

400 PPM-KO LANGA HAUTSI DA: CO₂-KONTZENTRAZIOAREN IGOERAREN ONDORIO FISIKO ETA SOZIALAK

Sérgio H. Faria, Joseph V. Spadaro eta Anil Markandya

Azken hilabeteak bereziki zirrargarriak izan dira klimaren inguruko ikerketan gabiltzanontzat: ia sei urteko lanaren ondoren, Nazio Batuen Klima Aldaketari buruzko Gobernuarteko Taldeak (IPCC), 1990ean hasitako bideari jarraituz, 5. Ebaluazio Txostena (AR5) plazaratu du. Txostenak hiru zati eta laburpen-atal bat ditu. Lehenengo zatia 2013ko irailaren 30ean argitaratu zen, aurreargitalpen gisa, izenburu honekin: *Working Group 1 (WG1) The Physical Science Basis*. Beste bi zatiak (WG2, inpaktuei, egokitzapenari eta urrakortasunari buruzkoa; eta WG3, arintzeari buruzkoa) 2014ko udaberrian dira argitaratzekoak. AR5en laburpen-atala, berriz, 2014ko udazkenean aterako da.

IPCCren Ebaluazio Txostenen helburua ez da aurkikuntza berritzaileak argitaratzea, baizik eta finkatzea klimaren ikerketan azken urteetan lortu diren eta aditu gehienek onartzen dituzten emaitza ondo frogatuak. Hala, IPCCren txostenak mundu osoko akademia zientifiko ugari aldeztu dituzte, eta ikerketa zientifikoaren komunitateak gaur egun duen iritziaren erreferentzia nagusi bihurtu dira.

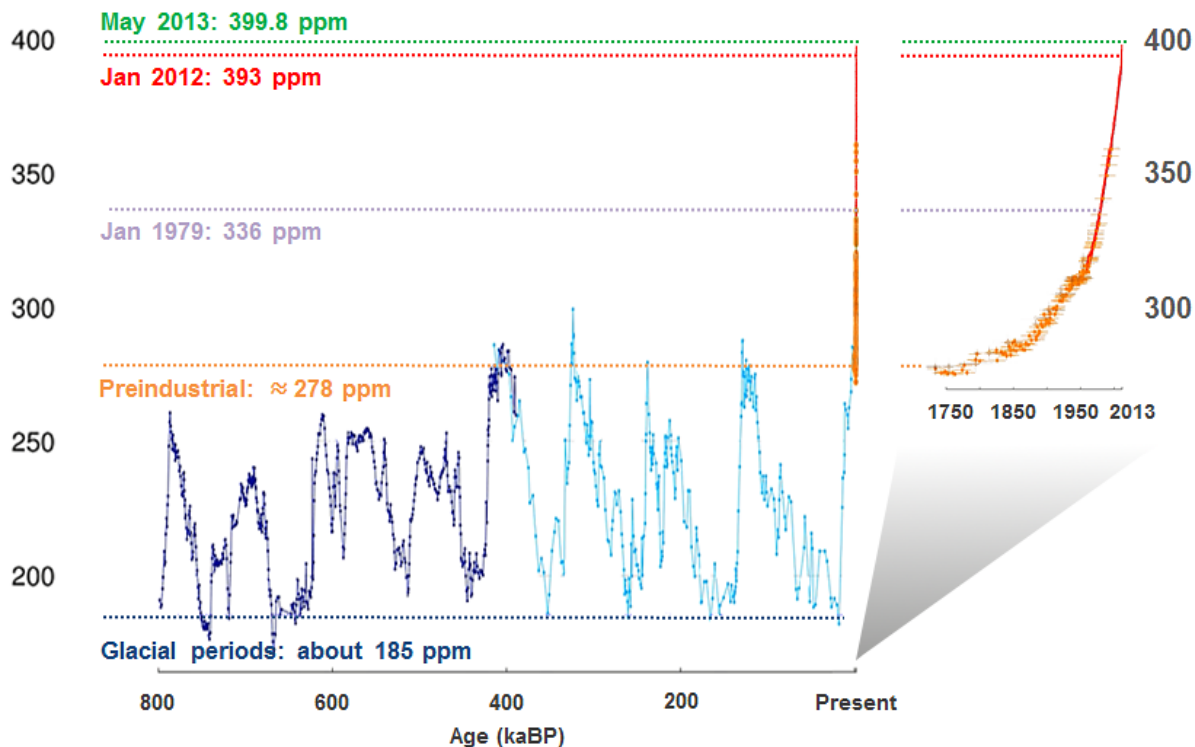
WG1-AR5 txostenaren emaitza garrantzitsuenetako bat da ondorio honi emandako konfiantza-maila handia: *gizakiaren eragina da gaur egungo (1950eko hamarkadatik hona) klima-aldaketaren kausa nagusia*. Testuinguru horretan "extremely likely" (oso-oso litekeena) adierazpidea erabiltzeak (% 95-100eko konfiantza-maila, IPCCren konfiantza-mailarik altuena oso gutxitan erabiltzen den "virtually certain" —ziur asko, egia — adierazpidearen ondoren) esan nahi du ez dagoela zalantzarik gizakiak eragin handia duela klimaren aldaketan. *Klimaren ikertzaile serio eta isuririk gabeko* ia guztiek aldeztu dute ondorio hori.

WG1-AR5 txostenaren beste ondorio garrantzitsu bat Lurreko klima-aldaketan gizakiaren eragina erakusten duten faktore funtsezkoekin lotuta dago. Aurreko beste Ebaluazio Txostenetan bezala, atmosferan pilatutako karbono dioxidoaren (CO₂) kontzentrazio gero eta handiagoa (batik bat emisio antropogenikoen ondorioz sortua) identifikatu da Lurraren gainazaleko batez besteko tenperatura-igoeraren eragile nagusi gisa ("berotze global" deritzo fenomeno horri). WG1-AR5 txosten berrian, inferentzia hori berresten dute datu eguneratuek, prozesu fisikoaren ulermen hobek, zenbakizko simulazio osatuagoek eta batez besteko tenperatura globalaren erantzunaren adierazle errealistago batek ("behartze erradiatibo erreala" deritzo; ingelesez, ERF, effective

Puntu garrantzitsuak

- *Karbono dioxidoaren (CO₂) atmosferako kontzentrazioa azken 800.000 urteetako mailarik altuenetara iritsi da, eta baliteke baita azken 2,1 milioi urteetakora ere, eta, berriki, 400 ppm-ko kontzentrazio atmosferikoaren muga gainditu du. Marka horrek Lurreko klima modu apokaliptikoan ezartzen ez badu ere, arrisku sozio-politiko orokor larri bat adierazten du, geuk eragindako klima-aldaketen eta haien ondorioen —bereziki pobre eta ahulenengan dituzten ondorioen— aurrean gobernuen eta gizartearen erreakziorik eza eta axolagabekeria adierazten baitu.*
- *Industria-aroaren aurretik (hau da, 1750etik) atmosferako CO₂-aren kontzentrazioak % 40 baino gehiago hazi dira, azken 22.000 urteetan ikusi ez den mailara, batez ere erregai fosilen emisioen ondorioz, eta bigarren mailan, lurraren erabileran egindako aldaketek eragindako emisioen ondorioz, eta azken hamarkadan, batez beste, 2 ppm/ urte mailara iritsi da. CO₂-aren emisio antropogenikoen % 30 inguru ozeanoak xurgatu du. Horren ondorioz, ozeanoa azidotu egin da, eta itsas ekosistemei, baliabideei eta zerbitzuei arrisku larriak eragiten dizkie.*
- *Izotz-muin paleoklimatikoaren erregistroek erakusten dute, ohiko baldintzetan, gainazalaren tenperatura orokorra ez dela inoiz asko aldatzen epe luzera (mendetan) atmosferako CO₂-aren kontzentrazioan dagokion aldaketa eragin gabe, eta alderantziz. Tenperatura-erregistroetan jasotako berotze-prozesua zenbatekoa den azaltzeko, kontuan izan behar da aldi horretan dagokion atmosferako CO₂-aren kontzentrazioak eragin duen berotegi-gasen efektua. Horrek ez du baztertzeko, ordea, epe laburreko (hamarkadak) klima-aldaketak gertatzea, zeinak nagusi den tenperatura-joera nabarmendu edo ahuldu baitezake (adibidez, une honetako 15 urteko etenaldia tenperatura globalaren igoeran).*
- *Gaur egungo joerarekin jarraituz gero, atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa 500 ppm baino handiagoa izango litzateke XXI. mendearan erdialderako; hau da, gaur egungoa baino % 25 handiagoa, eta horrek gainazaleko batez besteko tenperatura globala 2 °C baino gehiago igoetza ekarriko luke ziurrenik. Bestetik, gehienez ere 2020an hasita emisioak urteko % 2 murriztuz gero, karbono dioxidoaren kontzentrazio orokorra 450 ppm-ko mugaren azpian mantenduko litzateke. Emisio-murrizketak atzeratzeak klima-aldaketa arriskutsuen, eta konponezinak izan daitezkeenen, arriskuak areagotu baino ez ditu egingo, eta etorkizuneko arintze- eta egokitze-neurrien kostuak handituko ditu.*

* Hemen, "klimaren ikertzaile" terminoa zentzurik zabalenean erabiltzen dugu, eta, klimatologoen gain, klimarekin lotutako espezialitateak ere sartzen ditugu, bai geozientziak, bai eredu matematikoak eta bai ekologia- eta ingurumen-ekonomiak ere.



1. irudia. Atmosferako CO₂-aren kontzentrazioen erregistro historikoa duela 800.000 urtetik, gutxi gorabehera. Ardatz bertikala: atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa milioiko partetan (ppm). Ardatz horizontala: erregistroaren adina gaur egun baino lehenagoko milaka urtetan (kaBP). Gorria: Mauna Loa-ko datuak, Hawaii (1958tik gaur egun arte). Laranja: Law Domeko izotz-muina, Antartika (azken 1.000 urteak; Siple Domeko [Antartika] izotz-muinaren data batzuk ere sartuta daude). Urdin argia: Vostok-eko izotz-muina, Antartika (azken 420.000 urteak). Urdin iluna: EPICA Domeko izotz-muina, Antartika (azken 800.000 urteak). Atmosferako CO₂-aren kontzentrazioen mugari historikoak, zehaztutako aldien gainean batez bestekoa eginda, ezkerrean adierazita daude. Oso CO₂-kontzentrazio txikiak bat datoz glaziazioekin ("izotz aro" ere esaten zaie), zeinak gutxi gorabehera 100.000 urteko maiztasunarekin gertatzen diren (Milankovitchen 100 ka-ko ziklo orbitalaren arabera; beraz, zortzi glaziazio identifika daitezke 800 ka-ko erregistro oso batean). Gizakiaren historian inoiz erregistratu den CO₂-kontzentrazioaren hilaibeteko batezbesteko altuena berdez adierazita dago. Goiko eskuineko taulak erregistro hori bera handituta erakusten du industria-aroari dagokion aldirako Datu hauek guztiak eskuragarri daude NOAA Mauna Loaren webgunean: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>. Irudi hau NOAAren webgunean (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html>) eskura dagoen 3,6 minutuko animazio hezigarri eta gomendagarri baten egokitzapena da.

radiative forcing). Txostenak dioenez, atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa azken 800.000 urteetan (eta, are, ziur asko, azken 2,1 milioi urteetan) sekula izan ez den mailara igo da (1. irudia).[¶]

Atmosferako CO₂-aren kontzentrazioak % 40 baino gehiago hazi dira industria-aroaren aurreko garaietatik (1750eko 278 ppm[§]-tik 2012ko 394 ppm-ko batezbesteko balio globaleraino), batez ere erregai fosilen emisioen ondorioz, zeinak atmosferara igorritako 545 GtC-en bi herenen erantzule baitira, eta, bigarren mailan, luraren erabileran izandako aldaketan —bereziki, deforestazioaren— ondorioz. †2010ean, esaterako, erregai fosilen ondoriozko emisioak luraren erabileraren aldaketan ondoriozkoak baino hamar aldiz handiagoak izan ziren.‡ Emisio historiko gehienak atmosferan pilatuta daude oraindik (% 44 inguru, edo 240 GtC), eta lehorreko ekosistema naturalek, berriz, 150 GtC metatu dute. Ozeanoek CO₂-aren emisio antropogenikoen % 30 inguru xurgatu dute, eta ondorio larriak izan ditu horrek itsas ekosistemetan, itsas azaleko ura azidotu baita (ikus Inter-Academy Panel Statement on Ocean Acidification, 2009).

Etokizunean atmosferan eta itsasoan pilatu daitekeen CO₂-kantitateari buruzko kalkuluen arabera, ozeanoaren gainazalaren pH-aren batezbestekoa 50 milioi urtez izan dena baino baxuagoa izan daiteke 2100erako (WG1-AR5). Itsasoko uraren pH-a jaisten bada, ozeanoak gero eta korrosiboak izango dira kaltzio karbonatoaren (CaCO₃) forma batzuetarako —esaterako, kaltzita eta aragonitoa—, zeinak funtsezkoak baitira kostaldea babesten duten, itsas bizitzarako habitata eskaintzen duten eta elikagai-sareen oinarri diren itsas organismo kaltzifikatzaile askorentzat. Beraz, ozeanoa azidotzea arrisku larria da itsas baliabideentzat eta

[¶] CO₂-aren ondoren, AR5ak behartze erradiatiboaren eragile nagusi gisa identifikatutako berotegi-efektuko ondo nahasitako gasak metanoa (CH₄) eta oxido nitrosoa (N₂O) dira. Haien atmosferako kontzentrazioek ere azken 800.000 urteetan inoiz izan ez diren mailalara iritsi dira, izotz-muinen erregistroen arabera. Montrealeko Protokoloak hidrokarburoen emisioetan ezarritako etenaldiari esker, orain N₂O-a da CFC-12-aren ordeztu behartze erradiatiboa eragiten duen berotegi-efektuko ondo nahasitako hirugarren gas nagusia.

[§] "ppm" kontzentrazio-unitateak (= μmol/mol) milioiko parte esan nahi du (*parts per million*), eta testuinguru honetan esan nahi du 278 CO₂ molekula aire lehorrean milioi bat molekulako. CO₂-aren pmm bat 2,12 GtC-ren edo 7,77 GtCO₂-ren baliokidea da.

[†] 1750etik 2011ra metanoaren aireko kontzentrazioa (CH₄) 2,5 aldiz handitu da, eta 1,80 ppm-ra iritsi da. Oxido nitrosoaren (N₂O) kontzentrazioa, berriz, % 20 handitu da aldi horretan, eta 0,32 ppm-ra iritsi da. Emisio antropogenikoek eta nitrogeno-zikloko aldaketek CO₂-aren espeziekoak ez diren gas horiek atmosferan pilatzea lagundu dute. CO₂-a ez bezala, kutsatzaile horien atmosferako bizitza askoz laburragoa da: 12 urte CH₄-arentzat eta 120 urte N₂O-arentzat. Karbono dioxidoaren emisioak, ordea, hainbat mendez egon daitezke atmosferan.

[‡] Deforestazioaren karbonoaren kalkulak erregai fosilen emisioenak baino zalantzarik gabekoak dira, baina mende bateko denbora-erakaldun konpentsatuko lirateke basoen birsorkuntzaren bidez eta nekazaritzako eta basogintzako jardueren kudeaketa hobetuz.

ekosistema-zerbitzuentzat, hau da, bai arrantzarako, bai itsasertzeko azpiegiturarako eta turismorako. Esate baterako, koralezko uharrietan oso eragin handia dute pH-aren aldaketek eta ozeanoaren temperatura-igoerek. Kalkuluen arabera, uharrietako koralen % 1-2 galtzen dira urteko. Galera horrek itsas dibertsitateari eragiten dio, jarduera ekonomikoa galtzea eragiten du, eta gizakiak egindako azpiegituren, ingurune naturalen eta kostaldeko biztanleen urrakortasuna areagotzen du itsas mailaren igoeraren eta harekin loturiko zenbait gertaera muturrekoen aurrean (ekaitza bortitzak, adibidez).⁸ Bestalde, berriki egindako ikerketa batzuen arabera, ozeanoa azidotzeak eragin onik ere izan omen dezake berotze globalaren auzian, murriztu egingo lirakekelako fitoplanktonak eragindako konposatu hodei-sortzaileen emisioak.[#]

Egun atmosferan dagoen CO₂-kontzentrazio handia eta hark kliman duen eragina hainbat mendetan luzatuko lirakeke, baita emisio antropogenikoak bat-batean gelditzea lortuko balitz ere. Hori diote berriki lortutako denbora-escala oso luzeetako datu paleoklimatikoek, CO₂-aren emisio-pultsu handietatik berez oneratzeko aukerari buruz. Hemen aztertutako gai guztiek adierazten dute (WG1-AR5 txostena aipatuz) “CO₂-aren lehengo, gaur egungo eta etorkizuneko emisioek mendetako erantzukizun nabarmena dutela klima-aldaketan”.

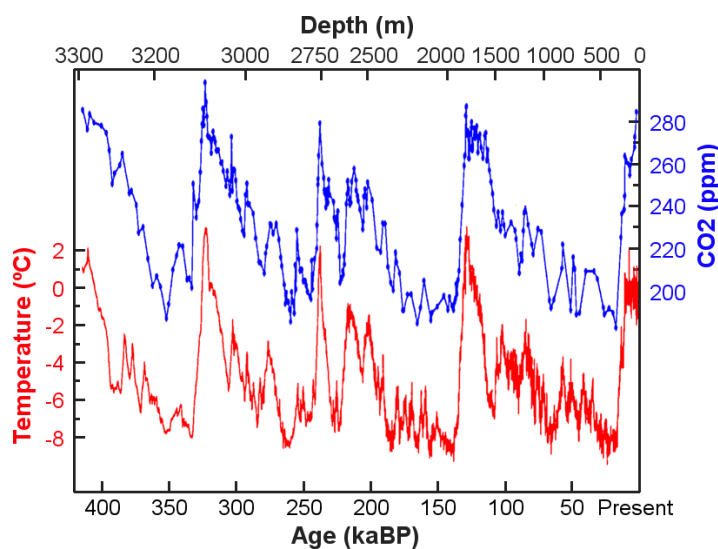
CO₂-a da, benetan, berotze globalaren “kontrol-botoi” nagusia?

Berotegi-efektuko gasen —batez ere, CO₂-a— emisio antropogenikoek 0,5 °C eta 1,3 °C artean igo dute gainazalaren temperatura, datuen arabera (% 66tik % 100era bitarteko probabilitatea, WG1-AR5 txostenak dioenez). Gizakiak eragindako beste behartze batzuek, berriz —aerosolen kontzentrazioa ingurunean, ozono troposferikoa eta albedoa aldatzen duen karbono beltza—, -0,6 °C-tik 0,1 °C-ra bitartean igo dute temperatura. Bestalde, klimaren behartze naturalek, zeinak eguzki-erradiazio osoan hamar urteko eskalan gertatutako aldaketek eta sumendien erupzioen hozte-ondorioek eragindakoak baitira, -0,1 °C-tik 0,1 °C-ra igo dute. Efektu horiek guztiak batera +0,6 °C-ko temperatura-igoera eragin dute gainazalaren batez besteko temperaturaren. WG1-AR5 txostenak ondorio hau ateratzen du “... 1951tik 2010era bitartean gertatutako gainazalaren batez besteko temperatura globalaren igoeraren erdia baino gehiago berotegi-efektuko gasen igoera antropogenikoaren ondorio da ziur asko (datuaren konfiantza-maila % 90etik gorakoa da).”

AEBko Geofisika Elkarteko 2009ko Bilkuran irakurritako Bjerknes hitzaldian, Richard Alley geologoak (IPCCren AR4 Ebaluazio Txostenaren egile nagusietako bat) karbono dioxidoak Lurreko klimaren historian izan duen rola datu geologikoak errepasatu zituen.^{**} Haren arabera, atmosferako CO₂-kontzentrazio handiek Lurraren gainazalaren batez besteko temperatura igotzen badute, orduan badu zentzua Lurraren klimaren historiak —batez ere, zenbait berotze-gertaera bitxik; esaterako, Permiarraren bukaerako suntsipen masiboa, Kretazeo Ertaineko berotzea, Paleozeno-Eozenoko maximo termikoa, eta beste asko—. Haietan guztietan, CO₂-ak eragin zuen edo areagotu zuen berotzea, eredu modernoetako balioekin konpara daitekeen klimarekiko sentikortasun bertsuarekin (3 °C-ko berotzea, gutxi gorabehera, CO₂-aren kontzentrazioa bikoiztearen ondorioz). Bestalde, “CO₂-aren kontzentrazio handiagoak ez badu berotzerik eragiten”, dio Alleyk, orduan “azaldu behar dugu nola litekeen erradiazio-fisikariak hain oker egotea eta nola gertatu ziren klimarekin lotutako hainbeste gertaera zinez ulertezin Lurraren historian”.

Esan behar da, edonola ere, berotze-gertakari guztiak ez direla atmosferako CO₂-aren kontzentrazio handiagoaren ondorio. Adibiderik begien bistakoenak glaziazioen (herri-kulturan “izotz-aro” deitutakoen) bukaerak dira, bariazio orbitalek eraginak (zehazki, Milankovitchen zikloek; ikus 2. irudia). Alabaina, karbono dioxidoa berotzearen erantzule zuzena ez denean ere, handitu egiten du efektua berrelikadura-efektu baten bidez. Horrek esan nahi du Lurraren klimaren historiako gertakari batzuetan temperatura-aldaketek CO₂-aren aldaketen ondoren gertatu zirela eta beste batzuetan, berriz, kontrakoa gertatu zela (3. irudia).

Horren ondorioz, behin-behineko desadostasunak gerta daitezke, tarteka, tenperaturaren eta karbono dioxidoaren erreakzioen artean. Esate baterako, bereizmen handiko azterketa paleoklimatiko berri batzuek frogatu dute (ikus WG1-AR5 eta hango erreferentziak) ezen, gainazalaren batez besteko



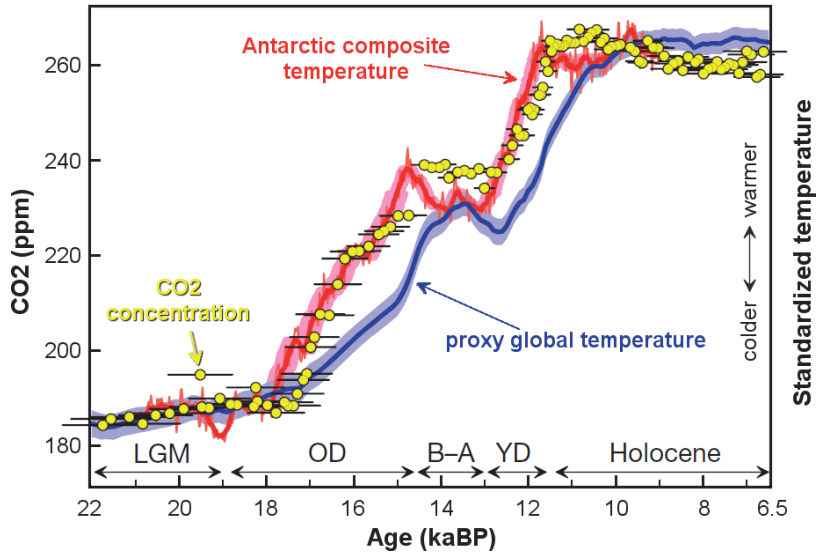
2. irudia. Atmosferako CO₂-aren kontzentrazioen Vostokeko (Antartika) izotz-muin sakonaren erregistroa eta Antartikako tenperaturak duela 420.000 urte inguru.^{††} Ezkerreko ardatz bertikala (kurba gorria): gainazalaren tenperaturaren aldaketa gaur egungo balioarekiko. Eskuineko ardatz bertikala (kurba urdina): atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa milioiko partetan (ppm). Beheko ardatz horizontala: erregistroaren adina gaur egun baino lehenagoko milaka urtetan (kaBP). Goiko ardatz horizontala: dagokion izotz-muina erauzi zen sakonera (Vostokeko izotz-geruzaren lodiera 3,7 km-tik gorakoa da). Lau glaziazio erraz ikus daitezke, hasierako hozte motela eta amaierako berotze bizkorra ezaugarri dituztela. Tenperaturaren eta CO₂-kontzentrazioen arteko korrelazio garbia.

⁸ Munduko biztanleen % 23 inguru kostaldetik 100 km-ra bitartean eta itsas mailaren gainetik 100 m baino gutxiagora bizi da. Kasu gehienetan, itsas mailaren metro bateko igoerak, kostalde horizontala batez beste hamar metro batzuetatik ehunka metro batzuetara bitartean aldatzea eragin lezake, baita kilometro batzuk aldatzea ere kostaldearen topografiaren arabera. Hori dela eta, itsas mailaren igoera orokorra dagoeneko gizakiak kostaldeko muturreko gertaerak dituen urrakortasuna areagotzen ari da gerta daitezkeen uholeen larritasuna handitu baita, edozein dela ere klima-aldaketak muturreko gertaera horien maiztasunari eta indarrei duen eragina. Barford, E. (2013) "Rising ocean acidity will exacerbate global warming." *Nature News*, 2013ko azuazaren 25a. <http://dx.doi.org/10.1038/nature.2013.13602>

^{*} Alley, R.B. (2009) "The Biggest Control Knob." http://www.wvu.edu/~meetings/fm09/lectures/lecture_videos/A23A_shtml

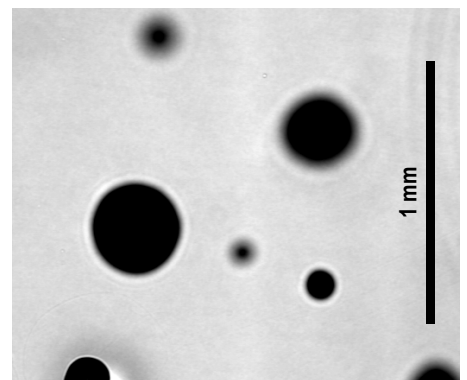
^{††} Pettit et al. (1999) "Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica." *Nature* 399, 429–436, online

temperatura globala igo aurretik atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa handitzen denean,aldi labur batzuetan (hamar urte ingurukoak) gerta daitekeela, hala ere, temperatura globala ez igotzea. Horren adibide da une honetan bizi dugun 15 urteko aldi neurritsua temperatura globalaren igoerari dagokionez: 0,05 °C-ko igoera 1998tik, 1951ean hasita hamarkada bakoitzean neurtutako 0,12 °C-ko igoeraren orde. Azken urteetako berotze apalago hori, batetik, epe laburreko klima-aldaketaren eta, bestetik, behartze erradiatibo errealean izandako aldaketen arteko konbinazioaren ondorio da; eta konbinazio horrek hobetu edo orekatu egin dezake temperaturaren joera nagusia. WG1-AR5 txostenaren arabera, 1998-2011 urteetan temperaturaren igoeran 1951-2011 urteen aldean ikusi den jaitsieraren erdia honek azalduko luke: batetik, behartze naturalaren jaitsierak, eguzki-irradiantziaren murrizketagatik, eta, bestetik, 2000. urtetik aurrera —jarduera bolkaniko handiagoaren ondorioz— estratosferan pilatutako aerosol-kantitate handiagoak. Bestalde, itsasoak beroa xurgatu izanak ere lagundu du temperatura-igoera moteltzen. Dena dela, etorkizuneko klimak iragartzeko benetan axola duena epe luzeko joera da, eta ez hainbeste epe laburreko aldakortasuna. Hori dela eta, klimaren simulazioak egiteko erabiltzen diren ereduak bat datoz klimari buruzko datu historikoekin. Izan ere, une honetako temperatura globalaren igoera motelagoa gorabehera, 2000tik 2010era bitarteko hamarkada erregistroen historiako beroena izan da, eta 2013. urtea, oraindik amaitu ez bada ere, inoiz erregistratu diren hamar urte beroenetako bat izateko bidean da.^{§§}



3. irudia. Antartikako atmosferako CO₂-aren kontzentrazioek eta Antartikako temperaturak eta temperatura globalak azken deglaziatioan izan zituzten aldaketak^{††} (duela 22.000–6.500 urte). Proxy temperatura globalaren lerroa (urdina) eta Antartikako izotz-muinaren temperatura konposatuaren erregistroa (gorria) estandarizatu egin dira erraz konparatu ahal izateko atmosferako CO₂-aren kontzentrazioarekin (puntu horiak). Holozenoaren, Dryas Berriaren (BD), Allerød-eko Oszilazioaren (AO), Dryas Zaharrenaren (OD) eta Azken Maximo Glazialaren (AMG) tartekak adierazi dira. Kontuan izan CO₂-aren kontzentrazioaren aldaketak sinkronizatuta daudela berotze globalarekin edo berotze globala eragiten dutela. Salbuespen garrantzitsu bat da deglaziatioaren hasiera, 0,3 °C inguruko berotze globala izan baitzuen CO₂-aren igoeraren hasieraren aurretik, duela 17,5 mila urte inguru. Horrek iradokitzen du CO₂-ak ez zuela eragin *hasierako* berotzea baina berotze globalaren eragile garrantzitsu bat izan zela deglaziatioan zehar. CO₂-aren atzean dagoen temperatura globalaren ehun urteko eskalako moteltzea bat dator klima-sistemaren inertzia termikoarekin, batez ere ozeanoak beroa xurgatu duelako eta izotza urtu egin delako. Bestalde, CO₂-ak eta temperatura globalak Antartikako temperaturarekiko duten atzerapena Ipar eta Hego hemisferioetako ozeano-zirkulazioaren aldaketei temperaturak fase-oposizioan ematen dien erantzunak eragiten du ("kulunka bipolar" deritzo), eta horrek agerian jartzen du zeinen garrantzitsua den klima-aldaketa globala beraren eskualdekako adierazpenetatik bereiztea.

Hau da ikasbide nagusia: baldintza tipikoetan, gainazalaren temperatura globala ez da asko aldatzen sekula aldi berean atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa aldatu gabe; eta alderantziz ere, berdin. Izotz-muin paleoklimatikoaren erregistroak ez dute zalantzarik batere uzten horren inguruan, eta erakusten dute korrelazio garbia dagoela CO₂-aren eta temperaturaren artean mila urteko eskalan eta korrelazio hori ez dela soilik kuantitatiboa, baizik eta baita kualitatiboa ere (2. irudia). Horrek esan nahi du ezen, temperatura-erregistroetan jasotako berotzea zenbatekoa den azaltzeko, kontuan hartu behar dela, nahitaez, aldi jakin horretan erregistratutako CO₂-kontzentrazioen berotegi-efektua. Hala, galdera garrantzitsua ez da ea karbono dioxidoak, historikoki, klima-aldaketa eragin duen ala haren ondorio izan den; ulertu behar duguna da CO₂-aren kontzentrazio handiek bai berotzen dutela Lurraren atmosfera.



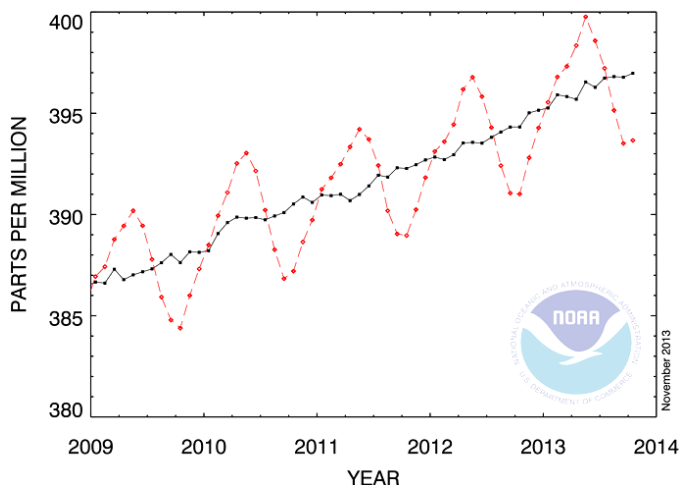
4. irudia. Antartikan, 556 m-ko lodierako izotz-muin bateko aire-burbuiluen mikrografia (EPICA DML muina). Burbuila horietako aireak 8.900 urte inguru ditu.

Ondorio hori oso ondo azaltzen du Alleyren *gehiegizko gastuaren analogiak*: zorrak interesa sortzen du, eta interesak, denborak aurrera egin ahala, hasierako zorra handitzen du (ordaintzen ez bada). Hala, beraz, interesak zorra atzeratzen du, baina ezin da azaldu zorkantitate osoa interesak kontuan hartu gabe. Era berean, batzuetan, lehenago nabarmentzen da temperatura globalaren igoera atmosferako CO₂-aren kontzentrazioaren igoera baino. Halakoetan, CO₂-aren kontzentrazioaren igoerak berotzea atzeratzen du, baina ezin da azaldu berotze global osoa atmosferako CO₂-aren kontzentrazioaren igoeraren efektua kontuan hartu gabe (3. irudia).

Izotz-muinen klima-erregistroek abantaila bat dute: karbono dioxidoaren iraganeko kontzentrazioetarako sarbide zuzena ematen dute, izotzaren barruko aire-burbuiluetan gordetako lehengo atmosferaren laginen bidez (4. irudia). Beste artxibo paleoklimatiko

§§ Munduko Meteorologia Erakundearen behin-behineko adierazpena, 2013ko azaroaren 13an argitaratua Nazio Batuen Klima Aldaketaren Varsoviako Nazioarteko Konferentzian (2013ko azaroak 11-13).

†† Shakun et al. (2012) "Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation." *Nature* **484**, 49–54,ostean.



5. irudia. Mauna Loa Behatokian (Hawaii) duela gutxi erregistratutako CO₂-aren hileko batezbestekoa. Diamante-ikurrak dituen marra gorri marratxodunak hileko batezbestekoen balioak adierazten ditu, hilabete bakoitzaren erdialdea kontuan hartuta. Laukiak dituen marra beltzak datu bera adierazten du, batez besteko urtaro-ziklorako zuzendu eta gero. Grafikoan jasotako azken urteko datuak oraindik behin-behinekoak dira, erreferentzia-gasen birkalibrazioen eta beste kalitate-kontrol batzuen egiaztapenen zain. Hau eta beste erregistro batzuk aldizka eguneratzen dira, eta doan eskuratu daitezke NOAAren webgunean: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

CO₂-kontzentrazioaren 400 ppm-ko markatik gora

XX. mendean, azken 22.000 urteetan sekula hazi ez den erritmoan hazi da atmosferako CO₂-kontzentrazioa (1,5 ppm/urte), eta azken hamarkadan are azkarrago hazi da kontzentrazioa: 2 ppm/urte, batez beste. 2013ko maiatzean, Hawaiioko Mauna Loa behatokian, 400 ppm-ko CO₂-kontzentrazioa erregistratu zen erregistroak daudenetik lehenengo aldiz. Kontzentrazio hori azken 800.000 urteetako —eta, ziur asko, azken 2,1 milioi urteetako— altuena da.

Mauna Loa behatokiko neurketak 1958an hasi zituen Charles David Keelingek, zeinak sumendi baten tontorra, itsas mailatik 3.400 metrora, aukeratu baitzuen behatokitik, han goian airea ez delako ez industrial (populazio-dentsitate handiko eremuetan bezala) ez garbi-garbia (adibidez Antartikan bezala). Hau da, airea ondo nahastuta dago han, eta Lurraren atmosferako batez besteko CO₂-kontzentrazioaren erreferentziatzat hartzen dute klima-adituek. Mauna Loako CO₂-erregistroek erakusten dute landaredian oinarritutako urtarokako ziklo tipiko bat, 6 ppm inguruko anplitudea duena balio gorenetik beheenera (urteko minimoa urriaren hasieran eta maximoa, beriz, maiatzean). Datu horiekin bat eginez, 2013ko urrian 393 ppm inguruko minimoa erregistratu da, eta, orain, CO₂-kontzentrazioak igotzen ari dira beriz, 2014ko udan beriz gainditzeko 400 ppm-ko goia. Atmosferako batez besteko CO₂-kontzentrazioak halako erritmo bizian hazten jarraitzen badu, hamarkada honetan ikusiko dugu, beharbada, 400 ppm azpiko azken erregistroa, eta 450 ppm-ra iritsiko gara hemendik hogeitaz urtera (hori da muga, lortu nahi den egonkortasun-xedea, batez besteko tenperatura ez dadin 2 °C baino gehiago igo).

Ikuspegi fisikotik, CO₂-aren kontzentrazioa 400 ppm izateak ez du aparteko garrantzirik: ez garamatza

batzuekin alderatuta, izotz-muinetako CO₂-kontzentrazioen erregistroak askoz zehatzagoak eta fidagarriagoak dira, batez ere Groenlandiako eta Antartikako oso leku urrunetatik hartutakoak, han hutsalak baitira tokiko eraginak (landaredia, eta abar) eta hainbat kilometrotan behera sakondu baitaiteke izotzean, duela ehunka mila urteko datuen berri izateko. Izotz-muinen bidez, aukera izan dugu Lurraren CO₂-kontzentrazioaren historia osatzeko, duela 800.000 urtetik hona gutxi gorabehera (1. irudia), eta bilaketak aurrera jarraitzen du, uste baita Antartikako zenbait lekutan duela milioi bat urte baino gehiagoko datuak emango lituzketen izotz-muina lor daitezkeela. Halaber, badira karbono dioxidoko beste erregistro batzuk ere, izotz-nukleoek emandakoak baino zaharragoak, baina ez dira haien bezain zehatzak eta askoz zailagoak dira sortzen, datu geologiko eta paleontologiko zenbaiten konbinazio korapilatsuak behar baitituzte (adibidez, karbonoaren isotopoak alkenonaren konposatuetan, foraminiferoen oskoletako boro-kaltzio ratioa, hosto fosilduen estoma-kopurua, eta beste batzuk). Zailtasunak gorabehera, CO₂-kontzentrazioen proxy erregistro fidagarriak iradokitzen dute industria-oroaren aurretik (zehazki, 1750 aurretik) atmosferako karbono dioxidoaren kontzentrazioa 180 ppm-tik 290 ppm-ra bitartekoa izan zela 2,1 milioi urtez gutxienez (WG1-AR5).

Tifoiak, hala nola Haiyanek, eta haien inpaktuek gogorarazten eta pentsarazten diote nazioarteko komunitateari ezin ditugula gerorako utzi klima-aldaketaren aurkako ekintzak. [...]

Muturreko klima-gertaera honen ondorioz eromena da nire herrialdean dagoena. Klima-krisia eromena da.

[...] Badirudi Nazio Batuen Klima Aldaketari buruzko Esparru Hitzarmena (UNFCCC) sortu zenetik lorpen garrantzitsuak izan arren 20 urte geroago oraindik ez dugula lortu hitzarmenaren azken helburua betetzea. Orain, geure buruari galdetu behar gaude ea inoiz lortuko dugun 2. artikuluan ezarritako helburua; alegia, klima-sistemarekiko interferentzia antropogeniko ariskutsuak prebenitzea.

Helburua betetzean huts eginez gero, baliteke herrialde ahulen hondamendia berretsi izana eta klima-aldaketak eragindako galera eta kalteen gaiari —gaur egun munduan errealitate dena— aurre egin behar izatea. Herrialde garatuek emisioak murrizteko dituzten helburuak oso-oso apalak dira eta igo egin behar dira berehala, baina % 40-50 murrizteko eskaerarekin bat etorriko balira ere (1990eko mailetatik behera), klima-aldaketan harapatuta egongo ginateke eta oraindik ere galera eta kalteen gaiari heldu beharko genioke.

Naderev “Yeb” Saño

Filipinetako Klima Aldaketako komisarioa eta Nazio Batuen Klima Aldaketako Hitzaldietako Filipinetako Ordezkaritzako burua.

Nazio Batuen Klima Aldaketaren Varsoviako Konferentziaren (COP19) osoko bilkuraren hasieran, 2013ko azaroaren 11n, Filipinetako ordezkariek egindako adierazpenen laburpena

hondamendi klimatiko berehalako batera. Berotze globala, itsas mailaren igoera, ozeanoa azidotzea, Ozeano Artikoko izotzaren galera, klimarekin lotutako muturreko gertakariak eta gizakiak eragindako klima-aldaketaren beste adierazle eta fenomeno batzuk aspaldi hasi ziren gertatzen, eta gertatzen jarraituko dute datozen urteetan ere. Dena dela, ikuspegi politikotik begiratuta, 400 ppm-ko muga gainditzea, nola ari den gertatzen kontuan hartuz batez ere —CO₂-kontzentrazioen igoeraren abiaduraren moteltze esanguratsurik gabe—, gertakari tamalgarri da, baike. Agerian uzten du gobernuen eta gizartearen erreakziorik eza eta axolagabekeria guk geuk eragindako klima-aldaketaren aurrean. Aldaketok behartsuenei eta ahulenei eragiten diete batik bat; izan ere, haiek dituzte aukera gutxien egokitzeko eta haiek pairatzen dituzte ondorioak latzenak, osasunari eragindako kalteak ere barne.

Azken oharra

Laburpen honek erakutsi du atmosferako karbono dioxidoaren kontzentrazioa hazten ari den erritmoan gero eta zailagoa dela 450 ppm-ko egonkortasun-xedea lortzea. Helburu hori beteko balitz, apika lortuko litzateke lurrazalaren tenperatura globala ez igotzea industria-aroen aurreko tenperatura baino 2 °C gehiago; kopuru hori adostu zuen 2009an komunitate globalak Kopenhageko Hitzarmenean.

Garrantzitsua da konturatzea zer funtsezko aldaketa gertatzen den karbono-emisioen murrizketak hasten direnean. Azken hamarkadan, erregai fosilen erabileraren ondoriozko emisioak % 3 igo dira urteko batez beste; 1980tik 2000ra bitartean erregistratutako igoera halako bi da hori. Igoera hori ikatz nahiko merkearen erabilera handiak bultzatu du. Gaur egungo joerarekin jarraituz gero, atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa 500 ppm baino handixeagokoa izango litzateke XXI. mendearen erdialderako; hau da, gaur egungoa baino % 25 handiagoa, eta horrek gainazalaren batez besteko tenperatura globala 2 °C baino gehiago igotzea ekarriko luke ziurrenik. Bestetik, gehienez ere 2020an hasita emisioak urteko % 2 murriztuz gero, karbono dioxidoaren kontzentrazio orokorra 450 ppm-ko mugaren azpian mantenduko litzateke.

Emisioen murrizketa atzeratzeak klima-aldaketa arriskutsu eta, apika, atzerakorik gabeko baten arriskua areagotu besterik ez du egingo, eta horrek, datozen belaunaldiei eta naturari eragiteaz gain, ondorioak arintzeko eta egoera berrira egokitzeko kostuak handituko ditu. Ikuspegi ekonomiko hutsetik begiratuta, klima-aldaketaren ondorioak arintzeak ekarriko litzatekeen onurak emisio-murrizketak lortzeko kostuak baino magnitude-ordena bat baino handiagokoak lirateke. Eguneratutako balio garbia positiboa izatea ondorio sendoa da, edozein dela ere hainbat balioren azterketan gizarteak aplikatzen duen deskontu-tasa. Beraz, premiakoa da 450 ppm-ko egonkortasun-xedea lortzeko ahalegina. Gure ustez, lortzeko eta justifikatzeko moduko helburua da, ikuspegi klimatikoa, osasunarena eta ekonomikoa kontuan harturik. Gizarteek aldaketa hori egiteko urrats garrantzitsuak egin behar dituzte, eta orain da hasteko unea.

Kontrolik gabeko hazkunde demografikoak eta baliabide naturalen mugarik gabeko ustiaketak, zeinak iraganean ingurune berrietara edo aldakorretara egokitzeko gizadiak izan dituen estrategia eraginkorrenak izan baitira, orain, populazio-dentsitate handiko mundu batean, bizi-kondizioak hobetzeko geure ahaleginaren biktima bilakatu gaituzte. Gure arbasoek gaur egungo gure bizimodurako oinarriak ezarri zituzten, eta orain bizitzen ari garen klima-aldaketaren ondorioak jarri zituzten martxan. Baina ezin diegu horren errua egotzi, ez baitzekiten oker ari zirenik. Guk, ordea, oso ondo dakigu. Ezin dugu jarraitu egoeraren larria ukatzen eta geure burua ezjakintasunaren aitzakia faltsuaren atzean ezkutatzeko. Gure esku dago zer nahi dugun erabakitzea: gure ondorengoek gu goraiatzeko bizimodu berri eta jasangarri bat hasteagatik, edo guri errua egotzea, haien kontura ohiko bizimoduari eusteko ahalegin hutsal eta berekoian tematzeagatik.

Eskertza

Eskerrak eman nahi dizkiegu BC3ko gure lankideei eta baterako ikerketa-proiektuetako parte-hartzaileei, adibidez karbono gutxiko hiri-estrategiei eta haiek osasunean dituzten eraginei erreparatzen dieten PURGE (Europako Batzordea, 7. Esparru Programa, GA# 265325; <http://www.purge.lshrm.ac.uk/>) proiektuko.

bc³

BASQUE CENTRE
FOR CLIMATE CHANGE
Klima Aldaketa Ikergai

Txosten hau Sérgio H. Faria, Joseph V. Spadarok eta Anil Markandya idatzi dute.*

Egilearen helbide elektronikoa: sergio.faria@bc3research.org

Honela aipatua: Faria, S.H., J.V. Spadaro eta A. Markandya (2013), "400 ppm-ko langa hautsi da: CO₂-kontzentrazioaren igoeraren ondorio fisiko eta sozialak", BC3 Policy Briefing Series 2013/Edizio berezia-02, Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbo, Espainia.

BC3 Policy Briefing Series-en argitalpena Aline Chiabai, Dirk Rübhelke, Mikel González-Eguino eta Unai Pascualen lana izan da. BC3, Basque Centre for Climate Change - Klima Aldaketa Ikergai egoitza Euskadin duen eta Anil Markandya irakasleak zuzentzen duen ikerketa-erakundea da. BC3ren helburua da klima-aldaketaren kausa eta ondorioei buruzko epe luzeko ikerketan laguntzea eta politikaren ikuspegitik ingurumen-erronkei aurre egiteko garrantzitsuak diren analisiak eskaintzea. Txosten honetan adierazitako iritzirik txostenaren egileen erantzukizuna dira, eta ez dute zertan Basque Centre for Climate Change -Klima Aldaketa Ikergai (BC3) zentroaren jarrera adierazi

BC3 Policy Briefing txostenak Interneten eskuragarri daude:

<http://www.bc3research.org/policybriefings>

BC3 Policy Briefings txostenei buruzko kontsultetarako:

Email: mikel.gonzalez@bc3research.org

