

ANG PAGBABAGO NG KLIMA

MGA SANHI AT EBIDENSYA



UPDATE 2020

*Isang pag-aaral mula sa Royal Society at sa
US National Academy of Sciences*



THE
**ROYAL
SOCIETY**

ANG BUOD

ANG PAGBABAGO NG KLIMA AY ISA SA MGA PANGUNAHING ISYU NG ATING PANAHON. Ngayon at higit kailanman, mas malinaw na, ang mga tao ang nagpapabago sa klima ng Daigdig, batay sa maraming pagsasaliksik ng ebidensiya. Uminti na ang atmospera at karagatan, na sinamahan ng pagtaas ng antas ng dagat, matinding pagbagsak ng yelo sa Arctic, at iba pang mga pagbabagong kaugnay ng klima. Ang mga epekto ng pagbabago ng klima sa mga tao at kalikasan ay lalong nagiging malinaw. Walang katulad na pagbaha, matinding kainitan, at mga sunog sa kagubatan ang nagdudulot ng bilyong halaga ng pinsala. Ang mga tirahan ng mga hayop at halaman ay mabilis na nagbabago bilang tugon sa pabagu-bagong temperatura at hindi matiyak na panahon ng tag-ulan.

Ang Royal Society at ang US National Academy of Sciences, na may parehong layunin na itaguyod ang paggamit ng agham para sa kapakanan ng lipunan at upang gabayan ang mahahalagang talakayin sa mga polisiya, ang lumikha ng orihinal na *Ang Pagbabago ng Klima: Mga Sanhi at Ebidensiya* noong 2014. Ito ay isinulat at sinuri ng pangkat ng UK-US na mga nangungunang siyentipiko sa klima. Ang bagong edisyong ito, na inihanda ng parehong pangkat ng mga may-akda, ay nagpabago ang konteksto sa pinakabagong datos ng klima at mga pagsusuri sa agham, at ang lahat ay nagpapatibay sa ating pag-unawa sa pagbabago ng klima na dulot ng tao.

Ang mga ebidensiya ay malinaw. Gayunpaman, dahil na din sa likas na katangian ng agham, hindi lahat ng detalye ay ganap na napagpasyahan o maging tiyak. Hindi pa rin nasasagot ang ibang kaugnay na tanong. Ngunit patuloy pa din ang pagkalap ng mga ebidensiyang agham sa buong mundo. Ang ilan ay naging mas malinaw at may mga bagong kaalaman na lumiitaw. Isang halimbawa nito ay ng natapos ang panahon ng marahang pag-init noong 2000 at unang bahagi ng 2010 na may dramatikong pagtalon sa mas maiinit na temperatura sa pagitan ng 2014 at 2015. Ang saklaw ng yelo sa dagat ng Antarctic, na dating pataas, ay nagsimulang bumaba noong 2014, na umabot sa pinakamababang rekord noong 2017 na nananatili hanggang sa ngayon. Ang mga ito at iba pang mga obserbasyon kamakailan ay isinama sa mga talakayan ng mga tanong na tinatalakay sa librito na ito.

Ang mga panawagan para sa aksyon ay nangingibabaw. Ang 2020 *Global Risks Perception Survey* mula sa *World Economic Forum* ay nag-ranggo sa pagbabago ng klima at mga kaugnay na isyu sa kapaligiran bilang nangungunang limang pandaigdigang panganib na maaaring mangyari sa loob ng susunod na sampung taon. Gayunpaman, malayo pa ang kailangan ng internasyonal na komunidad upang ipakita ang mas mataas na ambisyon sa pagpapagaan, pag-aangkop, at iba pang paraan upang harapin ang pagbabago ng klima. Ang impormasyong pang-agham ay isang mahalagang bahagi para sa lipunan upang makagawa ng mga desisyon na may sapat na kaalaman patungkol sa kung paano mababawasan ang malawakang pagbabago ng klima at kung paano umangkop sa mga epekto nito. Ang librito na ito ay nagsisilbing pangunahing sanggunian para sa mga gumagawa ng desisyon, mga gumagawa ng polisiya, mga tagapagturo, at iba pang naghahanap ng awtoridad sa mga sagot tungkol sa kasalukuyang estado ng agham ng pagbabago ng klima. Kami ay nagpapasalamat sa anim na taon na lumpas, sa ilalim ng pamumuno ni Dr. Ralph J. Cicerone, dating Pangulo ng National Academy of Sciences, at Sir Paul Nurse, dating Pangulo ng Royal Society, ang dalawang organisasyong ito ay nagsanib-puwersa upang makapag ilahad ng mataas na antas sa pangkalahatang-ideya ng agham ng pagbabago ng klima. Bilang kasalukuyang mga Pangulo ng mga organisasyong ito, kami ay natutuwa na ilahad ang bagong kaalaman sa pangunahing sangguniang ito, na sinusuportahan ng mabubuting-loob na Pamilya Cicerone.

Marcia McNutt

Pangulo ng National Academy of Sciences

Venki Ramakrishnan

Pangulo ng Royal Society

DETALYADONG PAGTALAKAY AT MGA SANGGUNIAN

Para sa detalyadong impormasyon ukol sa usaping ito, maari na lamang na piliin ang tamang dokumento

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019: *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [<https://www.ipcc.ch/srocc>]
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM), 2019: *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda* [<https://www.nap.edu/catalog/25259>]
- Royal Society, 2018: *Greenhouse gas removal* [<https://raeng.org.uk/greenhousegasremoval>]
- U.S. Global Change Research Program (USGCRP), 2018: *Fourth National Climate Assessment Volume II: Impacts, Risks, and Adaptation in the United States* [<https://nca2018.globalchange.gov>]
- IPCC, 2018: *Global Warming of 1.5°C* [<https://www.ipcc.ch/sr15>]
- USGCRP, 2017: *Fourth National Climate Assessment Volume I: Climate Science Special Reports* [<https://science2017.globalchange.gov>]
- NASEM, 2016: Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change [<https://www.nap.edu/catalog/21852>]
- IPCC, 2013: *Fifth Assessment Report (AR5) Working Group 1. Climate Change 2013: The Physical Science Basis* [<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>]
- NRC, 2013: *Abrupt Impacts of Climate Change: Anticipating Surprises* [<https://www.nap.edu/catalog/18373>]
- NRC, 2011: *Climate Stabilization Targets: Emissions, Concentrations, and Impacts Over Decades to Millennia* [<https://www.nap.edu/catalog/12877>]
- Royal Society 2010: *Climate Change: A Summary of the Science* [<https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2010/climate-change-summary-science>]
- NRC, 2010: *America's Climate Choices: Advancing the Science of Climate Change* [<https://www.nap.edu/catalog/12782>]

Much of the original data underlying the scientific findings discussed here are available at:

- <https://data.ucar.edu/>
- <https://climatedataguide.ucar.edu>
- <https://iri.ldeo.columbia.edu>
- <https://ess-dive.lbl.gov/>
- <https://www.ncdc.noaa.gov/>
- <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- <http://scrippsco2.ucsd.edu>
- <http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>



THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS) was established to advise the United States on scientific and technical issues when President Lincoln signed a Congressional charter in 1863. The National Research Council, the operating arm of the National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering, has issued numerous reports on the causes of and potential responses to climate change. Climate change resources from the National Research Council are available at nationalacademies.org/climate.



THE ROYAL SOCIETY is a self-governing Fellowship of many of the world's most distinguished scientists. Its members are drawn from all areas of science, engineering, and medicine. It is the national academy of science in the UK. The Society's fundamental purpose, reflected in its founding Charters of the 1660s, is to recognise, promote, and support excellence in science, and to encourage the development and use of science for the benefit of humanity. More information on the Society's climate change work is available at royalsociety.org/policy/climate-change



THE
ROYAL
SOCIETY

BUOD	2
PAGBABAGO NG KLIMA (TANONG AT SAGOT)	
1 Is the climate warming?	3
2 How do scientists know that recent climate change is largely caused by human activities?	5
3 CO ₂ is already in the atmosphere naturally, so why are emissions from human activity significant?	6
4 What role has the Sun played in climate change in recent decades?	7
5 What do changes in the vertical structure of atmospheric temperature—from the surface up to the stratosphere—tell us about the causes of recent climate change?	8
6 Climate is always changing. Why is climate change of concern now?	9
7 Is the current level of atmospheric CO ₂ concentration unprecedented in Earth's history?	9
8 Is there a point at which adding more CO ₂ will not cause further warming?	10
9 Does the rate of warming vary from one decade to another?	11
10 Did the slowdown of warming during the 2000s to early 2010s mean that climate change is no longer happening?	12
BATAYAN SA PAGBABAGO NG KLIMA	B1–B8
PAGBABAGO NG KLIMA (TANONG AT SAGOT)	
11 If the world is warming, why are some winters and summers still very cold?	13
12 Why is Arctic sea ice decreasing while Antarctic sea ice has changed little?	14
13 How does climate change affect the strength and frequency of floods, droughts, hurricanes, and tornadoes?	15
14 How fast is sea level rising?	16
15 What is ocean acidification and why does it matter?	17
16 How confident are scientists that Earth will warm further over the coming century?	18
17 Are climate changes of a few degrees a cause for concern?	19
18 What are scientists doing to address key uncertainties in our understanding of the climate system?	19
19 Are disaster scenarios about tipping points like “turning off the Gulf Stream” and release of methane from the Arctic a cause for concern?	21
20 If emissions of greenhouse gases were stopped, would the climate return to the conditions of 200 years ago?	22
KONKLUSYON	23
PAGPAPAHALAGA	24

Ang mga *greenhouse gases* tulad ng *carbon dioxide* (CO₂) ay sumisipsip ng init mula sa ibabaw ng Daigdig. Ang pagtaas ng konsentrasyon ng mga gas na ito ay nagdudulot ng pag-init ng mundo sa pamamagitan ng pagpigil sa init na lumabas mula sa atmospera. Mula noong 1900, tumaas ang karaniwang temperatura sa ibabaw ng Daigdig ng humigit-kumulang 1°C, na sinamahan ng pag-init ng karagatan, pagtaas ng antas ng dagat, at malawakang pagtaas ng *frequency* at *intensity* ng mga biglaang pag-init. Ang patuloy na pagbuga ng mga *greenhouse gases* ay magdudulot ng karagdagang pagbabago sa klima, kasama ang malalaking pagbabago sa karaniwan na temperaturang pandaigdigan at sa mga rehiyonal na klima. Ipinakita ng mga detalyadong pagsusuri na ang pag-init sa panahong ito ay pangunahing resulta ng tumaas na konsentrasyon ng CO₂ at iba pang mga *greenhouse gases*. Ang patuloy na paglabas ng mga gas na ito ay magdudulot ng karagdagang pagbabago sa klima, kabilang ang malaking pagtaas sa pandaigdigang average na temperatura sa ibabaw at mahahalagang pagbabago sa rehiyon. klima.

Ang laki at timing ng mga pagbabagong ito ay magdedepende sa maraming salik, - at patuloy na magaganap ang mga pagbagal at pagbilis ng pag-init na tumatagal ng isang dekada o higit pa.



1

UMIINIT BA ANG KLIMA?

Oo. Ang average na temperatura ng ibabaw ng Daigdig ay tumaas ng halos 1°C (1.8°F) mula noong 1900, na higit sa kalahati ng pagtaas ay nangyari sa pagitan ng 1970. Ang malawak na hanay ng iba pang mga obserbasyon (tulad ng pagbawas sa saklaw ng yelo sa dagat ng Arctic at pagtaas ng mainit na temperatura sa karagatan) pati mga senyales mula sa natural na mundo (tulad ng mga paglipat ng iba't-ibang uri ng mga isda, mammals, insekto, at iba pa na sensitibo sa temperatura patungo sa mga rehiyon ng polar) ay magbibigay ng hindi maikakalang ebidensya ng pag-init ng planeta.

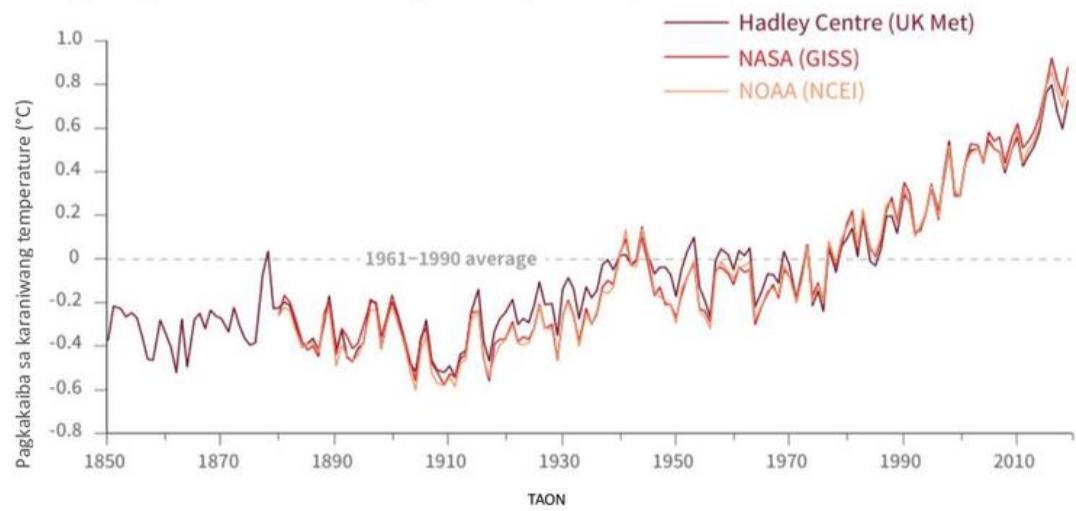
Ang pinakamalinaw na ebidensya para sa pag-init ng ibabaw ay mula sa malawak na mga record ng thermometer na, sa ilang mga lugar, umabot hanggang sa huling bahagi ng ika-19 na siglo. Ngayon, ang mga temperatura ay sinusubaybayan sa ilang libong lokasyon, parehong ibabaw ng lupa at sa karagatan.

Ang mga hindi direktang pagtatantya ng pagbabago ng temperatura ay mula sa mga singsing ng puno at mga core ng yelo ay tumutulong sa lagay ng mga kamakailang pagbabago sa temperatura sa konteksto ng nakaraan. Sa mga tuntunin ng karaniwang temperatura sa ibabaw ng Daigdig, ang mga hindi direktang pagtatantya ay nagpapakita na ang 1989 hanggang 2019 ay ang naitala na pinakamainit na 30-taon na higit sa 800 taon na ang nakalipas; ang pinakabagong dekada, 2010-2019. Ay ang pinakamainit na dekada sa instrumental na rekord hanggang ngayon (simula noong 1850). Ang malawak na hanay ng iba pang mga obserbasyon ay nagbibigay ng mas komprehensibong larawan ng pag-init sa buong klima ng sistema. Halimbawa, ang mas mababang atmospera at ang mga tuktok na patong ng karagatan ay uminit din, ang saklaw ng niyebe at yelo ay bumababa sa Hilagang Hemisphere, ang *Greenland ice sheet* ay humihina, at ang antas ng dagat ay tumataas. Ang mga sukat na ito ay isinasagawa gamit ang iba't-ibang sistema ng pagsubaybay mula sa lupa, karagatan, at kalawakan, na nagbibigay ng dagdag na

Pigura 1a. Ang pandaigdigang na karaniwang temperatura sa ibabaw Daigdig ay tumaas gaya ng ipinapakita sa balangkas na ito ng pinagsamang kalkulasyon galing sa lupa at karagatan mula 1850 hanggang 2019, na kinuha sa tallong magkakahilaway na pagsusuri na gamit sa dataset. Ang mga pagbabago sa temperatura ay kaugnay ng pandaigdigang pamantayan ng temperatura sa ibabaw mula 1961-1990.

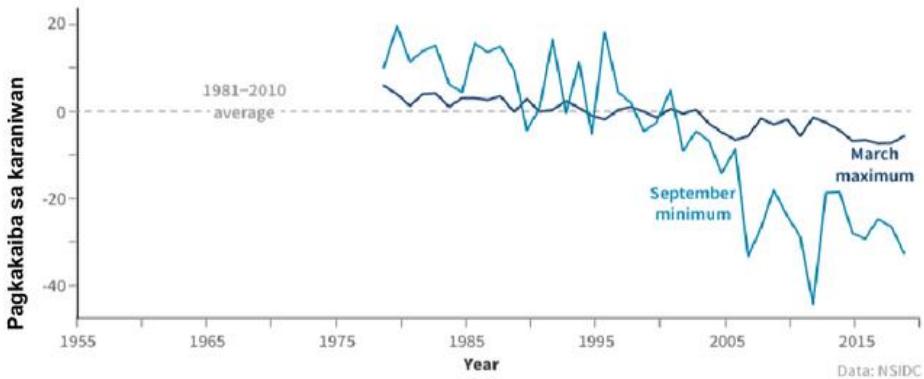
Pinagmulan: NOAA Climate.gov; data mula sa UK Met Office Hadley Centre (maroon), US National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies (pula), at US National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Information (Kahel).

Taunang temperatura sa ibabaw ng mundo (1850-2019)

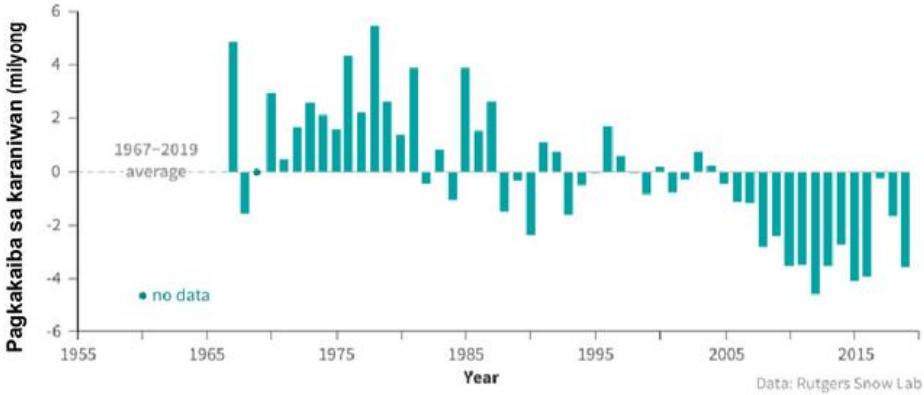


Pigura 1b. Isang malaking ebidensa sa pagsisiyasat at bukod sa mga rekord ng temperatura sa ibabaw, dito pinapakita na ang klima ng Daigdig ay nagbabago. Halimbawa, ang karagdagang ebidensa ng takbo sa pag-init ay matatagpuan sa dramatikong pagbawas sa saklaw ng Arctic sea ice sa kanyang *summer minimum* (naganap tuwing Setyembre). Ang pagbaba ng snow cover sa Northern Hemisphere noong Hunyo, ang pagtaas sa pandaigdigang pamantayan ng *upper ocean* (taas na 700m o 2300 talampakan) heat content (na ipinapakita kaugnay sa average mula 1955-2006) at ang pagtaas ng antas sa dagat ng buong mundo. Pinagmulan: NOAA

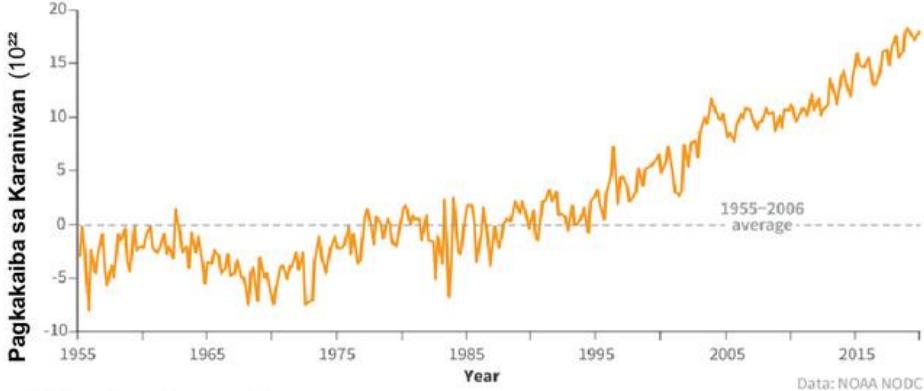
Arctic sea ice extent in winter and summer (1979–2019)



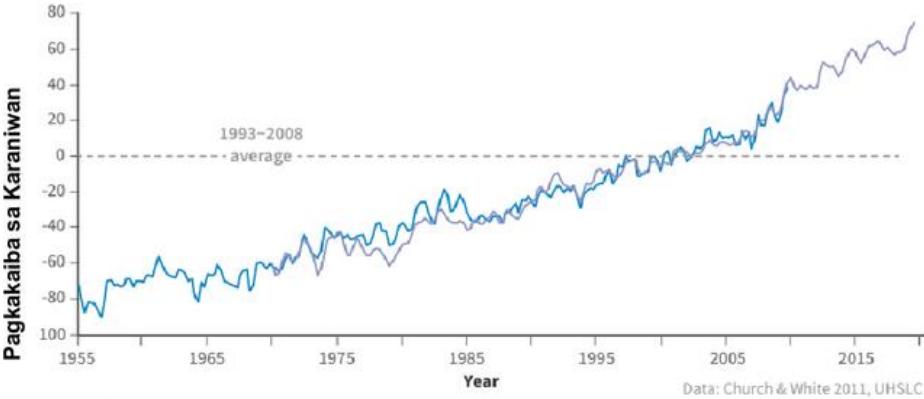
Northern Hemisphere June snow cover (1967–2019)



Upper ocean heat content (1955–2019)



Global sea level (1955–2019)



PAANO NALALAMAN NG MGA SIYENTIPIKO NA ANG PANGUNAHING SANHI SA PAGBABAGONG KLIMA AY DULOT NG MGA AKTIBIDAD NG TAO?

2

Nalalaman ng mga siyentipiko na ang kamakailang pagbabago sa klima ay pangunahing dulot ng mga aktibidad ng tao sa pamamagitan ng pag-unawa sa batayang pisika, paghahambing ng mga obserbasyon sa mga modelo at pagtukoy sa mga detalyadong pattern sa pagbabago ng klima na dulot ng iba't-ibang human at natural na impluwensya.

Angibatibang impluwensya sa klima ay may iba't ibang pirmasa mga rekord ng klima. Ang mga natatanging Anginaasahang mga pagbabago sa klima ay batay sa ating pag-unawa kung paano nag-imbak ng init ang mga at sa hangin na nakulong sa yelo ay nagpapakita na ang CO₂ sa atmospera ay tumaas ng higit sa 40% mula 1800 fingerprints na ito ay mas madaling makita sa pamamagitan ng pagsusuri sa mga heograpikal at seasonalna gases sa balanse ng enerhiya ng Daigdig. ginamit upang i-simulate kung ano ang mangyayari sa mga global na temperatura kung ang tanging mga greenhouse gases na mahalaga sa balanse ng enerhiya ng Daigdig. Ang direktang pagsukat ng CO₂ sa atmospera greenhouse gases. Ang parehong pangunahing pag-unawa sa pisika ng greenhouse gases at mga pag-aaralng hanggang 2019. Ang mga sukat ngibatibang anyo ng carbon (mga isotopes) ay nagpapakita na ang pagtaas na ibabaw ng Daigdig). Ang mga nikitang pattern ng surface warming, pagbabago ng temperatura sa atmospera, isinama sa mga modelo ang mga impluwensya ng tao sa komposisyon ng atmospera, ang mga nagresutang ito ay dulot ng mga aktibidad ng tao. Ang iba pang greenhouse gases (lalo na ang methane at nitrous oxide) ay kahtna bahagyang pagamig sa babawng lupa sa ika-20 siglo at papasok sa'ka-21 sglo. Tanging kapag kamakailang mga pagbabago sa klima. Ang mga natural na sanhi ay kinabibilangan ng mga pagbabago sa mula noong 1900 ay tumutugma sa detalyadong kalkulasyon ng mga epekto ng paglaas ng mga greenhouse. Mula pa noong kalagitnan ng 1800s, alam na ng mga siyentipiko na ang CO₂ ayisa sa mga pangunahing natural na salik ang nakakaapekto sa sistema ng klima. Ang mga simulasyon na ito ay nagbubunga ng kauntio output ng Araw atsa orbit ng Daigdig sa paligid ng Araw, mga pagsabog ng bulkan, at mga panloob na pagbabago pagbabago ng temperatura ay tumutugma sa mga obserbadong pagbabago. pagkutunaw ng yelo sa lupa at dagat ay tumutugma in sa mga inaasahang pattern dahil sa mga aktibidad ng pagtaas ng ocean heat content, pagtaas ng moisture sa atmospera, pagtaas ng antas ng dagat, at pagtaas ng pattern ng pagbabago ng klima, hindi lamang sa isang solong numero (tulad ng average na temperatura ng pattern-based fingerprint ay nagpapakita na hindi sapat ang natural na sanhi upang ipaliwanag ang sa sistema ng klima (tulad ng El Nino at La Nina). Ang mga kalkulasyon gamit ang mga modelo ng klima ay tao. tumataas din bilang resulta ng mga aktibidad ng tao. Ang obserbado na pagtaas ng global surface temperature

3

CO₂ AY NATURAL NA NASA ATMOSPERA, KAYA BAKIT MAHALAGA ANG MGA EMISYON MULA SA AKTIBIDAD NG TAO?

Ang mga aktibidad ng tao ay malaki ang epekto sa natural na carbon cycle sa pamamagitan ng pagkuha ng mga fossil fuels na matagal nang nakabaon at pagsunog nito para sa enerhiya, kaya't naglalabas ng CO₂ sa atmospera.

Sa kalikasan, ang CO₂ ay patuloy na nagpapalitan sa pagitan ng atmospera, mga halaman, at mga hayop sa pamamagitan ng photosynthesis, respiration, at decomposition, at sa pagitan ng atmospera at dagat sa pamamagitan ng gas exchange. Isang napakaliit na bahagi ng CO₂ (tinatayang 1% ng emission rate mula sa pagsunog ng fossil fuels) ay inilalabas din sa mga pagsabog ng bulkan. Ito ay naibabalik sa pamamagitan ng katumbas na dami na tinatanggal sa pamamagitan ng chemical weathering ng mga bato.

Ang antas ng CO₂ noong 2019 ay higit sa 40% na mas mataas kaysa noong ika-19 na siglo. Karamihan sa pagtaas ng CO₂ na ito ay nangyari mula noong 1970, ang panahon kung kailan bumilis ang global na pagkonsumo ng enerhiya. Ang mga nasusukat na pagbaba sa bahagi ng iba pang anyo ng carbon (ang mga isotopes na ¹⁴C at ¹³C) at isang maliit na pagbaba sa konsentrasyon ng oxygen sa atmospera (na may mga obserbasyon mula pa noong 1990) ay nagpapakita na ang pagtaas ng CO₂ ay pangunahing mula sa pagsunog ng fossil fuels (na may mababang ¹³C fractions at walang ¹⁴C).

Ang deforestation at iba pang mga pagbabago sa paggamit ng lupa ay naglalabas din ng carbon mula sa biosphere (ang buhay na mundo) kung saan ito ay karaniwang nananatili sa loob ng dekada hanggang siglo. Ang karagdagang CO₂ mula sa pagsunog ng fossil fuels at deforestation ay nagambala sa balanse ng carbon cycle, dahil ang mga natural na proseso na makakabalik sa balanse ay masyadong mabagal kumpara sa bilis ng pagdagdag ng CO₂ sa atmospera mula sa mga aktibidad ng tao. Bilang resulta, isang malaking bahagi ng CO₂ na inilalabas mula sa mga aktibidad ng tao ay naiwan sa atmospera, kung saan ang ilan nito ay mananatili hindi lamang sa loob ng dekada o siglo, kundi sa loob ng libu-libong taon. Ang paghahambing sa mga antas ng CO₂ na nasusukat mula sa hangin na kinuha mula sa mga ice cores ay nagpapakita na ang kasalukuyang konsentrasyon ay makabuluhang mas mataas kaysa sa mga antas nito sa nakaraang hindi bababa sa 800,000 taon.



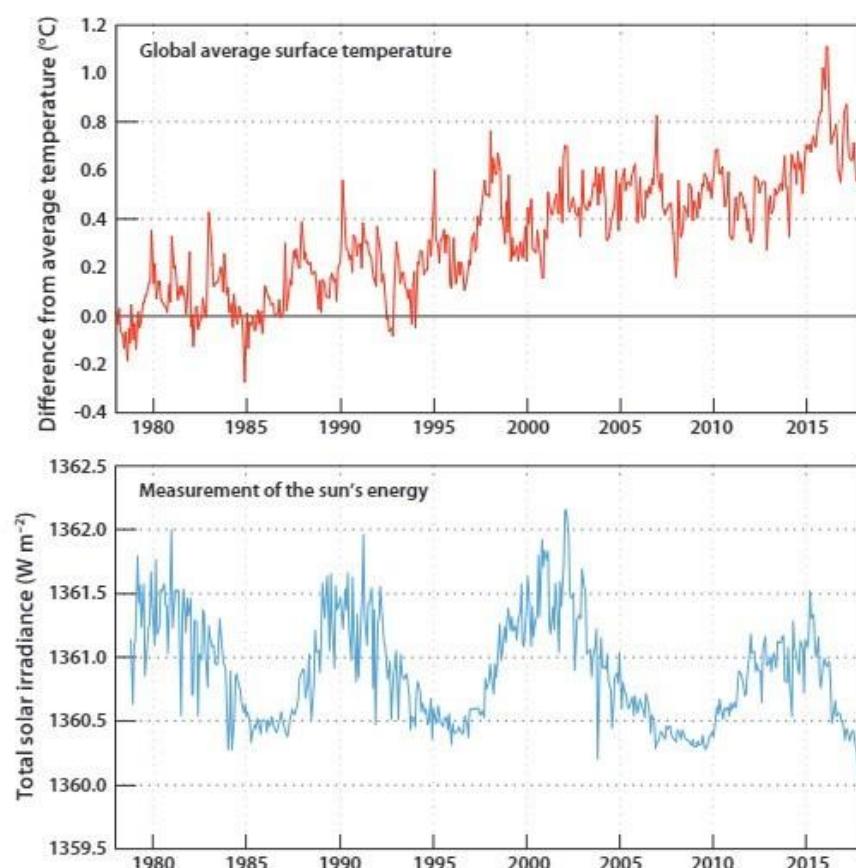
ANO ANG PAPEL NG ARAW SA PAGBABAGO NG KLIMA SA MGA NAKARAANG DEKADA?

4

Ang Araw ang pangunahing pinagmumulan ng enerhiya na nagpapatakbo ng sistema ng klima ng Lupa, ngunit ang mga pagbabago nito ay may napakaliit na epekto sa mga pagbabago sa klima na nakita sa mga nakaraang dekada. Mula noong huling bahagi ng 1970s, walang netong pagtaas sa output ng Araw ayon sa direktang pagsukat mula sa satellite, samantalang sa parehong panahon ay tumaas ang global na temperatura sa ibabaw ng Lupa [Tingnan ang Figure 2].

Para sa mga panahon bago magsimula ang pagsukat mula sa satellite, mas mababa ang katiyakan tungkol sa mga pagbabago sa Araw dahil ang mga pagbabago ay pinapalagay mula sa mga hindi direktang pinagmumulan — kasama na ang bilang ng mga spot sa Araw at ang dami ng ilang anyo (isotopes) ng carbon o beryllium atoms, na ang rate ng produksyon sa atmospera ng Lupa ay naaapektuhan ng mga pagbabago sa Araw. May ebidensya na ang 11-taong siklo ng Araw, kung saan ang output ng enerhiya ng Araw ay nagbabago ng humigit-kumulang 0.1%, ay maaaring makaapekto sa konsentrasyon ng ozone, temperatura, at hangin sa stratosphere (ang layer sa atmospera na nasa itaas ng troposphere, karaniwang mula 12 hanggang 50 km sa itaas ng ibabaw ng Lupa, depende sa latitude at panahon). Ang mga pagbabagong ito sa stratosphere ay maaaring magkaroon ng maliit na epekto sa surface climate sa loob ng 11-taong siklo. Gayunpaman, ang magagamit na ebidensya ay hindi nagpapakita ng malinaw na pangmatagalang pagbabago sa output ng Araw sa nakaraang siglo, kung saan ang pagtaas ng konsentrasyon ng CO₂ dulot ng tao ang naging pangunahing impluwensya sa pangmatagalang pagtaas ng temperatura sa ibabaw ng Lupa. Ang karagdagang ebidensya na ang kasalukuyang pag-init ay hindi resulta ng mga pagbabago sa Araw ay matatagpuan sa mga trend ng temperatura sa iba't ibang altitud sa atmospera (tingnan ang Tanong 5).

[Figure 2.] Ang mga sukat ng enerhiya ng Araw na umaabot sa Lupa ay hindi nagpapakita ng netong pagtaas sa solar forcing sa nakalipas na 40 taon, kaya't hindi ito maaaring maging sanhi ng pag-init sa panahong iyon. Ang mga datos ay nagpapakita lamang ng maliit na periodic amplitude variations na nauugnay sa 11-taong siklo ng Araw. Pinagmulan: TSI data mula sa Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, Switzerland, sa bagong VIRGO scale mula 1978 hanggang kalagitnaan ng 2018; mga datos ng temperatura para sa parehong panahon *mula sa HadCRUT4 dataset, UK Met Office, Hadley Centre.*



5 ANO ANG SINASABI NG MGA PAGBABAGO SA VERTICAL NA ESTRUKTURA NG TEMPERATURA NG ATMOSPERA—MULA SA IBABAW HANGGANG SA STRATOSPHERE—TUNGKOL SA MGA SANHI NG MGA KAMAKAILANG PAGBABAGO SA KLIMA?

Ang nakitang pag-init sa ibaba ng atmospera at pag-lamig sa itaas na atmospera ay nagbibigay sa atin ng mahahalagang kaalaman tungkol sa mga sanhi ng pagbabago sa klima at nagpapakita na ang mga natural na salik lamang ay hindi sapat upang ipaliwanag ang mga nakitang pagbabago.

Noong mga unang bahagi ng 1960s, ipinakita ng mga matematikal/pisikal na modelo ng sistema ng klima na ang pagtaas ng CO₂ dahil sa tao ay magreresulta sa unti-unting pag-init ng ibabang atmospera (troposphere) at paglamig ng mas mataas na bahagi ng atmospera (stratosphere). Sa kaibahan, ang pagtaas ng output ng Araw ay magpapainit sa parehong troposphere at buong taas ng stratosphere. Noong panahong iyon, kulang pa sa observational data para subukan ang prediksyon na ito, ngunit ang mga sukat ng temperatura mula sa mga weather balloon at satellite ay nagpapatunay na tama ang mga maagang forecast na ito. Ngayon, alam na ang nakitang pattern ng pag-init sa troposphere at paglamig sa stratosphere sa nakalipas na 40 taon ay malawak na tumutugma sa mga simulation ng computer model na naglalaman ng pagtaas ng CO₂ at pagbaba ng ozone sa stratosphere, na parehong sanhi ng mga aktibidad ng tao. Ang nakitang pattern ay hindi tumutugma sa mga natural na pagbabago sa output ng enerhiya ng Araw, aktibidad ng bulkan, o mga natural na pagbabago sa klima tulad ng El Niño at La Niña. Sa kabilang pagkakatugma ng mga global-scale na pattern ng naka-modelo at nakitang pagbabago sa temperatura ng atmospera, may mga pagkakaiba pa rin. Ang pinaka-kapansin-pansin na pagkakaiba ay sa tropiko, kung saan ang mga modelo ay kasalukuyang nagpapakita ng mas maraming pag-init sa troposphere kaysa sa naobserbahan, at sa Arctic, kung saan ang nakitang pag-init ng troposphere ay mas malaki kaysa sa karamihan ng mga modelo.



ANG KLIMA AY PALAGING NAGBABAGO. BAKIT NAGIGING MALAKING ISYU ANG PAGBABAGO NG KLIMA NGAYON?

6

Lahat ng malalaking pagbabago sa klima, pati na ang mga natural, ay nagdudulot ng abala. Ang mga nakaraang pagbabago sa klima ay nagdulot ng pagkalipol ng maraming uri ng hayop, paglipat ng mga populasyon, at malalaking pagbabago sa ibabaw ng lupa at sirkulasyon ng dagat. Ang bilis ng kasalukuyang pagbabago sa klima ay mas mabilis kaysa sa karamihan ng mga nakaraang pangyayari, na nagpapahirap sa mga lipunan ng tao at sa kalikasan na makapag-adapt.

Ang pinakamalalaking pagbabago sa klima sa nakalipas na heolohikal na kasaysayan ng Earth ay ang mga siklo ng panahon ng yelo (tingnan ang infobox, p.B4), na mga malamig na panahon ng glasyal na sinundan ng mas maiikli ngunit maiinit na panahon [Tingnan ang Figure 3]. Ang mga huling siklong ito ay umuulit nang halos bawat 100,000 taon. Ang mga siklong ito ay pangunahing naka-depende sa mabagal na pagbabago sa orbit ng Earth, na nagbabago sa paraan ng pamamahagi ng enerhiya mula sa Araw sa latitude at ayon sa panahon sa Earth. Ang mga pagbabagong orbital na ito ay napakaliit sa nakalipas na ilang daang taon, at hindi sapat upang ipaliwanag ang obserbaheng laki ng pagbabago sa temperatura mula nang Rebolusyong Industriyal, ni upang makaapekto sa buong Earth. Sa mga oras ng yelo, ang mga unti-unting pagbabagong orbital na ito ay nagdulot ng mga pagbabago sa lawak ng mga yelo at sa dami ng CO₂ at iba pang mga greenhouse gases, na siyang nagpataas sa paunang pagbabago sa temperatura.

Ang mga kamakailang pagtataya ng pagtaas ng global average na temperatura mula noong pagtatapos ng huling panahon ng yelo ay nasa 4 hanggang 5 °C (7 hanggang 9 °F). Ang pagbabagong ito ay nangyari sa loob ng humigit-kumulang 7,000 taon, na nagsimula mga 18,000 taon na ang nakalipas. Ang CO₂ ay tumaas ng higit sa 40% sa nakalipas na 200 taon, marami nito mula noong 1970s, na nag-aambag sa pagbabago ng enerhiya ng planeta na naggainit sa Earth ng mga 1 °C (1.8 °F). Kung magpapatuloy ang pagtaas ng CO₂ nang walang kontrol, maaaring asahan ang pag-init na katulad ng laki ng pagtaas mula sa panahon ng yelo sa pagtatapos ng siglo na ito o sa lalong madaling panahon. Ang bilis ng pag-init na ito ay higit sa sampung beses ng bilis sa pagtatapos ng isang panahon ng yelo, ang pinakamabilis na kilalang natural na patuloy na pagbabago sa pundaigdigang antas.

7

ANG KASALUKUYANG ANTAS NG KONCENTRASYON NG CO₂ SA ATMOSPERA BA AY WALANG KATUMBAS SA KASAYSAYAN NG LUPA?

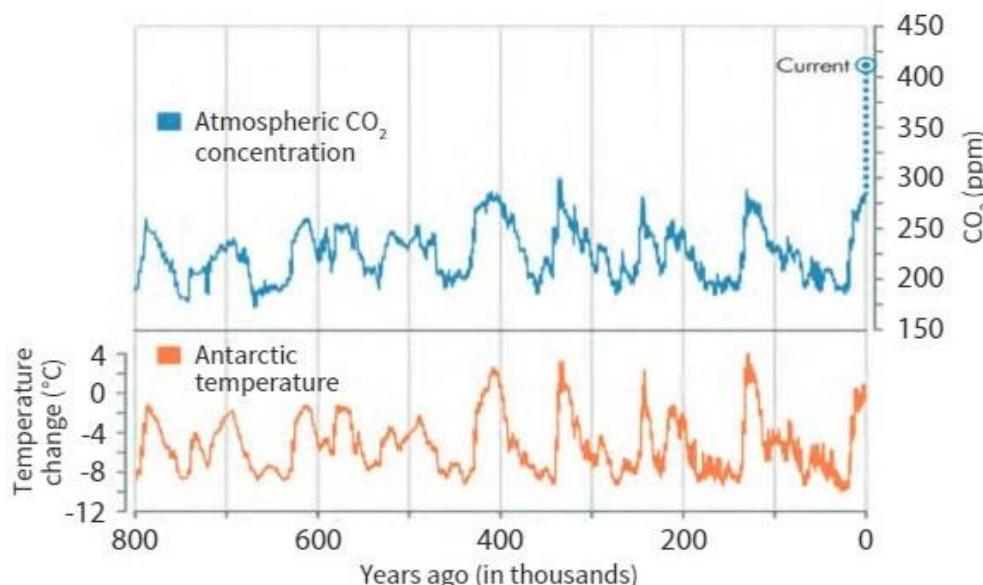
Ang kasalukuyang antas ng konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay halos tiyak na walang kapantay sa nakalipas na milyong taon, kung kailan umusbong ang mga modernong tao at umunlad ang mga lipunan. Gayunpaman, ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay mas mataas sa mas malalayong nakaraan ng Earth (maraming milyong taon na ang nakalipas), kung saan nagpapakita ang mga paleoklimatiko at heolohikal na datos na ang mga temperatura at antas ng dagat ay mas mataas kaysa sa ngayon.

Ang mga sukat ng hangin mula sa mga ice core ay nagpapakita na sa nakalipas na 800,000 taon hanggang sa ika-20 siglo, ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay nanatili sa hanay na 170 hanggang 300 bahagi bawat milyon (ppm), kaya't ang kamakailang mabilis na pagtaas sa higit 400 ppm sa loob ng 200 taon ay lubhang kapansin-pansin [figure 3]. Sa panahon ng mga glacial cycles ng nakalipas na 800,000 taon, ang CO₂ at methane ay nagsilbing mahalagang tagapagpalakas ng mga pagbabago sa klima na dulot ng pagbabago sa orbit ng Earth sa paligid ng Araw. Habang umiinit ang Earth mula sa huling ice age, temperatura

continued

Figure 3. Ang mga datos mula sa ice cores ay ginamit upang muling buuin ang mga temperatura sa Antarctica at konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera sa nakaraang 800,000 taon. Ang temperatura ay batay sa mga sukat ng isotopic content ng tubig sa Dome C ice core. Ang CO₂ ay nasusukat mula sa hangin na nakulong sa yelo, at ito ay isang pinagsama-samang datos mula sa Dome C at Vostok ice core. Ang kasalukuyang konsentrasyon ng CO₂ (asul na tuldok) ay mula sa mga sukat sa atmospera. Ang cyclic pattern ng pagbabago ng temperatura ay bumubuo sa ice age/interglacial cycles. Sa mga cycle na ito, ang mga pagbabago sa konsentrasyon ng CO₂ (sa asul) ay malapit na tumutugma sa mga pagbabago sa temperatura (sa kahel). Tulad ng ipinapakita ng rekord, ang kamakailang pagtaas sa konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay hindi pa nangyayari sa nakaraang 800,000 taon. Ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay lumampas sa 400 ppm noong 2016, at ang average na konsentrasyon noong 2019 ay higit sa 411 ppm. Pinagmulan: Batay sa larawan ni Jeremy Shakun, datos mula kina Lüthi et al., 2008 at Jouzel et al., 2007

At ang CO₂ ay nagsimulang tumaas sa humigit-kumulang parehong oras at patuloy na tumaas nang magkasabay mula mga 18,000 hanggang 11,000 taon na ang nakalipas. Ang mga pagbabago sa temperatura ng karagatan, sirkulasyon, kimika, at biyolohiya ay nagdulot ng paglabas ng CO₂ sa atmospera, na sinamahan ng iba pang mga feedback upang itulak ang Earth sa mas mainit na estado. Para sa mga naunang geological na panahon, ang konsentrasyon ng CO₂ at mga temperatura ay inihula mula sa mas di-tuwirang mga pamamaraan. Ipinapakita ng mga ito na ang konsentrasyon ng CO₂ ay huling umabot sa 400 ppm mga 3 hanggang 5 milyong taon na ang nakalipas, isang panahon kung kailan tinatayang ang global na average na temperatura ng ibabaw ay mga 2 hanggang 3.5°C na mas mataas kaysa sa pre-industrial na panahon. Noong 50 milyong taon na ang nakalipas, ang CO₂ ay maaaring umabot sa 1000 ppm, at ang global na average na temperatura ay malamang na mga 10°C na mas mataas kaysa ngayon. Sa ilalim ng mga kondisyon iyon, halos walang yelo sa Earth, at ang antas ng dagat ay hindi bababa sa 60 metro na mas mataas kaysa sa kasalukuyang antas.



MAYROON BANG PUNTO KUNG SAAN ANG KARAGDAGANG CO₂ AY HINDI NA MAGDUDULOT NG KARAGDAGANG PAG-INIT?

Wala. Ang pagdagdag ng mas maraming CO₂ sa atmospera ay magdudulot pa rin ng pagtaas ng temperatura sa ibabaw. Habang tumataas ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera, ang karagdagang CO₂ ay nagiging mas mababa ang epekto sa pag-trap ng enerhiya ng Earth, pero magpapatuloy pa rin ang pagtaas ng temperatura sa ibabaw.

Ang ating pagkaunawa sa pisika ng epekto ng CO₂ sa balanse ng enerhiya ng Earth ay nakumpirma sa pamamagitan ng mga pagsusuri sa laboratoryo, pati na rin sa detalyadong obserbasyon mula sa satellite at ibabaw ng lupa tungkol sa pag-emite at pag-absorb ng infrared na enerhiya ng atmospera. Ang mga greenhouse gases ay sumisipsip ng ilang bahagi ng infrared na enerhiya na inii-emite ng Earth sa tinatawag na mga banda ng mas malakas na pagsipsip na nangyayari sa tiyak na wavelength. Ang iba't ibang gas ay sumisipsip ng enerhiya sa iba't ibang wavelength. Ang CO₂ ay may pinakamalakas na banda ng pag-trap ng init na nakasentro sa wavelength na 15 micrometres (milyon-milyong bahagi ng metro), na may pagsipsip na lumalawak ng ilang micrometres sa magkabilang panig. Mayroon ding maraming mas mahihinang banda ng pagsipsip. Habang tumataas ang konsentrasyon ng CO₂, ang pagsipsip sa gitnang bahagi ng malakas na banda ay napaka-intense na kaya't hindi na ito nagiging malaking bahagi sa pagdudulot ng karagdagang pag-init. Gayunpaman, mas maraming enerhiya ang nasisipsip sa mga mas mahihinang banda at sa labas ng gitna ng malakas na banda, na nagiging sanhi ng karagdagang pag-init ng ibabaw at mas mababang bahagi ng atmospera.

9

ANG BILIS NG PAG-INIT BA AY NAGBABAGO MULA SA ISANG DEKADA PATUNGO SA IBA?

Oo. Ang naitalang bilis ng pag-init ay nag-iiba-iba mula taon-taon, dekada-dekada, at lugar sa lugar, tulad ng inaaahanan batay sa ating pag-unawa sa sistema ng klima. Ang mga mas maiikli na pagbabago ay kadalasang dulot ng mga natural na sanhi, at hindi nito kinokontra ang ating pangunahing pag-unawa na ang pangmatagalang trend ng pag-init ay pangunahing dulot ng mga pagbabagong ginawa ng tao sa antas ng CO₂ at iba pang mga greenhouse gases sa atmospera.

Kahit na ang CO₂ ay patuloy na tumataas sa atmospera, na nagreresulta sa unti-unting pag-init ng ibabaw ng Lupa, maraming natural na salik ang nagmomodyula sa pangmatagalang pag-init na ito. Ang malalaking pagsabog ng bulkan ay nagdadagdag ng maraming maliliit na partikulo sa stratospera. Ang mga partikulang ito ay nigrereplekta ng sikat ng araw, na nagdudulot ng panandaliang paglamig ng ibabaw na karaniwang tumatalag ng dalawa hanggang tatlong taon, na sinusundan ng mabagal na pag-recover. Ang sirkulasyon ng dagat at paghalo ay nag-iiba-iba nang natural sa iba't ibang tagal ng oras, na nagdudulot ng mga pagbabago sa temperatura ng ibabaw ng dagat pati na rin sa rate ng pagdadala ng init sa mas malalim na bahagi. Halimbawa, ang tropikal na Pasipiko ay nagbabago mula sa mainit na El Niño patungo sa malamig na La Niña sa loob ng dalawang hanggang pitong taon. Sinusuri ng mga siyentipiko ang iba't ibang uri ng pagbabago ng klima, tulad ng mga nasa dekalat at multi-dekalat na tagal ng oras sa Pasipiko at Hilagang Atlantiko. Ang bawat uri ng pagbabago ay may kanya-kanyang natatanging katangan. Ang mga pagbabago sa oceanic ay nauugnay sa malalaking pagbabago sa temperatura at pattern ng pag-ulan sa rehiyon at sa buong mundo na makikita sa mga obserbasyon.

Ang pag-init mula dekada hanggang dekada ay maaari ring maapektuhan ng mga salik na gawa ng tao tulad ng mga pagbabago sa emisyon ng greenhouse gases at aerosols (mga partikulo sa hangin na maaaring magdulot ng parehong pag-init at paglamig) mula sa mga planta ng kuryente na gumagamit ng karbon at iba pang mga pinagmumulan ng polusyon.

Ang mga pagbabagong ito sa trend ng temperatura ay malinaw na makikita sa naitalang rekord ng temperatura [Figure 4]. Ang mga panandaliang natural na pagbabago ng klima ay maaari ding makaapektu sa pangmatagalang senyales ng pagbabago ng klima na dulot ng tao at kabaliktaran, dahil ang mga pagbabago sa klima sa iba't ibang espasyo at tagal ng oras ay maaaring makipag-ugnayan sa isa't isa. Bahagi ito ng dahilan kung bakit ang mga prediksyon ng pagbabago ng klima ay ginagawa gamit ang mga modelo ng klima (tingnan ang infobox, p.20) na maaaring isaalang-alang ang maraming uri ng pagbabago ng klima at kanilang mga interaksyon. Ang maaasahang inferensya tungkol sa pagbabago ng klima na dulot ng tao ay dapat gawin na may mas mahabang pananaw, gamit ang mga rekord na sumasaklaw ng maraming dekada.

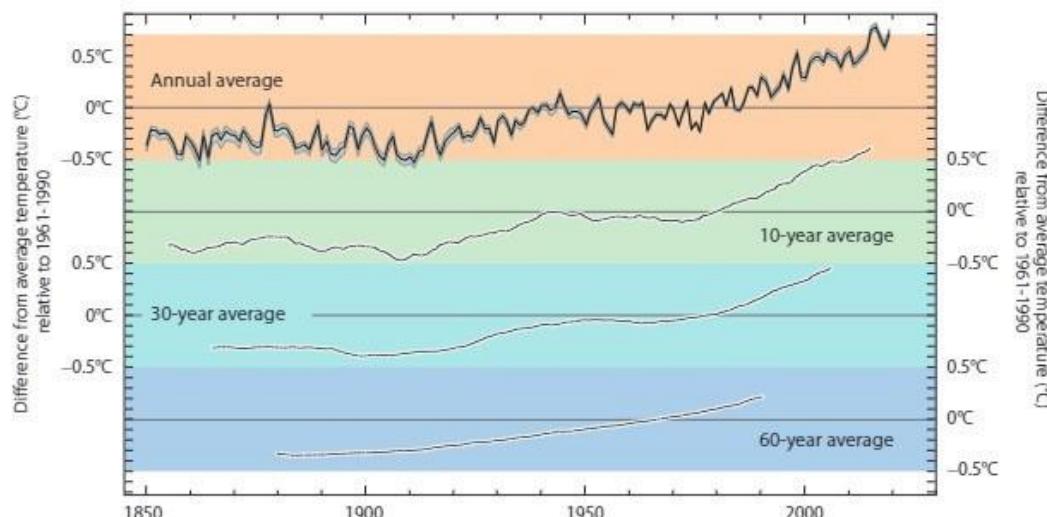


Figure 4. Ang sistema ng klima ay natural na nagbabago mula taon-taon at dekada-dekada. Upang makagawa ng maaasahang inferensya tungkol sa pagbabago ng klima na dulot ng tao, karaniwang ginagamit ang mga rekord na sumasaklaw sa maraming dekada at higit pa. Ang pagkalkula ng “running average” sa mga mas mahabang tagal ng oras ay nagpapadali upang makita ang mga pangmatagalang trend. Para sa pandaigdigang average na temperatura mula 1850-2019 (gamit ang data mula sa UK Met Office Hadley Centre kumpara sa average mula 1961-90) ang mga plot ay nagpapakita (itaas) ng average at saklaw ng hindi tiyak na halaga para sa taunang average na data; (ikalawang plot) ang taunang average na temperatura para sa sampung taon na nakasentro sa anumang ibinigay na petsa; (ikatlong plot) ang katumbas na larawan para sa 30-taong tagal; at (ikaapat na plot) ang 60-taong average. Source: Met Office Hadley Centre, batay sa HadCRUT4 dataset mula sa *Met Office at Climatic Research Unit* (Morice et al.).

10

NAGBIGAY BA NG KAHULUGAN ANG PAGBAGAL NG PAG-INIT SA PANAHON NG 2000S HANGGANG UNANG BAHAGI NG 2010S NA HINDI NA NANGYAYARI ANG PAGBABAGO NG KLIMA?

Hindi. Matapos ang napakainit na taon ng 1998 na sumunod sa malakas na El Niño ng 1997-98, ang pagtaas ng karaniwang temperatura ng ibabaw ay pumigil kumpara sa nakaraang dekada ng mabilis na pagtaas ng temperatura. Sa kabilang mas mabagal na pag-init, ang 2000s ay mas mainit kaysa sa 1990s. Ang limitadong panahon ng pagbagal ng pag-init ay nagtapos sa isang dramatic na pagtaas ng temperatura sa pagitan ng 2014 at 2015, na lahat ng taon mula 2015-2019 ay mas mainit kaysa sa anumang naunang taon sa instrumental na talaan. Ang panandaliang pagbagal sa pag-init ng ibabaw ng Earth ay hindi nagpapawalang-bisa sa ating pag-unawa sa pangmatagalang pagbabago sa global na temperatura na dulot ng mga pagbabago sa greenhouse gases na sanhi ng tao.

Mga dekada ng mabagal na pag-init pati na rin ang mga dekada ng pinabilis na pag-init ay likas na nangyayari sa sistema ng klima. Ang mga dekada na malamig o mainit kumpara sa pangmatagalang trend ay nakikita sa mga obserbasyon ng nakaraang 150 taon at nahuholma din ng mga climate model. Dahil ang atmospera ay nag-iimbak ng napakaliit na init, ang temperatura ng ibabaw ay mabilis na naapektuhan ng pagkuha ng init sa ibang bahagi ng sistema ng klima at ng mga pagbabago sa panlabas na impluwensya sa klima (tulad ng mga partikulo na nabubuo mula sa materyal na itinatapon mataas sa atmospera mula sa mga pagsabog ng bulkan).

Mahigit sa 90% ng init na idinagdag sa sistema ng Earth sa mga nakaraang dekada ay nasisipsip ng mga karagatan at dahan-dahang bumaba sa malalim na tubig. Ang mas mabilis na pagtagos ng init sa mas malalim na karagatan ay magpapabagal sa pag-init na nakikita sa ibabaw at sa atmospera, ngunit hindi nito magbabago ang pangmatagalang pag-init na mangyayari mula sa isang tiyak na halaga ng CO₂. Halimbawa, ang mga kamakailang pag-aaral ay nagpapakita na ang ilang init ay lumalabas mula sa karagatan patungo sa atmospera sa panahon ng mainit na El Niño events, at mas maraming init ang tumatagos sa lalim ng karagatan sa malamig na La Niñas. Ang mga ganitong pagbabago ay paulit-ulit na nangyayari sa mga oras na saklaw ng dekada at higit pa. Isang halimbawa ay ang malaking El Niño event noong 1997-98 nang ang globally averaged air temperature ay sumikò sa pinakamataas na antas ng ika-20 siglo habang ang karagatan ay naglilabas ng init sa atmospera, karamihan sa pamamagitan ng pagsingaw.

Kahit sa panahon ng pagbagal ng pagtaas ng average surface temperature, ang pangmatagalang trend ng pag-init ay nananatiling maliwanag (tingnan ang Figure 4). Halimbawa, sa panahong iyon, ang mga record heatwaves ay naitala sa Europa (tag-init 2003), sa Russia (tag-init 2010), sa USA (Hulyo 2012), at sa Australia (Enero 2013). Bawat isa sa huling apat na dekada ay mas mainit kaysa sa anumang naunang dekada mula nang ipakilala ang malawakang pagsusukat ng thermometer noong 1850s. Ang patuloy na epekto ng pag-init ng klima ay nakikita sa tumataas na trend sa nilalaman ng init ng karagatan at antas ng dagat, pati na rin sa patuloy na pagkatunaw ng Arctic sea ice, glaciers, at ang Greenland ice sheet.



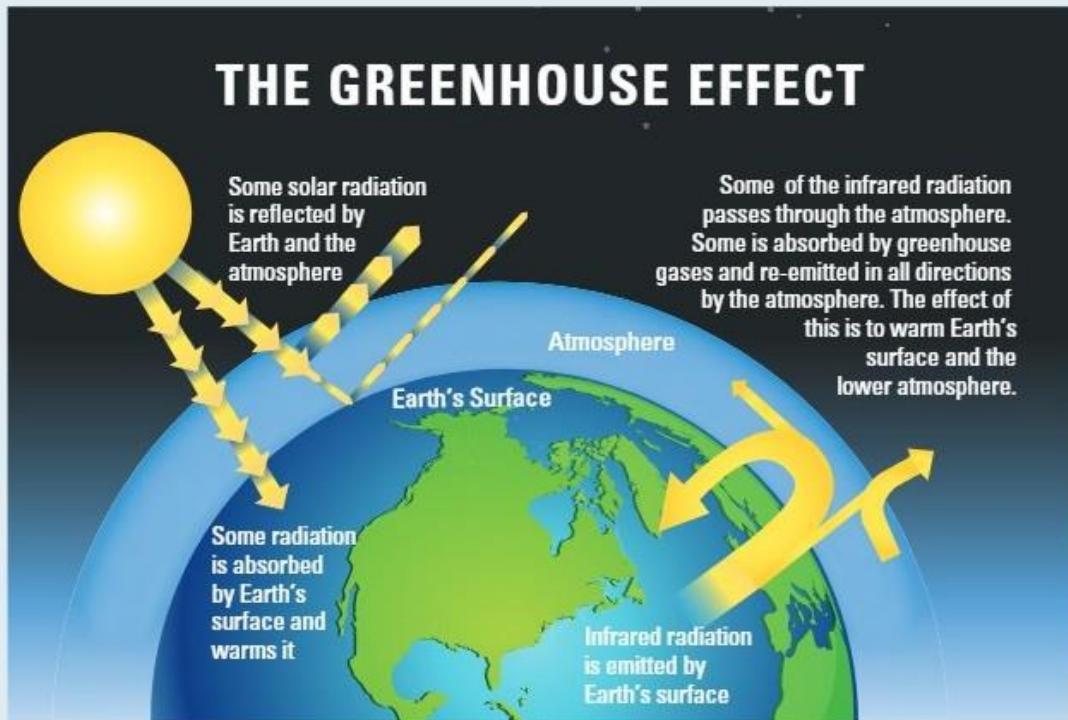
ANG MGA PANGUNAHING KAALAMAN TUNGKOL SA PAGBABAGO NG KLIMA

Ang mga greenhouse gases ay naka-apekto sa balanse ng enerhiya at klima ng mundo.

Ang araw ang pangunahing pinagkukunan ng enerhiya para sa klima ng mundo. Ang ilang bahagi ng sumisilip na liwanag ay direktang nare-reflect pabalik sa espasyo, lalo na sa mga maliwanag na ibabaw tulad ng yelo at ulap, at ang natitira ay na-aabsorb ng ibabaw at atmospera. Marami sa nakuhang solar na enerhiya ay nire-release bilang init (longwave o infrared radiation). Ang atmospera naman ay nag-aabsorb at nag-reradiate ng init, kung saan ang ilan nito ay nakakalabas sa espasyo. Anumang pagbabago sa balanse ng papasok at lumalabas na enerhiya ay maaring makaapekto sa klima. Halimbawa, ang maliliit na pagbabago sa output ng enerhiya mula sa araw ay direktang naka-apekto sa balanse na ito.

Kung lahat ng init na enerhiya na nagmumula sa ibabaw ay direktang lumalabas sa atmospera papunta sa espasyo, ang karaniwang temperatura ng ibabaw ay magiging mas malamig ng ilang degree kaysa sa ngayon. Ang mga greenhouse gases sa atmospera, kasama ang water vapour, carbon dioxide, methane, at nitrous oxide, ay nagpapainit sa ibabaw kaysa sa dati dahil sila ay nag-aabsorb at nag-eemit ng init sa lahat ng direksyon (kasama na ang pababa), na nagpapainit sa ibabaw ng mundo at sa ibabang bahagi ng atmospera. Kung wala ang greenhouse effect na ito, ang buhay na kilala natin ay maaaring hindi umusong sa ating planet. Ang pagdagdag ng mga greenhouse gases sa atmospera ay ginagawa itong mas epektibo sa pagpigil ng init mula sa pag-alis sa espasyo. Kapag ang enerhiya na umaalis ay mas mababa kaysa sa enerhiya na pumapasok, ang mundo ay uuunlad hanggang sa maitaguyod ang bagong balanse.

Figure B1. Ang mga greenhouse gases sa atmospera, kabilang ang water vapour, carbon dioxide, methane, at nitrous oxide, ay nag-aabsorb ng init at nag-eemit nito sa lahat ng direksyon (kasama ang pababa), na nagpapanatili ng init sa ibabaw ng mundo at ibabang bahagi ng atmospera. Ang pagdagdag ng higit pang greenhouse gases sa atmospera ay nagpapalakas ng epekto, na nagiging dahilan ng mas mataas na temperatura sa ibabaw ng mundo at ibabang bahagi ng atmospera. Imahe na batay sa isang figure mula sa US Environmental Protection Agency.



Ang mga greenhouse gases na inilalabas ng mga aktibidad ng tao ay nagbabago ng balanse ng enerhiya ng Earth at, sa gayon, ng klima nito. Ang tao ay nakakaapekto rin sa klima sa pamamagitan ng pagbabago sa kalikasan ng mga lupain (halimbawa, sa pamamagitan ng pagputol ng mga kagubatan para sa pagsasaka) at sa pamamagitan ng paglalabas ng mga pollutant na nakakaapekto sa dami at uri ng mga particle sa atmospera.

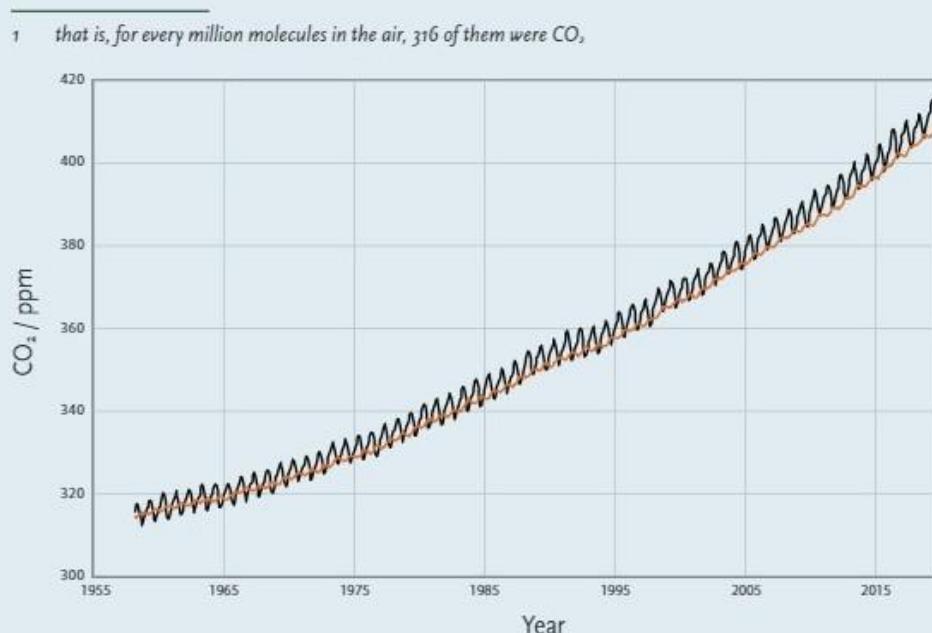
Nalaman ng mga siyentipiko na, kapag isinasaalang-alang ang lahat ng salik ng tao at natural, ang balanse ng klima ng Earth ay nabago patungo sa pag-init, kung saan ang pinakamalaking kontribyutor ay ang pagtaas ng CO₂.

Ang mga aktibidad ng tao ay nagdagdag ng mga greenhouse gases sa atmospera.

Ang mga konsentrasyon ng carbon dioxide, methane, at nitrous oxide sa atmospera ay tumaas nang malaki mula nang magsimula ang Rebolusyon Industriyal. Sa kasu ng carbon dioxide, ang average na konsentrasyon na nasukat sa Mauna Loa Observatory sa Hawaii ay tumaas mula sa 316 parts per million (ppm) noong 1959 (ang unang taon ng kumpletong data) hanggang sa mahigit 411 ppm noong 2019 [Figure B2]. Ang parehong mga rate ng pagtaas ay naitala na rin sa maraming iba pang mga estasyon sa buong mundo. Mula noong preindustriyal na panahon, ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera ay tumaas ng higit sa 40%, ang methane ay tumaas ng higit sa 150%, at ang nitrous oxide ay tumaas ng humigit-kumulang 20%. Mahigit sa kalahati ng pagtaas ng CO₂ ay nangyari mula noong 1970. Ang pagtaas ng lahat ng tatlong gas ay nag-aambag sa pag-init ng Earth, na ang pagtaas ng CO₂ ang may pinakamalaking bahagi. Tingnan ang pahina B3 upang malaman ang mga pinagkukunan ng mga greenhouse gases na iniemit ng tao.

Sinuri ng mga siyentipiko ang mga greenhouse gases sa konteksto ng nakaraan. Ang pagsusuri ng hangin na nakulong sa yelo na patuloy na naiipon sa Antarctica ay nagpapakita na ang CO₂

Figure B2. Ang mga sukat ng atmospheric CO₂ mula noong 1958 mula sa Mauna Loa Observatory sa Hawaii (itim) at mula sa South Pole (pula) ay nagpapakita ng tuloy-tuloy na taunang pagtaas ng konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera. Ang mga sukat ay ginagawa sa mga malayong lugar tulad nito dahil hindi sila gaanong naapektuhan ng lokal na mga proseso, kaya't sila ay kumakatawan sa background na atmospera. Ang maliit na up-and-down na saw-tooth pattern ay nagpapakita ng pana-panahong pagbabago sa pagpapalabas at pagsipsip ng CO₂ ng mga halaman. Pinagmulan: Scripps CO₂ Program



Ang konsentrasyon ay nagsimulang tumaas nang malaki noong ika-19 na siglo [Figure B3], matapos manatili sa saklaw ng 260 hanggang 280 ppm sa nakaraang 10,000 taon. Ang mga rekord mula sa mga ice core na umaabot ng 800,000 taon pabalik ay nagpapakita na sa panahong iyon, ang konsentrasyon ng CO₂ ay nanatili sa saklaw ng 170 hanggang 300 ppm sa buong maraming "ice age" cycles—tingnan ang infobox, pg. B4 upang malaman ang tungkol sa mga ice age—at walang konsentrasyon na higit sa 300 ppm na nakita sa mga rekord ng ice core hanggang sa nakaraang 200 taon.

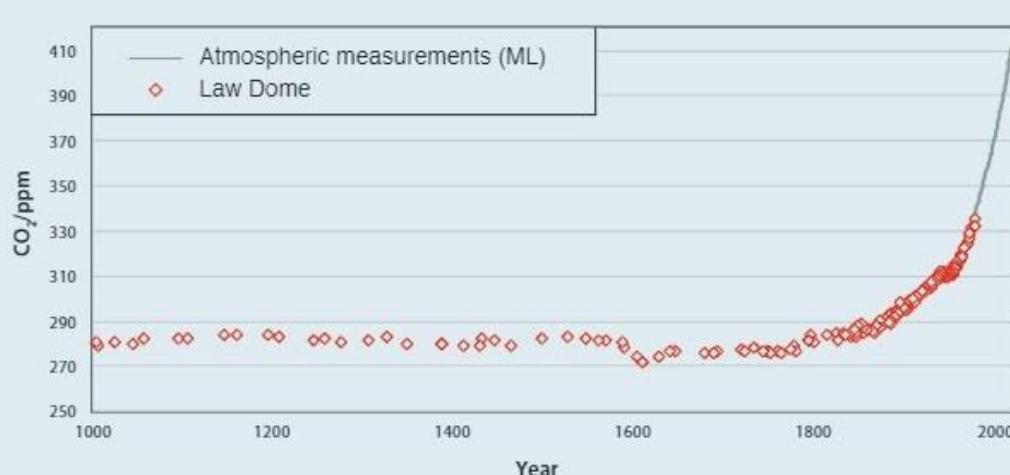


Figure B3. Ang mga pagbabago sa CO₂ sa nakaraang 1,000 taon, na nauhuha mula sa pagsusuri ng hangin na nakahulog sa isang ice core mula sa Antarctica (pulang mga parisukat), ay nagpapakita ng matinding pagtaas sa atmosperikong CO₂ mula noong huling bahagi ng ika-19 na siglo. Ang mga modernong sukat ng atmosperikong CO₂ mula sa Mauna Loa ay nakapatong sa kulay-abo. *Pinagmulan: Larawan ni Eric Wolff, data mula kina Etheridge et al., 1996; MacFarling Meure et al., 2006; Scripps CO₂ Program.*

Alamin ang tungkol sa mga pinagmumulan ng mga greenhouse gases na inilalabas ng tao:

■ **Carbon Dioxide (CO₂)** ay may mga likas at gawa ng tao na pinagmumulan, ngunit ang pagtaas ng antas ng CO₂ ay pangunahing sanhi ng pagsunog ng fossil fuels, produksyon ng semento, pagputol ng kagubatan (na nagpapababa sa CO₂ na nasisipip ng mga puno at nagpapataas sa CO₂ na inilalabas mula sa pag-aagnas ng mga labi), at iba pang pagbabago sa paggamit ng lupa. Ang pagtaas ng CO₂ ang pinakamalaking kontribyutor sa global warming.

■ **Methane (CH₄)** ay may parehong pinagmumulan mula sa tao at likas, at ang antas nito ay tumaas ng malaki mula noong pre-industrial na panahon dahil sa mga gawaing pantao tulad ng pagpapalaki ng hayop, pagtatanim ng palay, pagpunuan ng mga landfill, at paggamit ng natural gas (na karamihan ay CH₄, at maaaring ma-release kapag ito ay kinukuha, dinadala, at ginagamit).

■ **Nitrous Oxide (N₂O)** Ang konsentrasyon ay tumaas pangunahing dahil sa mga aktibidad sa agrikultura tulad ng paggamit ng nitrogen-based na pataba at mga pagbabago sa paggamit ng lupa.

■ **Halocarbons**, kabilang ang mga chlorofluorocarbons (CFCs), ay mga kemikal na ginagamit bilang refrigerants at fire retardants. Bukod sa pagging malalakas na greenhouse gases, ang mga CFCs ay nakakasira rin sa ozone layer. Ang produksyon ng karamihan sa mga CFCs ay ipinagbwawal na ngayon, kaya unti-until nang bumababa ang kanilang epekto. Gayunpaman, marami sa mga kapalit ng CFCs ay malalakas din na greenhouse gases, at patuloy na tumataas ang kanilang konsentrasyon pati na rin ang konsentrasyon ng iba pang halocarbons.



Ang mga sukat ng mga anyo (isotopes) ng carbon sa modernong atmospera ay nagpapakita ng malinaw na marka ng pagdagdag ng “luma” na carbon (na kulang sa natural na radioactive na ^{14}C) na nagmumula sa pagsunog ng fossil fuels (kumpara sa “bago” na carbon na nagmumula sa mga buhay na sistema). Bukod pa rito, kilala na ang mga aktibidad ng tao (maliban sa mga pagbabago sa paggamit ng lupa) ay kasalukuyang naglalabas ng tinatayang 10 bilyong tonelada ng carbon bawat taon, karamihan sa pamamagitan ng pagsunog ng fossil fuels, na higit pa sa sapat upang ipaliwanag ang nakitang pagtaas sa konsentrasyon. Ang mga ito at iba pang mga ebidensya ay tiyak na nagpapakita na ang mataas na konsentrasyon ng CO₂ sa ating atmospera ay resulta ng mga aktibidad ng tao.

Ipinapakita ng mga tala ng klima ang isang pagtaas sa temperatura.

Ang pagtantiya sa pagtaas ng pandaigdigang average na temperatura ng hangin sa ibabaw ay nangangailangan ng maingat na pagsusuri ng milyon-milyong sukat mula sa iba't ibang bahagi ng mundo, kabilang ang mga istasyon sa lupa, mga barko, at mga satelayt. Sa kabilang maraming komplikasyon sa pagsasama-sama ng ganitong data, maraming mga independiyenteng grupo ang nagkakaisa at nagpasya nang hiwalay na ang pandaigdigang average na temperatura ng hangin sa ibabaw ay tumaas ng mga 1 °C (1.8 °F) mula noong 1900. Bagaman nagpapakita ang rekord ng ilang mga paghinto at pagpapabilis sa tumataas na trend, ang bawat isa sa huling apat na dekada ay mas mainit kaysa sa anumang ibang dekada sa instrumental na tala mula noong 1850. Sa pagtingin sa nakaraan bago pa naging malawak ang paggamit ng mga tumpak na thermometer, ang mga temperatura ay maaaring muling buuin gamit ang mga climate-sensitive indicator na tinatawag na “proxies.”

Matutunan ang tungkol sa mga yelo ng panahon:

Ang detalyadong pagsusuri ng mga sedimentong dagat, mga ice core, at iba pang data ay nagpapakita na sa nakalipas na 2.6 milyong taon, ang Earth ay dumaan sa mga mahahabang yugto kung saan ang mga temperatura ay mas mababa kaysa sa ngayon at makapal na yelo ang bumabalot sa malalaking bahagi ng Hilagang Hemisperyo. Ang mga mahahabang malamig na panahon, na tumagal ng mga 100,000 taon sa pinakabagong mga siklo, ay naputol ng mas maiikli na mga mainit na ‘interglacial’ na panahon, kabilang ang nakaraang 10,000 taon.

Sa pamamagitan ng kumbinasyon ng teorya, pagmamasid, at pagmomodelo, napag-alaman ng mga siyentipiko na ang mga yelo ng panahon* ay nai-trigger ng mga paulit-ulit na pagbabago sa orbit ng Earth na pangunahing nagbabago sa rehiyon alat pana-panahong distribusyon ng solar energy na umabot sa Earth. Ang mga relatibong maliliit na pagbabago sa solar energy ay pinapalakas sa loob ng libu-libong taon ng anti-unting mga pagbabago sa yelo ng Earth (cryosphere), lalo na sa Hilagang Hemisperyo, at sa komposisyon ng atmospera, na sa huli ay humahantong sa malalaking pagbabago.



Mga pagbabago sa pandaigdigang temperatura. Ang average na pagbabago sa pandaigdigang temperatura sa panahon ng isang siklo ng yelo ay tinataya na $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($9\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$).

*Pansin na sa mga heolohikal na termino, ang Earth ay nasa panahon ng yelo mula nang huling mabuo ang Antarctic Ice Sheet mga 36 milyong taon na ang nakalipas. Gayunpaman, sa dokumentong ito, ginamit namin ang termino sa mas karaniwang kahulugan na nagpapahiwatig ng regular na paglitaw ng malalawak na yelo sa Hilagang Amerika at hilagang Eurasia.

Sa mga materyales tulad ng mga ring ng puno, ice cores, at marine sediments. Ang mga paghahambing ng rekord ng thermometer sa mga proxy measurements ay nagpapakita na mula noong unang bahagi ng dekada 1980s, ito ang pinakamainit na 40-taong panahon sa loob ng hindi bababa sa walong siglo, at ang pandaigdigang temperatura ay tumataas patungo sa pinakamainit na temperatura na huling nakita 5,000 hanggang 10,000 taon na ang nakalipas sa pinakamainit na bahagi ng kasalukuyang interglacial period.

Maraming iba pang epekto na nauugnay sa trend ng pag-init ang naging malinaw sa mga nakaraang taon. Ang saklaw ng yelo sa dagat sa Arctic tuwing tag-init ay malaki ang nabawasan. Ang nilalaman ng init ng karagatan ay tumaas. Ang pandaigdigang average na antas ng dagat ay tumaas ng humigit-kumulang 16 cm (6 pulgada) mula noong 1901, dahil sa parehong paglawak ng mas mainit na tubig sa dagat at sa pagdagdag ng mga tubig mula sa pagkatunaw ng mga glacier at ice sheets sa lupa. Ang pag-init at pagbabago sa pag-ulan ay nagbabago sa heograpikal na saklaw ng maraming species ng halaman at hayop pati na rin ang oras ng kanilang mga siklo ng buhay. Bukod sa mga epekto sa klima, ang ilan sa mga sobrang CO₂ sa atmospera ay nasisipsip ng dagat, na nagbabago sa kemikal na komposisyon nito (na naghahantong ng acidification ng dagat).

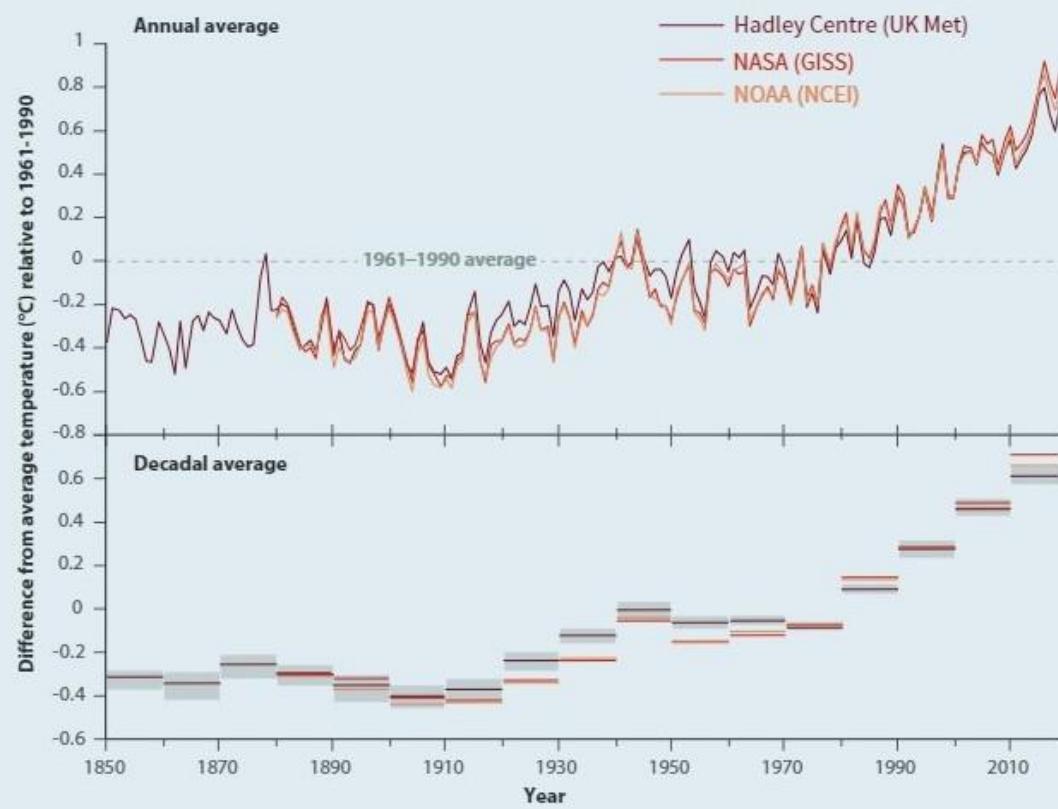


Figure B4. Tumaas ang pandaigdigang average na temperatura ng ibabaw ng Earth, tulad ng ipinapakita sa plot na ito ng pinagsamang sukat mula sa lupa at dagat mula 1850 hanggang 2019, na nakuha mula sa tatlong independiyenteng pagsusuri ng magagamit na mga dataset. Ang itaas na panel ay nagpapakita ng taunang average na mga halaga mula sa tatlong pagsusuri, at ang ibabang panel ay nagpapakita ng dekadal na average na mga halaga, kasama ang saklaw ng kawalang-katiyakan (grey bars) para sa maroon (HadCRUT4) dataset. Ang mga pagbabago sa temperatura ay kumpara sa pandaigdigang average na temperatura ng ibabaw, na kinuha mula sa 1961–1990. Pinagmulan: NOAA Climate.gov, batay sa IPCC AR5. Data mula sa UK Met Office Hadley Centre (maroon), US National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies (pula), at US National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Information (kahel).



Maraming komplikadong proseso ang humuhubog sa ating klima.

Batay sa pisika ng dami ng enerhiya na sinisipsip at inilalabas ng CO₂, ang pagdodoble ng konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera mula sa antas bago ang industriyalisasyon (hanggang humigit-kumulang 560 ppm) ay magdudulot ng pagtaas ng pandaigdigang average na temperatura ng humigit-kumulang 1 °C (1.8 °F). Gayunpaman, sa kabuuang sistema ng klima, mas komplikado ang mga bagay; ang pag-init ay nagdudulot ng mga karagdagang epekto (feedbacks) na maaaring magpalala o magpabawas ng paunang pag-init.

Ang pinakamahalagang feedbacks ay may kinalaman sa iba't ibang anyo ng tubig. Ang mas mainit na atmospera ay karaniwang naglalaman ng mas maraming singaw ng tubig. Ang singaw ng tubig ay isang malakas na greenhouse gas, na nagdudulot ng karagdagang pag-init; ang maikling buhay nito sa atmospera ay nagiging sanhi ng pagtaas nito na sumasabay sa pag-init. Kaya't ang singaw ng tubig ay itinuturing na isang amplifier, at hindi pangunahing sanhi, ng pagbabago ng klima. Ang mas mataas na temperatura sa mga polar na rehiyon ay nagdudulot ng pagkatunaw ng yelo sa dagat at pagbawas ng pana-panahong niyebe, na naglalantad ng mas madilim na karagatan at lupain na mas maraming init ang naaabsorb, na nagdudulot ng karagdagang pag-init. Isa pang mahalaga ngunit hindi tiyak na feedback ay ang mga pagbabago sa ulap. Ang pag-init at pagtaas ng singaw ng tubig ay maaaring magdulot ng pagtaas o pagbaba ng ulap, na maaaring magpalala o magbawas ng pagbabago sa temperatura depende sa mga pagbabago sa lawak, altitude, at katangian ng mga ulap. Ang pinakabagong pagsusuri ng agham ay nagpapahiwatig na ang pangkalahatang netong epekto ng mga pagbabago sa ulap ay malamang na magpalala ng pag-init.

Nililimitahan ng karagatan ang pagbabago ng klima. Ang karagatan ay isang malaking reservoir ng init, ngunit mahirap initin ang buong lalim nito dahil ang mainit na tubig ay kadalasang nananatili malapit sa ibabaw. Ang bilis ng paglipat ng init sa malalim na karagatan ay mabagal; nagbabago ito taon-taon at dekada-dekada, at ito ang tumutulong na tukuyin ang bilis ng pag-init sa ibabaw. Ang mga obserbasyon ng subsurface na karagatan ay limitado bago ang humigit-kumulang 1970, ngunit mula noon, ang pag-init ng itaas na 700 metro (2,300 talampakan) ay madaling napapansin, at ang mas malalim na pag-init ay malinaw na nakita mula noong humigit-kumulang 1990.

Ang mga temperatura sa ibabaw at pag-ulang sa karamihan ng mga rehiyon ay lubos na nag-iiba mula sa pandaigdigang average dahil sa lokasyon ng heograpiya, partikular sa latitude at posisyon ng kontinente. Ang parehong average na mga halaga ng temperatura, pag-ulang, at kanilang mga matinding kondisyon (na kadalasang may pinakamalaking epekto sa mga natural na sistema at imprastruktura ng tao) ay malakas ding naaapektuhan ng lokal na mga pattern ng hangin.

Ang pagtatantiya ng mga epekto ng feedback processes, bilis ng pag-init, at pagbabago ng klima sa rehiyon ay nangangailangan ng paggamit ng mga mathematical models ng atmospera, karagatan, lupa, at yelo (ang cryosphere) na batay sa mga napatunayang batas ng pisika at pinakabagong pag-unawa sa mga pisikal, kemikal, at biyolohikal na proseso na nakaaapekto sa klima, at pinapatakbo sa makapangyarihang mga computer. Ang mga modelo ay nag-iiba sa kanilang mga projection kung gaano karaming karagdagang pag-init ang inaasahan (depende sa uri ng modelo at sa mga palagay na ginamit sa pag-simulate ng ilang proseso ng klima, partikular sa pagbuo ng ulap at paghalo ng karagatan), ngunit lahat ng ganitong mga modelo ay sumasang-ayon na ang pangkalahatang netong epekto ng mga feedback ay magpapalakas ng pag-init.

Ang mga aktibidad ng tao ay binabago ang klima.

Mahigpit na pagsusuri ng lahat ng datos at ebidensya ang nagpapakita na ang karamihan sa naobserbahang global warming sa nakalipas na 50 taon ay hindi maipapaliwanag ng natural na mga sanhi at sa halip ay nangangailangan ng mahalagang papel ng impluwensya ng mga aktibidad ng tao.

Upang matukoy ang impluwensya ng tao sa klima, kailangang isaalang-alang ng mga siyentipiko ang maraming natural na pagbabago na nakakaapekto sa temperatura, pag-ulang, at iba pang aspeto ng klima mula lokal hanggang pundaigdigang saklaw, sa iba't ibang panahon mula sa araw hanggang dekada at mas mahaba pa. Isa sa mga natural na pagbabago ay ang El Niño Southern Oscillation (ENSO), isang hindi regular na pag-ikot sa pagitan ng pag-init at paglamig (na tumatagal ng humigit-kumulang dalawa hanggang pitong taon) sa equatorial Pacific Ocean na nagdudulot ng malalaking pagbabago taon-taon sa mga pattern ng temperatura at pag-ulang sa rehiyon at sa buong mundo. Ang mga pagsabog ng bulkan ay nakakaapekto rin sa klima, sa bahagi ay sa pamamagitan ng pagtaas ng dami ng maliliit na particle (aerosols) sa stratosphere na nagre-reflect o sumisipsip ng sikat ng araw, na nagdudulot ng panandaliang paglamig ng ibabaw na karaniwang tumatagal ng dalawa hanggang tatlong taon. Sa loob ng daan-daang libong taon, mabagal at paulit-ulit na pagbabago sa orbit ng Daigdig sa paligid ng Araw, na nagbabago sa distribusyon ng enerhiya ng araw na natatanggap ng Daigdig, ay sapat na upang mag-trigger ng mga yugtong yelo sa nakalipas na 800,000 taon.

Ang "fingerprinting" ay isang makapangyarihang paraan ng pag-aaral ng mga sanhi ng pagbabago ng klima. Ang iba't ibang impluwensya sa klima ay nagdudulot ng iba't ibang pattern na makikita sa mga tala ng klima. Ito ay nagiging maliwanag kapag ang mga siyentipiko ay nagsasaliksik nang higit pa sa mga pagbabago sa average na temperatura ng planeta at mas malapitan ang titingnan ang mga heograpikal at temporal na pattern ng pagbabago ng klima. Halimbawa, ang pagtaas ng enerhiya mula sa Araw ay magdudulot ng ibang-ibang pattern ng pagbabago ng temperatura (sa ibabaw ng Daigdig at sa vertical na saklaw sa atmospera) kumpara sa pattern na dulot ng pagtaas ng konsentrasyon ng CO₂.

continued



Alamin ang higit pa tungkol sa iba pang mga sanhi ng pagbabago ng klima na dulot ng tao:

Bukod sa paglalabas ng greenhouse gases, binago rin ng mga aktibidad ng tao ang balanse ng enerhiya ng Daigdig sa pamamagitan ng, halimbawa:

- **Mga pagbabago sa paggamit ng lupa.** Ang mga pagbabago sa paraan ng paggamit ng mga tao sa lupa — halimbawa, para sa mga kagubatan, sakahan, o lungsod — ay maaaring magdulot ng parehong pag-init at paglamig na epekto sa lokal na antas sa pamamagitan ng pagbabago sa reflectivity ng lupa.

Mga ibabaw ng Daigdig (na nakakaapekto sa dami ng sikat ng araw na bumabalik sa kalawakan) at sa pamamagitan ng pagbabago kung gaano kabasa ang isang rehiyon.

- **Paglabas ng mga pollutants (maliban sa greenhouse gases).** Ang ilang proseso ng industriya at agrikultura ay naglalabas ng mga pollutants na nagbubuo ng aerosols (maliliit na patak o particle na nakasuspinde sa atmospera). Karamihan sa mga aerosols ay nagpapalamig sa Daigdig sa pamamagitan ng

pagre-reflect ng sikat ng araw pabalik sa kalawakan. Ang ilang aerosols ay nakakaapekto rin sa pagbuo ng mga ulap, na maaaring magdulot ng pag-init o paglamig depende sa kanilang uri at lokasyon. Ang mga particle ng itim na carbon (o "uling") na nabubuo kapag sinusunog ang mga fossil fuels o mga halaman ay karaniwang may epekto ng pag-init dahil sinisipsip nila ang papasok na solar radiation.

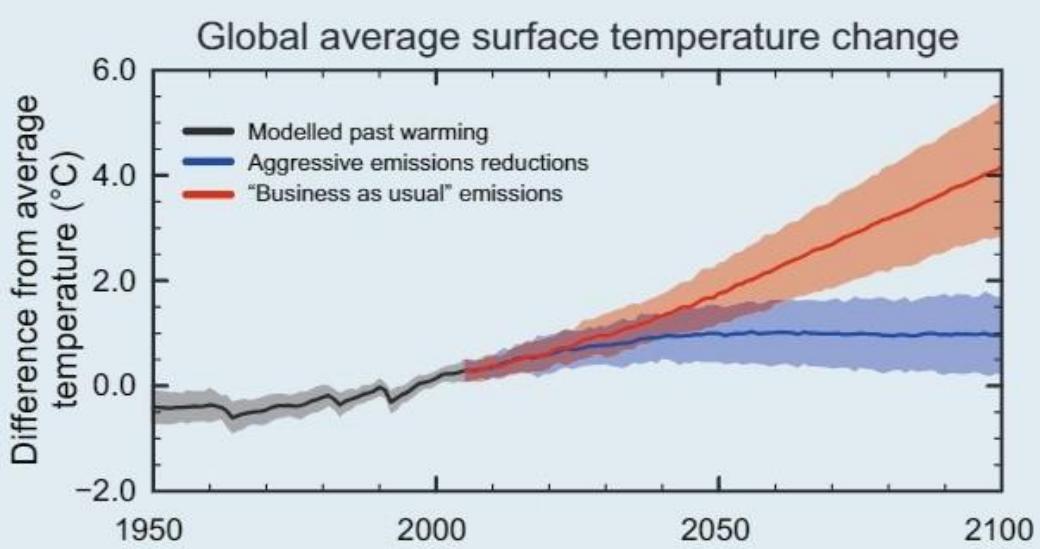


mas malapit sa epekto ng pangmatagalang pagtaas ng CO₂ kaysa sa epekto ng nagbabagong Araw lamang. Regular na sinusuri ng mga siyentipiko kung ang mga natural na pagbabago sa Araw, aktibidad ng bulkan, o panloob na pagbabago sa klima ay sapat upang maipaliwanag ang mga pattern ng pagbabagong kanilang naobserbahan sa maraming aspeto ng sistema ng klima. Ipinakita ng mga pagsusuri na ang mga naobserbahang pagbabago sa klima sa nakalipas na ilang dekada ay hindi maipapaliwanag ng mga natural na salik lamang.

Paano magbabago ang klima sa hinaharap?

Ang mga siyentipiko ay gumawa ng malalaking hakbang sa mga obserbasyon, teorya, at pagmo-modelo ng sistema ng klima ng Daigdig, at ang mga pag-unlad na ito ay nagbigay-daan sa kanila na mahulaan ang pagbabago ng klima sa hinaharap nang may higit na kumpiyansa. Gayunpaman, ilang mahahalagang isyu ang nagpapahirap na magbigay ng eksaktong mga pagtatantya kung paano magbabago ang pandaigdigan o rehiyonala ng mga trend ng temperatura dekada-dekada sa hinaharap. Una, hindi natin maaaring hulaan kung gaano karaming CO₂ ang ilalabas ng mga aktibidad ng tao, dahil ito ay nakasalalay sa mga salik tulad ng pag-unlad ng pandaigdigang ekonomiya at kung paano magbabago ang produksyon at pagkonsumo ng enerhiya ng lipunan sa mga darating na dekada. Pangalawa, sa kasalukuyang pag-unawa sa mga komplikasyon ng kung paano gumagana ang mga feedback sa klima, mayroong hanay ng mga posibleng kinalabasan, kahit na para sa isang partikular na senaryo ng CO₂ emissions. Panghuli, sa mga dekadang panahon, ang likas na pagbabago ay maaaring mag-modulate ng mga epekto ng isang pangunahing trend sa temperatura. Kapag pinagsama-sama, lahat ng modelong projections ay nagpapahiwatig na ang Daigdig ay patuloy na mag-iinit nang mas malaki pa sa susunod na ilang dekada hanggang siglo. Kung walang mga teknolohikal o patakaran ng pagbabago upang mabawasan ang mga trend ng emisyon mula sa kanilang kasalukuyang direksyon, inaasahan na ang karagdagang pandaigdigang pag-init ng 2.6 hanggang 4.8 °C (4.7 hanggang 8.6 °F) bukod pa sa nangyari na ay mangyayari sa ika-21 siglo [Tingnan ang Figure B5]. Ang pagtataya kung ano ang magiging kahulugan ng mga saklaw na iyon para sa klimang mararanasan sa anumang partikular na lokasyon ay isang hamon na problema sa agham, ngunit patuloy na umuunlad ang mga pagtataya habang umuunlad ang mga modelo sa rehiyonala at lokal na antas.

FIGURE B5. Ang halaga at bilis ng pag-init na inaasahan para sa ika-21 siglo ay nakasalalay sa kabuuang dami ng greenhouse gases na inilabas ng tao. Ipinakita ng mga modelo ang pagtaas ng temperatura para sa senaryo ng patuloy na paglabas (sa pula) at sa agresibong pagbawas ng paglabas, na malapit sa zero sa loob ng 50 taon mula ngayon (sa asul). Ang itim ay ang tinatayang modelo ng nakaraang pag-init. Bawat solidong linya ay kumakatawan sa average ng iba't ibang takbo ng modelo gamit ang parehong senaryo ng paglabas, at ang mga lilim na lugar ay nagbibigay ng sukatang pagkalat (isang standard deviation) sa pagitan ng mga pagbabago sa temperatura na tinataya ng iba't ibang modelo. Lahat ng datos ay kaugnay sa isang sanggunian na panahon (na itinalaga sa zero) ng 1986–2005. Pinagmulan: Batay sa IPCC AR5



11

KUNG UMIINIT ANG MUNDO, BAKIT ANG ILANG MGA TAGLAMIG AT TAG-INIT AY NANANATILING NAPAKALAMIG?

Ang global warming ay isang pangmatagalang trend, pero hindi ibig sabihin na bawat taon ay magiging mas mainit kaysa sa nakaraang taon. Ang pagbabago sa panahon araw-araw at taon-taon ay magdudulot pa rin ng ilang mga araw at gabi na labis na malamig, pati na rin mga malamig na taglamig at tag-init, kahit na ang klima ay umiinit.

Ang pagbabago sa klima ay hindi lamang nangangahulugang pagbabago sa pangkaraniwang temperatura ng ibabaw sa buong mundo, kundi pati na rin sa sirkulasyon ng atmospera, sa laki at mga pattern ng likas na pagbabago ng klima, at sa lokal na panahon. Ang mga kaganapan ng La Niña ay nagbabago ng mga pattern ng panahon kaya't ang ilang mga rehiyon ay nagiging mas basa, at ang mga tag-init na basa ay karaniwang mas malamig. Ang mas malalakas na hangin mula sa polar na rehiyon ay maaaring magdulot ng paminsan-minsan na mas malamig na taglamig. Sa katulad na paraan, ang pag-persist ng isang yugto ng pattern ng sirkulasyon ng atmospera na kilala bilang North Atlantic Oscillation ay nag-ambag sa ilang kamakailang malamig na taglamig sa Europa, silangang North America, at hilagang Asya.

Ang mga pattern ng sirkulasyon ng atmospera at karagatan ay magbabago habang umiinit ang mundo at makakaapeko sa mga landas ng bagyo at marami pang aspeto ng panahon. Ang global warming ay nagpapataas ng tsansa para sa mas maraming mainit na araw at panahon at mas kaunting malamig na araw at panahon. Halimbawa, noong dekada 1960, sa kontinental na bahagi ng Estados Unidos, mas marami ang mga record na pinakamababang temperatura kaysa sa pinakamataas. Pero noong dekada 2000, higit sa doble ang dami ng mga record na pinakamataas kaysa sa pinakamababa. Isang mahalagang halimbawa ng pagbabago ng tsansa ay ang pagtaas ng dalas ng heatwaves sa malalaking bahagi ng Europa, Asya, Timog Amerika, at Australia. Tumataas din ang mga marine heatwaves.



12

BAKIT BUMABABA ANG SEA ICE SA ARCTIC HABANG HALOS WALANG PAGBABAGO SA SEA ICE SA ANTARTIC?

Ang lawak ng sea ice ay naapektuhan ng mga hangin at agos ng dagat pati na rin ng temperatura. Ang sea ice sa bahagyang nakapaloob na Arctic Ocean ay tila direktang tumutugon sa pag-init, habang ang mga pagbabago sa hangin at dagat ang tila nangingibabaw sa mga pattern ng klima at pagbabago ng sea ice sa paligid ng Antarctica.

Ang ilang pagkakaiba sa lawak ng sea ice sa pagitan ng Arctic at Antarctic ay dulot ng pangunahing heograpiya at ang impluwensya nito sa sirkulasyon ng atmospera at dagat. Ang Arctic ay isang basin ng dagat na nakapalibot sa malaking bahagi ng mga bundok na kontinental, samantalang ang Antarctica ay isang kontinente na nakapalibutan ng dagat. Sa Arctic, ang lawak ng sea ice ay limitado ng mga nakapalibot na lupa. Sa Southern Ocean sa taglamig, ang sea ice ay maaaring palawakin nang malaya sa paligid ng dagat, na ang timog na hangganan ay itinatakdang baybayin ng Antarctica. Dahil ang Antarctic sea ice ay nabubuo sa mga latitude na mas malayo mula sa South Pole (at mas malapit sa ekwador), mas kaunting yelo ang nakakaligtas sa tag-init. Ang lawak ng sea ice sa parehong poles ay nagbabago ayon sa panahon; gayunpaman, ang mas pangmatagalang pagbabago sa lawak ng yelo sa tag-init at taglamig ay magkaiba sa bawat hemisphere, dahil sa mga pangunahing heograpikal na pagkakaibang ito.

Ang sea ice sa Arctic ay bumaba nang malaki mula noong huling bahagi ng dekada 1970, lalo na sa tag-init at taglagas. Mula nang magsimula ang satellite record noong 1978, ang taunang pinakamababang lawak ng Arctic sea ice (na nangyayari sa Setyembre) ay bumaba ng halos 40% [FIGURE 5]. Ang yelo ay muling lumalawak sa bawat taglamig sa Arctic, ngunit ang yelo ay mas manipis kaysa dati. Ang mga pagtatantya ng nakaraang lawak ng sea ice ay nagpapahiwatig na ang pagbaba na ito ay maaaring walang kapantay sa nakalipas na 1,450 taon. Dahil ang sea ice ay mataas na nakakapag-reflect ng sikat ng araw, ang pag-init ay lumalala habang bumababa ang yelo at mas maraming sikat ng araw ang nasisipsip ng mas madilim na ibabaw ng dagat sa ilalim.

Ang sea ice sa Antarctic ay nagpakita ng bahagyang pagtaas sa kabuuang lawak mula 1979 hanggang 2014, bagaman ang ilang mga lugar, tulad ng nasa kanluran ng Antarctic Peninsula, ay nakaranas ng pagbaba. Ang mga maiikliang trend sa Southern Ocean, tulad ng mga naobserbahan, ay maaaring dulot ng likas na pagkakaiba-iba ng sistema ng atmospera, dagat, at sea ice. Ang mga pagbabago sa mga pattern ng hangin sa ibabaw sa paligid ng kontinente ay nag-ambag sa pattern ng pagbabago ng sea ice sa Antarctica; ang mga salik ng dagat, tulad ng pagdagdag ng malamig na malinis na tubig mula sa natutunaw na mga ice shelf, ay maaari ring naglaro ng papel. Gayunpaman, pagkatapos ng 2014, nagsimulang bumaba ang lawak ng ice sa Antarctica, umabot sa rekord na pinakamababa (sa loob ng 40 taon ng satellite data) noong 2017, at nanatiling mababa sa susunod na dalawang taon.

FIGURE 5. Ang lawak ng sea ice sa Arctic sa tag-init ng 2012 (na sinusukat noong Setyembre) ay umabot sa rekord na pinakamababa, na ipinapakita (sa puti) kumpara sa median na lawak ng summer sea ice mula 1979 hanggang 2000 (sa orange na balangkas). Noong 2013, ang lawak ng sea ice sa Arctic sa tag-init ay bahagyang bumalik, ngunit nanatiling ika-anim na pinakamababa sa rekord. Noong 2019, ang lawak ng sea ice ay halos pantay sa ikalawang pinakamababang minimum sa satellite record, kasama ang 2007 at 2016—na ang tanging mas mababa lamang ay 2012, na nananatiling rekord na pinakamababa. Ang 13 pinakamababang lawak ng yelo sa panahon ng satellite ay lahat nangyari sa huling 13 taon. Pinagmulan: National Snow and Ice Data Center



13

PAANO NAKAKAAPEKTO ANG PAGBABAGO SA KLIMA SA LAKAS AT DALAS NG MGA PAGBAHA, TAGTUYOT, BAGYO, AT TORNADO?

Ang mas mababang atmospera ng Earth ay nagging mas mainit at mas basa dahil sa mga emisyon ng greenhouse gases na dulot ng tao. Nagbibigay ito ng mas maraming enerhiya para sa mga bagyo at ilang ekstremong kondisyon ng panahon. Ayon sa teoretikal na mga inaasahan, ang mga uri ng kaganapan na pinakamalapit na kaugnay sa temperatura, tulad ng heatwaves at labis na mainit na mga araw, ay nagging mas malamang. Ang mga malalakas na pag-ulan at pagbuhos ng niyebe (na nagpapataas ng panganib ng pagbaha) ay karaniwang nagging mas madalas din.

Habang umiinit ang klima ng Earth, mas madalas at mas matindi ang mga kaganapan sa panahon na naobserbahan sa buong mundo. Karaniwang tinutukoy ng mga siyentipiko ang mga kaganapang ito sa panahon bilang "ekstremo" kung sila ay hindi kapareho ng 90% o 95% ng mga katulad na kaganapan sa parehong rehiyon noong nakaraan. Maraming salik ang nag-aambag sa bawat indibidwal na ekstremong kaganapan sa panahon—kabilang ang mga pattern ng likas na pagbabago ng klima, tulad ng El Niño at La Niña—na ginagawang mahirap na iugnay ang isang partikular na ekstremong kaganapan sa pagbabago ng klima na dulot ng tao. Gayunpaman, maaari ring ipakita ng mga pag-aaral kung ginawa ng umiinit na klima na mas matindi o mas malamang ang isang kaganapan.

Ang umiinit na klima ay maaaring mag-ambag sa tindi ng mga heatwaves sa pamamagitan ng pagtaas ng tsansa ng mga napaka-init na araw at gabi. Ang pag-init ng klima ay nagpapataas din ng pag-evaporate sa lupa, na maaaring magpalala ng tagtuyot at lumikha ng mga kondisyon na mas madaling magdulot ng wildfire at mas mahabang panahon ng wildfire. Ang umiinit na atmospera ay nauugnay din sa mas mabibigat na pag-ulan (ulan at bagyo ng niyebe) dahil sa pagtaas ng kapasidad ng hangin na maghawak ng kahalumigmigan. Ang mga kaganapan ng El Niño ay nagpapalala ng tagtuyot sa maraming tropikal at subtropikal na lugar, habang ang mga kaganapan ng La Niña ay nagpapabuti ng mga kondisyon sa maraming lugar. Ang mga maiikliang pagbabago at rehiyonal na pagkakaiba ay inaasahang magiging mas matindi sa isang umiinit na klima.

Ang mas mainit at mas basa na atmospera ng Earth at ang mas mainit na mga karagatan ay nagpapataas ng posibilidad na ang mga pinakamatinding bagyo ay magiging mas matindi, magdadala ng mas maraming ulan, makakaapekto sa mga bagong lugar, at marahil ay magiging mas malalaki at mas mahahabang buhay. Sinusuportahan ito ng magagamit na ebidensya sa North Atlantic. Bukod dito, ang pagtaas ng lebel ng dagat (tingnan ang Tanong 14) ay nagpapataas ng dami ng seawater na naitutulak sa baybayin tuwing may mga bagyo sa baybayin, na, kasama ang mas maraming ulan mula sa mga bagyo, ay maaaring magdulot ng mas mapanira na storm surges at pagbaha. Habang malamang na pinapalakas ng global warming ang tindi ng mga bagyo, ang pagbabago sa bilang ng mga bagyo bawat taon ay medyo hindi tiyak. Ito ay patuloy na paksa ng pananaliksik.

Ang ilang mga kondisyon na paborable para sa malalakas na thunderstorms na nagdudulot ng tornadoes ay inaasahang tataas sa pag-init, ngunit may mga hindi tiyak na aspeto sa iba pang mga kondisyon.



14

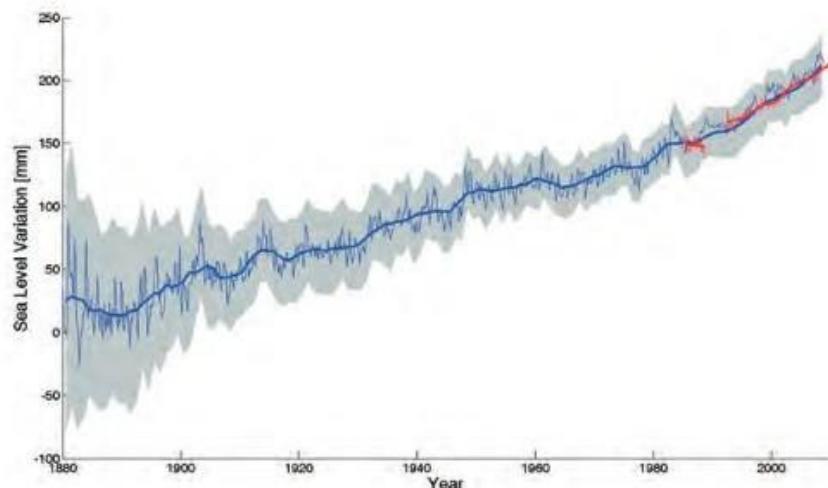
GAANO KABILIS ANG PAGTAAS NG ANTAAS NG DAGAT?

Ang pangmatagalang sukat mula sa tide gauges at kamakailang data mula sa satellite ay nagpapakita na ang global na antas ng dagat ay tumataas, na may pinakamahusay na pagtatantya ng rate ng global-average na pagtaas sa nakaraang dekada na 3.6 mm bawat taon (0.14 pulgada bawat taon). Ang bilis ng pagtaas ng antas ng dagat ay tumaas mula nang magsimula ang mga sukat gamit ang altimetry mula sa espasyo noong 1992; ang pangunahing salik sa pagtaas ng global-average na antas ng dagat mula noong 1970 ay ang pag-init dulot ng tao. Ang kabuuang observed na pagtaas mula noong 1902 ay humigit-kumulang 16 cm (6 inches) [FIGURE 6]

Ang pagtaas ng antas ng dagat ay dulot ng paglawak ng dami ng tubig habang umiinit ang dagat, pagtunaw ng mga glacier sa bundok sa lahat ng rehiyon ng mundo, at pagkawala ng masa mula sa mga ice sheet sa Greenland at Antarctica. Lahat ng ito ay resulta ng pag-init ng klima. Ang mga pagbabago sa antas ng dagat ay nagaganap din dahil sa mga pagbabago sa dami ng tubig na nakaimbak sa lupa. Ang antas ng pagbabago sa dagat na nararanasan sa isang partikular na lugar ay depende rin sa iba't ibang salik, kabilang kung ang mga proseso ng heolohiyang rehiyon alat pag-rebound ng lupa na dati ay tinimbang ng mga ice sheet ay nagiging sanhi ng pagtaas o pagbaba ng lupa, at kung ang mga pagbabago sa hangin at agos ng dagat ay nagiging sanhi ng pagtambak ng tubig sa ilang baybayin o paglilipat ng tubig palayo.

Ang mga epekto ng pagtaas ng antas ng dagat ay pinakamalakas na nararamdaman sa pagtaas ng dalas at tindi ng mga paminsan-minsan na storm surges. Kung patuloy na tataas ang CO₂ at iba pang greenhouse gases sa kanilang kasalukuyang mga trajectory, inaasahan na ang antas ng dagat ay maaaring tumaas ng karagdagang 0.4 hanggang 0.8 metro (1.3 hanggang 2.6 talampakan) bago ang 2100, bagaman ang pagkatunaw ng mga ice sheet sa hinaharap ay maaaring magpataas pa ng mga halagang ito. Bukod dito, ang pagtaas ng antas ng dagat ay hindi titigil sa 2100; magiging mas mataas ang antas ng dagat sa mga susunod na siglo habang patuloy na nag-iipon ng init ang dagat at ang mga glacier ay patuloy na umatras. Mahirap pa ring tukuyin ang mga detalye kung paano tutugon ang mga Ice Sheet ng Greenland at Antarctica sa patuloy na pag-init, ngunit iniisip na ang Greenland at marahil ang West Antarctica ay patuloy na mawawalan ng masa, habang ang mas malamig na bahagi ng Antarctica ay maaaring makakuha ng masa dahil sa mas maraming snowfall mula sa mas maiinit na hangin na nagdadala ng higit pang kahalumigmigan. Ang antas ng dagat sa huling interglacial (mainit) na panahon noong mga 125,000 taon na ang nakararaan ay umabot sa tinatayang 5 hanggang 10 metro sa itaas ng kasalukuyang antas. Sa panahong ito, ang mga polar na rehiyon ay mas mainit kaysa sa ngayon. Ipinapahiwatig nito na, sa loob ng libu-libong taon, ang mahahabang panahon ng pagtaas ng temperatura ay magreresulta sa napakahalagang pagkawala ng mga bahagi ng Ice Sheets ng Greenland at Antarctica at sa kasunod na pagtaas ng antas ng dagat.

[FIGURE 6]. Ipinapakita ng mga obserbasyon na ang global na average na antas ng dagat ay tumasa ng humigit-kumulang 16 cm (6 pulgada) mula noong huling bahagi ng ika-19 na siglo. Ang antas ng dagat ay tumataas nang mas mabilis sa mga nakaraang dekada; ang mga sukat mula sa tide gauges (asul) at mga satellite (pula) ay nagpapakita na ang pinakamahusay na pagtatantya para sa average na pagtaas ng antas ng dagat sa nakaraang dekada ay natukoon sa 3.6 mm bawat taon (0.14 pulgada bawat taon). Ang shaded na bahagi ay kumakatawan sa hindi tiyak na antas ng dagat, na bumaba habang dumami ang mga gauge site na ginamit sa pagkalkula ng global averages at ang dami ng mga data points ay tumasa. Pinagmulan: Shum at Kuo (2011)



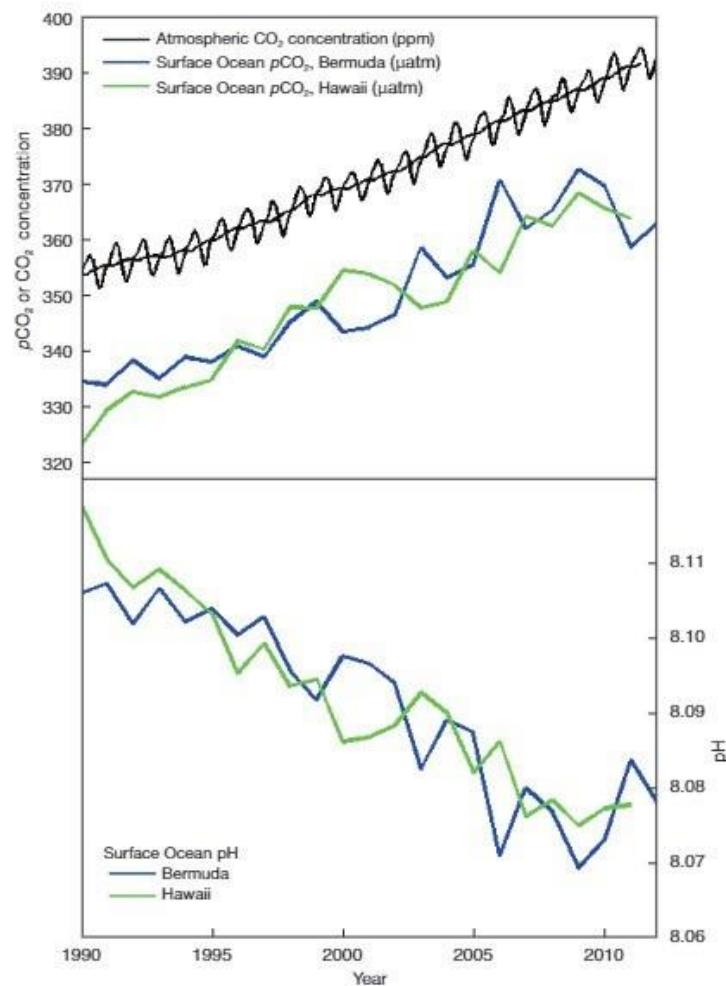
15

ANO ANG OCEAN ACIDIFICATION AT BAKIT ITO MAHALAGA?

Direktang mga obserbasyon sa kimika ng dagat ang nagpapakita na ang kemikal na balanse ng seawater ay lumipat patungo sa isang mas acidic na estado (mas mababang pH) [Pigura 7]. Ang ilang marine organisms (tulad ng mga corals at ilang shellfish) ay may mga shell na binubuo ng calcium carbonate, na madaling natutunaw sa acid. Habang tumataas ang acidity ng tubig-dagat, nagiging mas mahirap para sa mga organismong ito na bumuo o mapanatili ang kanilang mga shell.

Ang CO₂ ay natutunaw sa tubig upang bumuo ng mahinang acid, at ang mga karagatan ay sumipsip ng halos isang katlo ng CO₂ na dulot ng mga aktibidad ng tao, na nagdudulot ng tuloy-tuloy na pagbaba sa pH levels ng dagat. Sa pagtaas ng CO₂ sa atmospera, ang kemikal na balanse ay magbabago pa nang higit sa susunod na siglo. Ipinapakita ng mga laboratoryo at iba pang eksperimento na sa ilalim ng mataas na CO₂ at sa mas acidic na tubig, ang ilang marine species ay nagkakaroon ng mga deformed na shell at mas mababang rate ng paglago, bagaman ang epekto ay nag-iiba-iba sa bawat species. Ang acidification ay binabago rin ang siklo ng mga nutrients at marami pang ibang elemento at compounds sa dagat, at malamang na magdulot ng pagbabago sa competitive advantage ng mga species, na may mga epekto sa marine ecosystems at food web na hindi pa matukoy.

[FIGURE 7] . Habang tumaaas ang CO₂ sa hangin, tumaaas din ang CO₂ content ng surface ocean (itaas na kahon), at bumaba ang pH ng seawater (ibaba na kahon). Pinagmulan: inangkop mula kina Dore et al. (2009) at Bates et al. (2012).



16

GAANO KA-KUMPYANSANG ANG MGA SIYENTIPIKO NA ANG EARTH AY PATULOY NA UUMIINIT SA SUSUNOD NA SIGLO?

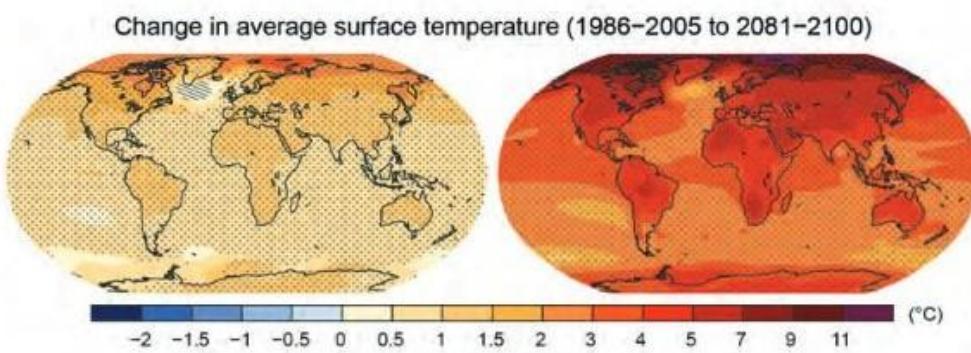
Napaka-kumpiyansa. Kung magpapatuloy ang mga emisyon sa kanilang kasalukuyang landas, nang walang teknolohikal o regulasyon na pagbabawas, inaasahang ang pag-init na 2.6 hanggang 4.8 °C (4.7 hanggang 8.6 °F) sa karagdagan sa mga nangyaring pag-init ay magaganap sa ika-21 siglo [FIGURE 8]

Ang pag-init dulot ng pagdaragdag ng malaking dami ng greenhouse gases sa atmospera ay maaaring maunawaan batay sa mga pangunahing katangian ng mga greenhouse gases. Ito ay magdudulot ng maraming pagbabago sa natural na mga proseso ng klima, na may kabuuang epekto ng pagpapalakas ng pag-init. Ang laki ng pag-init na mararanasan ay nakasalalay sa dami ng greenhouse gases na naipon sa atmospera at kaya't sa landas ng mga emisyon. Kung ang kabuuang naipong emisyon mula noong 1875 ay mapapanatili sa ibaba ng halos 900 gigatonnes (900 bilyong tonelada) ng carbon, magkakaroon ng dalawang-thirds na pagkakataon na mapapanatili ang pagtaas ng global na average na temperatura mula sa pre-industrial na panahon sa ibaba ng 2 °C (3.6 °F). Gayunpaman, dalawang-thirds ng halagang ito ay na-emite na. Ang layunin na mapapanatili ang pagtaas ng global na average na temperatura sa ibaba ng 1.5 °C (2.7 °F) ay magpapahintulot sa mas kaunting kabuuang naipong emisyon mula noong 1875.

Batay lamang sa itinatag na pisika ng dami ng init na nasisipsip at na-ieemit ng CO₂, ang pagdodoble ng konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera mula sa mga preindustrial na antas (hanggang sa mga 560 ppm) ay magdudulot ng global na average na pagtaas ng temperatura na humigit-kumulang 1 °C (1.8 °F) nang mag-isa, nang walang pagpapalakas ng iba pang mga epekto. Gayunpaman, ang kabuuang dami ng pag-init mula sa isang tiyak na dami ng emisyon ay nakasalalay sa mga chain of effects (feedbacks) na maaaring magpalakas o magpahina ng paunang pag-init.

Ang pinaka-mahalagang amplifying feedback ay dulot ng water vapour, na isang makapangyarihang greenhouse gas. Habang tumataas ang CO₂ at umiinit ang atmospera, ang mas maiinit na hangin ay maaaring humawak ng mas maraming moisture at makulong ng higit pang init sa mas mababang atmospera. Gayundin, habang natutunaw ang Arctic sea ice at mga glacier, mas maraming sikat ng araw ang nasisipsip sa mas madilim na ilalim ng lupa at mga ibabaw ng dagat, na nagdudulot ng karagdagang pag-init at karagdagang pagtunaw ng yelo at snow. Ang pinakamalaking kawalang-katiyakan sa ating pag-unawa sa feedbacks ay nauugnay sa mga ulap (na maaaring magkaroon ng parehong positibo at negatibong feedbacks), at kung paano magbabago ang mga katangian ng mga ulap bilang tugon sa pagbabago ng klima.

[FIGURE 8] Kung magpapatuloy ang mga emisyon sa kanilang kasalukuyang landas, nang walang teknolohikal o regulasyon na pagbabawas, ang pinakamahusay na pagtataya ay ang global na average na temperatura ay tataas pa ng 2.6 hanggang 4.8 °C (4.7 hanggang 8.6 °F) sa pagtatapos ng siglo (kanan). Ang mga lupain ay inaasahang mag-iinit nang higit kaysa sa mga karagatan at sa kabuuang average. Ang pigura sa kaliwa ay nagpapakita ng inaasahang pag-init kung magkakaroon ng napaka-agresibong pagbabawas ng emisyon. Ang mga pigura ay kumakatawan sa multi-model na pagtataya ng mga average na temperatura para sa 2081–2100 kumpara sa 1986–2005.
Pinagmulan: IPCC AR5



Ang iba pang mahalahagang feedbacks ay nauugnay sa carbon cycle. Sa kasalukuyan, ang lupa at mga karagatan ay sumisipsip ng humigit-kumulang kalahati ng CO₂ na na-emite mula sa mga aktibidad ng tao, ngunit inaasahan na ang kakayahang ng lupa at dagat na mag-imbak ng karagdagang carbon ay bababa sa pag-init ng klima, na magdudulot ng mas mabilis na pagtaas ng atmospheric CO₂ at mas mabilis na pag-init. Magkaiba ang mga modelo sa kanilang mga pagtataya kung gaano karaming karagdagang pag-init ang aasahan, ngunit lahat ng mga modelo ay sumasang-ayon na ang kabuuang netong epekto ng mga feedbacks ay ang pagpapalakas ng pag-init.

17

ANG MGA PAGBABAGO SA KLIMA NG ILANG GRADO BA AY SANHI NG PAG-AALALA?

Oo. Kahit na ang pagtaas ng ilang grado sa global na average na temperatura ay tila hindi kalakihan, ang global na average na temperatura noong huling ice age ay mga 4 hanggang 5 °C (7 hanggang 9 °F) na mas malamig kaysa ngayon. Ang global warming ng ilang grado lamang ay magkakaroon ng malawakang pagbabago sa regional at lokal na temperatura at pag-ulan, pati na rin sa pagtaas ng ilang uri ng extreme weather events. Ang mga pagbabagong ito at iba pa (tulad ng pagtaas ng antas ng dagat at storm surge) ay magkakaroon ng seryosong epekto sa mga lipunan ng tao at sa natural na mundo.

Parehong ang teorya at direktang obserbasyon ay nakumpirma na ang global warming ay nauugnay sa mas malaking pag-init sa lupa kumpara sa mga karagatan, pag-taas ng moisture sa atmospera, pagbabago sa mga regional na pattern ng pag-ulan, pagtaas ng mga extreme weather events, ocean acidification, pagtunaw ng mga glacier, at pagtaas ng antas ng dagat (na nagdaragdag ng panganib ng coastal inundation at storm surge). Sa kasalukuyan, ang mga rekord na mataas na temperatura ay nangangibabaw nang malaki sa mga rekord na mababang temperatura, ang mga basang lugar ay lalong bumabasa habang ang mga tuyong lugar ay lalong natutuyo, ang mga malalakas na ulan ay naging mas malakas, at ang mga snowpacks (isang mahalagang pinagmumulan ng freshwater para sa maraming rehiyon) ay bumababa. Ang mga epekto na ito ay inaasahang tataas sa pag-init at maglalagay ng panganib sa produksyon ng pagkain, suplay ng freshwater, coastal infrastructure, at lalo na ang kapakanan ng malaking populasyon na kasalukuyang naninirahan sa mga mababang lugar. Kahit na ang ilang rehiyon ay maaaring makakuha ng lokal na benepisyo mula sa pag-init, ang pangmatagalang mga kahihinatnan ay magiging nakaka-abala.

Hindi lamang ang pagtaas ng ilang grado sa global na average na temperatura ang sanhi ng pag-aalala—ang bilis ng pag-init ay mahalaga din (tingnan ang Tanong 6). Ang mabilis na pagbabago ng klima dulot ng tao ay nangangahulugang mas kaunting oras ang magagamit upang ilagay ang mga hakbang para sa adaptasyon o para sa mga ecosystem na umangkop, na nagdudulot ng mas malaking panganib sa mga lugar na mahina sa mas matinding extreme weather events at pagtaas ng antas ng dagat.

18

GAANO KA-KUMPYANSANG ANG MGA SIYENTIPIKO NA ANG EARTH AY PATULOY NA UUMIINIT SA SUSUNOD NA SIGLO?

Ang agham ay isang patuloy na proseso ng pagmamasid, pag-unawa, pagmomodelo, pagsusuri, at prediksyon. Ang prediksyon ng pangmatagalang trend sa global warming dulot ng pagtaas ng greenhouse gases ay matatag at nakumpirma na ng lumalaking dami ng ebidensya. Gayunpaman, ang pag-unawa sa ilang aspeto ng pagbabago ng klima ay nananatiling hindi kumpleto. Halimbawa ay ang natural na pagbabago ng klima sa decadal-to-centennial na mga panahon at regional-to-local na mga saklaw, pati na rin ang mga reaksyon ng mga ulap sa pagbabago ng klima, na lahat ay aktibong paksa ng pananaliksik.

continued

Bakit ginagamit ang mga computer model para pag-aranan ang pagbabago ng klima?

Ang hinaharap na ebolusyon ng klima ng Earth habang ito ay tumutugon sa kasalukuyang mabilis na pagtaas ng atmospheric CO₂ ay walang tiyak na kapareho sa nakaraan, at hindi rin ito maunawaan nang maayos sa pamamagitan ng mga laboratory experiments. Dahil hindi rin natin magagawa ang mga sinadyang kontroladong eksperimento sa Earth mismo, ang mga computer model ay isa sa mga pinakamahahalagang tool na ginagamit upang pag-aranan ang sistema ng klima ng Earth. Ang mga climate model ay batay sa mga matematikal na ekwasyon na kumakatawan sa pinakamahusay na pag-unawa sa mga pangunahing batas ng pisika, kemistri, at biyolohiya na namamahala sa pag-uugali ng atmospera, karagatan, lupa, yelo, at iba pang bahagi ng sistema ng klima, pati na rin ang mga interaksyon sa pagitan nila. Ang pinaka-komprehensibong mga climate model, ang Earth-System Models, ay dinisenyo upang gayahin ang sistema ng klima ng Earth na may pinakamaraming detalye ayon sa ating pag-unawa at sa mga magagamit na supercomputers. Ang kakayahang ng mga climate model ay patuloy na pinabuting mula noong dekada 1960. Gomit ang mga ekwasyon batay sa pisika, ang mga modelo ay nasusubukan at matagumpay sa pag-gaya ng isang malawak na saklaw ng mga pagbabago sa panahon at klima, halimbawa mula sa mga indibidwal na bagyo, pag-ikot ng jet stream, mga kaganapan sa El Niño, at ang klima ng nakaraang siglo. Ang kanilang mga pagtatawa ng mga pinakatampok na aspeto ng pangmatagalang pagbabago ng klima dulot ng tao ay nananatiling matatag, habang ang mga henerasyon ng lalong kumplikadong mga modelo ay nagbibigay ng mas mayamang detalye ng pagbabago.

Ginagamit para magsagawa ng mga eksperimento upang ihiwalay ang mga tiyak na sanhi ng pagbabago ng klima at upang tuklasin ang mga epekto ng iba't ibang senaryo ng hinaharap na greenhouse gas emissions at iba pang impluwensya sa klima.



Ang paghahambing ng mga prediksyon ng modelo sa mga obserbasyon ay tumutukoy kung ano ang mahusay na naiintindihan at, sabay nito, ay nagbubunyag ng mga hindi tiyak o puwang sa ating pag-unawa. Nakakatulong ito sa pagtatakda ng mga prayoridad para sa bagong pananaliksik. Ang masigasig na pagmamanman ng buong sistema ng klima—ang atmospera, karagatan, lupa, at yelo—ay mahalaga, dahil maaaring puno ito ng mga surpresa.

Sama-samang ginagamit ang datos mula sa larangan at laboratoryo at ang teoretikal na pag-unawa upang i-advance ang mga modelo ng sistema ng klima ng Earth at upang mapabuti ang representasyon ng mga pangunahing proseso sa mga ito, lalo na ang mga kaugnay sa mga ulap, aerosol, at paglipat ng init sa mga karagatan. Mahalaga ito para sa tumpak na simulasyon ng pagbabago ng klima at mga kaugnay na pagbabago sa matinding panahon, lalo na sa mga regional at lokal na saklaw na mahalaga para sa mga desisyon sa patakaran.

Ang pag-simulate kung paano magbabago ang mga ulap sa pag-init at kung paano nila maaaring makaapektu sa pag-init ay nananatiling isa sa mga pangunahing hamon para sa mga global climate model, sa bahagi dahil ang iba't ibang uri ng ulap ay may iba't ibang epekto sa klima, at maraming proseso ng ulap ang nangyayari sa mga sukat na mas maliit kaysa sa kaya ng karamihan sa mga kasalukuyang modelo na lutasin. Ang mas mataas na kapangyarihan ng kompyuter ay nagbibigay-daan na para sa ilan sa mga prosesong ito na maresolba sa bagong henerasyon ng mga modelo.

Maraming grupo at institusyon ng pananaliksik ang nagtatrabaho sa mga climate model, at ngayon ay kayang suriin ng mga siyentipiko ang mga resulta mula sa halos lahat ng mga pangunahing Earth-System Models sa mundo at ihambing ang mga ito sa bawat isa at sa mga obserbasyon. Ang ganitong mga pagkakataon ay napakalaking pakinabang sa pagpapakita ng lakas at kahinaan ng iba't ibang modelo at pag-diagnose ng mga sanhi ng mga pagkakaiba sa pagitan ng mga modelo, upang ang pananaliksik ay makapagtuo sa mga nauugnay na proseso. Ang mga pagkakaiba sa pagitan ng mga modelo ay nagbibigay-daan sa paggawa ng mga pagtatawa ng mga hindi tiyak sa mga prediksyon ng hinaharap na pagbabago ng klima. Bukod dito, ang malalaking archive ng mga resulta mula sa maraming iba't ibang modelo ay tumutulong sa mga siyentipiko na tukuyin ang mga aspeto ng mga prediksyon ng pagbabago ng klima na matatag at maaaring i-interpret batay sa mga kilalang mekanismong pisikal.

Ang pag-aaral kung paano tumugon ang klima sa mga pangunahing pagbabago sa nakaraan ay isa pang paraan upang suriin kung nauunawaan natin kung paano gumagana ang iba't ibang mga proseso at kung ang mga modelo ay may kakayahang magsagawa ng maaasahan sa ilalim ng malawak na saklaw ng mga kondisyon.

19

ANG MGA SENARYO NG SAKUNA TUNGKOL SA MGA TIPPING POINTS TULAD NG “PAGTIGIL NG GULF STREAM” AT PAGLABAS NG METHANE MULA SA ARCTIC AY SANHI BA NG PAG-AALARMA?

Ang mga resulta mula sa pinakamahusay na available na mga modelo ng klima ay hindi nagpapakita ng biglaang pagbabago (o pagbagsak) ng Atlantic Meridional Overturning Circulation, na kinabibilangan ng Gulf Stream, sa malapit na hinaharap. Gayunpaman, ang mga potensyal na mataas na panganib na biglaang pagbabago, tulad ng paglabas ng methane at carbon dioxide mula sa natutunaw na permafrost, ay nananatiling aktibong larangan ng pananaliksik. Ang ilang mga biglaang pagbabago ay kasalukuyang nagaganap, tulad ng pagbaba sa lawak ng Arctic sea ice (tingnan ang Tanong 12), at habang tumataas ang pag-init, hindi maikakaila ang posibilidad ng iba pang malalaking biglaang pagbabago.

Ang komposisyon ng atmospera ay nagbabago patungo sa mga kondisyon na hindi pa naranasan sa loob ng milyon-milyong taon, kaya't tayo ay papunta sa hindi kilalang teritoryo at malaki ang kawalang-katiyakan. Ang sistema ng klima ay kinabibilangan ng maraming nakikipag-kompetensyang proseso na maaaring magdulot ng paglipat ng klima sa ibang estado kapag lumagpas na sa isang threshold.

Isang kilalang halimbawa ay ang south-north ocean overturning circulation, na pinapanatili ng malamig at maalat na tubig na lumulubog sa North Atlantic at kinasasangkutan ng pagdadala ng karagdagang init sa North Atlantic sa pamamagitan ng Gulf Stream. Sa panahon ng huling ice age, ang mga pagsabog ng freshwater mula sa natutunaw na ice sheet sa North America ay nagdulot ng pagbagal ng overturning circulation na ito. Ito naman ay nagdulot ng malawakang pagbabago sa klima sa paligid ng Northern Hemisphere. Ang pag-aasim ng North Atlantic mula sa pagkatunaw ng Greenland ice sheet ay unti-unti, kaya't hindi inaabhang magdudulot ng biglaang pagbabago.

Isa pang alalahin ay ang Arctic, kung saan ang malawak na pag-init ay maaaring magdulot ng destabilization ng methane (isang greenhouse gas) na nakatrap sa mga sediment ng karagatan at permafrost, na maaaring magdulot ng mabilis na paglabas ng malaking halaga ng methane. Kung mangyari ang ganitong mabilis na paglabas, magreresulta ito sa malalaking, mabilis na pagbabago sa klima. Ang mga ganitong mataas na panganib na pagbabago ay itinuturing na hindi malamang sa siglong ito, ngunit sa kahulugan ay mahirap ipredikta. Kaya patuloy na pinag-aaralan ng mga siyentipiko ang posibilidad ng pag-abot sa mga tipping point na ito, kung saan tayo ay nasa panganib ng malalaki at biglaang pagbabago.

Bukod sa mga biglaang pagbabago sa mismong sistema ng klima, ang patuloy na pagbabago ng klima ay maaaring lumampas sa mga threshold na nagdudulot ng biglaang pagbabago sa iba pang sistema. Sa mga sistemang pantao, halimbawa, ang imfrastruktura ay karaniwang itinayo upang umangkop sa pagbabago ng klima noong panahon ng pagtatayo. Ang unti-untiling pagbabago ng klima ay maaaring magdulot ng biglaang pagbabago sa kapakinabangan ng imfrastruktura—tulad ng kapag tumataas na antas ng dagat ay biglang lumampas sa mga sea wall, o kapag ang pagkatunaw ng permafrost ay nagdudulot ng biglaang pagbagsak ng mga pipeline, gusali, o kalsada. Sa mga natural na sistema, habang tumataas ang temperatura ng hangin at tubig, ang ilang species—tulad ng mountain pika at maraming ocean corals—ay hindi na makaligtas sa kanilang kasalukuyang tirahan at mapilitang lumipat (kung maaari) o mabilis na umangkop. Ang iba pang species ay maaaring mas magtagumpay sa bagong kondisyon, na nagdudulot ng biglaang paglipat sa balanse ng mga ekosistema; halimbawa, ang mas mainit na temperatura ay nagpapahintulot sa mas maraming bark beetles na makaligtas sa taglamig sa ilang rehiyon, kung saan ang mga pag-atake ng beetle ay nagwasak ng mga kagubatan.



20

KUNG ITITIGIL ANG MGA EMISSIONS NG GREENHOUSE GASES, BABALIK BA ANG KLIMA SA MGA KONDISYON NG 200 TAON NA ANG NAKALIPAS?

Hindi. Kahit na biglang itigil ang mga emissions ng greenhouse gases, kakailanganin ng libu-libong taon para lumamig ang ibabaw ng Earth at bumalik sa antas na nasa pre-industrial na panahon.

Kung ang emissions ng CO₂ ay tumigil nang buo, aabutin ng maraming libong taon bago bumalik sa "pre-industrial" na antas ang CO₂ sa atmospera dahil sa napakabagal nitong paglipat sa malalim na karagatan at huling pagbuo sa sediment ng karagatan. Mananatiling mataas ang temperatura sa ibabaw ng Earth ng hindi bababa sa isang libong taon, na nangangahulugang isang pangmatagalang pangako sa mas mainit na planeta dahil sa nakaraan at kasalukuyang emissions. Malamang na patuloy na tumaas ang antas ng dagat ng maraming siglo kahit matapos tumigil ang pagtaas ng temperatura. Kinakailangan ng makabuluhang pagpapalamig upang mapabalik ang pagtunaw ng mga glacier at ng Greenland ice sheet, na nabuo noong mga nakaraang malamig na klima. Ang kasalukuyang pagpapainit ng Earth dahil sa CO₂ ay sa katunayan ay hindi maibalik sa mga sukat ng panahon ng tao. Ang dami at bilis ng karagdagang pagpapainit ay halos ganap na nakasalalay sa kung gaano pa karaming CO₂ ang ilalabas ng tao.

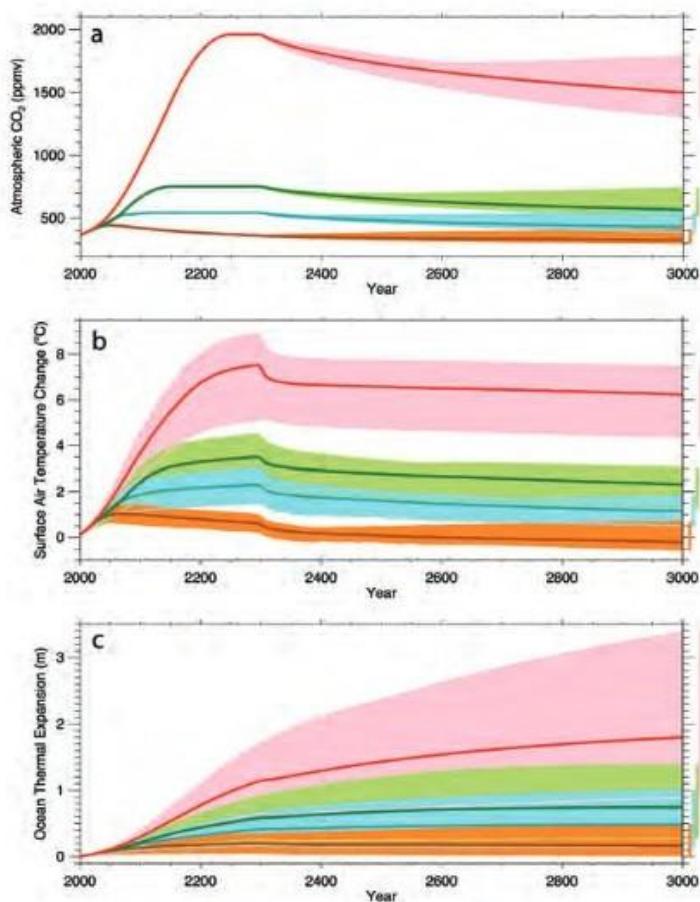
Ang mga senaryo ng hinaharap na pagbabago ng klima ay lalong nag-aassume ng paggamit ng mga teknolohiya na maaaring mag-alis ng greenhouse gases mula sa atmospera. Sa mga ganitong "negative emissions" na senaryo, inaasahan na sa ilang punto sa hinaharap, magkakaroon ng

[FIGURE 9]. Kung biglang tumigil ang global emissions, aabutin ng mahabang panahon bago magsimulang lumamig ang mga temperatura sa ibabaw at ang karagatan dahil ang labis na CO₂ sa atmospera ay mananatili roon sa mahabang panahon at patuloy na magkakaroon ng epekto sa pagpapainit.

Ipinapakita ng mga projection ng modelo kung paano tutugon ang konsentrasyon ng CO₂ sa atmospera (a), temperatura ng hangin sa ibabaw (b), at thermal expansion ng karagatan (c) pagkatapos ng senaryo ng pagtitigil ng emissions sa 2300 (pula), isang senaryo ng agresibong pagbawas ng emissions na malapit sa zero sa loob ng 50 taon (kahel), at dalawang intermediate na senaryo ng emissions (berde at asul). Ang maliit na pagbaba sa temperatura sa 2300 ay dulot ng pag-aalis ng emissions ng mga short-lived greenhouse gases, kasama ang methane.

Pinagmulan: Zickfeld et al., 2013

malawakang pagsisikap na gagamit ng mga teknolohiyang ito upang alisin ang CO₂ mula sa atmospera at pababain ang konsentrasyon nito, na nagiging sanhi ng pag-reverse ng pagpapainit ng CO₂ sa mas mahabang panahon. Ang malawakang pagpapatupad ng ganitong mga teknolohiya ay mangangailangan ng malaking pagbaba sa kanilang mga gastos. Kahit na praktikal ang mga teknolohiyang ito, malaki pa rin ang pangangailangan ng pagbawas sa emissions ng CO₂.



KONKLUSYON

Ang dokumentong ito ay nagpapaliwanag na mayroong mga maayos na nauunawaan na pisikal na mekanismo kung paano nagdudulot ng pagbabago sa klima ang mga pagbabago sa dami ng greenhouse gases. Tinalakay nito ang ebidensya na ang konsentrasyon ng mga gas na ito sa atmospera ay tumaas at patuloy na tumataas nang mabilis, na ang pagbabago sa klima ay nangyayari, at na ang karamihan sa mga kamakailang pagbabago ay malamang na dulot ng emissions ng greenhouse gases mula sa mga aktibidad ng tao. Ang karagdagang pagbabago sa klima ay hindi maiwasan; kung magpapatuloy ang emissions ng greenhouse gases nang walang pagbabawas, ang mga hinaharap na pagbabago ay malamang na lumampas sa mga nangyari hanggang ngayon. Mayroong iba't ibang mga pagtatantya ng laki at rehiyonal na epekto ng hinaharap na pagbabago, ngunit inaasahan ang pagtaas ng mga extreme na klima na maaaring magdulot ng masamang epekto sa natural na ekosistema, mga aktibidad ng tao, at imprastruktura.

Maaaring pumili ang mga mamamayan at pamahalaan mula sa ilang mga opsyon (o halo ng mga opsyon) bilang tugon sa impormasyong ito: maaari nilang baguhin ang kanilang pattern ng produksyon at paggamit ng enerhiya upang limitahan ang emissions ng greenhouse gases at samakatuwid ang laki ng pagbabago sa klima; maaari nilang hintayin ang mga pagbabago at tanggapin ang mga pagkalugi, pinsala, at paghihirap na dulot nito; maaari nilang iakma ang kanilang sarili sa aktwal at inaasahang mga pagbabago hangga't maaari; o maaari nilang hanapin ang mga hindi pa napatunayang solusyon "geoengineering" upang labanan ang ilan sa mga pagbabago sa klima na kung hindi man ay mangyayari. Ang bawat isa sa mga opsyon na ito ay may mga panganib, atraksyon, at gastos, at ang aktwal na gagawin ay maaaring isang halo ng mga iba't ibang opsyon. Magkakaiba ang mga bansa at komunidad sa kanilang pagiging vulnerable at kakayahang mag-adapt. Mahalaga ang debate ukol sa pagpili ng mga opsyon na ito upang matukoy kung ano ang pinakamainam para sa bawat grupo o bansa, at pinaka-mahalaga para sa pandaigdigang populasyon bilang isang buo. Ang mga opsyon ay kailangang talakayin sa pandaigdigang antas dahil sa maraming kaso, ang mga komunidad na pinaka-vulnerable ay may kaunting kontrol sa emissions, past o future. Ang aming paglalarawan ng agham ng pagbabago sa klima, kasama ang mga katotohanan at mga hindi tiyak na aspeto nito, ay inaalok bilang batayan upang magbigay ng impormasyon para sa talakayang patakaran.

ACKNOWLEDGEMENTS

Mga May-akda

Ang mga sumusunod na indibidwal ang nagsilbing pangunahing grupo ng manunulat para sa 2014 at 2020 na edisyon ng dokumentong ito:

- Eric Wolff FRS, (UK lead), University of Cambridge
- Inez Fung (NAS, US lead), University of California, Berkeley
- Brian Hoskins FRS, Grantham Institute for Climate Change
- John F.B. Mitchell FRS, UK Met Office
- Tim Palmer FRS, University of Oxford
- Benjamin Santer (NAS), Lawrence Livermore National Laboratory
- John Shepherd FRS, University of Southampton
- Keith Shine FRS, University of Reading.
- Susan Solomon (NAS), Massachusetts Institute of Technology
- Kevin Trenberth, National Center for Atmospheric Research
- John Walsh, University of Alaska, Fairbanks
- Don Wuebbles, University of Illinois

Ang suporta sa staff para sa 2020 na rebisyon ay ibinigay nina Richard Walker, Amanda Purcell, Nancy Huddleston, at Michael Hudson. Kami ay nag-aalok ng espesyal na pasasalamat kina Rebecca Lindsey at NOAA Climate.gov para sa pagbibigay ng mga datos at pag-update ng mga larawan.

Mga Tagasuri

Ang mga sumusunod na indibidwal ang nagsilbing tagasuri ng dokumentong 2014 alinsunod sa mga pamamaraang inaprubahan ng Royal Society at ng National Academy of Sciences:

- Richard Alley (NAS), Department of Geosciences, Pennsylvania State University
- Alec Broers FRS, Former President of the Royal Academy of Engineering
- Harry Elderfield FRS, Department of Earth Sciences, University of Cambridge
- Joanna Haigh FRS, Professor of Atmospheric Physics, Imperial College London
- Isaac Held (NAS), NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
- John Kutzbach (NAS), Center for Climatic Research, University of Wisconsin
- Jerry Meehl, Senior Scientist, National Center for Atmospheric Research
- John Pendry FRS, Imperial College London
- John Pyle FRS, Department of Chemistry, University of Cambridge
- Gavin Schmidt, NASA Goddard Space Flight Center
- Emily Shuckburgh, British Antarctic Survey
- Gabrielle Walker, Journalist
- Andrew Watson FRS, University of East Anglia

Support

Ang suporta para sa edisyon 2014 ay ibinigay ng NAS Endowment Funds. Kami ay taos-pusong nagpapasalamat sa Ralph J. at Carol M. Cicerone Endowment para sa NAS Missions para sa pagsuporta sa produksyon ng edisyon 2020 na ito.