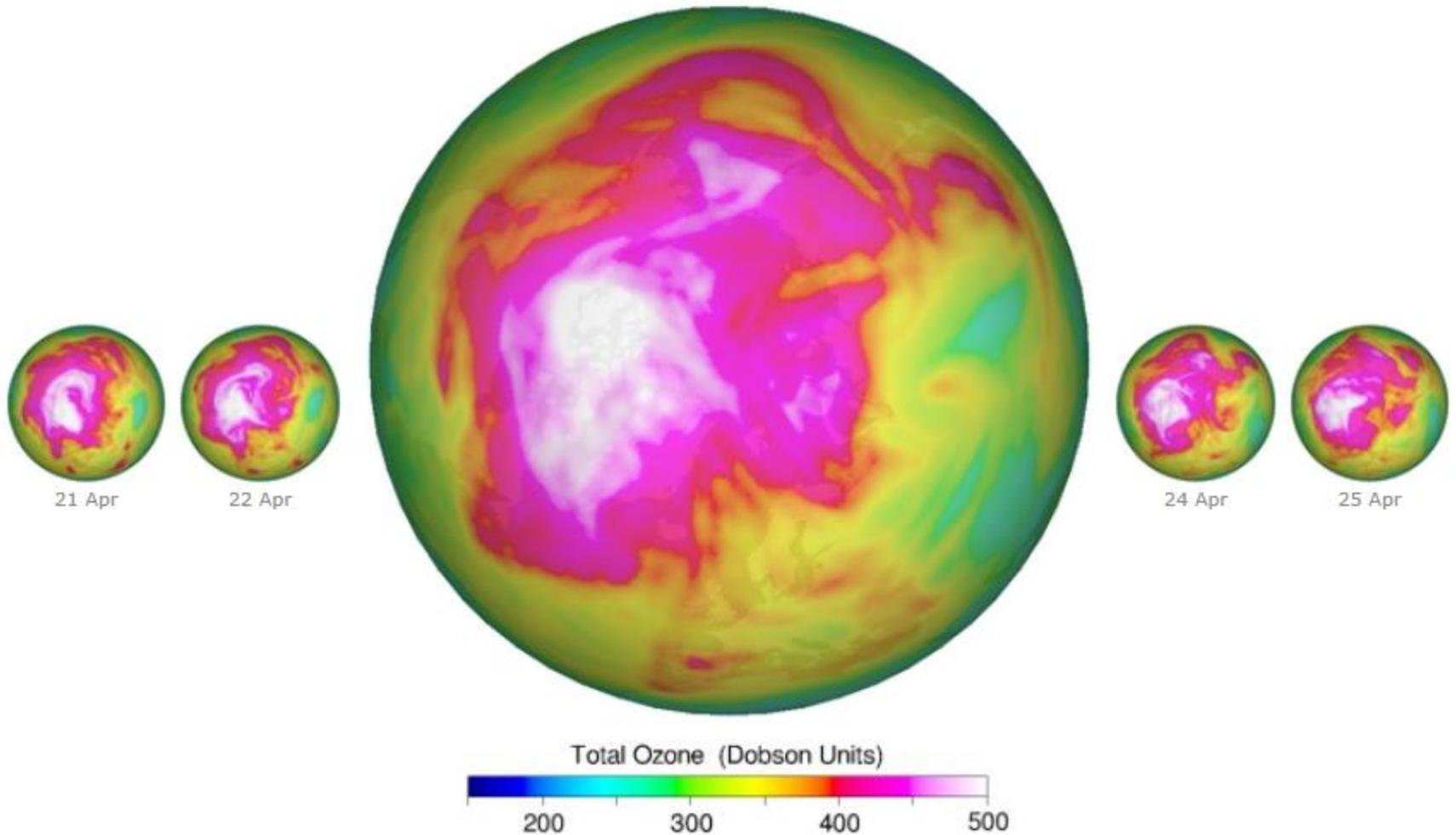
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20110323

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de abril de 2011



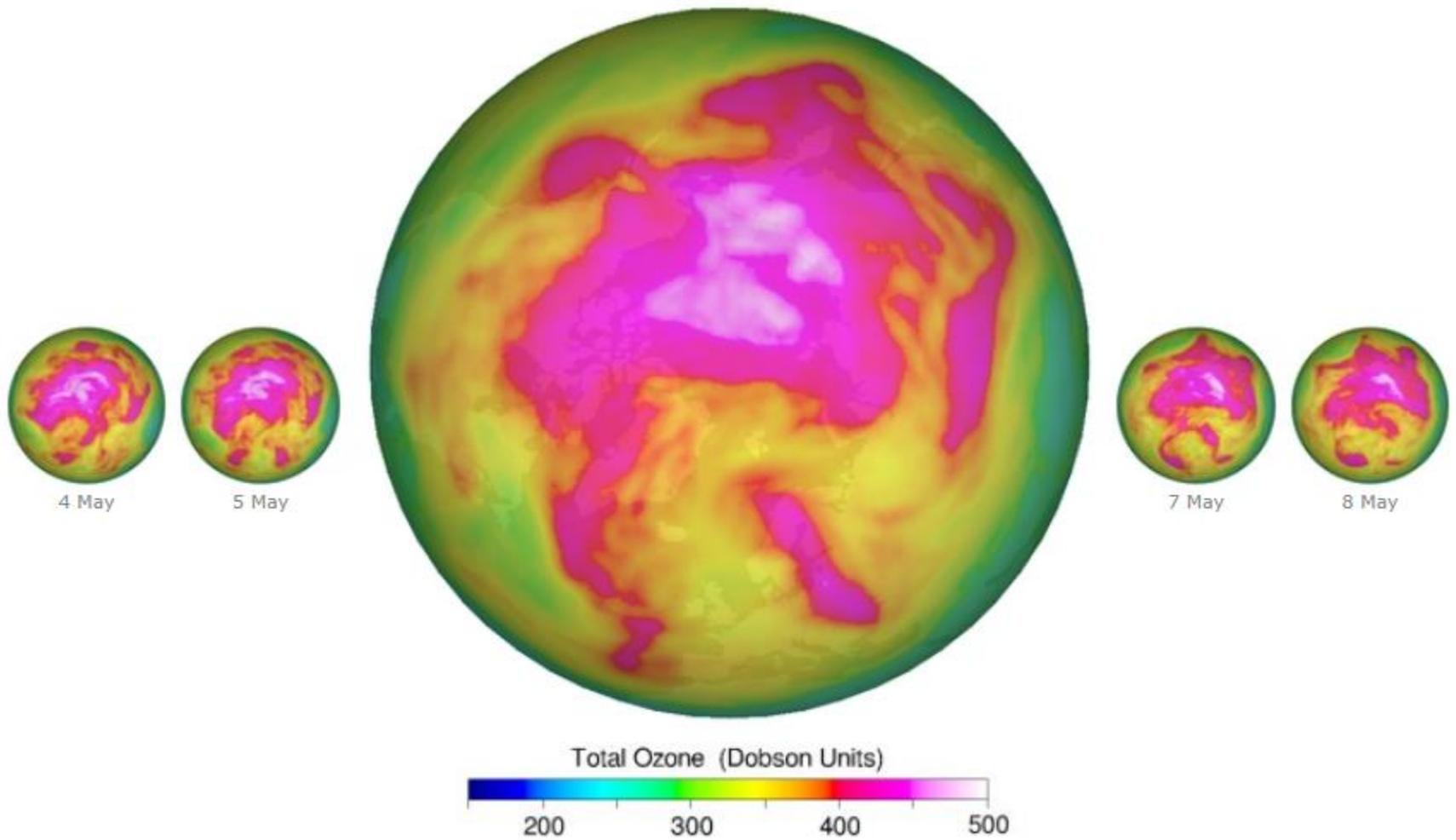
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20110406

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de abril de 2011



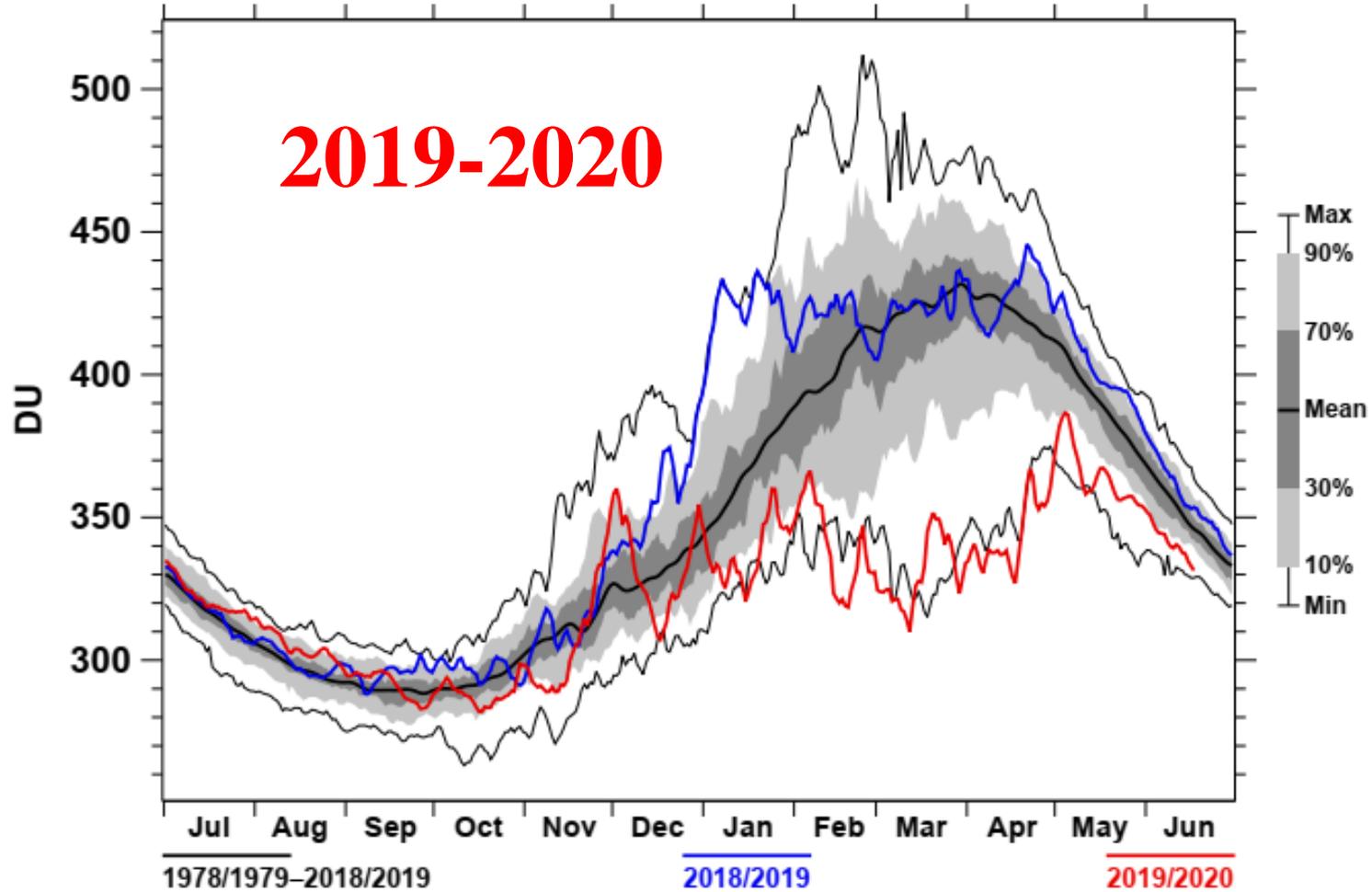
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20110423

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de maio de 2011

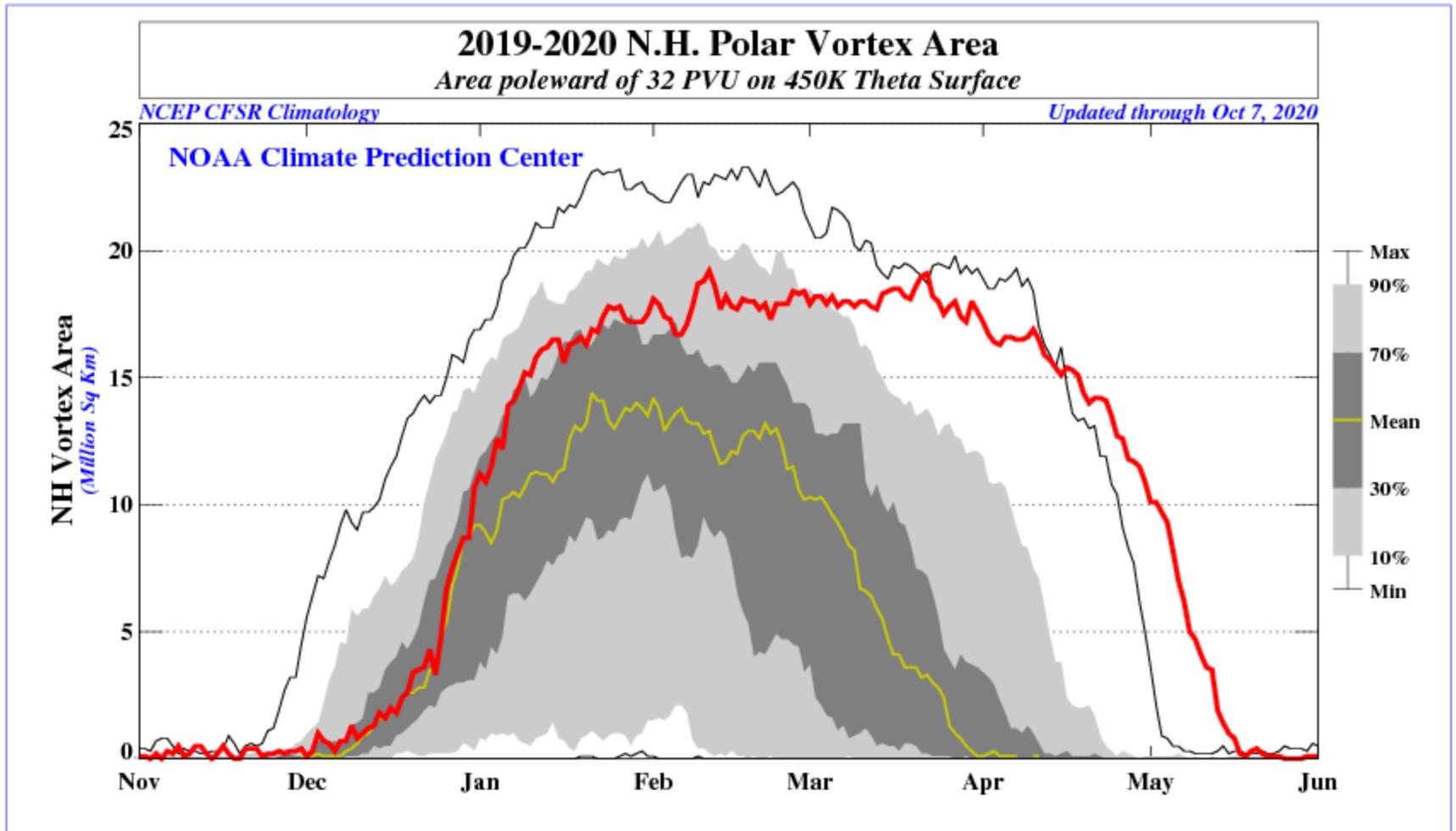


Coluna total de O₃ - Ártico

NH Polar Cap Ozone
TOMS+OMI+OMPS

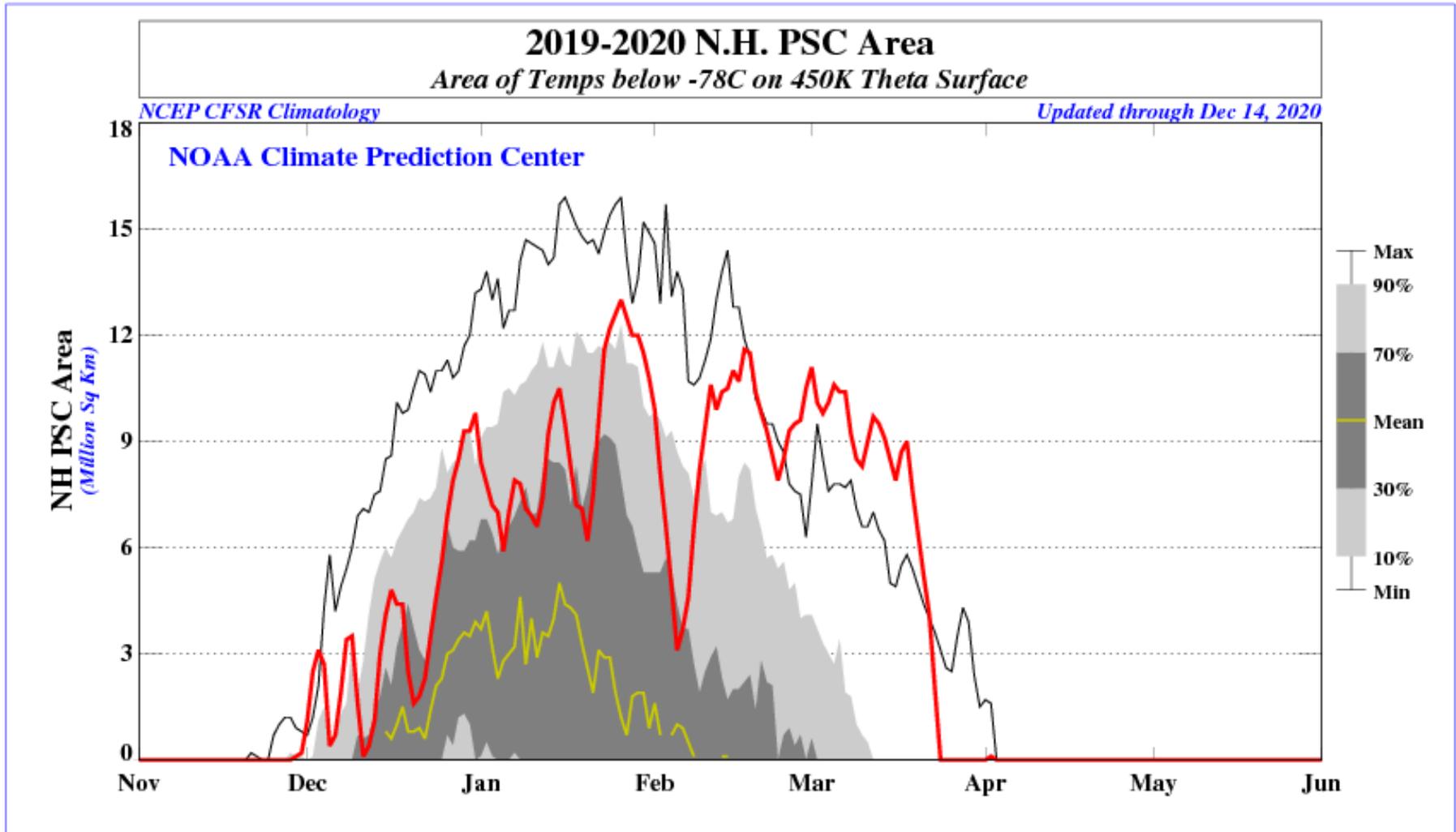


Hemisfério norte, área do vortex polar, 2019-2020

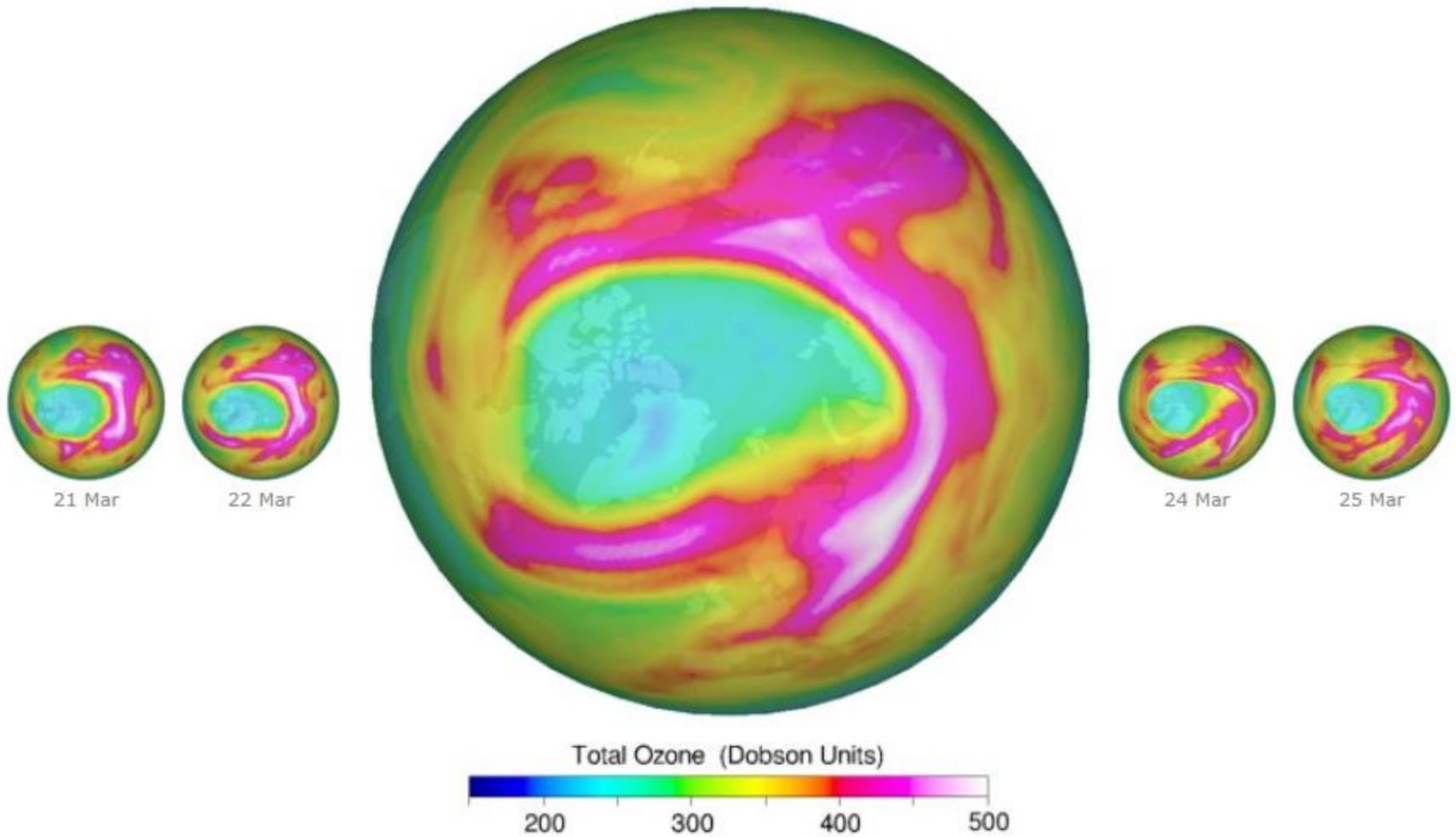


Vortex polar demorou mais para ser quebrado em 2020!!!!!!
Ocorreu maior buraco de ozônio da história no HN

Hemisfério norte, área das PSC, 2019-2020

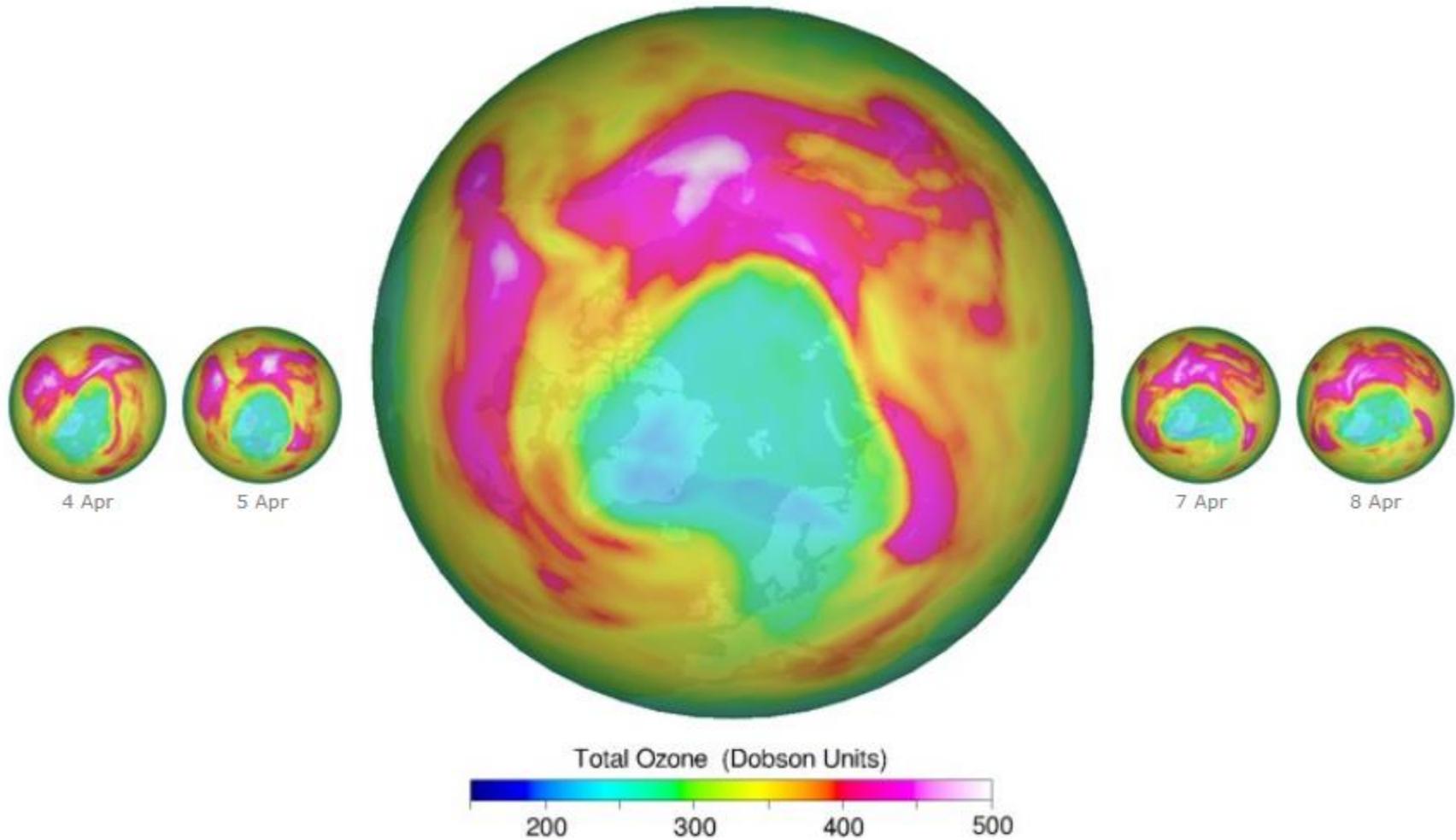


Coluna total de ozônio – Ártico 23 de março de 2020



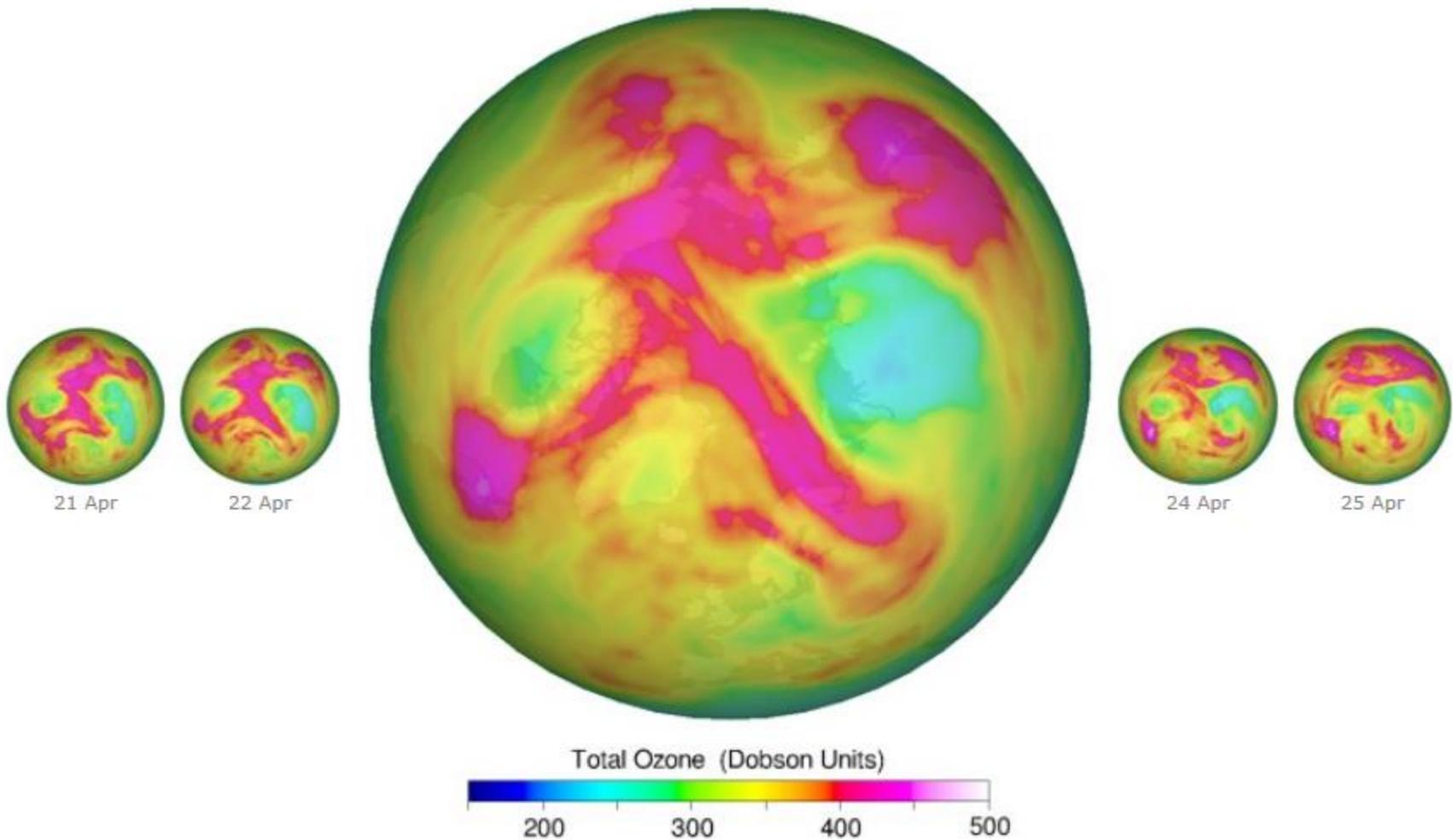
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20200323

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de abril de 2020



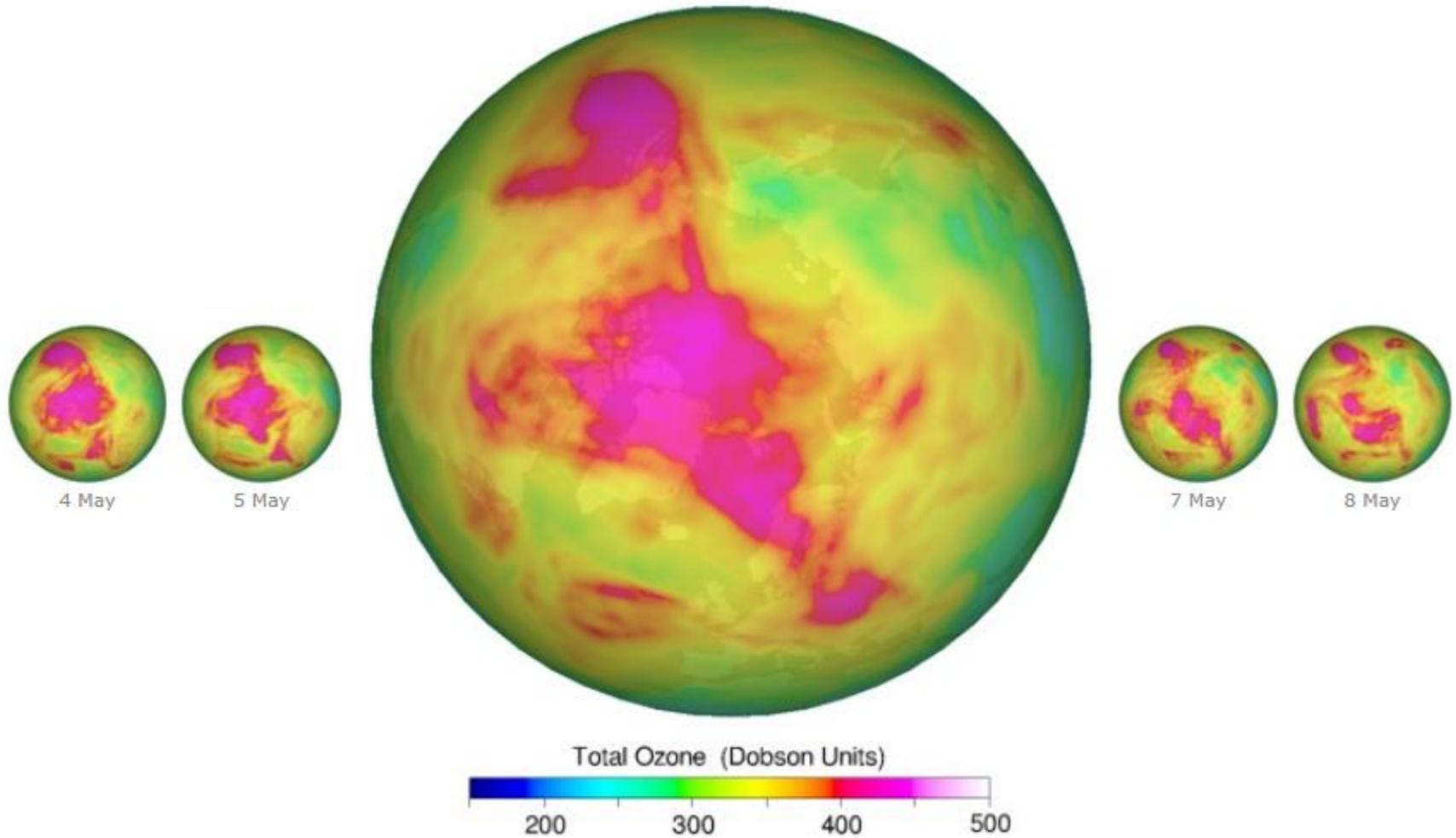
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20200406

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de abril de 2020



https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20200423

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de maio de 2020



https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20200506

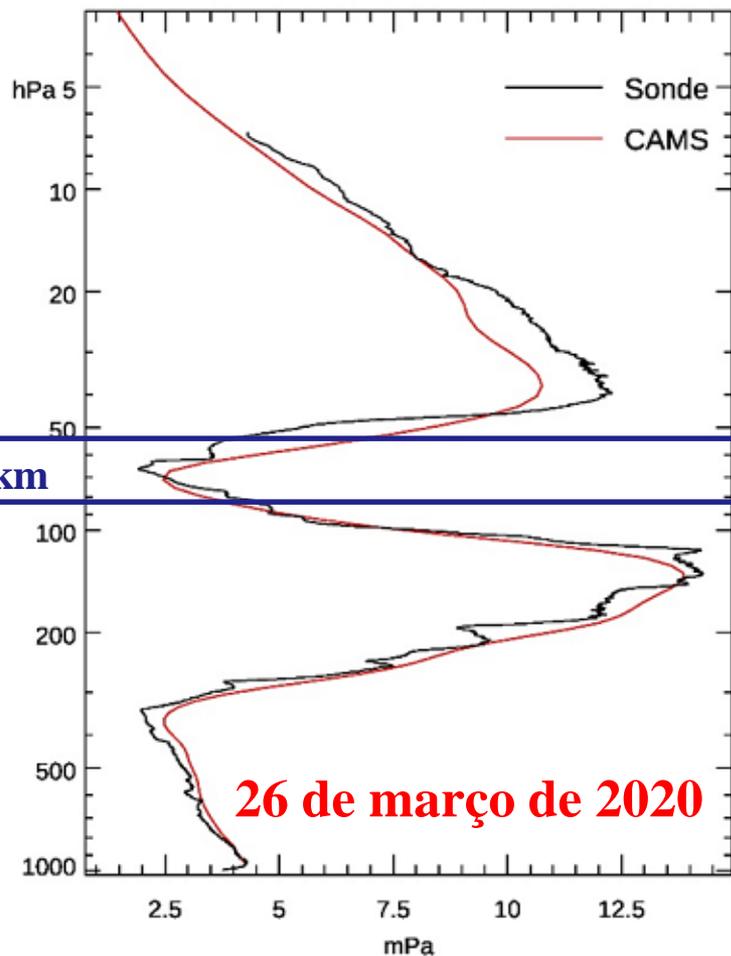
DMS	78° 55' 30" N, 11° 55' 20" E		
Decimal	78.925, 11.922222		
Geo URI	geo:78.925,11.922222		
UTM	33X 434028 8763343		
	More formats...		
Type	city	Region	SJ
Article	Ny-Ålesund (edit report inaccuracies)		

Ny-Ålesund ("New Ålesund") é uma pequena cidade na Terra do Oscar II, na ilha de Spitsbergen, em Svalbard, na Noruega.

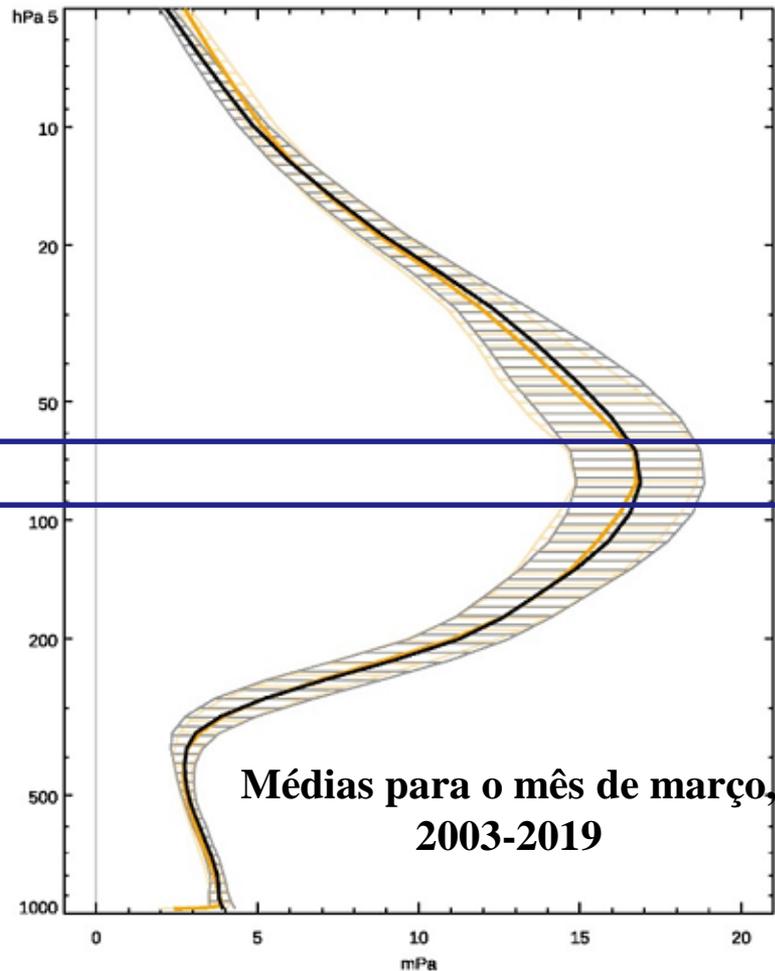


[https://tools.wmflabs.org/geohack/geohack.php?pagename=Ny-
%C3%85lesund¶ms=78_55_30_N_11_55_20_E_region:SJ_type:city\(35\)](https://tools.wmflabs.org/geohack/geohack.php?pagename=Ny-%C3%85lesund¶ms=78_55_30_N_11_55_20_E_region:SJ_type:city(35))

Profile of CAMS GO3 (mPa)
over Ny Aalesund
at 23UT, 26/03/2020. Day D+1.



Average of 177 profiles of EAC4 GO3 (mPa)
over Ny Aalesund
in month of March, 2003-2019. Analyses.



Painel esquerdo: Perfis de ozônio (mPa) a partir de Copernicus Atmosphere Monitoring Service, CAMS (vermelho) e sondagem de ozônio (preto) na estação ártica de Ny-Ålesund em 26/03/2020.

Painel direito: os perfis médios de ozônio em Ny-Ålesund pelo CAMS (amarelo / laranja) e ozoniosondas (preto) foram calculados em média ao longo dos anos 2003-2019. A área sombreada indica +/- 1 desvio padrão.

2020 - a destruição do ozônio ártico atingiu nível recorde (WMO)

No inverno (2019-2020), a severidade da redução do ozônio do Ártico foi intensificada por eventos de “ondas” da atmosfera superior incommumente fracas. Essas ondas impulsionam massas de ar através da alta atmosfera, viajando da baixa atmosfera em latitudes médias, que perturbam o vórtice ao redor do Ártico e trazem ar rico em ozônio de outras partes da estratosfera.

Além disso, o vórtice polar estratosférico sobre o Ártico foi forte e combinado com temperaturas consistentemente muito baixas por um longo período de tempo, promovendo a criação de uma grande área de nuvens estratosféricas polares e os processos químicos que destroem o ozônio com o aparecimento do sol sobre o Ártico.

Como resultado dessas condições atmosféricas incomuns, as concentrações de ozônio acima do Ártico atingiram valores baixos recorde para o mês de março, diminuindo para menos de 220 DU, o que é normalmente considerado 'níveis de buraco de ozônio', e no pico até 205 DU. Os valores mais baixos típicos de ozônio observados no Ártico em março são de pelo menos 240 DU.

<https://public.wmo.int/en/media/news/arctic-ozone-depletion-reached-record-level>

2020 - a destruição do ozônio ártico atingiu nível recorde (WMO)

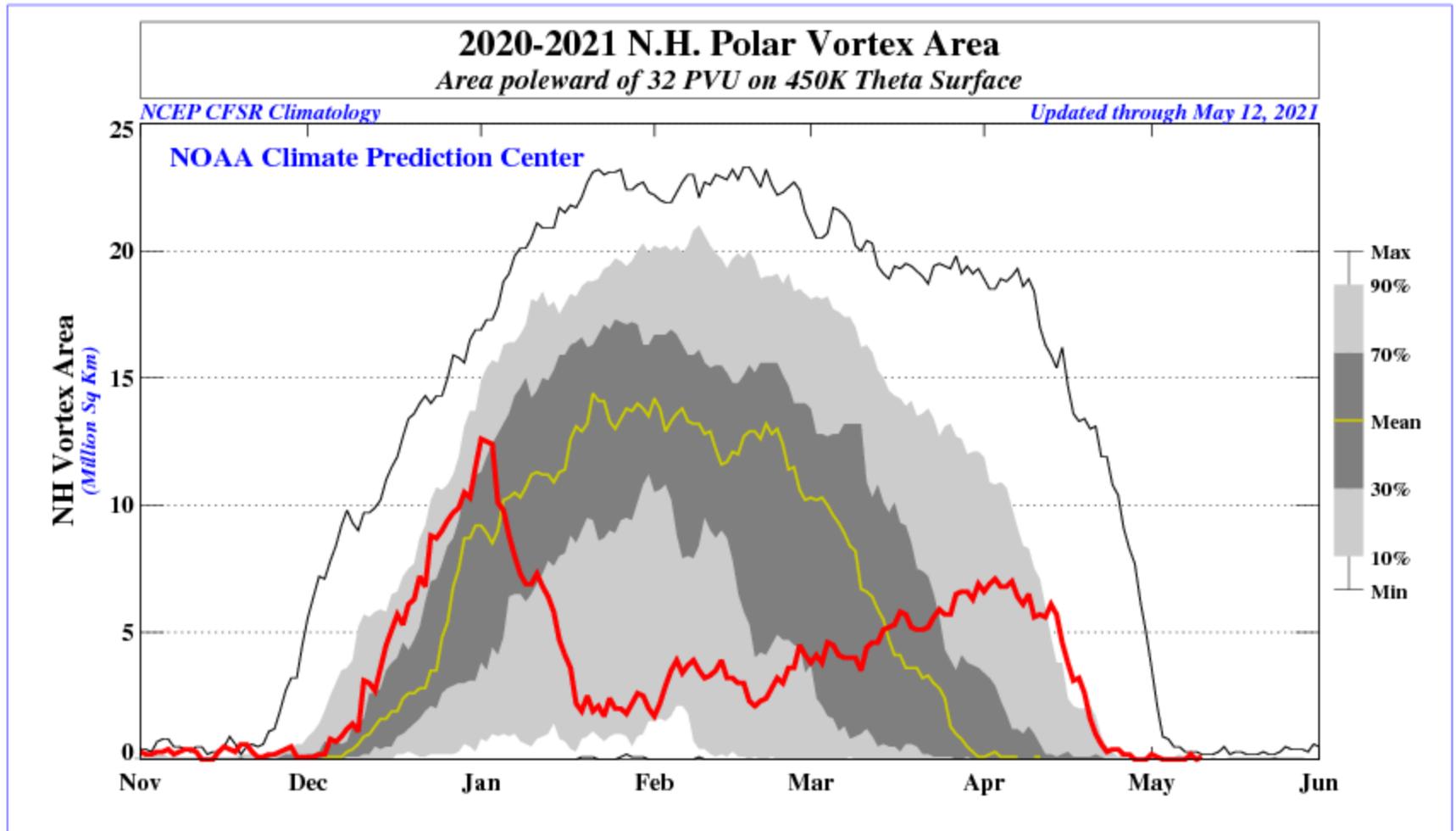
O aumento das temperaturas estratosféricas em abril fez com que o vórtice polar encolhesse e se dividisse em dois vórtices menores e separados e permitiu a mistura com o ar rico em ozônio da baixa atmosfera. O aquecimento de abril na estratosfera cessou as condições que suportam o necessário para as reações de destruição da camada de ozônio, nuvens estratosféricas polares e encerrou o evento de depleção.

Como as condições meteorológicas e as temperaturas variam de ano para ano, a gravidade da redução da camada de ozônio também varia. Isso significa que ocasionais grandes depleções do ozônio do Ártico ainda são possíveis. A estratosfera do Ártico geralmente é menos isolada do que a da Antártica. As temperaturas estratosféricas no Ártico geralmente não atingem valores tão baixos quanto na estratosfera Antártica e nem permanecem baixas por longos períodos de tempo.

O buraco de ozônio do Ártico desta primavera teve uma extensão máxima muito menor em comparação com a extensão de um buraco típico da Antártica. O buraco de ozônio de 2019 sobre a Antártica foi o menor já registrado desde que o buraco de ozônio foi descoberto pela primeira vez.

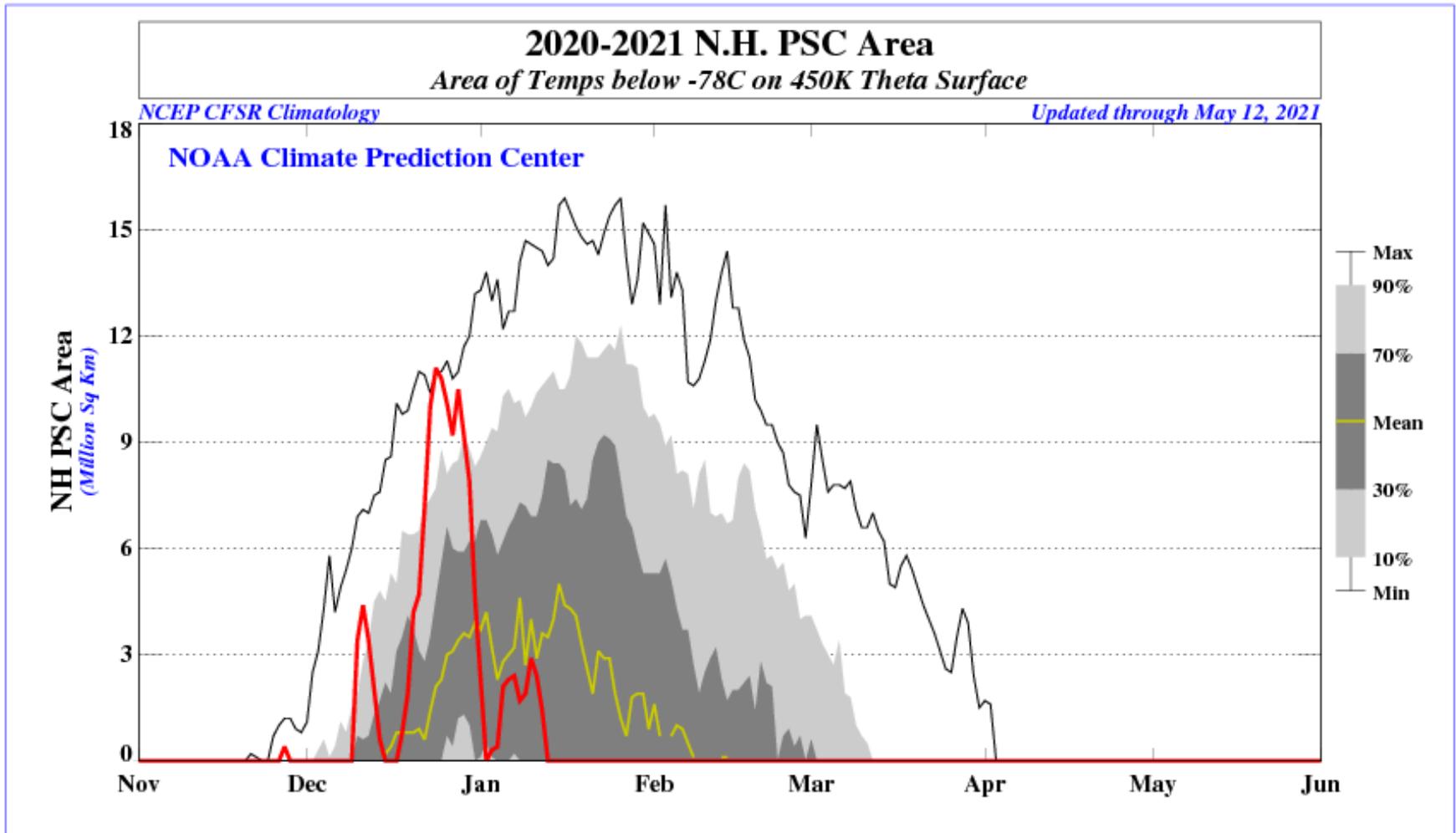
Os cientistas estão monitorando até que ponto as mudanças climáticas estão levando ao resfriamento estratosférico, o que aumenta as possibilidades de observação de temperaturas abaixo de -78°C , especialmente no Ártico. Esses são necessários para a formação da nuvem estratosférica polar.

Hemisfério norte, área do vortex polar, 2020-2021



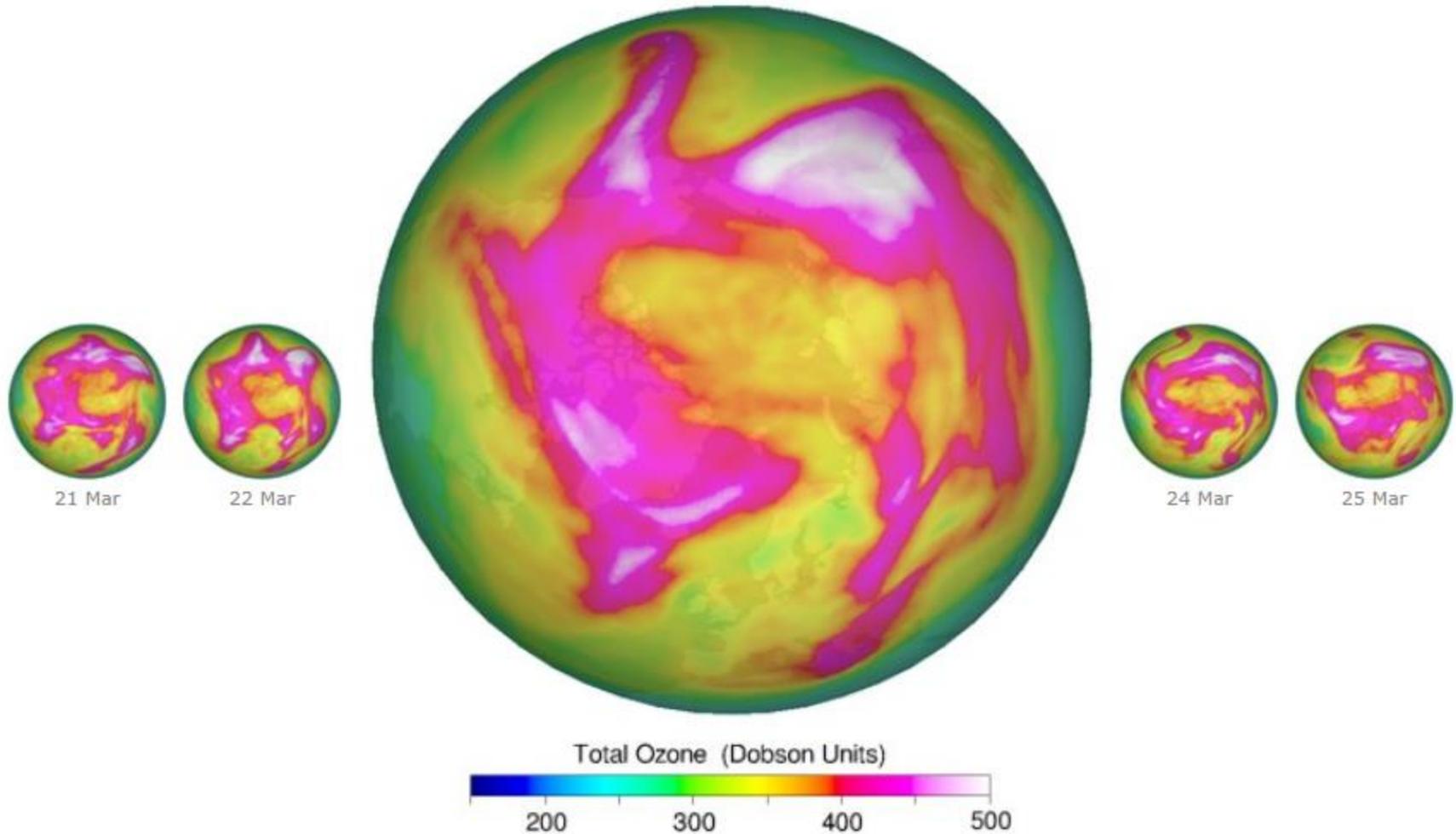
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/vtx_nh.png

Hemisfério norte, área das PSC, 2020-2021



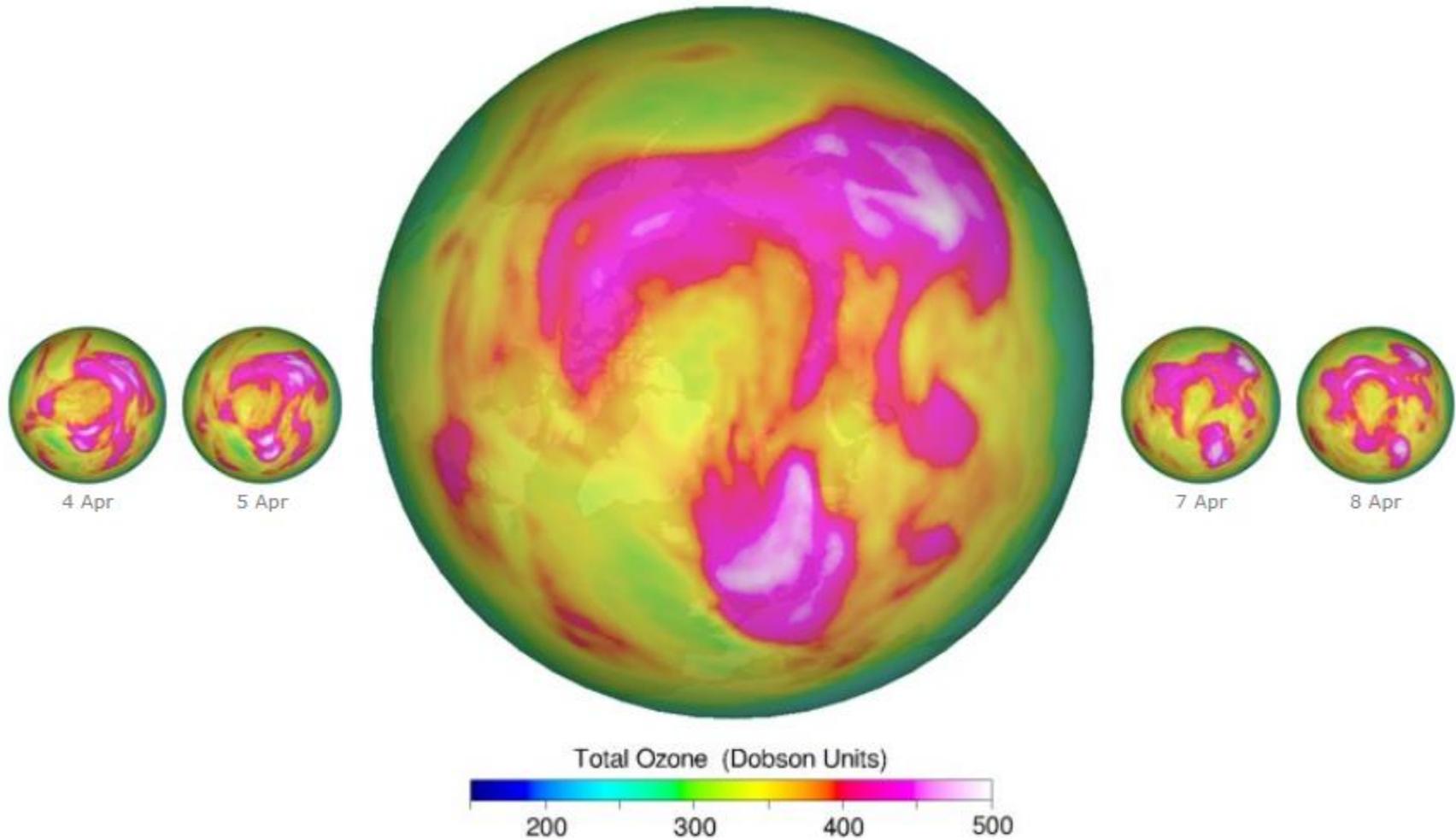
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/psc_nh.png

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de março de 2021



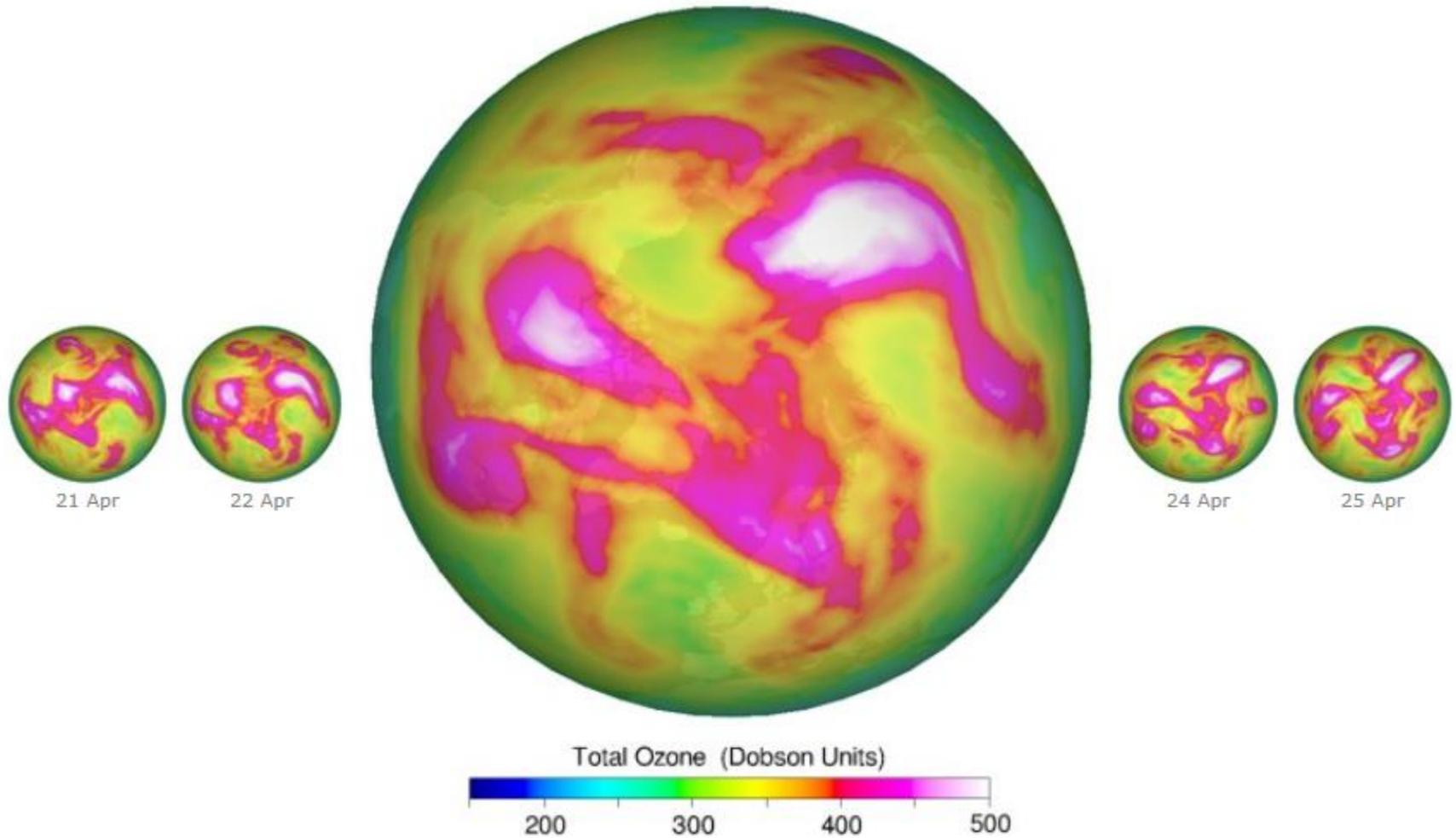
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20210323

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de abril de 2021



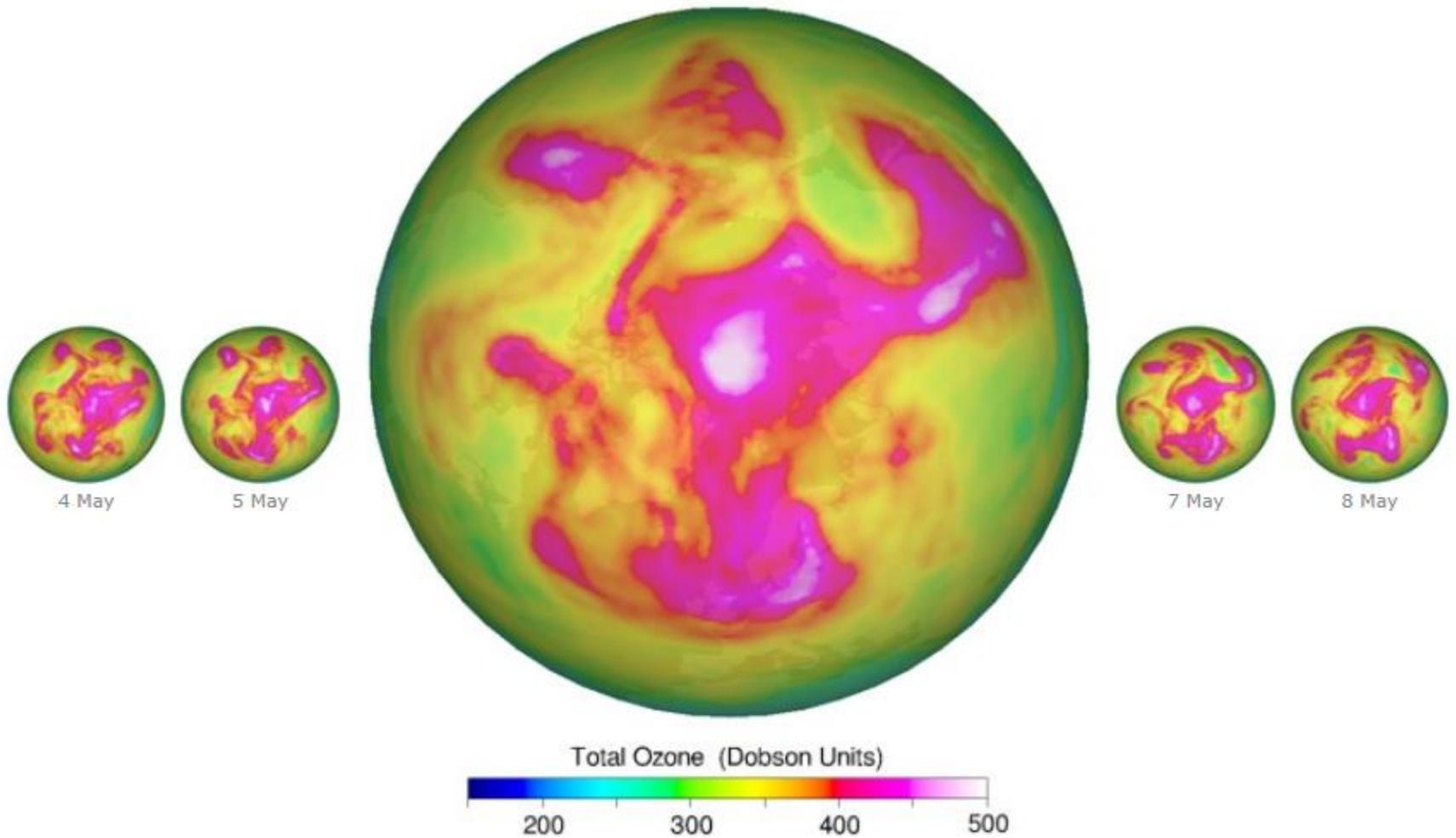
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20210406

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de abril de 2021

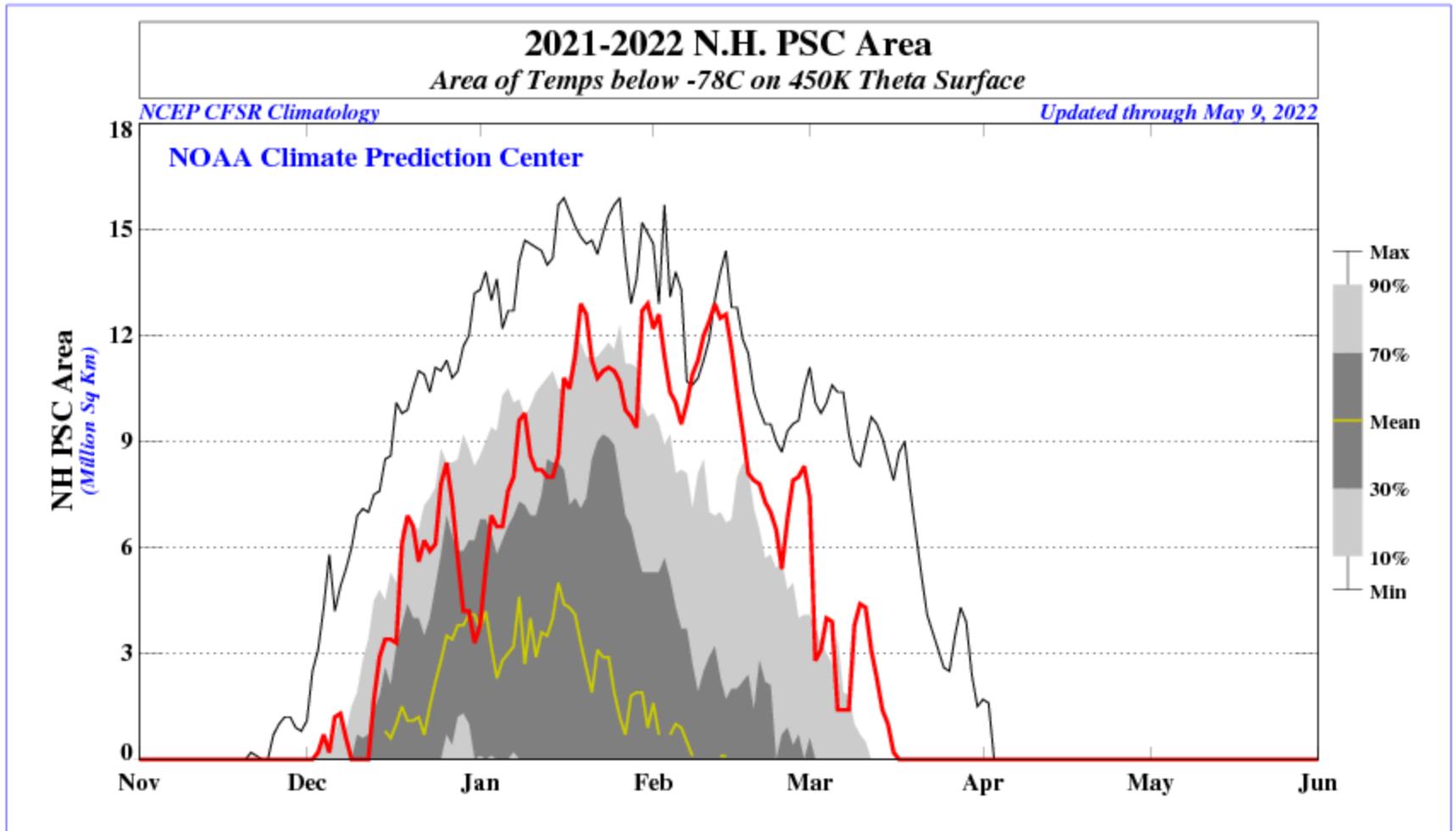


https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20210423

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de maio de 2021



Hemisfério norte, área das PSC, 2021-2022



https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/psc_nh.png

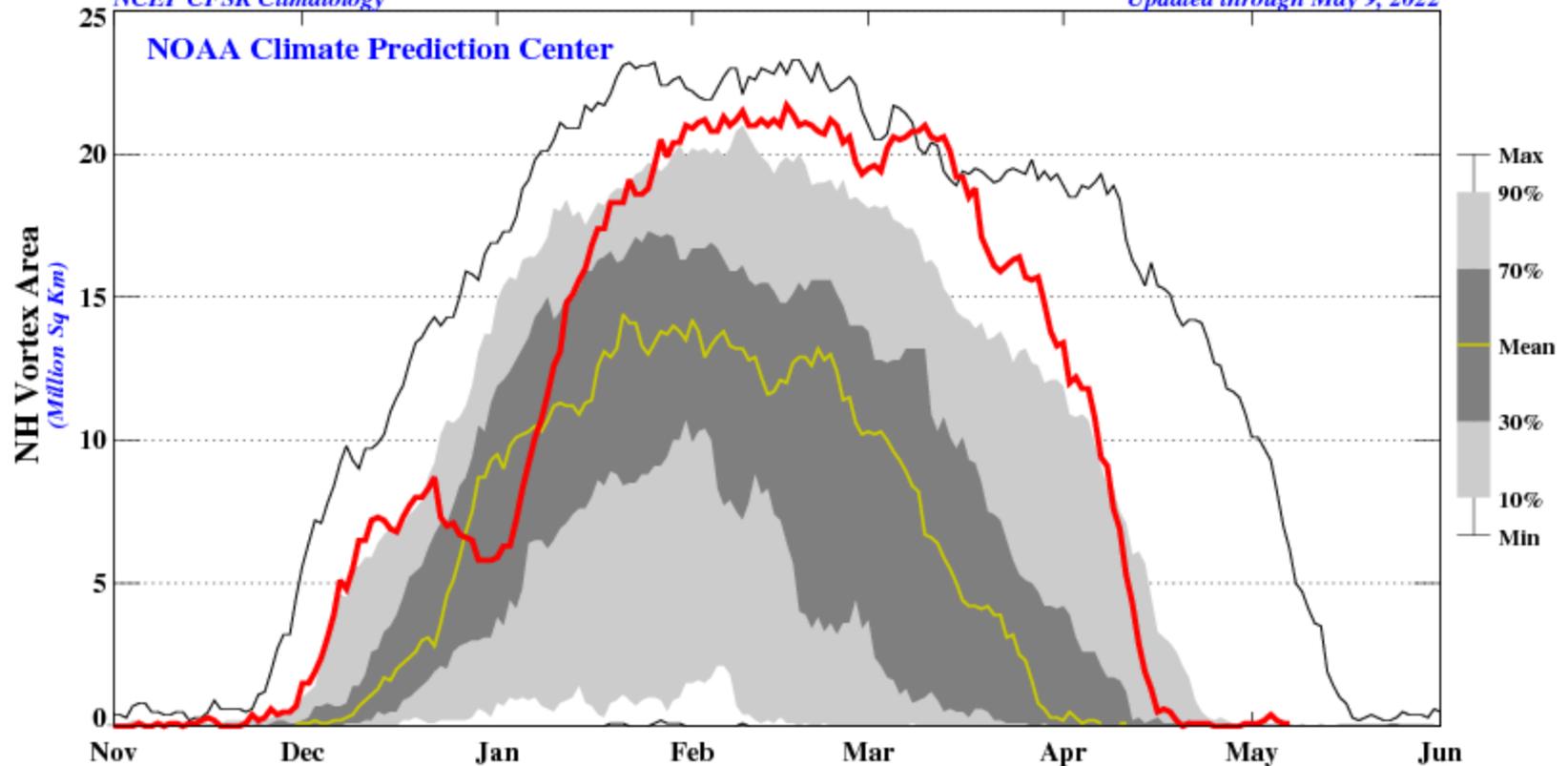
2021-2022 N.H. Polar Vortex Area

Area poleward of 32 PVU on 450K Theta Surface

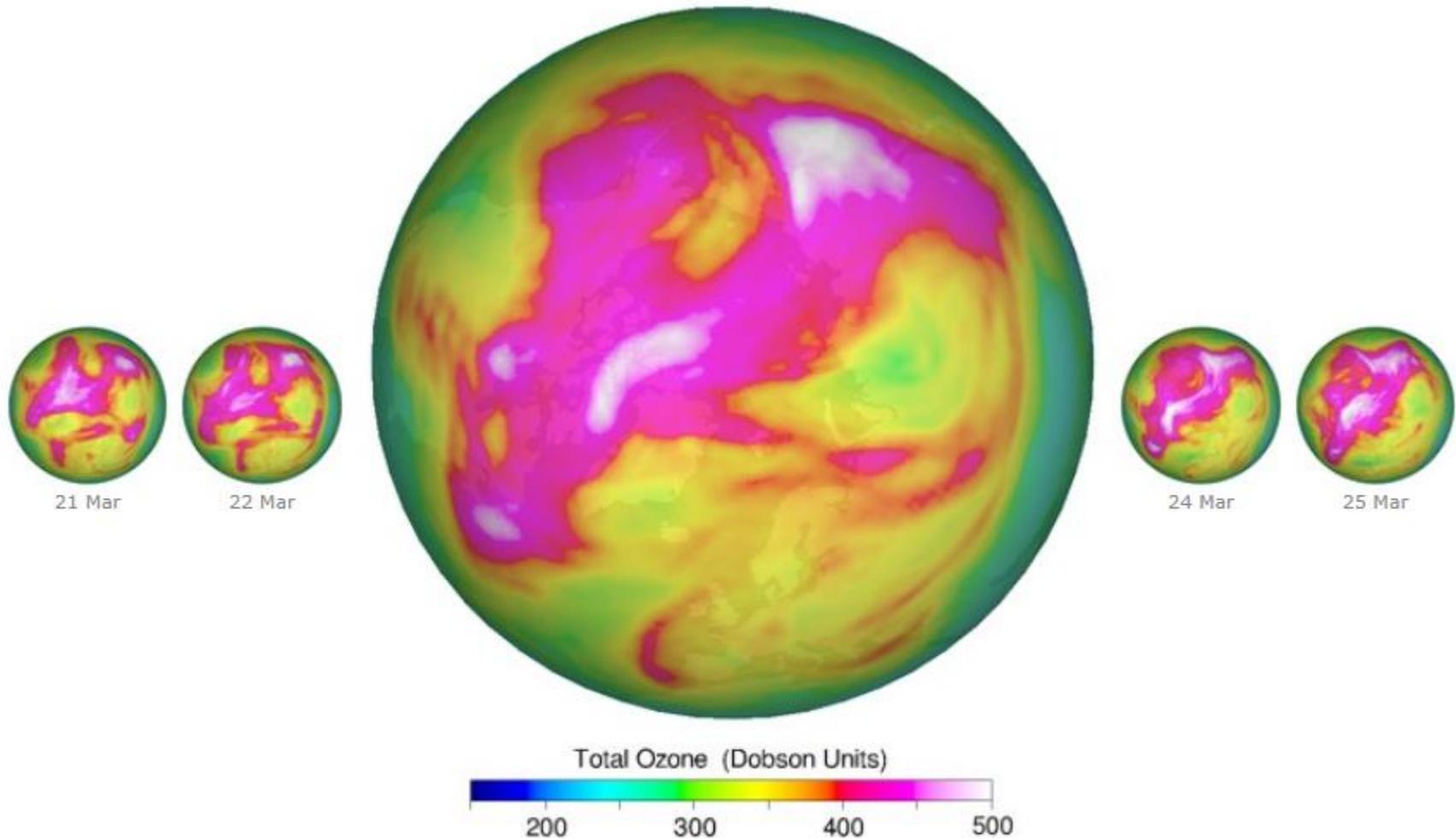
NCEP CFSR Climatology

Updated through May 9, 2022

NOAA Climate Prediction Center

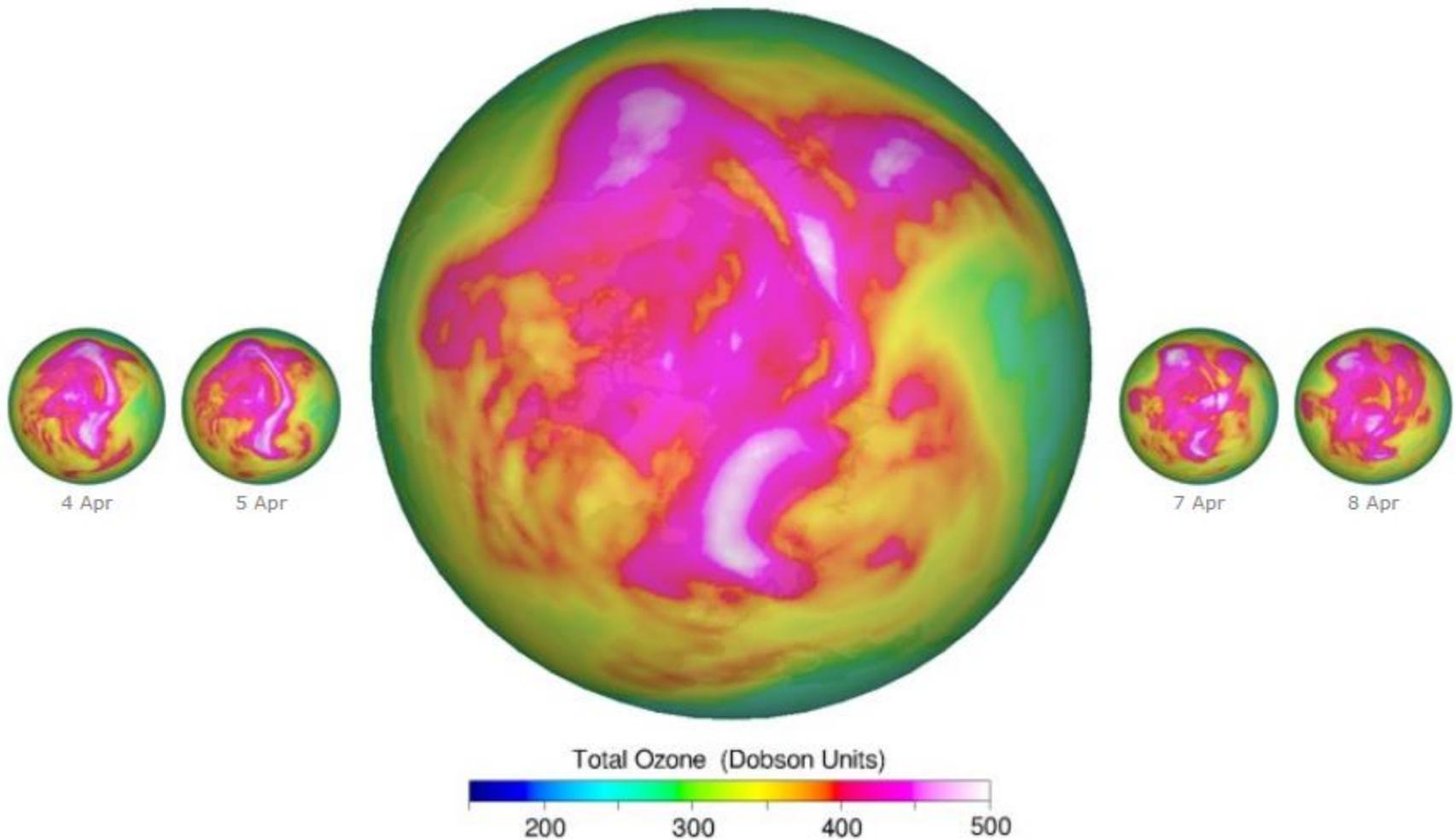


Coluna total de ozônio – Ártico 23 de março de 2022



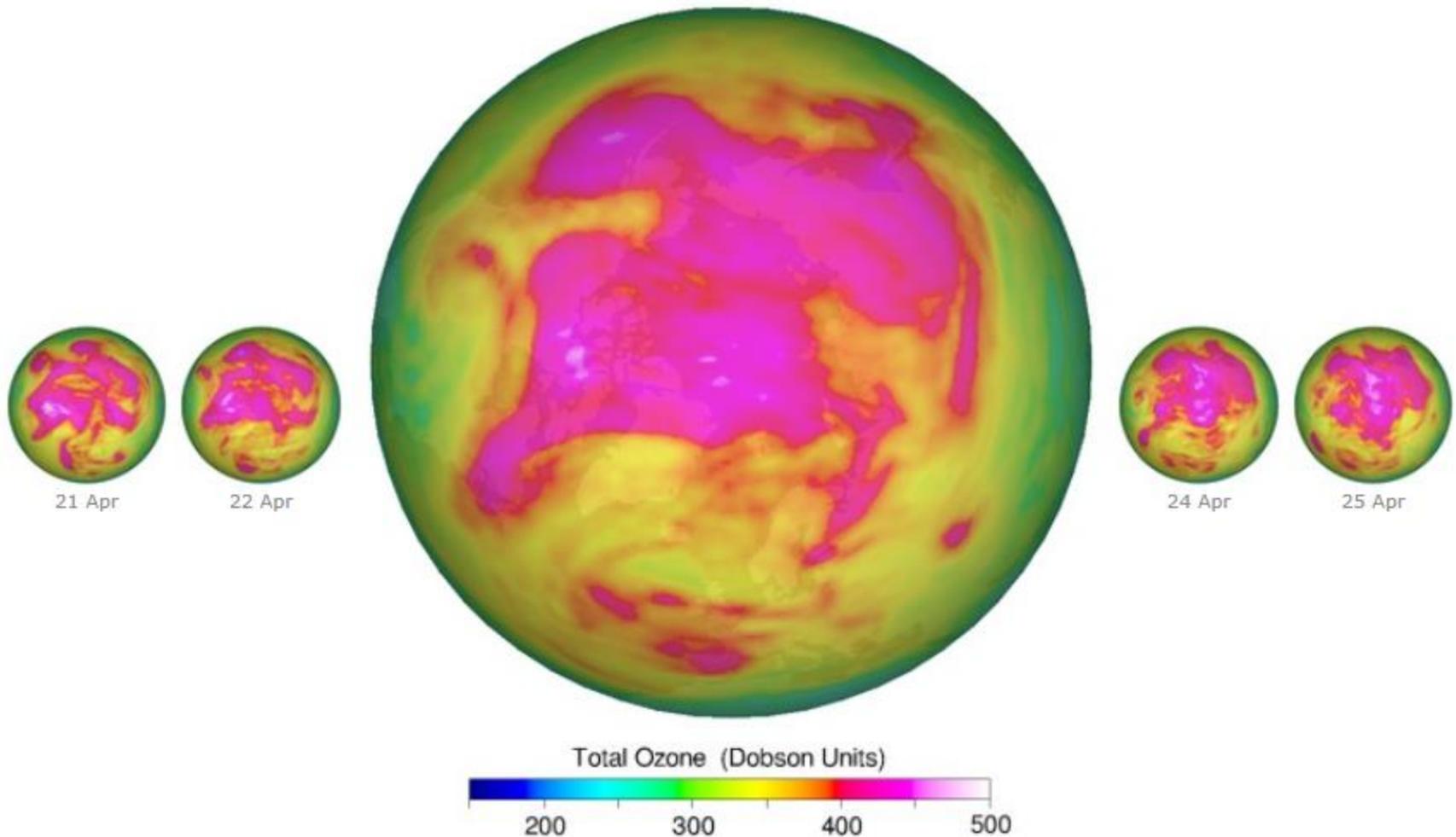
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20220323

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de abril de 2022



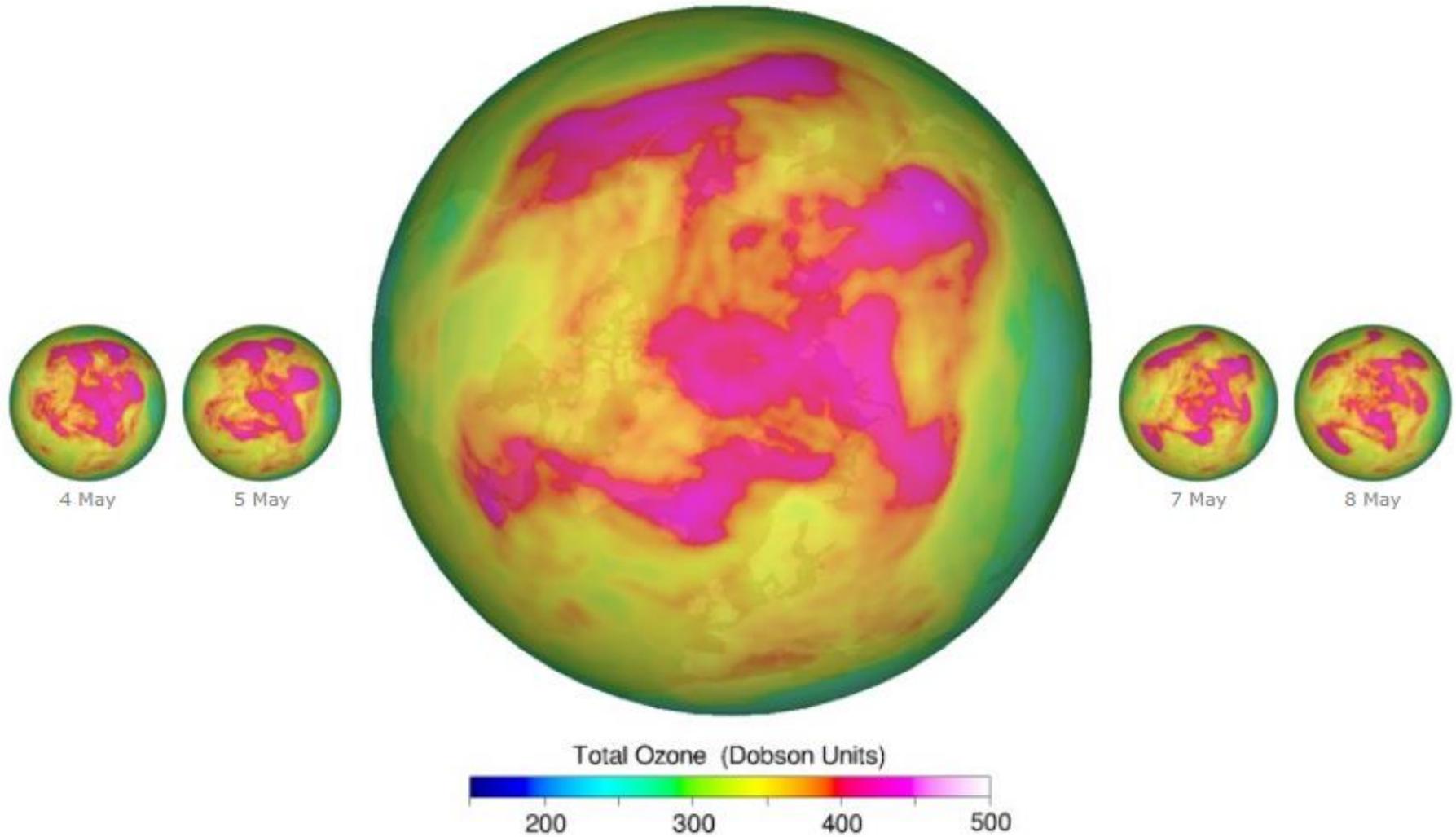
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20220406

Coluna total de ozônio – Ártico 23 de abril de 2022



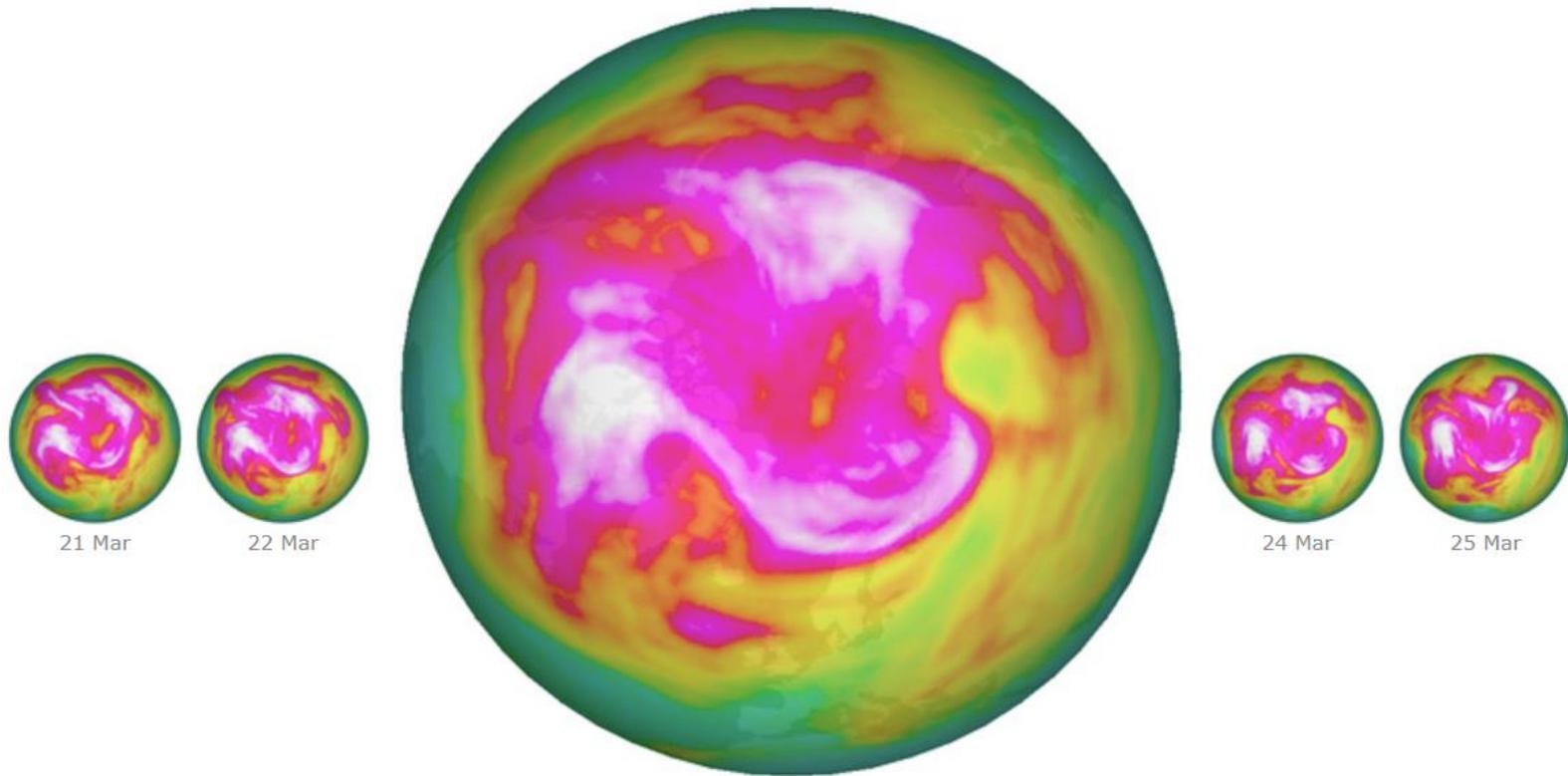
https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20220423

Coluna total de ozônio – Ártico 06 de maio de 2022



https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20220506

23 Mar 2023



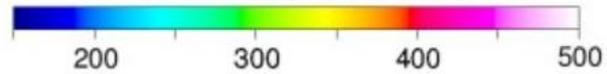
21 Mar

22 Mar

24 Mar

25 Mar

Total Ozone (Dobson Units)



Pick a day: Year Month Day

https://www.temis.nl/protocols/o3hole/arctic_archive.php?date=20230323