



6€ **EUSKAL HERRIKO** *Natura*

118
ZENBAKIA 2020eko URTARRILA-OTSAILA



Kultura eta Hizkuntza Politika Sailak
(Hizkuntza Politikarako Sailburuordetzak)
diruz lagundua

ATMOSFERAKO METANOA

ERDI AROKO ALDI BEROA

IGERIKETA EREDUAK

IZOTZ ARO TXIKIA

**ZIRKULAZIO OZEANIKOA
ALDTZEN ARI DA?**

ANTARTIKO IZOTZA

**ZERGATIK BEROTZEN
DA ARTIKOA?**

ITSAS MAILAREN IGOERA

CO₂-AREN HUSTULEKUAK

ARTIKOKO IZOTZA

AZKEN MILURTEKOKO KLIMA

EGUNGO KLIMAREN BEROTZEA

EGUNGO KLIMAREN BEROTZEA



**EUSKAL HERRIKO
NATURA**



Hezkuntza, Hizkuntza Politika eta Kultura Sailak
(Hizkuntza Politikarako Sailburuordetzak) diruz lagundua

IRAUNGITZEKO ZORIAN DAUDEN ESPEZIEAK DEFENDATZEKO ELKARTEA

ZURE NATUR ETA ZOOLOGIA ALDIZKARIA

AURKIBIDEA

EUSKAL HERRIKO NATURA - 118.zk - 2020eko URTARRILA-OTSAILA - 6€



Azken milurtekoko klima4.....	4
Erdi aroko aldi beroa.....	4
Izotz aro txikia.....	5
Eguzki-orbanak eta zikloak.....	6
Maunder-en minimoa.....	7
Sumendien eripzioak.....	8
Egungo klimaren berotzea.....	9
Sateliteetatik egindako neurketak.....	10
Neurketa geologikoak.....	11
Itsas mailaren igoera.....	12
Faktoreen konplexutasuna.....	13
Antartikako izotza.....	14
Artikoko izotza.....	15
Izotzaren mugimendua.....	16
Zergatik berotzen da Artikoa?.....	17
Groenlandiako izitza.....	18
Glaziarren bilakaera.....	19



Hezetasun atmosferikoa.....	20
Hodeiak.....	21
Hodei-motak.....	22
Hodeiak eta erradiazio kosmikoa.....	23
Hodei-estalki globalaren bilakaera.....	24
Euria.....	25
Lehortea.....	26
Zikloi tropikalak.....	28
Zirkulazio atmosferikoaren eta ozeanoaren aldaketak.....	29
El Niño.....	31
Zirkulazio ozeanikoa aldatzen ari da?.....	32
Berotegi-gasak eta aerosol antropikoak.....	33
Gehikuntzaren kausak.....	34



Erregai fosilak.....	35
CO2-aren hustulekuak.....	36
Atmosferako metanoa.....	38
Oxido nitrosoa.....	39
Ozonoa.....	40
Ozono estratosferikoaren murrizketa.....	41
Aerosol antropikoak.....	43
Aerosol sulfatuak.....	44
Kedarra.....	45
Pronostikoak eta estrategiak.....	47
Energia -eraginkortasuna hobetzea.....	48
CO2-a atzitu eta biltegitratzea.....	49
Kyotoko protocoloa.....	50



**EUSKAL HERRIKO
NATURA**

Zuzendaria: Fernando Pedro Pérez.

Erredakzioburua: Iñaki Landaluze.

Kolaboratzaileak: Nerea Urtaran, Miren Alustiza, Oskar Azkona, Fidel Korta, Iñaki Iriando, Jon Zubiri, Elena Azkarreta, Xabier Aramburu, Kepa Alustiza.

Argazkilari-taldea: Edurne Urkizu, Aitor Zubizarreta, Xabier Urreta, Izaskun Loidi.

Maketatzailea: Cristina Urionabarrenebtxea.

Legezko gordailua: BI-2452-02. ISSN: 1695-4645

Web: adeve.es **Aleak:** 2.000

Erredakzioa:

Av. Madariaga, nº. 47-6º C - Esc.1 - 48014 BILBAO.

Tel: (94) 4 75 28 83. e-maila: adeve.1991@gmail.com

Argitaratzailea:

Iraungitzeko Zorian Dauden Espezieak

Defendatzeko Elkartea.

EHAA-1996ko otsailak 7, asteazkena.
3/1996 DEKRETUA, urtarilaren 9koa, Elkartea
herri-onurakoa dela aintzatesten duena.



HARPIDETZA-ORRIA

Urteko kuota: Hamabi ale urtean: 36 euro. TLF.: 94 475 28 83

AZKEN MILURTEKOKO KLIMA

Oso litekeena da azken milurtekoan desberdintasun termiko nabarmeneko bi aldi izatea, bereziki, Europan, Erdi Aroko Aldi Beroa eta ondorengo Izotz Aro Txikia, eta, haien ondotik, berriki gertatutako beste berotze bat. Hala eta guztiz, zalantza ugari dago aldi haien, iraupenaz eta hedapen geografikoaz.

Aipatutako Erdi Aroko Aldi Beroa eta izotz Aro Txikia sakonago aztertu dira Europan, munduko bete lekuetan baino. Europako klimak azken urteko mendeetan izandako aldaketak Ozeano Atlantiko osoko sakoneko eta azaleko itsaslasterren portaerarekin lotzen dira.

Hala, Afrikako ekialdeko aintziretan aurkitutako hainbat aztarnak adierazten dute azken milurtekoan baldintza hidrologikoak maiz aldatu zirela eta lehorte luze gogorak izan zirela. Badirudi aldaketa hidrologikoak oso garrantzitsuak izan zirela eremu horretan, eta aldaketa termikoak baino eragin handiagoak.

Halaber, estalaktiten azterketa isotopikoaren arabera, Izotz Aro txikian Asiaren hegoaldeko montzoiak bereziki ahulak izan ziren, eta, ondoren, azken lau mendeetan, handituz joan dira. Omango kostaldeko globigerina bulloides foraminiferoaren gehikuntzatik ondorioztatu da hori. Izan ere, eremu horretan, sakoneko uren azaleratzea (upwelling) eta fitoplankton-kontzentrazioa handitu egiten dira hego-ekialdeko montzoi-haizeei esker.

Tibeteko glaziarretako izitzen azterketa isotopikoek eta zuhaitz-eraztunen azterketek adierazten dutenez, Erdi Aroko Aldi Bero bat izan zen gure aroko 800 eta 900 urteen, eta beste



berotze-aldi bat hasi zen XVIII. mendearen hasieran. Hala ere, Ozeano Bare tropikalari buruzko beste ikerketa batzuek adierazten dute uren tenperaturak altuagoak zirela XVIII. mendean XX. mendean baino.

Erdi Aroko Aldi Beroa

Erdi Aroko Aldi Beroan -Erdi Aroko Optimo Klimatikoa ere esaten zaio-, 700 urtetik 1300 urtera, klima egungoa baino beroagoa izan zen, orohar. garai horretako aldi beroena 1100 urte inguruan izan zela uste da. Hain klima leuneko

garaia izan zen, ezen mahasgintza Ingalaterreko hegoaldera ere iritsi baitzen. Uste da Mediterraneokoan lehorte andiagoak izango zirela, eta, dirudienek, ekialderago, Kaspiar itsasoaren maila jaitsi egin zen. Suitzako glaziarrek atzera egin zuten goragoko mailetara. Erdi Aroko historialarien arabera, 1000 eta 1300 urteen artean, Europako biztanleria hirukoiztu edo lau-koiztu egin zen. Baliteke nekazaritzarako oso klima egokia izatea, eta horregatik gertatzea hazkunde hura.

Historikoki, berriz, bikingoen hedapena izan zen garai hartako gertakariarik garrantzitsuenak. Eskandinaviar jatorriko zenbait herrik beren bizilekuak utzi, eta urruneko lurretara jo zuten. Hala, Suediako bikingoek Baltikoa zeharkatu zuten, eta eslaviarren lurretan jarri ziren, Novgorod inguruan; gero, hegoalderantz egin zuten, Kostantinoplara arte. Danimarkako bikingoek, berriz, mendebalderantz egin zuten. Britainia Handiaren hegoaldea eta Normandia okupatu zituzten eta indarra hartu zuten lur haietan. 800 urtetik aurrera, hegoaldera nabigatu zuten Frantziako kostaldean eta Iberiar penintsulan barrena, eta aztarnak utzi zituzten hainbat lekutan (Mundakako itsasadarrean kasu). Azkenik, Mediterraneoan sartu ziren, eta arabiarrei Sizilia kendu zieten 1060



eta 1091 urteen artean.

Norvegiako bikingoak are urrunago joaten ausartu ziren: Atlantikoko ipar-mendebalderantz. 870 eta 930 urteen artean Britainiar uharteen zati handi bat eta iparraldeko beste uharte batzuk okupatu ondoren, Islandian finkatu ziren. Horretarako, itsaso haietako urak izotzik gabe zeuden eta klima beroagoa zen garaia baliatu zuten.

Geroago, bidaiatzeari ekin zioten berriro, Islandiatik kriminala izateagatik bidalitako Erik Gorriaren gidaritzapean. Hala, Groenlandia deitu zioten lurraldera -neurritz gainera izena, "lur berdea" esan nahi baitu- iritsi ziren, eta, zenbait mendetan, 5.000 kide inguruko kolonia nahiko indartsua izan zuten, bere apezpiku propioak ere izan zituen.

Batik bat, uhartearen mendebaldeko kostaldeko bi fiorden hondoak okupatu zituzten, Artikotik jaisten den itsaslaster hotz batek bustitako ekialdeko kostaldea ez baita bizileku egokia. Udako larreak baliatuz, abeltzaintzan aritu ziren, batik bat, baina ez zitzaizen batere erraza gertatuko, ziur aski. Hain zuzen, garai hartako ukuiluen aztarnak adierazten dute behiak oso txikiak zirela. Larrien eta morsa-boliaren esportazioaren bidez, harrenamak zituzten Islandiarekin eta kontinentearekin. Trukean, burdina eta zura inportatzen zituzten, uhartea oso urria baitzen lehengai horietan eta ez baitzuten urki-sail batzuk besterik. Baina, gainera, Groenlandiako bikingoak ez ziren ondo moldatzen inuitekin. Uste da herri eskimal hura mendebaldetik -Alaska eta Bering ingurutik- Groenlandiara iritsi zela mende haietako eguraldi onari eta Baffin itsasoaren kostaldeko izotzen parte handi bat urtzeari esker.

Bikingoak segituan hasi ziren Groenlandiatik abiatu eta Amerikako kostaldeari -Vinland deitu zioten- erasotzen. Amerikako indiarrek, ordea, ez zieten ongi etorri berorik egin. Kondairen arabera, lehenengo kontaktuan, bikingoek bederatzi indiarretatik zortzi hil zituzten. Hasiera txarra. Beraz, ez da harritzekoa bikingoen ezarnak dituen kanpamendu bakarra



L, Anse of Meadows-en, Ternuako kostaldean, aurkitu izana. Barrurago dauden lurretan bikingoen objektuak aurkitu dira, baina uste indiarrek eramandakoak direla, eta ez bikingoek utzitakoak.

Azkenik, 1300 aldera, klima hozten hasi zen berriz ere. Groenlandia eta Islandia bereizten dituen itsasarte askotan ixten zen, itsasoko bankisa artikoak hegoaldera egitearen ondorioz, eta, beraz, ezinezko zer tarte horretan nabigatzea. Inkomunikazioak, hotzak eta inuit herrien jazarpenak

-zeinek Artikotik hegoaldera egin behar izan baitzuten itsas txakurren atzetik eta hotzetik ihesi- bikingoen koloniarekin amaitu zuten. Azken apezpikua 1378 aldera hil zen. Orduz geroztik, Vinland-erako joan-etorriak oroitzen eta elezahar bihurtu ziren. Hurrengo mendeetako negu askotan, izotz-bankisaren aurrerakadak Islandia bera ere izitzez inguratzen zuen, eta garai latzak heldu ziren, Islandiako kronika historikoek diotenez.

Izotz Aro Txikia

1350 aldean, Europako klimak okerrera egin zuen, eta Izotz Aro Txikia izeneko hasi zen, zeinak XIX. mendearen bigarren erdira arte iraun baitzuen.

Baina, bost mendeko aldi horretan, tenperatura baxuak ez ziren etengabeak izan. Badirudi bereziki bi hotzaldi-pultsu handi izan zirela, denboran berezita: bata, hasieran, zirigaiztoko XVI. mendean, eta, bestea, aldiaren azkenean, XIX. mendearen lehen erdian. Badira hori baieztatzeko datuak, adibidez, Groenlandiako izotzetan eta Bermudetako eta Mauritaniako kostaldeko foraminifero-sedimentu lodietan egindako denbora-bereizmen handiko azterketatik ondorioztatutakoak.

Izotz Aro Txikian, erabat desagertu ziren Erdi Aroko Aldi Beroan landutako mahastiak eta Islandiako labore-uztak.

Neguan, maiz izozten ziren ibaiak Ipar Europa osoan. Hala, garai hartako grabatuetan ikusten da Londresen ere azokak eta feriak egin izan zirela Tamesis ibaiko ur izoztuen gainean. hegoalderago, garairik gogorrenetan, Alpeetako glaziarrek aurre-rakada ikaragarriak egin zituzten, eta, aldian-aldian, eskualde horretako haranetan bizi ziren heriak estaltzeko mehatxua ere egiten zuten. Eskandinavia ere, glaziarren aurrerakadek lehen landuta egondako eremuak hartzen zituzten. Adibidez, dokumentu baten arabera. Nigardsbreen glaziarrak 3 km aurreratu zituen 1710 eta 1743 artean, eta Nigard izeneko landetxe bat suntsitu zuen. Hala, Danimarkako Federiko V.a erregeari bidalitako ordain ekonomiko baten eskaera gorde da.

Klima historiaren ikertzaile batzuek -Pfister alemaniarra kasu- garai horretako ehunka agiri bildu dituzte, eta uste dute Izotz Aro Txikiko hozteak neguei bakarrik eragiten ziela, ez udei. Diziplina antzeko azterketen arabera, XVI. mendeko azken hamarkadetakoa neguak oso hotzak izan ziren, eta eragina izan zuten Europako gizarte-bizitzan.

Historialari frantses (Le Roy Laudurie, 1967) mahats-bilketen datei buruzko datuak bildu zituen (udako tenperaturaren mendean dago mahats-bilketa; zenbait eta hotzago, orduan eta gehiago atzeratzen da). Le Roy Ladurieren lana mahats-bilketen buruzko urtez urteko datuak zituzten Frantziako ehun herri baino gehiagotako serietan oinarritzen zen. Serie haiek Parisko tenperaturen datu instrumentaletan oinarritutako beste epealdi batekin (1797-1879) alderatuta, kon-turatu zen korrelazio handia zegoela mahats-bilketako daten eta apiriletik irailerako batez besteko tenperaturen artean.

Beraz, lan horrek adierazten du Izotz Aro Txikiko mendeetan ez zirela tenperatura hotzak izan modu iraunkorrean, baizik eta hotz handikoaldi gehiago izan zirela, egungoaren antzeko klimako beste aldi luze batzuekin tartekatuta.

Borgoinako ardogintza-eskualdean ere azterketa bat egin da, beriki, metodo horretan oinarrituta, eta ondorioztatutako datu esanguratsu baten arabera, 1370etik aurrera azken urteetakoan antzeko hainbat uda bero izan ziren. Dena den, uda haietako bat ere ez zein izan 2003koa beroa (+5,86 °C). Horren aurre-



tik, kalkulatu da 1523koa izan zela beroena (+4,10 °C). Azterketa horretan, 1680tik ia 1970era iraun zuen hozte-aldi luze bat adierazten da.

Eguzki-orbanak eta zikloak

Itxura denez, azken milurteko-ko klima-aldaketek lotura handia izan dute eguzki-argitasunaren aldakortasunarekin. 1610etik aurrera, Europan, eguzki-orbanen agerpen eta desagerpenei buruzko beha-

keta teleskopikoak eta kontaktak egin dira. Beste informazio-iturri batzuek -bereziki Txinako testu historikoek- denboran atzerago egiteko eta eguzki-jarduera handieneko eta txikiaren periodo urrunagoak zehazteko aukera ematen dute. John A. Eddy astronomoak bildu zituen, lehen aldiz, eguzki-orbanen buruzko datu eta informazio guztiak.

Edozein teleskopioarekin edo askoz ere metodo sinpleagoekin oso erraz ikus daitezkeen eguzki-orbanak Eguzkiaren fotosferako zona ilunagoak eta erlatiboki hotzagoak dira. Fotosfera Eguzkiaren ageriko azala da, eta 5.800 °K-ko tenperatura du batez beste. Eguzki-orbanen tenperatura, berriz, azalaren batez besteko tenperatura hori baino ehunka gradu baxuagoa da. Zona horiek, ilunagoak izaki, ohi baino energia gutxiago igortzen dute, baina haien inguruko eremuak -eguzki fakulak-distiratsuago ageri ohi dira. Hala, une jakin batean Eguzkiak zenbat eta orban gehiago izan, orduan eta energia gehiago igortzen du osotasunean hartuta.

Eguzki-orban batzuk tamaina handikoak izaten dira, eta zenbait hilabete irausten dute. Beste batzuek, aldiz, ehunka kilometro baino ez dute neurtzen, eta egun gutxian desagertzen dira. Orbanak eremu magnetiko indartsuei dagozkie, zeinek Eguzkitik fotosferara isurtzen den beroa atxikitzen baitute denbora batez. Ziklo berri baten lehen orbanak poloan inguruan agertzen dira. Hurrengo urteetan beste batzuk sortzen dira, Eguzkiaren ekuatoretik gero eta hurbilago, harik eta "eguzki-maximoa" deritzana osatu arte. XIX. mendearen erdiaz geroztik, badakigu 11 urteko ziklotan aldatzen dela, gutxi gorabehera, urteko kopurua.

Lotura garbia dago eguzki-orban kopuru aldakorraren eta

interzeptzioplano zirkular bati -Lurraren erradio berekoa eta, teorikoki, atmosferaren goiko mugan dagoena- bertikalki erasotzen dion eguzki-erradiazio fluxuaren intentsitatearen artean. "Eguzki-intsolazio totala" edo "eguzki-konstantea" deitzen zaio. Gaur egun, 1.370 W/m² ingurukoa da fluxu hori, eta 1,2 W/m² inguru aldatzen da zikloaren maximoaren eta minimoaren artean. Horrek esan nahi du atmosferaren mugan jasotzen den batez besteko intsolazioak 0,3 W/m²-ko batez besteko oszilazio globala duela. Izan ere, "eguzki-intsolazio totala" gainazal esferiko batean banatzen da, zeinaren azalera interzeptzio-zirkuluaren azalera baino lau aldiz handiagoa baita.

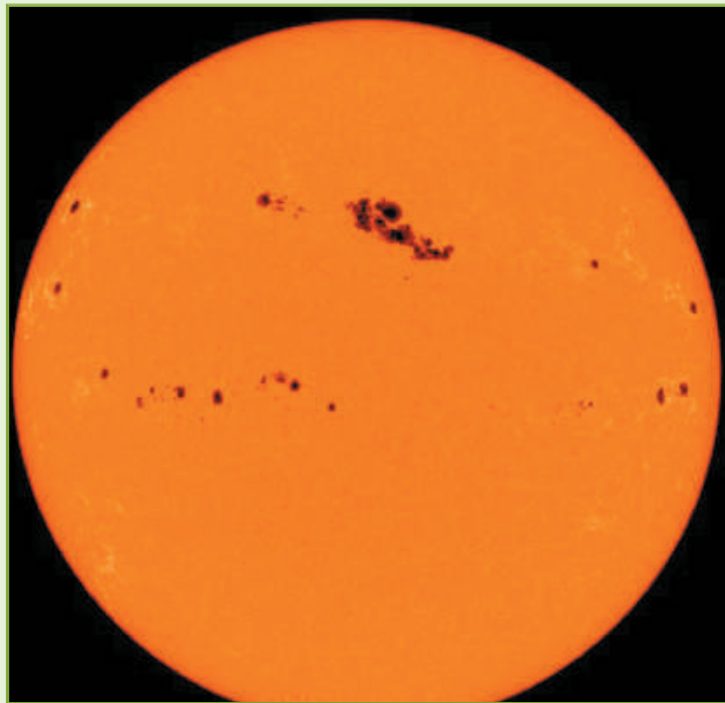
Hamaika urteko ziklo horiez landa, azken mendeetan, Lurrari erasotzen dion eguzki-erradiazioa aaldatuz joan da iraupen luzeagoko zikloetan, Eguzkiaren barneko aldaketek eraginda agian. Adibidez, badirudi 87 urteko iraupeneko Gleissberg zikloak existitzen direla. Ziklo horien minimoa 2030 aldera etorriko da, eta 205 urte inguruko beste glaziazio-aro txiki bat ekar lezake, Theodore Landscheit eta de DeVries-Suess adituen arabera, besteak beste.

Zuhaitzen eraztunetako zuraren karbono-14aren kontzentrazioetik eta izotzen zundaketetako berilio-10etik ondorioztatutako eguzki-organen eta izoki-jardueraren bilakaeraren arabera, eguzkia ohi baino ahulago ageri den aldiak izan dira azken milurtekoan: Wolf (1300 inguruan), Sporer (1500 inguruan), Maunder (1645-1715) eta Dalton (1800-1830) aldiak.

Seguruenik, aldi haien aurretik eguzki-jarduera maximoko aldi bat izan zen: Erdi Aroko Eguzki Maximoa (1100 eta 1250 artean). Aditu batzuen ustez, aldi hura gaur egun igarotzen ari garen Egungo eguzki Maximoaren antzekoa izan daiteke. Dirudenez, eguzki-koroaren jardueraren magnetikoak, Eguzkiaren barneko mugimenduek eragindakoak, goranzko joera izan du XX. mendean, eta horrek eragingo zuen aipatutako maximoa. Ereduetan oinarrituta, zenbait autorek uste dute azken 70 urte-etako eguzki-jarduera azken 8.000 urteetako handiena izan dela.

Maunder-en Minimoa

Aipatutako aldietatik 1645 eta 1715 artekoa da arraroena eta ezagunena. Maunder-en minimoa deitzen zaio, Walter Maunder aurkitzailearen ohorez (1894). Aldi horretan, orbanak ia guztiz desagertu ziren. Urte haietan, oso negu gogorak izan ziren, Europan bederen. Hala, 1694-1695eko neguan adibidez, Tamesis ibaia izozturik egon zen zenbait astez hiru idazleren egunerokoetan ageri denez. Parisko Behatokiko Picard-ek 1671eko egun batean idatzi zuen oso pozik zegoela Eguzkian



orban bat aurkitu zuelako, hamar urte baitzeramatzan lan horretan, orban bat ere ikusi gabe.

Kalkuluen arabera, Maunder-en minimoan "eguzki-konstantea" gaur egun baino 3,5 W/m² inguru txikiagoa zen, hau da, %0,24 baxuagoa. Oso litekeena da hori zeren Eguzkiaren antzeko izarretan ere argitasun-aldaketa handiagoak (% 0,4 artekoak) behatu baitira. Intsolazioaren murrizketa horrek Lurraren azalean 0,2 eta 0,6 °C arteko hotze globala eragingo zuela kalkulatu da. Baina eskualde batzuetan (adibidez, Amerikaren eta Europaren iparaldean) hoztea handiagoa izan zela uste da (1 °C eta 2 °C artean).

Erradiazio-aldaketak txikiak dira kuantitatiboki, berez, 1645etik aurrera izandako aldaketa termikoak azaltzeko. Baina neguko hotzik handiena, batez ere Europaren eta Asiaren iparaldeari eragin ziona, hedatu egingo zela uste da, Ipar hemisferioko mendealdeko haizeen zirkulazio zonalaren eta jet polar mantso eta zehazgabeago baten eraginez. Ondorioz, Ipar Atlantikoko blokeo-antizikloien eta zonalitate txikiagoko mendealdeko haizeen maiztasuna anditu egingo zen, eta Atlantikoaren eragin leuntzailea ez zen hain argi nabarituko kontinentean.

Bestalde, eguzki-energiaren fluxu-aldaketek gehiago eragiten dute ozonoa sortzen duten erradiazio ultramoreei dagokien erradiazio-espektoaren zatian. Erradiazio ultramoreen intentsitate txikiagoaren eraginez Maunder-en minimoan gertatutako ozonoz murrizketa nahikoa izan zen behe-estratosfera hozteko eta, zuzenean, estratosferako zirkulazioa eta, zeharka, troposferakoa aldatzeko. Hala ere, beste ikerlari batzuek uste dute Lean-en eguzki-erradiazioaren bilakaera-eredua espekulatzaileegia dela, eta ez dute uste loturirik dagoenik energia ultramore erasotzailearen eta batez besteko tenperatura globalaren artean.

Sumendien erupzioak

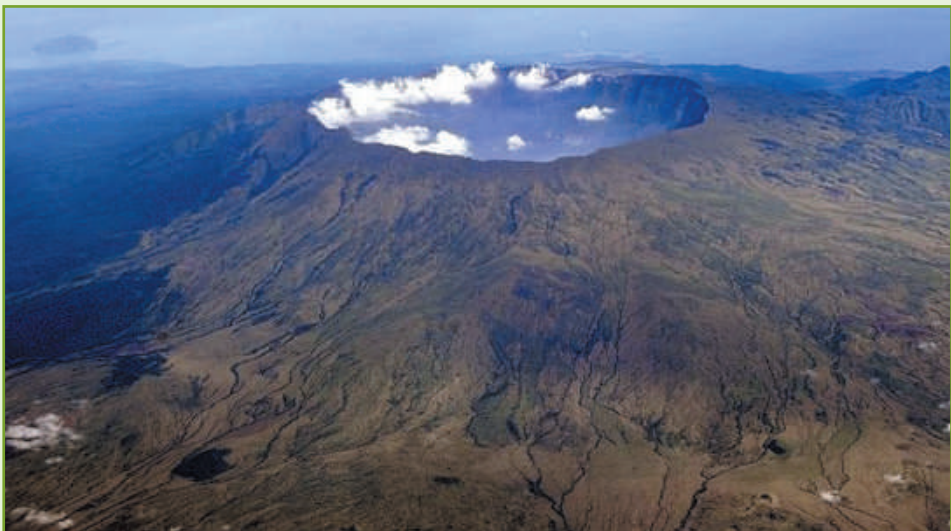
Badirudi, globalki, sumendi-erupzioek hozte nahiko txiki eta laburrak eragin dituztela Holozenoan. Pixkanaka, orain arte ezezagunak ziren erupzioak ezagutzen eta datatzen ari gara, eta aurrerapen handia egin da horien ezaugarriak hobeto eza-gutzeko.

Dokumentu historikoez eta metodo geologiko estratigrafikoez landa, Groenlandiako eta Antartikako izit-muinak (ice-cores) ere erabiltzen dira informazio iturri gisa. Izotz horien zundaketa-maila batzuetan aurkitu-tako azidotasun ezohikoak -kondukti-bitate elektrikoaren aldaketek zehaz-ten dute- aukera ematen du erupzio handiak adierazten dituzten aerosol sulfatatu bolkanikoak noiz jalki ziren jakiteko.

Erupzioen intentsitatea eta eiekzioen altuera bezain garrantzitsua da koka-pen geografikoa. Erupzio horiek lati-tude tropikaletan izaten badira, aere-sol sulfatatuak, estratosferara helduz gero, planeta osoan barreiatzen dira, altuera horretan, eremu tropikaletatik poloetara ibiltzen diren haizeen fluxu orokorrekin eramanda. Aitzitik, goi-lati-tudeetan gertatzen badira, nekez izan dezakete eragin globala, tropi-kora iritsi baino lehen sedimentatzen baitira.

Azken milurtekoko erupzio garrantzitsuenetako bat Peruko Huaynaputina sumendiarena (Peru) izan zen, 1600eko otsailen eta martxoan. Sumendi-errautsezko sedimendu lodiak (tefrak) metatu ziren. Kontaere historikoez diote errauts-euria kraterretik mila kilometro baino gehiagora iritsi zela. Ondorioz, uste da estratosferan 70 bat milioi tona SO₂ injektatuko zela gutxi gorabehera. Hain zuzen, baso borealetako zuhaitzen eraztunen egur-dentsitateari buruzko serieen gutxieneko balioa urte hari dagokio. Erupzioaren ondorengo udan, Ipar hemisferioko tenperatura 0,8 °C hoztu zela kalkulatu da.

Bestalde, Islandian, 1783an izandako Laki-ren erupzioak 10.000 islandiarren heriotza eragin zuen (bostetik bat). Asko eta asko, gasek pozoituta hil ziren. Klimaren ikuspegitik, batez ere, Artikoari eragin zion. Nome-n, Alaskako kostaldean, aztertuta-



ko zuhaitzen eraztunen arabera, urte hartako uda izan zen milurte-koko hotzenetakoa eskualde horretan.

Sumbawa uharteko Tambora sumendiak ere (Javaren ekialdean) erupzio oso handia izan zuen 1815ean, eta milaka pertsona hil ziren. Erupzio hark 200milioi tona SO₂ injektatu zituen gutxi gorabehera estratosferan. VEI (Volcanity Explosivity Index) eskalan, leherketen magnitudea neurtzen duen eskalan, 7ko balioa izan zuen.

Tamboraren erupzioak hozte nabarmena eragin zuen, batez ere, Ipar Amerikako ekialdean eta Mendebaldeko Europan. Tresna bidezko neurketek eta dokumentu historikoez jaso zuten jaitziera termikoa. Herbeheretako DeBilt behatokiko tenperatura-serie luzearen arabera, hurrengo urtea, 1816a, aurreko bost urteetako batezbestekoa baino 0,5 °C hotzagoa izan zen. Erupzio hark aztarna utzi zuen Groenlandiako eta Antartikako izotzetan. Hain zuzen, urte hartan metatutako elur-geruzan sufre-kontzentrazio handiak agertu dira zundaketetan. Zuhaitzen eraztunen egur-dentsitatearen serieek ere erakusten dute 1816ko uda izan zela asken 600 urteetako bigarren hotzerna. Dena dela, erupzioaren klima-eraginak ez zuen asko iraun, hurrengo bi urteak (1817 eta 1818) gertaeraren aurrekoak baino beroagoak izan baitziren.

Hamarkada batzuk geroago, 1883an, erupziorik tragikoenetako bat gertatu zen, hildako jende-kopuruari dagokionez: Javaren mendebaldeko Krakatoa sumendiarena. Erupzioaren eraginez sortutako tsunamiek 36.000 hildako eragin zituzten. Hala ere, klima-eraginak ez ziren izan oso handiak. Uste da Ipar hemisferioko udan 0,3 °C-ko aldi bateko hoztea eragin zuela.

XX. mendean, 1912an Alaskan izandako Katmai sumendiaren erupzioa izan zen handiena. 15 Km magma inguru eiektatu zuen, eta errauts- eta gas-zutabeak 20-30 kilomerrorainokoak izan ziren Haatik, Ipar hemisferioko latitude ertainetako eta goi-latitudeetako klimari bakarrik eragin zion. Budyko meteorologo errusiarraren arabera, 1912ko uztaaila eta abuztua bitartean, erupzioaren eraginez, %20 jaitzi zen eguzki-erradiazioa zuzena, Europan eta Ipar Amerikan, eta 0,5 °C inguru hoztu zuen klima. Eta, oraindik orain, 1991eko ekainaren 15ean, milurteko honetako erupziorik garrantzitsuenetako bat gertatu zen: Filipinetako Pinatubo sumendiarena.

EGUNGO KLIMAREN BEROTZEA

Batez besteko tenperatura globalaren eboluzioa XX. mendean eta XXI. mendearen hasieran

Lurraren azaleko batez besteko teenperatura -lurretik 2 m-ko altuera estandarrean jarritako termometroekin neurtua- 0,7 °C igo zen gutxi gorabehera XX. mendean. Joera hori ez zen uniforme izan, ez denboran, ez espazioan. Igoera bi alditan gertatu zen: 1910-1944 eta 1978-1998. Bi aldi horien artean berriz, (1944-1978) Lurraren azaleko tenperaturaren batez bestekoak beherako joera izan zuen. Bilakaera desorekatu horrek esan nahi du, agian, faktore naturalek ere eragina izan dutela aldaketa horietan -eta aantropikoek bakarrik-, batez ere, lehenengo igoera-aldian (1910-1944).

1990 urteaz geroztik, hilabetez hilabete izandako batez besteko tenperatura globalaren bilakaerari buruz egindako eta XXI. mendearen hasiera ere iristen den azterketa zehatzago baten arabera, hauek izan ziren XX. mendeko gertaera nagusiak: batetik, 0,6 °C-ko aldi bateko beherakada termikoa, 1991ko ekaineko Pinatubo sumendiaren erupzioaren ondoren, eta, bestetik, tenperaturen igoera 1997-98ko El Niño gertaeran.

Eskualdeen eta latitudeen arabeko diferentziak

Ez da ahaztu behar batez besteko tenperatura globala batezbesteko aritmetiko bat dela, eta hainbat eskualdetan aldi berean gertatutako hozteak eta berotzeak kontabilizatzen dituela. Eskualdeen arteko diferentzia termiko horiek nahiko ongi ezagutzen dira, batez ere, XX. mendearen bigarren ardiaren Ipar hemisferioan estazio meteorologikoen sare handi bat osatu zenetik. Hala, estazio horiei esker, konparaketak egin daitezke eskualde batzuen eta besteen artean.

Azken 50 urteko epealdian (1956-2005) Siberian, Alaskan eta Antartikako penintsulan gertatu dira berotze handienak.

Azken urteetan -1990az geroztik- bilakaera desberdina izan da



Ipar hemisferioan eta Hego hemisferioan, lehenengoa berotu egin baita eta bigarrena ia batere ez. Alde horiek are nabarmenagoak dira eskualde artikoaren eta antartikoaren artean. Eremu tropikalean, beriz, 1997-98ko El Niño gertaeran izandako berotzea azpimarratu behar da, batez ere.

Minimoen eta maximoen arteko diferentziak

Lur kontinentalen %71 hartzen duen azterketa baten arabera, 1950-2004 epealdian, tenperatura minimoak maximoak baino dezente gehiago igo ziren: hamarkadako 0,20 °C, tenperatura minimoen kasuan, eta hamarkadako 0,14 °C, maximoen kasuan. Hala ere, azken hogei urteetan antzeko igoerak izan dira. Aurrez egindako beste azterketa batzuek alde handiagoak adierazten. Leku batzuetan, eguneko eta gaueki tenperaturen joeren arteko diferentzia handiagoa da. Suitzan, esaterako, tenperatura minimoak 2 °C baino gehiago igo ziren batez beste XX. mendean; aldiz, tenperatura maximoak 0,2 °C inguru jaitzi ziren batez beste.

Estatistikoki egiaztu da XX. mendean izotza egindako egunak gutxitu egin zirela eskualde gehienetan -ez guztietan-, eta oso litekeena da hotz-boladak ere gutxitu izana. Horregatik, zenbait autorek uste dute gauetako -batez ere, negukogauetako- tenperatura minimoak igotzeak eragindako berotze globalak ez duela zertan txarra izan nahitaez gizateriarentzat; are gehiago, pentsatzen dute ondorio onuragarriak izan ditzakeela.

Zalantzak

Zuzenak dira batez besteko tenperatura globalen zifrak? Agian, ez guztiz. Batez besteko ten-



peraturak kalkulatzeko, XIX. mendearen erditik aurrera Lurraren azalean instalatutako 14.000 behatoki meteorologikotan erregistratutako hileroko serie termometrikoak erabili dira. Alabaina, XX. mendearen erdira arte estazio erregistratzaileen sarea oso kaskarra zen (behatoki gutxi eta geografikoki gaizki banatuta). Soilik 1.000 estazio erregistratzaileen serieek hartzen dute XX. mende osoa, eta ia guztiak Europan eta Estatu Batuetan daude. Datu horiek Lurraren azal osora estrapolatzen kalkuluakatsak egin daitezke. Eremu askotako -bereziki Afrika, Hego Amerika, Asia eta ozeanoetako- neurketak falta direnez, espazio-bereizmen oso handia erabili behar izaten da batezbestekoak kalkulatzeko. Hala, Lurraren azal osoa 5°-ko luzerako x 5°-ko latitudeko gelaxkatan (pixelak) banatzen da (adibidez, Iberiar penintsulak lau gelaxka baino gutxiago ditu), eta gelaxka bakoitzari barruan dituen estazioetan erregistratutako tenperaturen batezbestekoaren balioa ematen zaio. Ondoren, gelaxka guztietako balioen batezbestekoa kalkulatzeko, da, batez besteko tenperatura globala zehazteko.

Bestalde, estazio meteorologiko asko hiri-inguruetan daude, eta hirietan ohiko den "bero-uharte" efektuak eragiten die, hau da, inguruko landa-eremuak baino tenperatura altuagoak izaten dituzte. Beraz, horrek ere ziurgabetasun handia sortzen du tenperatura globalak eta tenperatura-joerak kalkulatzeko orduan. Urbanizazioak gaueko tenperaturak igoarazten ditu, eraikinek eta kaleetako asfaltoak egunez xurgatutako beroa askatzen baitute airera. Hiriak hedatzearen eraginez, landa-eremuetan zeuden behatoki asko hiriko bihurtu dira, eta, beraz, baliteke urbanizazio-prozesuak berotzea eragitea eta berotze horrek ez adieraztea-eremuetatik kanpo gertatzen dena. Gaiak eztabaida handia sortzen du. Zenbait azterketaren arabera, badiardi ez dela egia termometroek erregistratzen duten berotze globala urbanizazioak eragindakoa denik. Azterketa horietako batek modu burutsuan agertzen du Ipar hemisferioko tenperatura minimoek berotze-joera bera agertzen dutela egun haizetsuetan nahiz bereetan. Hala, urbanizazioak eragin handia balu, berotzeak handiagoa izan beharko luke egun bareetan, haizeak hirietako "bero-uharte" efektua murriztu edo indargabetzen baitu. Beraz, ez da erraza urbanizazioak eragindakoa berotzea zehaztea eta zuzenketa-indize egokia aplikatzea termometroek erregistratu bilakaera termikoari.

Bestalde, hirietako klimaren eragina hiri-eremuetatik haratago hedatzen da. Hiri-eremuek kontinenteen 53 okupatzen dute dagoeneko. Estatu Batuen ekialdeko hirietan satelite-irudien bidez egindako azterketa baten arabera, landareen hazkunderoa -loratzearen eta hostoak zimeltzearen arteko garaia- 15 egun luzeagoa da, batez beste, inguruko landa-lurretan baino.



Egun begetatiboen gehitze hori hiriaren kanpoaldetik kilometrorra arte hedatzen da, eta hiria baino 2,4 aldiz handiagoa den eremuari eragiten dio.

Halaber, joeren kalkuak egitean kontuan izan behar da akatsak sor daitezkeela termometroak eta neurketa-teknikak aldatzeagatik edo gailu erregistratzaileen inguruko mikrokliman izan daitezkeen aldaketengatik (ondoko zuhaixkak haztea, adibidez). Datu gordinei aplikatzen zaizkien zuzenketa-indizeak ere eztaba-dagarriak dira.

Are ziurgabetasun handiagoak sortzen dituzte itsaso edo ozeanoetan dauden ontzietatik egindako tenperatura-neurketek -airekoak nahiz azaleko uretakoak-, serieen jarraitutasun ezagatik, estaldura eskasagatik eta irakurketa-metodoetan izaten diren aldaketengatik.

Eragozpen horiengatik guztiengatik, gainazaleko termometroetan oinarritutako neurketa-metodoez gain, kontuan izan behar dira zehaztasun handiagoko edo txikiagoko beste metodo batzuk er, tenperaturen bilakaera zehazteko.

Sateliteetatik egindako neurketak

1978az geroztik, NOAAren sateliteek atmosferaren tenperatura neurtzen dute. Atmosferako oxigenoak igortzen dituen 60 gigahertzeko mikrouhien -zeinen intentsitatea aireko tenperaturen menpe baitago- kaptazioan oinarritzen dira neurketa horiek. Berez, sateliteen eta gainazaleko termometroen neurketak desberdinak dira. Gainazaleko termometroek azaletik bi

metrorra dagoen airearen tenperatura neurtzen dute. Sateliteek, aldiz, troposferako eta behe-estratosferako geruzen batez besteko tenperatura neurtzen dute (geruza horiek presio-eta altuera azalera desberdinen arabera bereizten dira).

Satelite bidezko neurketa-sistemak abantaila handi bat du: lur-esfera osoa hartzen du, ozeanoak barne, eta ez behatoki meteorologikoak dauden lekuak bakarrik. Neurketa horietako gelaxken bereizmena hogei aldiz hobe da gainazaleko termometroena baino. Sistema horren eragozpen nagusia da oraindik bi hamarkada eskaseko serieak ditugula eta eta sateliteen orbitaldaketek guztiz fidagarriak ez diren emaitzak eman ditzaketela.

Lortutako emaitzei dagokienez, satelitez egindako neurketetatik eratorritako grafikoan urtetik urterako oszilazioak nahiko bat datoz gainazaleko termometroekin lortutakoekin. Baina sateliteen neurketetan oinarritutako grafikoan zenbait zuzenketa egin ondoren, 1978tik 2004ren erdira arteko berotze-joera pixka bat txikiagoa da gainazaleko termometroek erregistratutakoa baino. Hala, sateliteek hamarkadako 0,2 °C-ko berotzea adierazten dute troposfera (800 eta 300 mb azalaren artean). Grafiko horretan, gainazaleko termometroekin egindakoan baino argiago ageri da. 1991ko ekainean, Pinatubo sumendiaren erupzioak ekarri zuen hoztea eta 1998an El Niño eragin zuen berotzea.

Zunda-balioiak

James Angell ikertzaile amerikarrak neurketa termikoen azterketa globala egin du zunda-balioekin, eta planeta osoan banatutako 63 irrati-zundaketako estazioetan 1959-1998 epealdian jasotako emaitzak argitaratu ditu. Lurraren azaleko nahiz troposferako (800 mb-300 mb) batez besteko estatistikek goranzko joera txiki bat adierazten dute: 0,12 °C hamarkadako. Interesgarria da ikustea igoera hori bat-batean gertatu zela, oso epe laburrean, hain zuzen, 1976 inguruan. Gorago, tropopausan (300 mb-100 mb), joera hori alderantzikatu egiten da, eta behe-estratosferan, batezbestekoaren hotzerako joera oso garbia da: -1 °C hamarkadako. Berriki, irrati-zundaketen bidezko



neurketen zuzenketa egin dira. Ondorioz, balioak handiagotu egin dira, eta gehiago hurbildu dira gainazaleko neurketara.

Neurketa geologikoak

Zorupeko harkaitzetan egindako zulaketen (borehole) azterketek ere gainazaleko termometroen serieek XX. mendean adieraztean duten tenperatura-igoera hori berresteen dutela dirudi.

Duela zenbait hamarkadaz geroztik, geofisikariak horrelako zundaketak ari dira egiten gradiente geotermikoa ezagutzeko, hots, sakoneran, tenperatura zer erritmotan igotzen den jakiteko. Lurraren azaleko tenperatura-aldaketak lurraren barrura hedatzen dira astiro. Hedapen-abiadura zehaztu ondoren, zorupeko zundaketetan agertutako anomalia termikoek iraganean Lurraren azalean izandako aldaketa termikoak adierazten dituzte Lurraren azaleko tenperaturaren oszilazioak pixkanaka txikituz joaten dira, erabat desagertu arte. Hala eta guztiz ere,aldi laburreneko fluktuazioak (egunekoak eta urtarokoak) oso azkar indargabetzen dira, eta dozena metro batzuetako sakoneran, epe luzeko oszilazioen azimadak bakarrik geatzen dira. Ez da ahaztu behar, dena den, zundaketak egiten diren lekuetako topografiak, hidrologiak eta landaretzak zoruparen hozte edo berotze anomaloak eragin ditzaketela, eta horrek are konplexuago bihurtzen du neurketa-metodo hori.

Bestalde, Amerikako ipar-ekialdeko, Erdialdeko Europako, Errusiako, Hego Afrikako eta Australiako harkaitz kontinentaletan eginako ehunka zundaketaren emaitzen arabera, tenperaturak 0,5 °C igo ziren batez beste XX. mendean. Datu hori dator Lurraren azaleko neurketa termometrikoklasikoekin. Halaber, badiardi neurketek erakusten dutela igoera hori duela hau mende baino lehenago hasi zela -garai hartan, 1 °C baxuagoak ziren tenperaturak-, eta igoera areagotu egin zela XX. mendean. Bost kontinenteetan egindako seiheun zulaketa baino gehiagotan oinarritutako azterketa berriago baten arabera ere, berotze progresiboa izan da azkenbost mendeetan. Era beran, latitude ertainetako datuak jasotzen dituen beste azterketa batek goranzko batez besteko joera adierazten du, zundaketa batzuetan joera negatiboa izan arren.

Aipatu beharrekoa da beroaren xurgapen geologikoak gutxitu egin dezakeela berotegi-efektuak airean sortutako tenperatura-igoera oraindik ere zehaztu gabe dagoen neurrian.

ITSAS MAILAREN IGOERA

XX. Mendeko Igoera

Oraindik ez da atera behin betiko ondoriozko itsasoak azken ehun urtean izan duen batez besteko igoera globalaren eritmoari buruz. Kostaldeko hainbat estazioetako erregistrotan oinarritutako IPCCren azken txostenen arabera, XX. mendean 18 zentimetro inguru (1,5 eta 2 mm/urte artean) igo zen itsasoaren maila. Hala ere, zalantza handiak daude, bate-tik, estazioen kopuru txikiagatik eta, beste-tik, kalkulak oso konplexuak direlako, eskualdeen arabera joera desberdinengatik.

Ozeanoen konfigurazioa aldatzen duten mugimendu geologikoak kontuan hartu gabe, itsasoaren batez besteko maila bi arrazoiengatik igo daiteke, funtsean: batetik, kontinenteetako izotza urtzearen ondorioz masa ozeanikoa handitzeagatik (osagai eustatiko) eta, bestetik, uraren hedapen termikoaren eta dentsitate-murrizketaren ondorioz, bolumen ozeanikoa handitzeagatik (osagai termosterikoa).

XX. mendeko igoeraren zati handiena -14 cm inguru- ur masan izandako aldaketek -hau da, kontinenteetako izotza urtzeak- eragingo zuela uste da. Dena den, zifra horiek zuhurtziaz hartu behar dira, ez baitira ondo ezagutzen Antartika eta Groenlandia estaltzen dituzten izotz-masetan izandako aldaketak. Ozeanoetako gazitasun-aldaketetan



oinarritutako kalkulu-mota baten arabera, XX. mendean, 6 cm bakarrik igo zen itsasoaren maila izotzak urtzearen eraginez.

Halaber, ez dakigu latitude altuetako permafrosta edo lurzoru izotzua urtzeak zer eragin izan duen itsasoaren mailaren igoeran, lurzoru horrek Ipar hemisferioko kontinente-eremuaren %24 okupatzen duela kontuen izanda. Badirudi Artikoan itsasoratzen diren Siberiako ibaien isuria handitu egin zela XX. mendean (adibidez, Jenisey ibaia), eta baliteke Siberiako permafrosta urtzeak nolabaiteko eragina izatea hazkunde horretan. Kontuan izan behar da, orobat, itsasoaren mailak beherakada txiki bat izan zuela lakuetan eta urtegi artifizialeetan bildutako uraren eraginez.

Aipatutako 18 cm-ko igoerari iurtzeari dagozkion 14 cm-ak kenduz gero, uraren berotzeak eragingo zuen gainerako igoera (4 cm inguru). 4 cm-ko igoera hori itsasoko uraren tenperatura-neurketen bidez kalkulatu da. Sidney Levitus ozeanografoak eta NOAAko kolaboratzaileek azterketa oso zehatzak egin dituzte gainazalaren eta 3.000 metroko sakoneraren arteko milioika profil termiko erabiliz (hasieran, planktona aztertzekeko sortu ziren profil horiek). Hala, 1955-2003 epealdian, ozeanoaren tenperatura globala 0,04 °C igo zela kalkulatu zen.

Ozeanoaren bero-eraketa 70eko hamarkadan igo zen bereziki. Orduz geroztik, berotze global horrekin lotutako zenbait eskualdetako fenomenoak detektatu dira. Berriki egindako beste azterketa batzuen arabera, igoera termosterikoa hori oso irregularra izan zen, eta azken 50 urteetako igoeraren erdia Atlantikoaren berotzeak eragin zuen.

Sateliteetatik egindako neurketak

Topex-Poseidon, ERS, Jason eta antzeko sateliteek itsasoaren gainazalaren altuera neurtzen dute, zenbait kilometroko bereizmen horizontalare-

kin eta orbitaren aldaketek eragindako 2-3 cm-ko errore-mari-narekin. Neurriak nahiko zuzenak izan daitezkeen arren. Lurraren grabitate-aldaketek eraginez, Lurreko geoideak eragindako igoera-diferentziak ere jasotzen dituzte. Diferentzia horiek ehunka metrotakoak izan daitezke puntu baten eta bestearen artean, eta, beraz, orekatu egin behar dira diferentzia horiek. Itsasoaren gaizazal harrotutik ehunka kilometrora dauden sateliteetatik zehaztasunmilimetrikoko batezbestekoak ateratzeko zailtasun tekniko- ez gain, satelitez jasotako neurri-serieak berrikiak dira joera garbiri ondorioztatu ahal izateko.

1991az geroztik, Topex-Poseidon satelite-misioak hamar egunez behin kalkulatu du itsasoaren gainazalaren batez besteko maila globala. Epealdi horretan, urteko 3 mm-ko igoera erregistratu da. 1997-1998ko El Niñorekin batera izandako 20 mm-ko igoera globala izan zen gertaerarik nabarmenena.

Espazio- eta denbora-diferentziak

Itsasoaren mailaren aldaketa oso desberdina izan da geografikoki. Ikertzaile batzuen arabera, 1960 arte uraren maila igo egin zen Adriatikoko eta Mediterraneoko mendebaldean, baina, harrezkero, urteko 1,3 mm-ko eritmoan jaitsi da. Mediterraneoko arroan itsasoratzen diren ibaien emariaren murrizketaren ondorioz itsasoaren gazitasuna handitzeak eragin duela hori uste da. Beste batzuen iritziz, Mediterraneoko batez besteko presio atmosferikoa pixka bat handitzeak itsasoaren maila jaitsaraz dezake, besterik gabe.

Bestalde, Topex-Poseidon misioak duela hamarkada batetik satelitez egindako ikerketek erakusten dute Mediterraneoko itsas mailaren joera ez dela uniforme, eta mailak behera egin duela leku batzuetan (Tirreno itsasoan eta Italiako hegoaldean) eta gora, beste batzuetan (Mediterraneoko ekialdean).



Faktoreen konplexutasuna

Berotzeak eragindako urtzaldiez eta hedapen termikoaz gain, beste hainbat faktore kontuan hartu behar dira batez besteko joera globala kalkulatzeko, eta horrek are konplexuago bihurtzen du kalkulua.

Adibidez, leku askotan, azken izit-estalki handiek bat egitean hasitako doiketako erreakzio isostatikoak baldintzatzen du itsasoa igotzea edo jaistea. Hala, Baltikoko kostaldean egindako neurketek erakusten dute itsaso horren iparraldeko uren maila 5 mm ari dela jaisten urteko. Baltikoak Suediako aldean duen kostaldea igo egiten da, errebote bezala, lehen, lur horietan izandako izotz-masek eragindako hondoratzea berreskuratzeko. Aldiz, errebote horrek lurrazalaren hondoratzea -eta itsas maila igotzea- eragiten du gorantz doan domoaren periferian (adibidez, Dinamarkan). Antzeko doitzeko glaziar isostatikoak gertatzen dira Kanadako eta Estatu Batuetako ekialdeko kostan.

Halaber, mugimendu isostatiko horiez gain, zorupearen hondoratzea eragiten duten mugimenduak gertatzen dira, eta gas- eta petrolio-erazketen gisako jarduerak ere horrelako mugimenduak sortzen dituzte, zorupeko harkaitzen poroak betetzearen ondorioz.

Komunikabideek berotze globalarekin lotu ohi dituzte maiz Veneziaren hondoratze-arazoaren arrazoiak, baina, batez ere, arrazoi hauengatik ari da gertatzen hori: batetik, zorupea hondoratzeagatik (23 cm inguru azken mendean) eta, bestetik, ezohiko marea altuengatik (adibidez, 1996ko azaroan itsasaldi katastrofikoa gertatu zen behe-presioen eta hego-ekialdeko haizeen konbinazioaren eraginez, eta 174 cm igo zen maila). Munduko beste kostalde askotan ere (adibidez, Texasen eta Louisianan) eskualdeko subsidentzia-eritmoa 1 metrokoa da mende bakoitzeko, arrazoi horiengatik.

Badira ozeanoen maila modu irregularrean aldatzen duten beste faktore batzuk ere, eta horiek joera global uniforme bati buru hitz egitea ere gehiago zailtzen dute. Adibidez, itsaslasterren aldaketek ura metatzen dute leku batzuetan eta partzialki hustu beste batzuetan, eta, ondorioz, maila desberdinak sortzen dituzte eskualde batzuetako eta besteetako

itsas gainazalaren artean. Horrenbestez, egiaztatuta dago Finlandiako kostaldean NAO indizearen aldaketekin lotutako aldaketak izaten dituela itsasoaren mailak. Indize positiboak (ekialdeko haize indartsuagoak) itsasoaren maila igoarazten du Baltikoan sartzen diren Atlantikoko uren fluxua igotzearen ondorioz. Aldiz, Mediterraneoan, NAO indize positiboak presio handiagoa adierazten du, eta itsasoaren maila jaitsarazten du, normalean. Zenbait autoreren arabera, NAO indizearen joerak urteko 1,3 mm inguruko jaitsiera eragin zuen 1960 eta 1994 artean.

Presio eta haize nagusien aldaketek hainbat zentimetroko igoera eta jaitsierak eragiten dituzte egunero itsasoan Nabigazioko eta portuetako agintaritzek argitaratzen dituzte "hondakin" meteorologiko horien predikzio-mapak.

Halaber, gazitasun-aldaketek eragindako uraren dentsitate-aldaketek ere aldarazten dute itsasoaren maila. Baltikoko Skagerrak eremuko gazitasuna % 35ekoa da, baina %



5ekoa Botniako golkoan. Horren eraginez, itsaso berean 35-40 cm-ko altuera-aldea dago.

Azkenik, El Niño bezalako fenomenoak 50 cm arteko aldeak sortzen dituzte itsas mailan, urtetik urtera, Ozeano Bareko eskualde handietan.

Aurreikuspenak

Etorkizunari dagokionez, IPPCk 2100erako egindako aurreikuspenen arabera, itsasoaren maila 100 cm inguru igoko da (urteko 5-10 mm-ko erritmoa adierazten du horrek, hau da,

XX. mendean erregistratutakoa baino handiagoa).

IPCCren txostenaren arabera, batez ere, uraren hedapen termikoak eta, neurri txikiagoan, polarrak ez diren glaziarretako eta Groenlandiako izotz-estalkiko izotzak urtzeak eragingo du XXI. mendeko igoera hori. Aldiz, Antartikak -Lurreko izotz guztiaren %85 biltzen da han- 10 cm inguru jaitsaraziko du itsasoaren maila. Izan ere, berotzearen eraginez, elur-prezipitazio handiagoak izatea eta izotz australaren estalkia handitzea espero da.

IZOTZAK

Izotz iraunkorrek hartutako lur-eremuaren %85 baino gehiago Antartikan dago. Beste % 10 Groenlandiari dagokio, eta % 5 baino gutxiago gainerako glaziar eta kasko izoztu txiki guztiei.

ANTARTIKOKO IZOTZA

Izotz kontinental

Antartikako izotzaren batez besteko lodiera 2,4 kilometrokoa da, eta leku batzuetan, ia 5 kilometrokoa ere bai. Izotz horren bolumena hain handia da, zeharo urtuko balitz, 60 bat metro igoko bailitzateke itsasoaren maila. Izotz-masaren parterik handiena (ia % 90) Antartikaren ekialdean dago.

Izotz-estalkiak 1992-2003 erpendian izandako lodieraren bila-kaerari buruzko satellite bidezko azterketen arabera, lodiera handitu egin da Antartikaren ekialdeko zati handiean eta mehetu Antartikaren mendebalde gehienean. Datu guztiak globalki hartuta, urteko 1,4 cm-ko hazkunde txikia izan da.

Itsasoko izotza

Bestalde, Antartikaren inguruan urtero eratzen den itsasoko izit-bankisaren azalerak aldaketa handiak izaten ditu urtaroen arabera (2-3 milioi km2 udan eta 15-16 milioi Km2 neguan).



Sateliteetatik egindakko neurketek hazkunde-joera txiki bat adierazten dute 1979-2007 neurketa-epeldian.

Antartikako penintsula -ia erabat zirkulu polarretik kanpo-eremu delikatua da. Penintsula horretako glaziar gehienek atzerakako joera adierazten dute azken urteetan, baina ez dago argi horren kausa bakarra berotzea denik. 65° S latitude inguruan, Larsen itsasoko izt-plataforma itsastarraren zati bat urtu egin da berriki, azken hamarkadetako aireak izandako berotzearekin batera. Azken berrogeita hamar urteetako berotze gordina 2,5 °C-koa izan da, eta haizeen erregimenaren aldaketaren lotuta dago. Urtaldi horrek ez du ia ondoriorik

izan itsasoaren mailan, izotz hori itsasoan igeri baitzegoen eta ez baitzion eusten inongo izotz-masa kontinentali. Gainera, Larsen B izit-plataformak aurrerakada eta atzerakada garrantzitsuak izan ditu Holozenoan. Hala, Holozenoko zenbait alditan, penintsula inguratzen duten beste izotz-plataforma batzuk desagertu egin izan dira.

Gero eta ziurtasun handiagoarekin esan daiteke eskualde horretako izotz-murrizketak atmosferako zirkulazio-aldaketekin lotuta daudela, zirkulazio horiek izotz flotatzailearen mugimenduak eta jitoa baldintzatzen baitituzte.

Zenbakizko ereduak iragartzen dutenez, datozen hamarkadetan Antartikan berotze bat gertatuko balitz, oso izotz gutxi urtuko litzateke, zuzenean, horrek eraginda. Izan ere, ia kontinente osoan -kostaldeko eskualde bakan batzuetan (bereziki, Antartikako penintsulan) salbu- tenperaturak izozte puntutik oso behera egoten dira ia beti. Hortaz, 2-3 °C-ko berotzeak ez luke eragingo ia inongo izotz-urtzerik. Aitzitik, igoera termiko horrek handitu egin dezake airearen gaitasun higrometrikoa, eta, ondorioz, elur-prezipitazioak ugartu daitezke. Hala, izotz gehiago metatuko litzatene Antartikan, eta horrek zenbait zentimetro jaitsaraziko luke itsasoaren maila. Edonola ere, XX. mendearen bigarren erdiko elur-metaketen azterketak ez du inolako aldaketa garrantzitsurik adierazten.

Bestalde, Antartikaren mendebaldeko izotz-estalkiaren balizko amiltzea zailagoa da iragartzen. Eremu horretako izotz-estalkiaren parte handi bat Ronne eta Ross kostaldeko izotz-plataformen gainean bermatuta dago.

Itsasoan igeri dauden eta ehunka metro lodi diren bi izotz-plataforma horiek kontinenteko izotzaren kontrahorma gisa jokatzen dute. Berotze globala baieztatu eta indartzen bada, adituen kezka da plataforma horiek urtu egin daitezkeela eta, ondorioz, izit-masa handiak irrista daitezkeela kontinentetik



itsasora. Izotz-plataforma horiek ez daude itsasoaren hondoan bermatuta, baizik eta oinarria zulatzen diren ura dute azpian. Itsasoa berotzen bada, icebergetan banatzeko adina urtu daitezke plataformak, eta itsaslasterrak itsaso barrura eraman ditzakete. Eta itsasoko izotz-plataforma horiek txikitu edo desagertu balira, agian, eusten duten izotz kontinentalaren erorketa azkartuko litzateke. Zenbait azterketaren arabera, Amundsen itsasoko glaziar batzueen aurrealdean erorketa azkartu egin da azken urteetan. Hala eta guztiz ere, Ross inguruko izotzei buruz egindako neurketa berri batzuel kontrakoa adierazten dute: badirudi izotz gehiago metatzen dela eta itsasoko plataforma jaisten diren izotz-korronteen abiadura moteldu egiten dela.

ARTIKOKO IZOTZA

Itsas izotza

Artikoko itsas izotzak egitura konplexua du. Mota eta lodiera desberdineko izotzak ditu. Hala, eskualde batzuetan, izotzgeruza mahe-mehe eratu berriak egon daitezke, eta, beste batzuetan, izotzaren konpresioak 50 metro arteko metaketak sor ditzake. Bestalde, aldaketa handiak izaten dira urtarotik urtarora eta urtetik urtera.

Ipar poloak 3-4 metroko lodiera izaten du neguaren amaieran, baina aldaketa handiak izan daitezke, bankisa artikoa mugitu egiten baita. Uda bete-betean, berriz, Ipar poloko tenperaturak 0 °C inguruak direnean, urtzear egoten dira izotzak, eta soilgune handiak sortzen dira; itsasoko ura agertzen den haietatik.

Antartikakoan ez bezala, Artikoko itsas izotzaren erdia-edo urte anitzeko izotzak dira, hau da, gutxienez, uda bat irauten duten izotzak.

XX. mendearen lehen erdian, Artikoko itsas izotzen urtaroko batez besteko hedadura ez zen aldatu. Baina XX. mendeko azken hamarkadetan, udako urtzaldiaren ondoren bankisak duen hedadura minimoak beheranzko joera izan du. Halaber, neguko maximoek murrizteko joera agertu dute.

Bestalde, leku batzuetan eta beste-



etan aldaketa desberdinak gertatu dira: azken bi hamarkadetan itsas izotzaren hedadura txikitu egin zen Barents eta Kara itsasoetan; baina Bering itsasoan eta Beaufort itsasoko eta Kanadako artxipiela-goko zati batzuetan ez zuen beheranzko joerarik adierazi, eta handitu ere egin zen.

Hainbat ikerketa egin dira Artikoko izotz-bankisaren balizko murrizketari buruz, misio militarretan Ipar polotik igarotzen diren itsaspeko estatubatua sonarrez egindako neurketetan oinarrituta, eta emaitza kontraesankorrak ematen dituzte. Horietako batek 1958-1976 eta 1993-1997 epealdietako neurketak alderatzen ditu, eta, horren arabera, Ozeano Artikoko urteko batez besteko lodierak murrizketa handia izan du. Hain zuzen, udan 3,1 metroko lodiera izatetik 1,8 metrora izatera pasatu zen epealdi horretan. 1976ko eta 1996ko

bi zeharkalditako neurketen konparazioan oinarritutako beste ikerketa batean ere murrizketa izan zela ondorioztatu zen. Hala ere, horiek baino lehentxeago egindako azterketa batzuen arabera -adibidez 1977-1992 ependian itsaspeko batzuek egindako neurketetan oinarritutakoa-, izotzaren lodieran alde handiak izaten dira uretik urtera, eta izotzek ez dute agertzen loditzeko edo mehetzeko joera argirik. Beste azterketa batzuek ere kontraesanak agertzen dituzte. Izan ere, batzuen arabera, izotzak asko murriztu dira eta, beste batzuen arabera, joerak ez daude argi, eta urtez urteko aldakortasuna oso handia da.

Dirudienez, urte anitzeko izotzaren hedadura murriztu da gehien, oraindik argi ez dauden arrazoiengatik. Batzuek AO indizearekin lotzen dute. Hala, indizea altua balitz, izotz-geruza hori desagertzeko joera handiagoa litzateke, agian, izotzak Atlantikora gehiago migratuko lukeelako Fram itsasartetik. 1978-1998 epeldian sateliteetatik egindako neurketek buruzko azterketa batek adierazten du urte anitzeko izotzak estalitako eremua % 14raino murriztu dela. Dena den, azterketa horren arabera, aldakortasuna oso handia da eta 20 urteko neurketak ez dira aski epe ertaineko edo luzeko joera zehazteko. Bestalde, 1979-2004 epealdiko datuetan oinarritutako beste azterketa batek ere urte anitzeko izotzaren murrizketa agertzen du 90eko hamarkadatik aurrera. Dena den, salbuespenak izan ziren (adibidez, 1996an, izotz guztia berreskuratu



zen). Itxura denez, Artikoa erdialdeko eskualde batek izotz-estalki lodi eta iraunkorra du, eta eskualde oso fluktuatzailez inguratuta dago.

Bestalde, azken 30 urteetan mendebaldeko haizeak indartzearen ondorioz, uste da Artikoa Atlantikoko ur bero eta gazi gehiago sartu dela Norvegiako eta Barents-eko itsasoetan barrena. Artikoko izotzaren azpian dagoen ura oso estratifikatua da, eta hiru maila ditu: azalekoa, tartekoa eta sakona. Tarteko maila Atlantikotik datozen urek osatzen dute nagusiki, eta 0 °C-tik gorako tenperaturak izaten dituzte. 990eko hamarkadaren hasieran, AO indizeak oso balio positiboak adierazi zituen, baina, gerora, beheranzko joera adierazi dute. Hala, baliteke, garai horretan ezohiko ur-kantitatea sartzea Artikoa, eta, hurrengo urteetan, ur haiek arro osoa okupatzea. Ipar poloaren azpiko uren profil termikoak berotzea adierazten du hamarkada horretan, eta, azken urteetan, eten egin da joera hori.

Izotzaren mugimendua

Ipar poloko izotzak zenbait metro muiltzen dira egunean. Mugimendu horiek aldakorak izaten dira presio-eremuak eta haizeek eraginda. Eta, ondorioz, eremu batzuetako izotzak loditu eta beste batzuetakoak mehetzea eragin dezakete. Oro har, bi egitura zirkulatorio handi daude: Beaufort bira eta Poloan zeharreko jitoa. Bi egitura horien aldakortasuna -intensitatea eta batez besteko koka-pena- erabakigarria da izotzaren mugimenduetan.

Aldi berean, izotzaren mugimendu horiek lotuta daude NAO eta AO indizeen aldakortasunarekin. Eurasian sartzen den mendebaldeko haize atlantikoaren osagai zonalaren intentsitatea adierazten dute indize horiek, eta lotura handia dute bankisa artikoko izotzen hedadurarekin. Indizeen baliak altuak direnean eta mendebaldeko haize indartsuak dabiltzanean, Artikoko izotzaren hedadura txikiaagoa izaten da, indizeen baliak baxuak direnean baino. Egoera horretan, Poloan zeharreko jitoa mendebalderago mugi-



tzen da, eta, ondorioz, urte anitzeko izotz gehiago joaten da Fram itsasartean barrena.

Artikoak Fram itsasartetik galtzen du ura, batez ere, eta Bering itsasartetik jasotzen du. Iparraldeko itsasoetako eremu azpipolarrean, Atlantikotik datorren ur gazia eta beroa eta Artikoko ur ia izoztua eta gezagoa nahastean dira. Hala, eskualde horretan sakoneko urak sortzen dira, Irminger-eko eta Labrador-eko itsas arroetan bezala.

Ibaietako ur gezak Artikoa isurtzean, gazitasuna murrizten dute. Ondorioz, Artikoa izoztea bultzatzen dute, eta azaleko urak gezatu eta lodiera kentzen dietenez, uste da Atlantikoko zirkulazio termohalinoa ere murrizten dutela. Artikoko arroak mendebaldeko haizeek ekarritako hezetasunarekin elikatzen dira. Ipar Atlantikoaren lurruntze handiagoak eta NAO indize positiboak prezipitazio handiagoak eta isurketa handiagoa eragiten dituzte. Azken hamarkadetan, Siberiako arroen isurketa handitu egin da, baina Kanadako arroetakoa ez.

Artikoaren kostaldeko lurrak

1920 eta 1940 artean izandako 1 °C-tik gorako igoera azkarra izan zen, azken mendean, Artikoa erdialdeko tenperaturen bilakaeran izandako gertaerarik garrantzitsuenak. Ondoren, 190 eta 1970 artean, tenperaturak jaitsi egin ziren, eta, azkenik, 1970etik aurrera, beste igoera bat izan zen, azken urteetan areagotu dena.

Zergatik berotzen Artikoa?

Faktore antripoikoak. Artikoko tenperaturek berriki izandako igoera berotegi-gasek (O₂-az gain, metanoa eta ozono troposferikoa) eragin dutela uste da, neurri batean bederen. Gainera, bankisa urtzearen eta albedoa txikitzearen eraginez, atzeraelkadura-efektu positiboa gertatzen da, dirudienez. Bestalde, bankisa murrizteak itsasotik airera bero gehiago garraiatzea bultzatu du, again, izotz-geruzaren isolamendu termikoa murriztearen eraginez.

Halaber, Artikoa erdialdeko kontinentaleko tundra-paisaiaren orde, basoek osatutako paisaia lunagoa nagusituko balitz, albedoa ere txikitu egingo litzateke. Bestalde, izotzik gabeko



udako egunak luzatzearekin ere lotura izan dezake azken urte-etako igoera termikoak. Arrazoi horrengatik 3 W/m² inguru txikitu da albedoa hamarkada eredu baten arabera, Ipar Amerikako eta, batez ere, Errusiako eta Txinako zeru poluituetatik Artikora garraiatutako ozonoa izan daiteke, XX mendearen bigarren erdian, Artikoa erregistratutako berotzearen herenaren edo erdiaren kasua.

Baina, CO₂-aren eta beste berotegi-gas batzuen kantitatea globalki handitzeaz gain, airearen zikintasunak eragindako berotegi-efektuak -hau da, Estatu Batuetako, Europako, Errusiako eta Txinako latitude ertain oso populatuetatik etortako aerosolek- ere eragina izan dezake Artikoa berotzean. Aerosol horiek sortutako hodei-geruza baxuek eragindako berotzea neguan nabaritzen da, batez ere, espaziora joaten diren Lurreko erradiazio infragorriak atmosferan atxikitzen baitituzte. Artikoko hodeiek garrantzi handia duten berotzean. Kalkuluen arabera, hodeiek 60 W/m² inguru erradiazio infragorri igortzen dituzte gainazalera. Aerosolen kontzentrazioa handitzeak 3,4 W/m² handitu du zifra hori, eta hazkunde hori berotegi-gasen ugaritzeari egotzitako 2,4 W/m² baino handiagoa da.

Faktore naturalak. Artikoko igoera termikoa XX. mendearen hastapenetan hasi izanak adierazten du faktore naturalak -adibidez, sumendien erupzioetatik datorren zikinkeria, ozeanoetako itsaslasteren aldaketak edo intsolazioaren aldaketa astronomikoak- gizakien jardurek eragindako ondorioek bezainbateko garrantzia izan zutela, garai hartan bederen.

Faktore atmosferiko naturalen artean, aipaten da, agian, haizeen zirkulazio-aldaketa batek hegoaldeko aire-masa epelen sarre-ra handitu zuela, Islandioako behe-zirkulazioa eta Aleutiarren indartzearen eraginez. Gertaera hori NAO eta AO indizeen balio altuetan islatuko litzateke.

Gainera, zirkulazio atmosferiko horrek baliteke eragina izatea itsasoko izotzean, eta, hala, batetik, Artikoko izotz-puska gehiago ateratzea Fram-eko itsasartetik

Iparraldeko itsasoetara eta, bestetik, Atlantikoko ur gehiago sartzea Barents itsasotik.

GROENLANDIAKO IZOTZA

Groenlandiako izotz-estalkiaren bolumena ere oso handia da, eta guztiz urtuko balitz, 7 bat metro igoaraziko luke itsasoaren maila. Baina horretatik oso urrun gaude oraindik. Kostaldera iristen diren mihi glaziar asko atzera egiten ari badira ere, gaur egungo izotz-masaren joera kalkulatzeko ere oso zaila da. Izan ere, barrualdeko zati handi batean, badirudi izotz-kantitatea handitzen ari dela, agian, elu-prezipitazioak ugaritzearen erginez.

Tenperaturak

Groenlandiak azken urteetan izandako berotzeak hurbileko aurrekaria du (1000. urtearen inguruan, bikingoek zenbait kolonia ezarri zituztenean, gertatu zenaz gain).

Hegoaldeko bi estaziotako (Angmassalik eta Gidthab) neurketa termometrikoki luzeen serieek nahiko bat-batean gertatutako berotze garrantzitsu bat adierazten dute 1920 eta 1930 artean.

Ondoren, hotzaldia etorri zen 1930etik 1990era, eta, azken urteetan, tenperaturek gora egin dute nabarmen, berriz ere. Hainbat azterketak berresten dituzte joera horiek.

Beraz, XX. mendearen parte handi batean, glaziarren atzerantzko joera tenperaturek jaistearekin batera gertatu zen. Hala, elur-prezipitazio txikiagoei edo kausa konplexuagoei egozten zaie atzerakada.

Bestalde, 1955-2003 epeldian. Groenlandia, inguratzen duten itsaso gaineko aireko tenperaturaren joera ez da izan Artikoaren parterik handienean bezain positiboa, eta hegoaldean behera egin du.



Izotzaren balantzea

Teoria batzuen arabera Groenlandian izotza pilatzen ari da, eta beste batzuen arabera galtzen; baina azterketa guztiek diote barrualdean bolumena handitzen ari dela, eta, izotza urtearen ondorioz, ertzetan txikitzen. Satelitez egindako azterketa berrienaren arabera, penintsularen erdialdean metatutako izotzaren eta ertzetan galdutakoaren arteko saldo garbiak adierazten du 54 cm inguru handitu zela 1992-2003 ependian. Hala ere, sateliteek ez dute hautematen ondo kostaldean galdutakoa.

Uste da izotzaren urteko metaketa handiena hegoaldeko haizeen zirkulazioarekin lotuta dagoela (NAO indize negatiboa). Hala eta guztiz ere, Groenlandiaren hedadura eta altitude-diferentziak kontuan izanda, haizearen norabidearen eragina desberdina izan daiteke iparraldean eta hegoaldean, baita erdialdean eta ertzetan ere.

Groenlandiako glaziar garrantzitsuena Jakobshavn Isbrae da, eta lurraldearen % 6 okupatzen du. Glaziar horren bilakaerari buruzko azterketaren arabera, oro har, atzera egin du 1850az geroztik, zenbait urtetan -eta, batzuetan, hamarkadetan- aurrera egin duen eta egonkor mantendu den arren. Duela gutxi, 2002 eta 2003 artean, atzerakada handia izan zuen.

Beste azterketa batzuek ere ondorioztatu dute kostaldeko izotzak nabarmen murriztu direla azken urteetan. Helheim glaziarra ere atzera egin du, agian, azken udak-bereziki, 2003koa-oso beroak izan direlako. Rignot-en arabera, urtzaldiak urtean 0,5 mm igoaraz dezake itsasoaren maila.

GRACE satelitearekin egindako grabimetria-neurketa berrienek adierazten dutenez, 2002ko apiriletik 2006ko apirilera 250 km³ inguru murriztu da izotzaren masa, guztira, eta horrek urteko 0,5 mm-ko igoera eragiten duela uste da. Erritmo horrekin jarraituz gero, mende batean 5 cm bakarrik igoko litzateke. Gainera, hasierako urtea (2002-03) bereziki elurtsua izan zen eta azkenekoa (2005) oso lehorra. Horrek balio handia kentzen dio mende osoko estrapolazioari.

Etorkizuna

Groenlandiako izotz-estalkia goi-latitudeetako ez denez, ez da Antartikakoa bezain hotza.

Hegoaldeko itsasertzeko batez besteko tenperaturak -5 °C ingurukoak dira, eta, batzuetan, 20 °C-tik gora igo daitezke udan. Hala, IPCC ren aurreikuspenen arabera, klima berotzearen ondorioz udan gerta daitekeen urtzaldia handiagoa izan daiteke neguso elur-prezipitazioen ugaritzea baino. Ondorioz. IPCCren aburuz, 100 urte barru CO₂-kantitatea bikoizten bada, Groenlandian atxikitako izotz-bolumenaren balantzea negatiboa bihurtu daiteke, eta, kasu horretan, itsasoaren maila 10 cm inguru igoaraziko du.

Nolanahi ere, oso konplexua da iragarpenak egitea. Izan ere, oso litekeena da, berotzea gertatuz gero, izotz-estalkiaren postaera oso bestelakoa izatea kostan eta barnealdean, non tenperaturak askoz baxuagoak baitira altueragatik (Groenlandiako tontor altuena 3.000 metrotik gorakoa da).

Beraz, gaur egun, Groenlandiako izotz-masak duen bilakaera garbia ezagutzen ez bada, are gutxiago ezagutzen da etorkizunean izango duen bilakaera.

Glaziarrek eta izotz-kasko txikiak (Antartikako eta Groenlandiako izotz-estalkiak alde batera utzita) urtuko balira, itsasoaren maila 0,5 m inguru igoko litzateke.

Glaziar horiek Lurraren izit-estalkiaren 5/3 baino gutxiago hartzen dute, eta azalera horreen erdia Artikoan dago.

Glaziar horien atzerakada eta aurreraakaden kausak oso konplexuak dira, tenperaturez gain, prezipitazioak ere kontuan hartu behar baitira. Bi faktore horiek kontraesankorrak izaten dira askotan. Izan ere, berotzeak elur-prezipitazio handiagoak ekarri ohi ditu, eta alderantziz.



Izotzaren metaketaren eta ablazioaren arteko oreka horretan, badira beste eragile konplexu batzuk ere, besteak beste, glaziarrek mendian behera duten mugimenduari buruzkoak eta izotzak lehenago eta garai urrunetan izandako klima-aldaketaren aurrean duen arantzunaren inertiari buruzkoak.

Glaziarren bilakaera

Glaziarren izotz-bolumenaren bilakaerari buruzko neurketa-serieak oso laburrak dira oraindik, eta ez daude behar bezain ondo banatuta, azken urteetan izandako joeraren balantze kuantitatibo globala egin ahal izateko. Dena den, esan daiteke aztertutako ia glaziar guztiek atzerakada handi xamarra izan dutela XIX. mendearen erdialdetik aurrera.

Eskualdeka egindako azterketa xeheago baten arabera, Europan, Alpeetako eta Pirinioetako glaziarrek azken mila urteetako posizio aurreratuenara iritsi ziren XIX. mendearen erdialdera, Izotz Aro Txikiaren amaieran. Hamarkada hartatik aurrera, glaziar-mihiak atzera egiten hasi ziren berriro. Hala, egiaztu ahal izan da, 1860tik 200ra, Suitzako Alpeetako elur iraunkorren batez besteko kota 100 m inguru igo dela. Pirinioetan ere, mendiko glaziar txikiak txikituz joan dira, desagertu arte.

Azkenaldian, Europako joeraz aritzean, iparraldean eta hegoaldean gertatzen dena bereizten da. Hala, Norvegiako glaziarrek aurrerakada handia izan zuten 90eko hamarkadan. XXI. mendearen lehenengo urteetan, berriz, aldatu egin da joera hori. Norvegiako glaziar horietako bat Europako kontinenteko handiena da (Jostedalbreen), eta ia 500 Km²-ko hedadura da. Badirudi hazkunde hori lotuta dagoela prezipitazio handiagoak ekartzen dituen mendealdeko zirkulazio atmosferikoa indartzearekin.

Alaskan, berriz, glaziarrek atzera egin dute, oro har, XX. mendean. Alabaina, baina, paradoxa diruen arren, glaziar handienaren-Hunnard glaziarren- aurre-



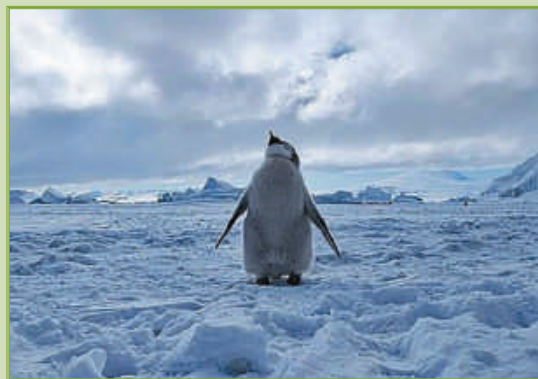
aldeak aurera egiteko joera agertzen du. Halaber, Kanadako mendirik altuenean ere, Logan mendian (6.050 m) -Alaskakko mugan, Ipar Pazifikoko ekaitzen bidearen iparraldeko muturrean- elur.piezipitazio handiagoak erregistratu dira 1950etik.

Andeetako mendikatean, glaziar gehienak atzera egiten ari dira, tenperaturak igotzearen ondorioz, agian. Hala ere, El Niñoren eta Ozeano Bareko tenperaturen zikloek modulatzten dute urtzaldia eremu batzuetan. Hegoaldean, Patagoniako Andeetan, Alaskako glaziarretan gertatzen denaren antzekoa da joera. Izan ere, oro har, glaziar guztiak atzerakada doazen arren, Argentinako Perito Moreno glaziar handia aurrera egiten ari da etengabe.

Zeelanda Berriko Franz-Josef glaziarra Hego hemisferioko glaziar garrantzitsuetako bat da, eta hark ere galdutako parte bat berreskuratu, eta bi kilometro egin zuen aurrera 90eko hamarkadan.

Tibeten eta Himalaia mendikatean glaziarrek atzera egin dute azken hamarkadetan, eta mendiko hainbat aintziraren mailak igoera nabarmena izandu, urtako urei esker. Ondorioz, belur dira, aintzira horiek gainezka eginez gero, uholde handiak qerta baitaitezke.

Mendi tropikaletako glaziar bakanei dagokienez, askotan, Kilimanjaroko elurrei buruzko berriak zabaltzen dira. Dirudienez, 1900 inguruan, elur horiek 12 km²-ko azalera



estaltzen zuten, ata, gaur egun, ozta-ozta iristen dira 2 km²-ra. Beraz, uste da urte gutxi barru erabat desagertu daitezkeela, latitudetropikaletako bete zenbait glaziar bezala. Adibidez, Peruko Quelccaya glaziarraren zundaketak garrantzi handikoak dira ikerketapaleoklimatiko tropikalaren arloan.

Etorkizuna

Nahiz eta zaila den iragarpen zehatzak egitea, IPPCren ereduak

adierazten dute, oro har, urtzeko joera dela nagusi, eta, datozten ehun urteetan, itsasoaren maila 30 cm inguru igoko dela aurreikusten da, mendiko glaziar horiek eta izotz-estalki txikiak urtzearen ondorioz. Hori horrela gertatzen bada, Tibet eskualdea eta Alaskako glaziarrak izango dira ur-e-maila handienak.

BESTE FENOMENO BATZUEN BILAKAERA: HEZETASUNA, HODEIAK, EURIA, LEHORTEAK ETA ZIKLOI TROPIKALAK

Hezetasun atmosferikoa

Oso gutxi ezagutzen dira, maila globalean, XX. mendean lurraren atmosferako hezetasunean izandako aldaketak, oso neurketa-serie gutxi daudelako. Gainera, lurruna ez da era homogeneoan banatzen espazioan, eta, ondorioz, are zailagoa da haren bilakaera globala enpirikoki kuantifikatzea.

Hezetasun-maximoa eremu ekuatorialetan erregistratzen da, eta minimoa goi-latituetan. Bat-batean aire-zutabe bateko hezetasun guztia kondentsatu eta forma likidoan prezipitazio baltitz, ozeano tropikaletan jasotako kantitatearen lodiera 60 mm ingurukoa litzateke, eta zirkulu polarretan 5 mm baino ez (basamortu lehorretakoa bezain baxua edo baxuagoa).

Beroarekin, handitu egiten da lurruntzen, baita aireak hezetasunari atxikitzeo daukan ahalmena ere. Hala,



edozein kausa dela medio, arearen tenperatura igotzen bada (eguzki-erradiazioa handitzeagatik, CO₂-a ugaritzeagatik...), handitu egiten da atmosferako lurrun-kontzentrazioa ere, eta ondorioz, hasierako berotzea areagotzen da, feedback positiboko mekanismo baten bidez.

Kalkuluen arabera, hezetasun erlatiboa konstante mantentzen bada, lurrunaren aireko hezetasun absolutua % 6-8 handitzen da, atmosferaren temperatura globala igotzen den gradu bakoitzeko. Hori horrela bada, XX. mendean, lurrunkantitatea %3-4 handitu dela kalkulatu da, eta eredu arabera, XXI. mendearen amaierarako %20 handituko da behe-troposferan eta % 100 goi-troposferan.

Lurrina da Lurraren atmosferako berotegi-gas nagusia. Berotze-efektu naturalaren %60 baino gehiago lurrinak sortzen du, batez beste (33 °C inguru), lurreko erradiazio infragorriak oso modu eraginkorrean baititu lurrinak hianbat uhin-luzeratan. Horregatik, satelite bidez ozeanoen gainean egindako neurketek erakusten dute, leku askotan, lotura handia dagoela behe-atmosfera-ko airearen tenperaturaren eta aire horren lurrundu-dukaren artean. Hau da, zenbat eta tenperatura handiagoa, orduan eta hezetasun-eduki handiagoa, eta alderantziz.

Lurrunaren kontzentrazioaren bilakaera zehaztea konplexua izateaz gain, atmosferako maila desberdinetako hezetasunaren gorabehera da eredu klimatikoen beste inkognita handietako bat. Garrantzitsua da aldagai horrekin asmatzea, zeren jakina baita lurrunak klima-aldaketan -eta bereziki erradiazio-fluxuetan- duen eginkizuna bi gauzaren mende dagoela: aire-zutabearen duen kontzentrazio integralaren mende, batetik, baina baita banaketa bertikalaren mende ere. Lurrunaren bilakaera eta efektuak ezagutzea zaila bada, are zailagoa da ur atmosferikoaren kondentsazioarenak -alegia, hodeienak- ezagutzea. Horiei buruzko arituko gara ondoren.

Hodeiak

Hodeien efektu erradioaktiboak eta termikoak

Hodeiek era desberdinetan eta batzuetan, elkarren aurkako ondorioekin eragiten diete eguzki- eta lur-energiaren fluxuei.



Eguzki-erradiazioaren kasuan, efektu islatzailea eragiten dute (energia-galera) eta, lur-erradiazioaren kasuan, berotegi-efektua (energia-atxikipena). Bi ondorio hiriek hainbat faktoreren mende daude: tanten tamaina, hodeien dentsitatea, lodiera, altuera, temperatura...

Planetaren azal osoa kontuan hartuta, pentsatzen da hodeien efektu gordina hoztearena dela. Hodeiak dituzten eta hodeirik ez duten zeruen eguzki-eradizo islatuaren arteko diferentzietatik abiatuta, ondorioztatzen da, hodeiek %15 handitzen dutela planetaren albedoa (islatkortasun globala), eta horrek 50 W/m²-ko galera esan nahi duela. Hori konpentsatzeko, hodeiek atxikitzen duten irteerako erradiazio infragorriak 30 W/m²-ko irabazia edo berotegi-efektua eragiten duela kalkulatzen da. Beraz, azken erradiazio-behartzeara negatiboa da: -20 W/m².

Baina, hodei-estalkiak aldakortasun handia du eta hodeien mikrofisikari buruzko alderdi asko ez dira ezagutzen. Ondorioz, zifra hori oso zalentzakoa da, eta, beraz, hodeiak eredu klimatikoetan sartzea arazotsua da oraindik, eta eten-gabeko aldaketen mende dago. Izatez, 19 ereduri buruzko

azterketa baten arabera, horietako hamabi inguru oso urrun daude zifra horretatik, eta hodeiei -30 W/m^2 -tik gorako hoztea egozten diete.

Bestalde, hodeien erradiazio-efektua oso desberdina da planetako eskualde batzuetan eta besteetan. Xurgatutako eta islatutako eguzki-energiaren ehunekoen banaketa asko aldatzen da hodei-motaren, latitudearen eta urtaroren arabera. Adibidez, Afrikaren mendebaldeko eta Hego Amerikako eskualde ozeaniko tro-

pikalak estratukumulu-geruza baxuekin estalita egoten dira, maiz, eta hodei horiek 100 W/m²-ko murrizketa garbia eragin dezakete gainazalean. Aitzitik, batzuetan, basamortu tropikalak estaltzen dituzten zirru altu eta meheek 25 W/m²-ko hazkunde garbia eragin ohi dute. Latitude ertainetan, hodei-fronteekin lotutako depresio sakonek hozte-efektua sortzen dute, albedoa oso handia izateagatik. Eskualde polarretan, aldiz, hodei-estalkiak berotze-efektua eragiten du, zeren, berotegi-efektuaz gainera, hodeiek albedo txikiagoa dute hodeirik gabeko eta elurrez estalitako lurrazalek baino.

Planetaren azalera heltzen den erradiazioaren balantzeari dagokionez, satelite bidez egindako neurketen kalkuluek diote hodeiek berotze txiki bat sortzen dutela tropikoetan, hozte nabarmena latitude ertainetan eta, berriro, berotze txiki bat goi-latitudeetan.

Halaber, komeni da argitzea, globalki hodeiek hoztu egiten duten arren, egunez eta gauez efektu termiko desberdina eragiten dutela planetaren azalean. oro har, hodeiek egunak hoztu eta gauek berotu egiten dituzte, eta, beraz, eguneko maximoen eta gaueko minimoen arteko oszilazio termikoak murrizten dituzte. Dorre Bikiak eraitsi ondorengo hiru egunetan berretsi ahal izan zen hodeiek eguneko oszilazio termikoan duten eragina, egun haietan, hegazkinek debekatua baitzuten Estatu Batuen gainean hegan egitea. Hala, egun haietan, eguneko oszilazio termikoa 1 °C-tik gora handitu zen. Hegazkinek kondentsazio-prozesuak errazteko uzten dituzten lorratzak desagertzea izan daiteke horren kasua.

Hodei-motak

Kirchoff-en legearen arabera, erradiazioa xurgatzen duen objektu oro erradiazio-igorle da, aldi berean. Beraz, hodeiek ere igortzen dute erradiazioa, beherantz eta gorantz. Igortzen duten erradiazioa T₄ balioarekiko proportzionala da, Stefan-



Boltzmann-en legearen arabera. Zenbat eta gorago airearen tenperatura baxuagoa denez, hodeiak hotzago egoten dira ia beti beheko luraren azala baino. Ondorioz, hodei-estalki baten gainak gorantz igortzen duen -eta espaziorantz ihes uzten duen- erradiazio infragorria txikiagoa da beti, luraren azalak igorri eta hodei-estalki horrek atmosferan atxikitzen duen erradiazioa baino. Horixe da hodeiek sortzen duten berotegi-efektu indartsuaren funtsa. Xurgatutako energiaren parte bat beherantz itzultzeaz gain, aurrez xurgatutako erradiazio infragorri lurterra baino energia gutxiagori uzten diote gorantz ihes egiten beti. Baina hodei guztiek ez dute portaera bera. Beroago dauden hodeiek hotzago daudenek baino erradiazio gehiago igortzen dute. Zenbat eta gorago airea hotzagoa denez, behe-hodeiek erradiazio gehiago igortzen dute goi-hodeiek baino.

Zirruak

Oro har, izitz zeharrargizko kristaltxoak osatutako zirru altu, mehe eta oso hotzek eguzki-erradiazio sakor asko pasarazten dutela uste da (albedo txikia), baina aldi berean, lurretik heltzen zaien energiarn zati handi bat harrapatzen dute, zeren, tenperatura hotzak direla eta, oso energia gutxi igortzen edo askatzen baitute espaziorantz. Beraz, energia ematen diote troposferari, eragiten duten albedo-efektua berotegi-efektua baino txikiagoa delako. Ez dira berdinak, ordea, zirru guztiak. Ramanathan-ek dio -El Niño fenomenoaren garaian Ozeano Barean gertatzen denari buruz egindako ikerketetan oinarrituta- tropikoetako hodei termostato-funtzioa betetzen dutela, eta horrek berotzearen aurkaegin dezakeela. Teoria horren arabera -beste modelista batzuek baztertu egiten dute-, ozeanoaren gainazaleko tenperaturak ezin dira igo muga jakin batetik gora. Izan ere, tenperatura altuek konbekzioa handiarazten dute eta izotzeko zirruak lodiarazten dituzte, eta, orduan, horiek zeharrargiak izateari uzten diote eta oso islatzaileak bihurtzen

dira. Zirru horiek ingude-itxurakoak dira, eta kumulu tropikalen gainean eratzen dira. Zirru zeharrargiek ez bezala, zirru lodi horiek eguzki-erradiazioarekiko opakua den hodei-geruza zabal bat eratzen dute. Hodei horiek oso eremu zabala estaltzen dute, eta hozte-efektua edo tenperaturei eusteko efektua eragiten dute ozeanoaren gainazalean.

Bestalde, laborategietan egindako saiakuntzek erakusten dutenez, amonio-sulfatozko aerosolek; -nekazaritza-jardueretan dute jatorria- nahiko garrantzi handia izan dezakete zirruen eraketan, lurrunaren bidez izotz-kristalak eratzen baitituzte. Hala eta guztiz ere, nahiko tamaina handia izatera irits daitezkeen kristal horiek ezkarago sedimentatzen dira eta airea lehortzen dute. Ondorioz, berotegi-efektua murriztu egiten da.

Behe-geruzak

Itsas eremu zabalak estaltzen dituzten behe-geruza zuriek eguzki-energia kantitate handia islatzen dute gorantz, eta, gainera, lurreko erradiazio infragorri gutxi atxikitzen dute. Izan ere, hodei horien gaina oso behean dagoenez, espaziora iriten den igorpen-gainazala tenperatura altuan egoten da eta, hala, energia asko igortzen dute gorantz. Hodei horiek 15 W/m²-ko hozte-efektua eragiten dute gainazalean.

Kumuluak

Hodei kumuliformeen ondorioak ez dira hain ezagunak. Hala, ez dira ondo ezagutzen hodei horiek energia xugatzeko, isla-



tzeko eta igotzeko dituzten ehunekoak. Hodeien ezaugarri fisikoek (lodiera, dentsitatea eta maila desberdinetako tenperatura) eragin nabarmenaa dute ehuneko horietan.

Hodeiak eta erradiazio kosmikoa

Izpi kosmiko galaktikoak oso partikula energetikoak dira -gehienetan protoiak-, eta galaxiako supernobetan sortzen dira, gure eguzki-sistematik kanpo. Baliteke lurreko atmosferan sartzen den erradiazio kosmikoa -prozesu ionizatzaileen bidez- aireko kondentsazio-nukleoak handitzen laguntzea eta, ondorioz, hodei gehiago sorraraztea. Henrik Svensmark-ek Danimarkako Espazioko Zentro Nazionalean zuzendutako saiakuntza berri batek prozesu hori simulatzea lortu du.

Jakina denez, eguzki-haizearen intentsitatea handitzean -eguzki-haizea ere partikula ionizatuekin osatutako fluxua da, partikula horiek energia gutxiagokoak izan arren-, erradiazio kosmikoaren sarrera murrizten da eguzki-sistema osoan, baita Lurreko atmosferan ere. Beraz, eguzki-haizeak planetarteko eremu magnetikoa aldarazten du, eta, beraz, beste izar batzuetatik datozen izpi kosmiko arrotzen sarrera baztertzeko ezkutu gisa jarduten du.

Eguzki-jarduera zenbat eta handiagoa izan, orduan eta txikiagoa da erradiazio kosmikoa, eta hodei gutxiago sortzen



dira. Eguzki-jarduera zenbat eta txikiagoa izan, aldiz, orduan eta handiagoa da erradiazio kosmikoa, eta hodei gehiago sortzen dira. Alde horretatik, satelite bidezko gailuen bidez egiaztatu ahal izan da Lurraren azaleko hodei-estalki osoa %65 eta % 68 artekoa dela 1979az geroztik. Behe-hodeiei dagokienez (3 Km-ko altuera arte), badirudi aldaketa horiek lotura dutela erradiazio kosmikoak. Lurrean duen intzidentziaren aldaketekin.

Eguzki-haizeak eragina du Lurreko jarduera geomagnetikoan. Bestalde, eguzki-haizearen intentsitateak goranzko joera agertu zuen joan den mendean. Horrekin batera, erradiazio kosmiko galaktikoaren intzidentziak behera egin du, eta behe-hodei gutxiago sortu dira. Teoria horren arabera, faktore horiek eragina izan dute Lurraren azaleko tenperaturen igoeran. Friis-Christensen-en gidaritzapean aritutako ikertzaile daniar batzuek korrelazio positibo bat aurkitu dute eguzki-zikloen iraupenaren eta XX. mendeko tenperaturen artean. Ikerketa horren arabera, eguzki-ziklo laburreko aldietan Lurraren azaleko batez besteko tenperaturak gora egiten du, eta zikloak luzatzen direnean, berriz, jaitsi. Zikloak laburrak direnean, Eguzkia aegoten da; distiratsuago. Eguzki-haize gehiago eta hodei gutxiago izaten dira, eta, ondorioz, Lurraren azala berotu egiten da.

Hala eta guztiz ere, hodeien eta izpi kosmikoen loturaren teoria hori ez da frogatu oraindik. Izan ere, hodei-kopuru globalaren satelite bidezko neurketek oso epealdi labirra hartzen dute, eta, adibidez, ez dira kontuan hartu hodeiek altueraren arabera eragiten dituzten ondorio termiko desberdinak. Halaber, goi-latituteetan erradiazio kosmikoaren sarreraren oszilazioa handiagoa den arren, ez dago argi latitude horietan hodeien eta erradiazioaren arteko korrelazioa zergatik den txikiagoa latitude ertainetan eta behe-latituteetan baino. Teoria berriago batek hodei-estalkiarekin lotzen du eguzki-



aldakortasuna, baina ez izpi kosmikoen intentsitatean induzitutako aldaketengatik, baizik eta ozono estratosferikoa sortzean duen eraginagatik. Hamaika urteko eguzki-zikloetan, ozonoa sortzen duten erradiazio ultramoreek nahiko aldaketa handiak izaten dituzte. Ozonoaren ekoizpen handiagoak edo txikiagoak eragina du estratosferaren berotzean, eta, zeharka, berotze horrek zirkulazio troposferikoari eragiten dio. Hala, diotenez, zirkulazio horrek aldarazten du hodei-kopurua, eta horrek azaltzen ditu eguzki-aldakortasunaren eta hodei-geruzaren hedaduraren arteko korrelazio handiak, adibidez, Estatu Batuetan.

Hodei-estalki globalaren bilakaera

Hodeiek Lurraren azalaren %65-68 estaltzen dute gutxi gora-behera. Ehuneko hori aldatu egiten da tenperaturaren, hezetasunaren eta aireko kondentsazio-nukleoen arabera. Hodeietako ur-tantak nukleo horiek daudenean eratzen dira beti. Horregatik, aerosol natural eta antropiko guztiek eta eguzki-erradiazioarekin eta kosmikoarekin lotutako partikula ionizatu guztiek eragin zuzena dute Lurreko hodei-estalkiaren aldaketetan. Adibidez, partikula lurrunkorrek eragindako poluzioak beheko eta erdiko hodeiak ugaritzen ditu konurbazio handien gainean, eta aietiko zirkulazioa handitzeak zirru altu eta zeharrargiak ugariatzen ditu eskualde batzuen gainean.

Hodei-estalkiaren bilakaera, norabidea eta etorkizun hurbileko kliman izango duen eragina dira eredu informatikoen inkognitarik handiena. Oraingoz dakigun ia gauza bakarra da, gorteko mododin karta baten gisan, faktore horrek eragin handia izango duela. Aireko "zikintasunaren" kantitateaz edo kondentsazio-nukleoez gain, atmosferako zirkulazio orokorraren aldaketek ere aldatu dezakete hodei-estalkia. Hala, hodei gehiago egoten da airearen mugimendu konbergenteak eta goranzko mugimenduak nagusitzen diren lekuetan, eta gutxiago aireak beherantz egiten duen eta mugimendua dibergentea den lekuetan. Beraz, atmosferaren zirkulazio orokorreko



aldaketek -behe-presioko eremuen (haizeen konbergentzia) eta presio altuko eremuen (haizeen dibergentzia) hedadura eta intentsitatea aldatzen dutenak- hodei-estalkia ere alda dezakete maila globalean.

1960tik 80ko hamarkadaren amaiera arte, hodei-estalkia ia kontinente guztietan handitu zela uste da. Maila globalean, munduko estazioen % 86k hodei-estalkiaren hazkundea adierazi zuten. Kalkuluen arabera, epealdi horretan, hodei-estalkia % 10 handitu zen Estatu Batuetan eta % 5 Europan. Hala, fenomeno hori dela-eta sortu zen "ilunaldi globala" terminoa. Dirudienez, batez ere, eskualde urbanizatueta gertatu zen ilunaldi hori. Gainazaleko eguzki-erradiazioa 6 W/m2 baino gehiago murriztu zela, eta, ondorioz, lurreko albedo % 2 handitu zela kalkulatu da.

1960 eta 1987 arteko ilunaldi horrek tenperatura hoztu egin behar zuen, baina, aldiz, termometro-sareak 0,4 °C-ko berotze globala erregistratu zuen urte horien artean. Kontraesan horri azalpen bat eman nahian, pensatzen da kontinenteen lurruntzea murriztu egin zela, eta, hala, lurzorua bere gutxiago galtzen zuenez, igo egin zela lurzorua eta gainazaaleko airearen tenperatura. Hodei-estalkia handitzearekin batera, behera egin zuen egunez eta gauen arteko oszilazio termikoak, oro har, tenperatura minimoak maximoak baino gehiago igo zirelako.



Hala ere, baditudi joera aldatu egin dela azken hamarkadetan. 1987az geroztik, hodei-estalkiaren bilakaera konplexuagoa bihurtu da. ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) satelite-proiektuaren arabera, 1987-2001 epealdian, hodei-estalkia % 4 murriztu zen maila globalean. Murrizketa horren erdia behe-hodeien murrizketari dagokio eta beste erdia erdiko eta goiko hodeien murrizketari. Dena den, 2001 eta 2004 artean, % 2 handitu zen berriro. Bestalde, 1990-2003 epealdiari buruzko satelite bidezko beste azterketa batek ez du inolako joera argirik adierazten Europan. Txinan azken hamarkadetan egindako behaketa-serieek adierazten dute hodei-estalkia murriztu egin dela ia eskualde guztietan.

Euria

Euria eta elurra neurtzea askoz ere zailagoa da tenperaturak neurtzea baino, eta, era berean, akats edo hutsune estalistikoak egonez gero, neurketa horiek zailagoak dira zuzentzen. Prezipitazioaren intentsitatea asko aldatzen da espazioaren arabera, eta, munduko eskualde askotan, neurketa gutxi egiten dira. Halaber, ez da ezagutzen azken mendeko joera. Izan ere, kontinente-azalera osoaren % 30ean naizkarrik daude 1970etik aurrerako prezipitazioei buruzko baliozko serieak. Edonola ere, zenbait azterketaren arabera, XX. mendearen bigarren erdian -1950 eta 2000 artean- prezipitazio globalen urteko batezbes-



tekoa 800 mm ingurukoa izan zen kontinenteetan. Beraz hileko batezbesteko globala 65 mm ingurukoa da.

Oro har, udan egiten du euri gehien (Mediterraneoko klima da salbuespena). Horregatik ageri dira igoera eta jaitsiera horiek grafikoan, alegia. udako hilabeteetako balio handienak eta neguko hilabeteetako balio txikienak adierazten dituelako. Udako bero kontinentalak behe-presioak eragiten ditu, eta presio horiek itsasoko aire hezea erakartzen dute lur barrura. Eurite handienak montzoiek ekartzen dituzte. Udako haize horiek Asiaren hegoaldeari, Sahararen hegoaldeari eta Ipar Anerikari eragiten diote. Itsasotik urrun dauden klima kontinentalako beste eskualde batzuetan, garapen bertikaleko hodeiak eragiten ditu beroak, ekaitzak eta prezipitazioak ekartzen dituztenak. Ipar hemisferioko lurren hedadura. Hego hemisferiokoa baino handiagoa denez, Ipar hemisferioko udako hilabeteek markatzen dituzten maximo globalak.

Teorikoki, ereduek kalkulatzeko dute ezen, tenperatura globala igotzen den gradu bakoitzeko, prezipitazioek % 3 inguru ugartu behar dutela, beroarekin lurruntze-prezipitazioaren ziklo hidrologikoa indartzen baita. Hala eta guztiz ere, orain arte, prezipitazio globalak ez du adierazten inolako joera zehatzik.

National Climatic Data Center arabera, Estatu Batuetako prezipitazioen urteko batezbestekoa estatistikoki garrantzitsua den goranzko joera adierazten du (58 mm mendeko).

Indian, aldiz, ez dirudi montzoi-euriek joera garbirik agertzen dutenik. Montzoi-eskualde osoaren indize orokorrak ere ez du joera zehatzik adierazten 1980tik 2005era. Aurreko hamarkadetan, aldiz, beheranzko joera adierazi zuten. Pakistanen iparraldean, zenbait zuhaitzen eratzunetan egindako oxigeno-18aren azterketak adierazten duenez, XX. mendea azken



milurtekoko euritsuena izan da. Patagonian eta Australian, prezipitazioak asko ugartu dira azken hamarkadetan. Erdialdeko European, berriz, duela ia mila urtetik Elba eta Oder ibaie-tan gertatzen diren uholde-urei buruzko azterketen arabera, ez da joera-aldaketarik izan komunikabideek kontrakoa badiote ere. Espainian, batez besteko prezipitazioak 680 mm-koak dira, baina, urtez urteko aldakortasun handia dela-eta, ezinezkoa da joera argi bat ondoioztatzea, kalkuluak oso desberdinak baitira aukeraturako epealdiaren arabera. Meteoroloia

Institutu Nazionalak argitaratutako 1947-2005 epealdiko Espainiako prezipitazioei buruzko grafikoan lehorte handiko urteak agertzen dira, bai eta urte oso euritsuak ere. Alabaina XX. mendearen bigarren erdiko azterketa estatistiko baten arabera, udaberriko euriek murriztu egin dira, kasu horretan ere, aldakortasun-koefizienteak oso handiak diren arren.

Lehorteak

Ziklo hidrologikoaren balantze globalean, urtean 45.000 km³ lurrin garraiatzen da (garraio garbia) ozeanoetatik kontinenteetara. Prezipitatu ondoren, ibaiek itsasora itzultzen dute ur hori. Berotze globala egiaztatuz gero, ziklo hidrologikoa areagotu egingo da. Izan ere, ozeanoen lurruntze handiagoaren eraginez, kontinenteetako hezetasun-ekarpenak handitu egiten dira, eta hezetasun hori handiagoa da lur kontinentalen ebapotranspirazioaren gehikuntza baino. Hala, kontinenteetako lehortasuna murriztu egiten da maila globalean. Klimaren historiak erakusten, duenez, klima beroagoak lehorteak gutxitzen ditu. Dena den, oraingoz, munduko



eskualde handietako lehorteak eta euriteak behatzen dituen Palmer indizearen arabera, alde handia dago hamarkada batzuetatik besteetara, baina, maila globalean, ez da nabaritzen joera nabarmenik.

Estatu Batuetan, lehorteak maiztasuna eta gogortasuna txikitu egin da XX. mendean. Halaber, Txinako eremu lehor batzuetan, badirudi idortasuna gutxitu egin dela XX. mendeko azken bi hamarkadetan. Landaretzaren bilakaerari buruzko satelite bidezko irudiek gehikuntza adierazten dute. Gizakiak basoberritze handiak egin ditu, eta, horri esker, higadura asko murriztu da azken urteetan. Alde horretatik, azken azterketek adierazten dute, Txinaren iparraldean, landare-estaldura handiagoari esker, basamortuko harea-ekaitzen maiztasuna murriztu egin dela azken hogei urteetan. Palmer indizeak, 1950-2000 epealdiko hileko tenperatura eta prezipitazioen bidez kalkulatuak, ez du Txina osorako joera argirik adierazten, nahiz eta iparraldeko eskualde idor batzuetan lehorteak ugartu egin direla ematen duen.

Badirudi ibaien emaria gehiago handitu dela prezipitazioak baino, Horrek adieraziko luke lurzorua heztasuna handitu egin dela, eta, beraz, maila globalean indortasuna murriztu izanaren adierazlea izan daiteke hori. Landaretzaren ebapotransporazio txikiagoak ere eragin dezake hezetasunaren gehikuntza. Izan ere, aireko CO₂-aren kontzentrazioa handitzean, hostoen estomak itxi egiten dira, neurri batean, eta, ondorioz, lurrundutako ura galtzea galarazten dute.

Afrikako Sahel zerrendan, Sahararen hegoaldean, zailagoa da joera zehaztea. XX. mendearen bigarren erdian idortasu-



na asko handitu zen eskualde horretan, prezipitazioak gutxitzearen eraginez (batez ere, 60ko hamarkadan handitu zen, eta 70eko eta 80eko hamarkadetan iritsi zen idortasuna maila handienara). Badirudi azken urteetan aldatu egin dela joera hori, eta prezipitazioak ugartu egin direla. Sahararen hegoaldeko zerrenda estu bat hartzen du Sahel lurraldeak. Iparraldean, 18° V inguruan, basamortuarekin egiten du muga eta, hegoaldean, sabanarekin eta oihan tropikalarekin 15° N inguruan. Tropiko arteko konbergentzia-eremuaren (ITCZ) iparraldea oszilazioaren arabera klima du. Udan, ITCZk iparraldera egiten duenean,

hego-ekialdeko montzoia nagusitzen da eskualdean, eta euri-garai labur bat indar handikoa, batzuetan ekartzen du. Ondoren, ITCZ hegoaldera joaten denean, hilabete idorrek iristen dira, eta basamortutik -alegia, iparraldetik datoren haizea nagusitzen da. Saharak XXI. mendean izan dezakeen bilakaerari buruzko eredu informatikoen arabera, basamortuaren hedadura txikitu egingo da. Hain zuzen, hegoaldeko zatian iparraldera egingo duela aurreikusten da, eta atzerakada hori handiagoa izango da, iparraldeko zatian, iparralderantz egingo duen aurrerakada baino. Hala, berotzea handiagoa izango da kontinentean ozeanoan baino, eta, ondorioz, Afrikako udako montzoia indartu eta Sahel-eko prezipitazioak ugartuko dira.



Zikloi tropikalak

Azken 50 urteetan, ez da aldaketa garrantzitsurik izan ozeano guztietako urakanen maiztasunean. Halaber, oso zaila da intentsitate handieneko urakanen urteko maiztasunean aldaketarik izan den zehaztea. Saffir-Simpson eskalaren arabera, 3-5 kategoriako urakanak dira intentsitate handienekoak (965 mb-tik beherako presioa, 50 m/s-tik gorako abiadurako haize iraunkorrak eta 3 m-tik gorako olatuak).

Atlantikoan, 50eko hamarkada izan zen gogorrena alde horretatik (39 urakan indartsu izan ziren), baina zaila edo ezinezkoa da lehenago ere kopuru hori gaintitu ez zenik ziurtatzea, urakanak ez baitziren berdin ebaluatzen. Beste ozeanoen kasuan, arazoa are handiago da. Adibidez, ezagutzen den

zikloi tropikalik handiena Bangladeshen gertatu zen 1970eko azaroan, eta 300.000-500.000 hildako eragin zituen. Hala eta guztiz ere, ez zen zikloi haren indarraren neurketarik egin. Azken urteetan -1997 eta 2002 urteetan, hau da, El Niño fenomenoaren urteetan, izan ezik- ohi baino urakan indartsu gehiago izan dira Atlantikoan (bereziki, 2005ean), baina ez Ozeano Barean eta Indiako Ozeanoan. Areago, 1957tik 2004ra Txinan izandako tifoien maiztasunari buruzko azterketa batek murrizteko joera adierazten du.

Urakan gehiago edo gutxiago izatearen kasuak ezezagunak dira. Udan, faktore hauek eragiten dute, besteak beste: itsaso tropikalaren gainazaleko tenperatura, Afrikako Sahel eskualdearen mendebaldeko zatiko jarduera konbektiboa, estratosferako



zirkulazio atmosferiko tropikalaren oszilazioa, Ozeano Bareko zirkulazioaren oszilazioa... Gainera, baliteke urakanen maiztasun handiagoak edo txikiagoak alderantzizko lotura izatea NAO indizearen bilakaerarekin. Era berean, badirudi Atlantikoan urakan gutxiago izaten dela El Niño fenomenoaren gertatzen den urteetan. Zenbaiten ustez, 2006an urakan gutxi izan ziren, ozeanoan Saharako hauts asko zegoelako. Hori dela eta, ez dago argi oraindik planeta berotzeagatik urakan gehiago izango direnik etorkizun hurbilean. Alde batetik, urakanak ura 26 °C baino beroago dagoen

eskualde ozeanikoetan bakarrik izaten direnez, badirudi, etorkizunean, tenperatura horretako ozeano-eremuak handitzen badira, urakan gehiago izango direla. Baina, aldi berean, klima beroagoa izatean, troposferako goiko mailetan gehiago igoko litzateke tenperatura beheko mailetan baino, eta, beraz, gradiente termiko bertikala murriztuko litzateke. Eta horrek zaildu egingo luke zikloi tropikalaren genesis, zikloien indarra gradiente horren arabera baita, neurri handi batean.

Bestalde, itsasoko uraren lurrunte-intentsitatea -zeinak, kondentsatzean, airera transmititzen baitu energia- ez dago uraren tenperaturaren baitan bakarrik, baizik baita, aurrez, atmosferak duen hezetasunaren baitan ere, eta faktore horren bariazioa ezezaguna da. Halaber, ez dakigu zer bilakaera izango duen zizailadura bertikalaren faktoreak ere. Faktore hori zenbat eta handiagoa izan, are eta zailagoa da urakanak sortzea. Zizailadura gertatzen da haizearen abiadura edo norabidea desberdina denean gainazalean eta zikloien goiko mailan.

Beraz, ez dakigu tenperatura tropikalaren balizko igoerak zer neurritan eragingo dion urakanen maiztasunari eta indarrari. Zenbait autoreren ustez, handitu egin da urakanen indarra azken 40 urteetan, agian, udako ur tropikalaren berotzearen eraginez. Baina ACE (Accumulated Cyclone Energy) indizearen joerari buruzko azterketa berri baten arabera, azken urteetan (1986-2005), naita globalean, energia hori gehitu beharrean, gutxitu egin da pixka bat.



ZIRKULAZIO ATMOSFERIKOAREN ETA OZEANIKOAREN ALDAKETAK

Estratosfera

Azken hamarkadetan gehikuntza handia izan da estratosferako karbono dioxidoaren edukian ezezik, baita metanoaren deskonposizioetik datorren lurrunean ere. 1960tik 90eko hamarkadaren erdialdera arte %20 eta %50 arteko gehikuntza izan da, hain zuzen. Karbono dioxidoak eta ur-larrunak berotegi-gas modura jarduten dute troposferan, eta estratosfera hozteko joera dute. Eta, zeharka, ozonoa murrizten lagun dezakete. Izan ere, hotza areagotu eta hezetasuna handitzen bada, hodei polar estratosferiko gehiago sortzen dira, eta hodei horien barruan ozonoa suntsitzen duten erreakzioak gertatzen dira. Azkenik, ozeano estratosferikoa -zeina estratosferarik iristen diren erradiazio ultramoreen xurgatzaile ona baita- murrizteak ere hoztea areagotzen du. 1993az, geroztik, estratosferak anomalia termiko negatibo argia erakusten du.

Aldaketa kimioko eta fisiko horien ondorioz, litekeena da aldaketak gertatzea haize estratosferikoaren zirkulazioan, zeintzuk eragin handis baitute troposferan. Zurrumbilo polar antartikoa hozteak haize zirkunpolar estratosferikoaren fluxua handituko luke, eta horrek, ziur aski, eragina izango luke Hego hemisferioko goi-latitudeetako zirkulazio troposferikoan. Ipar hemisferioko goi-latitudeetan ere antzeko zerbait gerta liteke etorkizunean. NAO indizeari buruzko hurrengo atalean sakonago aztertuko dugu gaia.

Ipar Atlantikoko oszilazioa

Haize troposferikoaren zirkulazioari dagokionez, besteak beste,



latitude ertainetako mendebaldeko haize-multzoiari eragiten dion oszilazioa hartzen da kontuan, kliman duen eraginagatik. Mendebaldeko haize-fluxuaren (westerlies) indar eta zonalitate handiago edo txikiagoak izugarritzko eragina du Eurasiako latitude ertainetako eta goi-latitudeetako tenperaturetan. Haizeak zenbat eta zonalagoak izan, hau da, westerlies haizeak zenbat eta gehiago mugitu mendebaldetik ekialdera uhinik edo sigi-sagarik egin gabe, orduan eta barrurago sartzen da eragin atlantikoa Eurasian, eta neguak ez dira izaten hain hotzak kontinentearen barnealdean. Aitzitik, fluxuak uhin gehiago dituenan, haizeak ere ahulagoak izaten dira, eta Atlantikoaren eragin leungarria askoz gutxiago nabaritzen da kontinentearen barnean. Orduan, Siberiako antizikloien masa egonkorra finkatu egiten da, eta neguak oso hotzak izan daitezke.

Westerlies haizeek bereziki neguko hilabeteetan (abendutik martxora) izaten duten indar- eta zonalitate-aldakortasuna bat etortzen da Azkoreetako antizikloien goi-presioaren eta Islandiako behe-presioaren arteko presio-gradiente latitudinalan izaten aldaketekin. Hala NAO (North Atlantic Oscillation)

deitzen zaie bi zona horien arteko besteko presio-diferentzia izaten diren anomaliak. Zehazki, Ponta Delgada-ko (Azoreak) eta Stykkisholmur-eko (Islandia) presioen arteko -edoaldaketa txiki batekin, Lisboako (Portugal) eta Stykkisholmur-eko (Islandia) presioen arteko diferentzietan gertatzen diren anomaliak definitzen dute NAO indizea. Diferentzia ohi baino handiaagoa denean, NAO indizea positiboa izaten da, eta mendebaldeko haizeak indartsuagoak. Diferentzia txikia denean, berriz, NAO indizea negatiboa izaten da, eta mendebaldeko haizeak ahulagoak. Gibraltarren eta Islandiaren arteko presio-diferentziak ere erabili izan dira, inoiz, NAO indizea definitzeko, 1823ra arteko serieak baitaude. Hemisferioei dagokienez, Ipar



Amerikan, AO (Artic Oscillation) indizea erabiltzen da, zeina Artikoko behe-presioen eta eskualde subtropikaletako goi-presioen arteko diferentzietan oinarritzen baita. AO indizeak Ipar Atlantikoko Oszilazioa (NAO) ere barnean hartzen du. Adibidez, badirudi lotura bat dagoela AO indize positiboaren eta Estatu Batuetako ipar-ekialdeko ekaitz gogorren maiztasunaren artean. Horrek esan nahi du NAO indize altuak -mendebaldeko haize atlantikoaren zonalitate handiak ekartzen duen Europako neguan berotzea lotuta dagoela Amerikako ipar-ekialdeko maiztasun handiko eta, batzuetan, prezipitazio handiak sortzen dituzten ekaitz indartsuen aldiekin. Eskualde horretako zenbait aintziratako sedimentuetatik ondorioztatzen denez, Holozenoan, AO indizea modu zikloan aldatu zen, 3.000 urte inguruko oszilazio-periodoekin.

Alditu batzuen ustez, NAO indizearen balioek ziklikoki fluktuatzen dute hamarkada batzuetako aldietan eta fluktuazio horiek hamarkaden barruko aldaketei gainjartzen zaizkie. Hala, adituen arabera, aldaketa horiek eragin handia dute Iparaldeko Itsasoetan sartzen den ur atlantiko epel eta gaziagoaren kantidadean, eta, aldi berean, kantidad horrek eragin handia du, bate-tik, izotz-bankisa artikoaren lodieraren aldaketetan eta, bestetik, Ipar Atlantikoko zirkulazio ozeaniko termohalinoan. Gainera, NAO indizea positiboa denean, Artikoaren erdialdeko gainazaleko goi-presioa ahuldu egiten da. Indize negatiboarekin, berriz, aurkakoa gertatzen da. Aldaketa horrek eragin handia Poloan zeharreko jitoa itsaslasterraren mugimenduan eta, ondorioz, ozeano horretako izotzaren banaketan. Halaber, baliteke NAO indizearen aldaketek zerikusia izatea Ipar Atlantikoko zirkulazio ozeaniko termohalinoaren aldakete-kin. Azken 60 urteko korrelazio estadistikoetan oinarrituta, autore batzuek uste dute, azken batean, ozeano tropikaletako uraren tenperatura-aldaketek eragiten dituztela, batik bat, NAO



indizearen aldaketak.

NAO inditza positiboa denean, Eurasiako goi-latitudeetako aldaketa hidrologikoek Siberiako ibaien isurketa handiarazten dute. Hala, aldaketa horiek zirkulazio termohalinoan ahuldu dezakete, Artikoko eta Ipar Atlantikoko urak gezagoak bihurtzen baitira. Badirudi, XX. mendean, dezent handitu dela ibai horien isurketa (5 10 inguru). Baina zaila da joera horren kausa zehatzak zein diren jakitea, hau da, kausa naturalak ala gizakiak eragindakoak diren bereiztea. Aldiz, Kanadako arro artikoaren azterketa batek adierazten du ibai horien isurketak beherazko joera izan duela 1964-2003 epealdian.

Halaber, gerta daiteke NAO indizearen eta eurasiar kontinente-ko klimaren artean feedback-efektuak izatea. Adibidez, Siberian elur-estalki handiagoa egoteak NAO indize negatiboa eragin dezake. Siberiaren gaineko neguko airemasa da Ipar hemisferioko hotz eta trinkoena. Aire-masa horrek ezohiko hedadura du -elur-estalkia baino handiagoa-, eta hoztea areagotu eta antizikloi eurosiberiarra indartzen du. Ondorioz, eta Siberiaren hegoaldeko eta ekialdeko erliebeek hesi topografiko

gisa jarduten dutenez, kontinenteko aire-masa hotza antizikloitik irtenarazten da, eta Europarantz joaten da, edo, bestela, Artikotik Ipar Atlantikora. Gainera, azken kasu horretan, presio-eremua aldatzen du, Islandiako behe-presioa betetzearen ondorioz. Horrenbestez, jaitsi egiten da NAO indizea, eta horrek hotz handiagoa eragin dezake eurasiar kontinentearen barnean. Elur-estalkia txikiagoa den urteetan, berriz, aurkakoa gertatzen da: NAO indizeak gora egiten du.

Azkenik, oso litekeena da Ipar poloan eratzen den haize-bortizearen (PNJ, Polar Nigh Jet) intentsitatearen neguko aldakortasunaren ondorioz zirkulazio estratosferikoak troposferara transmititzea bere eragina, eta Oszilazio Artikoaren (AO) indarrean eta NAO indizeari eragitea. Alde horretatik, CO₂-aren gehikuntzaren ondorioz estratosfera hozteak bortize polarra areagotuko luke, eta PNJ indartuko. Hala, horrek eragina izango luke troposferan, eta NAO indizea igoko litzateke. Maoa isobarikoen azterketaren arabera, azken hamarkadetako negu borealetan, itsasoko presioa txikitu



egin da poloetan -iparraldean nahiz hegoaldean-, eta handitu latitude ertainetan. Antartikan, planetaren beste muturrean, berriz, bortizea indartzeak azalduko luke, batetik, azken hamarkadetan, haizeen eraztunaren barruko kontinente-eremuan izandako hoztea eta, bestetik, horren kanpoaldean dagoen Antartikako penintsularen berotzea. Udaberri australean ozonoa murriztu izana izan daiteke horren guztiaren kasua. Hala ere, azterketa berriagoen arabera, Antertikako bortizea -NAO indizearen antzekoa den AAOI (Antartic Oscillation Index) indizearen bidez kuantifikatzen da-azken urteetan bezain indartsua izan zen 1960ko hamarkadan, ozonoaren balizko murrizketa antropogenikoa oraindik hasi gabe zegoenean.

El Niño

El Niño fenomenoaren zehatz-mehatzi deskribatu eta jorratu da azken urte hauetan, eta labur-labur baizik ez dugu azalduko hemen. Ekialdeko Pazifikoko azaleko ur ozeaniko tropikala eta, bereziki, Ekuador, Peru eta Txileren iparraldeko itsasertza modu ezohikoan berotzea da El Niño fenomenoaren ezaugarria.

El Niño gertaera batean, alisioak -ekialdetik mendebaldera jo-tzen duten haizeak- desagertu egiten dira, eta kontrako norabideko haizeak nagusitzen. Itsasoan, nebebalde- etorritako kontrako itsaslasterratu ekuatorial batek ur beroa metatzen du zona horretan, eta itsoaren batez besteko maila dozenaka zentimetro batzuk igotzen da. Hego Amerikako kostaren aurrean. Azaleko uraren dentsitate txikiak galarazi egiten du zona horretan ur sakonak -hotzak eta elikagaiez aberatsak- azaleratzea, eta, arrazoi horregatik, fenomenoak kalte handia egiten dio arrantzari. Gainera, Humboldt itsaslasterratu hotzak iparralderantz egitea oztopatzen du.

Mendebaldeko Pazifikokoan, berriz, aurkakoa gertatzen da. Itsasoaren azaleko tenperatura jaitsi egiten da Indonesiako itsasoetan eta Australiaren iparraldean, eta itsasoaren mailak ia metro-erdia egiten du behera eremu batzuetan.

El niñoren anomalia ozeaniko termikoak presio-eremuko anomalia bat izaten du lagun. Horregatik, ENSO edo SOI (El Niño-Southern Oscillation) ere deitzen zaio E-Eguberri garaian agertzen zelako jarri zioten izen hori-, presio-gradientearen



mendebalde-ekialde inbertsioagatik. Mendebaldean, presioa handitu egiten da, eta ekialdean, murriztu, eta horrek Walker-en zirkulazioa aldatzen du. Gradiente barometrikoko berria lotuta dago haize alisioak aldi baterako gutxitzearekin edo desagertzearekin. Hego Amerikatik hurbilen dauden uretako konbekzio atmosferikoak -non ura ohi baino beroago baitago- mendebaldearen eta ekialdearen arteko tenperatura- eta presio-gradienteak txikitzen laguntzen du. ENSO indizea kuantifikatzeko, Australiako Darwin-en (normalean presio erlatibo txikiagoa) eta Tahiti-ren (normalean presio erlatibo handiagoa) arteko presio-gradientearen anomalia erabiltzen da. Baina badira beste indize batzuk El Niño gertatzen den hainbat eskualdetako tenperatura-aldaketak erabiltzen dituztenak, eta indize horiek gehiago erabiltzen dira gaur egun.

Alderdi hidrologikoari dagokionez, El Niño eurite handiak eragiten ditu Ekuadorko, Peruko eta Txileren iparraldeko kostaldean. Guayaquil hiririk hegoaldera dauden eskualde horiek oso indorrak dira normalean. Itsasoko azalerako urak ohi baino beroago egoten direnez, itsasoko ur asko lurruntzen da, eta horrek prezipitazioak areagotzen ditu. Bestalde, eremu horretan izaten diren behe-presioei esker, errazago sortzen dira ekaitzak. Aitzitik, Ozeano Barean beste aldean, euren tenperatura jaitsi eta presio atmosferikoa handitzean, lehortek izaten dira, Indonesiaren eta Australiaren iparraldean (eskualde horiek oso hezeak dira normalean).

Ozeano Bareko klimatogia aldatzeaz gain, El Niño fenomenoak nahikoa indar du munduko beste eskualde batzuetako klimatologian ere eragiteko, eta batez besteko tenperatura globala 0,5 °C igoaraz edo jaitsaraz dezake. Eta horrela gertatu zen 1997-1998an, El Niñok indar handiena izan zuen hilabeteetan. Ozeano Bare tropikaleko presio-eremuen aldaketek atmosferako zirkulazio-sistema orokorrari eragiten diote, eta, horrenbestez, El Niñok hainbat ondorio sortzen ditu zuzenean eragindako eskualdeaz kanpoko lekue-tan. Dena den, zenbat eta urrunago,



txikiagoak dira eragin horiek. Adibidez, lehorte ikaragarriak izaten dira Brasilgo ipar-ekialdean, eta lehortek gertatzeko joera indartzen da Estatu Batuetako hego-mendebaldean. Baina El Niño badu ondorio positiborik ere: adibidez, Atlantikoko urakanen maiztasuna txikitu egiten da.

El Niño ez da beti intentsitate eta maiztasun berarekin gertatzen (oro har, 4 eta 8 urte arteko maiztasuna izan dezake). Oraindik ez dakigu nola sortzen den, eta, halaber, ez dakigu giza-kiak zer eragin duen fenomenoaren sorreran. Hala ere, badijadi XX. mendearen bigarren erdian maiztasuna handitu egin zela. 1972-73, 1982-83, 1986-87 eta 1997-98 urteetako fenomenoak nabarmenak izan dira, baina goizegi da oraindik epe luzeko joerarik baieztatzeko.

Peruko arrantaleek jarri zioten El Niño izena XIX. mendearen, fenomeno Eguberri-egunaren inguruan hasten zelako. Argitalpen zientifikoetan, berriz, 1925ean hasi ziren izen hori erabiltzen, urte hartan, Schott ikerlari alemaniarrek hala deitu baitzion Galapago uharteetatik Ekuadorko kostaldera zihoan ur beroko ezo- hiko mugimenduari. Urte hartan, Peruko kostaldean izandako euriteek hainbesteko hondamena eragin zuen, mundu osoko prentsak aipatu baitzituen. Uraren tenperatura normalean baino 7 °C gehiago igo zen. Ezagunak dira 1891n izandako beste El Niño indartsu bati buruzko kontaketa ere.

Baina badira fenomenoari buruzko idatzizko erregistro historiko askoz zaharragoak ere, Europako lehenengo konkistatzaileetako batek jasotakoak. El Niño fenomenoak Pizarroren konkistari lagundu ziola esatera iritsi dira batzuk -agian, bi gertaerak aldi berean izan zirelako-, baina azterketa zehatzagoek ez dute horrelakorik uste. Azkenik, elurte handiko urteak zehazteko erabiltzen diren Andeatiko izotzen azterketak, sedimentu kontinental eta itsas sedimentuei buruzko azterketak eta koraleen urteko garapenari buruzko azterketak uren tenperaturarekin lotuz gero, are gehiago atzera daiteke denboran fenomenoaren maiztasunari buruzko ezagutza.



Zirkulazio ozeanikoa aldatzen ari da?

El Niñoren gertaera-zikloek, batez ere, ozeanoaren goiko zatia-ri eragiten diote; baina litekeena da mendeak edo milurtekoak irausten duten beste ziklo batzuk izatea, eta horiek sakoneko itsaslasterre- batez ere, Atlantikoei- eragitea. Wallace Broecker ozeanografoaren ustez,

Iparraldeko Itsasoetan eta Antartika inguratzen duten hegoaldeko itsasoetan -batez ere, Wedell itsasoan- sortzen den sakoneko ur atlantikoa aldatu egiten ziklikoki, eta, zikloaren arabera, iturri baten edo bestearen (iparraldekoa edo hegoaldekoa) emaria handitzen da. Broecker-en arabera, XX. mendean asko txikitu da hegoaldeko itsasoetako sakoneko uren ekoizpena, eta horrek esan nahi du -historikoki hala gertatu delako- Atlantikoaren iparraldeko sakoneko uren ekoizpena handitu dela. Horrek Gologoko itsaslasterra bultzatuko luke, eta, beraz, Ipar Atlantikoa berotuko litzateke. Fenomeno hori egiaztatuko balitz, Ipar hemisferioaren berotzea hobeto azalduko luke ziklo ozeaniko horrek berotegi-gasen gehikuntzak baino.

Hala eta guztiz ere, duela gutxi, kontrako hipotesia agertu da, hau da, zirkulazio termohalinoak indarra galdu duela. Hipotesi hori bat dator Ipar Atlantikoaren iparraldeko eremuen gazitasuna murriztearekin. Agian, 90eko hamarkadan eta mende honen hasieran NAO (North Atlantic Oscillation) indize atmosferikoak izandako zeinu positiboak Labrador itsasoko eta Iparraldeko Itsasoetako sakoneko urak gezatzen lagundu du. Izan ere, NAO edo AO indize positiboa bat etortzen da mendebaldeko haize indartsuagoekin, eta haize horiek izotz gehiago garraiatzen dute Artikotik Iparraldeko Itsasoetara, Fram itsasertetik. Izotza ur geza denez, Urtzean, itsasoaren azaleko uraren gazitasuna gutxitu egiten da, eta, ondorioz, gutxiago hondoratzen da eta zirkulazio termohalinoa ahultzen. Zenbait zenbatespenen arabera, 1965 eta 1995 artean, Artikoko izotzetatik zetorren 19.000 km³-ko fluxu gehigarria iritsi zen Iparraldeko Itsasoetara.

Bestalde, autore batzuek zalantza jarri duten arren, badijadi berotze- eta hozte-ziklo termiko batzuk daudela Ipar Atlantikoko azaleko uretan 0° eta 70° N artean. Ziklo horiei AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) esaten zaie, 65/80 urteko zikloak izaten dituzte, eta 0,5 °C-ko tenperatura-aldaketak intentsitate-aldaketekin.

Halaber, hainbat azterketa estastikoren arabera,

Atlantikoaren iparraldeko tenperaturak lotuta daude Atlantiko tropikala zeharkatzen duten haize alisioen intentsitatearekin. Venezuelako Cariaco arroako varva sedimentarioei buruzko azterketa zehatzei esker, jakin daiteke zer urtetan indartzen diren alisioak (upwelling handi-agoa eta Glonigerina bulloides foraminiferoaren ugaritasuna). Varva horien azterketek erakusten dute lotura handia dagoela haize alisioen eta Ipar Atlantikoko anomalia termikoen artean. Atlantiko tropikaleko haize alisioak indartsuagoak direnean, Ipar Atlantikoko itsasoko tenperaturak jaitsi egiten dira. Beraz, seguruenik, Atlantiko tropikalean gertatzen dena lotuta dago Ipar Atlantikoko aldakortasun klimatikoarekin.

Halaber, gogoan izan behar da itsaslasterraren sistemak berak barruko ezegonkortasunak izan ditzakeela, portaera kaotiko samar bati dagozkionak. Demagun, adibidez, Ipar Atlantikoko itsaslasterraren termohalinoaren funtzionamendua normala dela. Azaleko ir gazia iparrantz joaten da, Iparraldeko Itsasoetan gelditzean hoztu egiten da eta, gero, hondoratu.

Bada, gerta daiteke, zintaren abiadura handiegia bada, azaleko ur-masak lurruntzeko duen denbora murriztea. Kasu horretan, ur gutxiago lurrunduko litzateke, eta, ondorioz, Gologoko itsaslasterraren gazitasuna eta dentsitatea ere gutxitu egingo lirateke. Hala, Iparraldeko Itsasoetako hondoratze-motorrak eragin-kortasuna galduko luke. Beraz, zintza garraiatzaile atlantikoak



indarra galduko luke: agian, azaleko ura ez litzateke helduko hain iparrera, eta hondoratze-eremua hegoaldera mugituko litzateke; edo, agian, ez litzateke eratuko sakoneko urik, baizik eta soilik sakonera ertainekoa. Edozein moduz ere, sistema beste era batera funtzionatzen hasiko litzateke, berez, harik eta kontrako prozesu baten bidez, itsaslasterraren hasierako mugimendua berrezarri arte.

BEROTEGI-GASAK ETA AEROSOL ANTROPIKOAK

Karbono dioxidoa Gehikuntza

CO₂-ak atmosferan duen kontzentrazioa asko handitu zen XX. mendean, eta handitzen jarraitzen du XXI. mendean.

Iraultza industrialari hasi aurretik (1750 aldera, James Watt eskoziarrak lurrun-makinak hobetu zituenean), atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa 280 ppm-koa (milioiko parte) zen gutxi gorabehera (% 0,028), eta, gaur egun, ia 380 ppmv-ra iristen da (% 0,038).

Batez ere, elektrizitatea sortzeko, industriarako eta garraiorako erregai fosilak erretzearen ondorioz handitu da kontzentrazioa, baina, kalkuluaren arabera, nekazaritzaren ondorioz lurzoruetan izandako erabilera-aldaketek eragin dute azken 300 urteetako gehikuntzaren % 35.

1958tik (Nazioarteko Urte Geofisikoa) Charles D Keeling-ek oso kontu handiz neurtu du atmosferaren CO₂-aren kontzentrazioa, lehenengo, Kaliforniako La Jolla-ko Scripps Ozeanografia Institutuan, eta, 1974tik aurrera, Hawaiiko Mauna Loa sumendiaren behatokia (behatokia urrun dago tokiko poluzio-iturrietatik, sumendiaren beraren erupzioen poluzio-iturrietatik salbu, jakina). Geroztik, beste zientzialari batzuek ere CO₂-aren erre-



gistro-serieak bildu dituzte, eta guztiak bat datoz Mauna Loa-ko emaitzekin.

Azken bi hamarkadetan, aireko CO₂-aren kontzentrazioa 1,5 ppmv anditu da, batez beste, hau da, % 0,5 urteko. Kantitate absolututan, karbonoaren 3 Pg-ko gehikuntza adieazten du urteko. Egungo atmosferak 750 pentagrama karbono ditu gutxi gorabehera, CO₂ moduan.

CO₂-aren kontzentrazioaren berezko aldakortasuna

Atmosferako CO₂-kantitatea oso modu aldakorrean handi-

tzen da urte batetik bestera, eta 0 eta 4 ppm arteko aldeak izan daitezke.

Aldaketa horietan eragin handia dute landaretzaren eta prozesu biologikoen garapenarekin lotutako faktoreek: lurzoruen tenperaturaren anomaliak, neguko eluraren lodiera, udako lehortea handi-agoa edo txiki-agoa, eta abar.

Badijadi El Niño fenomenoarekin lotutako aldaketek ere eragin konplexu bezain garrantzitsua dutela. Batez ere, El Niño-ek eka-ritako lehortek eskualde tropikaleko basoetan eta zohikazte-gietan eragiten dituzten suteek sortzen dituzte ondorio horiek. Adibidez, 1997an atmosferako CO₂-kantitatea bikoiztu egin zela kalkulatu da. Izan ere, Indonesian -batez ere, Sumatra uhar-tean- ia milioi bat hektarea lur erre ziren (ia guztiak karbono-



eduki handiko zohihaztegi tropikalak). Ondorioz, CO₂-aren emisio globalak ohikoak baino % 13-40 handiagoak izan ziren.

CO₂-a ugaritzearen erradiazio-efektua eta efektu termikoa

Atmosferako CO₂-aren ugaritze antropikoak (industriaren aurreko garaietako 280 ppm-tik gaur egungo 380 ppm-ra) 1,7 W/m² inguruko erradiazio-behartzearagiten du Lurraren azalean. Berotegi-gas guztien ugaritze antropikoak eragindako erradiazio-behartzearen % 50 da hori, gutxi gorabehera. Temperatura-graduei dagokienez, industriaren aurreko garaietako CO₂-aren kontzentrazioetik egungora (280 ppm-tik 370 ppm-ra) igarotzeak, zuzenean, batez besteko tenperatura globalean 0,5 °C-ko igoera ekarri duela kalkulatu da.

Epe luzera, IPCCren ereduak iragaritzen dutenez, 2100 urtean, CO₂-aren kontzentrazioa 500 eta 1.000 ppm artekoa izango da. Berotegi-gasen kantitatearen gehikuntza totalak 4 W/m² eta 9 W/m² arteko erradiazio-behartzearagiten du teoriarik, eta horrek 1,2 °C-ko igoera eragingo du zuzenean. Baina, klima-eredu batek eta besteak kalkulatuak feedback-ak kontuan izanda, 1990 eta 2100 artean 1,4 °C eta 5,8 °C igoera termikoa izango dela uste da. 1896an, dagoeneko, Svante Arrhenius-ek horrelako igoera termikoa kalkulatu zuen CO₂-a ugaritzearen ondorioz.

Etorkizunean, lurrunak atmosferan duen kontzentrazioa -berotzearen eragile nagusia- handitzea aurreikusten da, eta, neurri handi batean, horregatik egiten da aipatutako aurreikuspena. Kalkuluen arabera, lurrunak berotegi-efektuaren % 60 eragiten du zeru oskarbiko atmosfera batean. Hala, lurrun- kantitatea handitzeak eragindako feedback-efektuak beste berotegi-gas



batzuek baino erradiazio-eragin handiagoa du. Baina, aldi berean, gehikuntza horrek hodeien bilakaerari eta portaerari eragiten dio, eta oraindik ere oso gutxi ezagutzen da faktore hori. Beraz, oraindik ere zantzak handiak daude gertatiko denari eta gertakarien eritmoari eta intentsitateari buruz. Orain atmosferan dagoen karbono dioxido guztia bat-batean desagertuko balitz, 30 W/m² murriztuko litzateke erradiazioa, hau da, karbono dioxidoa bikoizteak ekarriko lukeen aldaketa baino asko gehiago (kasu horretan, 2,2 W/m² handituko litzateke erradiazioa). Izan ere, karbono dioxidoak

espektrorik ere horretan erradiazioa xugatzeko duen ahalmena aseta dago, jadanik, eta, beraz, etorkizuneko xurgatze-gehi-kuntza askoz txikiagoa izango da beti, proportzionalki, gasaren kontzentrazio-gehi-kuntza baino.

Gehikuntzaren kausak

Gaur egun, mundu osoan, urtean 6 petagramo karbono fosil erretzen dela kalkulatu da, eta deforestazio tropikalak eta beste nekazaritza-jarduerak batzuek 1,6 Pg-ko karbono-kantitatea isurtzen dutela uste da, gutxi gorabehera. Zementua egiteko erabiltzen den kareharriak, berriz, askoz ere kantitate txikiagoa sortzen du (0,1 Pg inguru). Orotara, urtean 7 Pg karbono baino gehiago isurtzen dira atmosferara erregai fosilen erabileraren eta deforestazioaren eraginez. Airean 750 karbono-petagramo daude, gutxigorabehera. Nekazaritzaren, abeltzaintzaren, basogintzaren eta abarren garapena dela eta, gizakiak ikaragarri aldatu du. Lurreko paisaia; hainbeste ezen, historian zehar, 400 pg-tik gorako karbono-garraioa eragin baitu ekosistema kontinentaletatik atmosferara eta ozeanoetara. Bestalde, industria-aroan, 270 Pg-ko karbono-kantitatea isuri da, gutxi gorabehera, erregai fosilak erretzearen ondorioz.



Karbono horren parte handi bat itsasoetako eta kontinenteetako landareek berriz xurgatu dute, prozesu naturalen bidez.

Erregai fosilak

2014an, energiaren %80 erregai fosilen bidez lortu zen: petrolioak (% 35), ikatza (% 20) eta gas naturala (% 25).

Erregai fosilen erreketa- ondorioz, pertsona bakoitzeko, urteko tona bat karbono (tC/urte) igortzen da, batez beste, atmosferara, CO₂ moduan. Baina izugarriko aldeak daude herrialde batzuen eta besteen artean: Estatu Batuetako per capita emisioa 5 tC/urte-tik gorakoa da, Japonian eta Europan, 2 tC/urte eta 5 tC/urte artekoa eta garatze-bidean diren herrialdeetan, 0,6 tC/urtekoa. 50 bat herrialdek 0,2 tC/urte-tik beherako emisioak dituzte.

Nakazaritza, deforestazioa eta suteak

Lurzuurak askoz ere karbono gehiago du aireko CO₂-ak dituen 750 Pg-ak baino. Lurraren azaleko lehenengo metroan 2.500 Pg karbono dago (1.550 Pg karbono organiko moduan eta gainerako 950 Pg karbono ez-organiko moduan). Landareek, berriz, 560 Pg karbono dute. Lurzuuraren karbono-gordailua oso desberdina da eskualde batzuetan eta besteetan. Eremu idorretan, hektarea bakoitzeko, 30 tona karbono inguru dago lurzuuraren lehenengo metroan. Goi-latitudeetako zohikaztegiak, berriz, 800 tona hektareako. Batez beste, 50 eta 150 tona artean alda daiteke hektareak bateko karbono-kantitatea.

Ekosistema naturalak nekazaritzako erabiltzen badira, lurzuur-ko karbonoaren %60 galtzen da latitude epeletako eskualdeetan eta % 75 edo gehiago tropikoetako lurzuur landuetan. Basoetan eta basoetako lurzuuruetan dago lurreko karbono organikoaren parte handi bat. Horregatik dira hain garrantzi-



tsuak ohihanean eta sabanen ekosistema-aldaketak, eta, bereziki, oihan tropikalen deforestazioa. Deforestazioari lurzuur- higidura gaineratuz gero, biomasa galtzen da eta, aurrez, fotosintesi bidez harrapatutako karbonoa atmosferara itzultzen da, CO₂ moduan. Hala, eremu tropikal handietan, baso-mozketak egin ondoren landare-estalkia birsortzen ez bada, CO₂-aren kontzentrazio atmosferikoa handitzen da. Landare-estalki hori birsortuko balitz, berriz, CO₂ forman dagoen karbonoa berreskuratuko litzateke.

Landaretzaren eta lurzuur- galtze-prozesuak askotarikoak izan daitezke, eta zaila da horiek kuantifikatzea. Nahita sortutako suteak dira deforestazio tropikalaren kausa nagusia. Batzuetan, nekazaritzako eta abeltzaintzako lurren hedadura handitzeko sortzen dituzte eta, bestean, errautsekin lurrak ongarrizteko. Luberritzeko nekazaritza horrek oihan tropikalen bi heren galtzea eragiten duela kalkulatu da, hau da, 6 milioi hektarea inguru urtean (60.000 km²/urte). Bestalde, kontuan izan behar dira, europarren kolonizazioaz geroztik, zur bitxiak lortzeko egin diren baso-mozketak Erdialdeko Amerikan, Kariben, Amazonasen, Afrikan, eta Asiako hego-ekialdeko eskualde ekuatorialetan.

Siberiako basoetan ere sute asko izaten dira (baso horietan dago Lurreko baso-ekosistematako karbonoaren erdia).

2003ko udan Siberian izandako kontrolik gabeko suteek 22 milioi hektarea erre zituzten, eta, ondorioz, 700 milioi tona CO₂ isuri ziren atmosferara, hau da, Kyotoko protokoloan eskatutako murrizketa adina.

Kalkuluen arabera, urtean 3,5 PgC-ko kantitatea isurtzen da, guztira, atmosferara suteen ondorioz. Karbono hori landaretzak berriz xurgatuko ez badu, 1,8 ppm handituko litzateke atmosferako CO₂-aren kontzentrazioa. Oro har, sabanetako belar-erreketek emisioen %50 eragiten dute, oihan tropikalen erreketek % 40 eta baso epele eta borealen emisioek % 10.

XX. mendean, baso boreal, epele eta tropikaletako nahiz sabanetako biomasa erretzearen ondorioz, karbono asko isuri da, eta, agian, behar baino



garrantzi txikiagoa eman zaie erreketak horiek kliman izandako ondorioei. Berriki egindako azterketa baten arabera, XX. mendean hasieran, suteen ondorioz, 1,5 eta 2,7 Pg karbono artean isurtze zen atmosferara.

Azkenik, ez da ahaztu behar herrialde pobre askotan, oraindik ere egurra dela etxeko erregai nagusia, eta horrek ere hainbat baso desagerrarazi ditu herrialde azpigaratueta. Afrikan, egurra da landa-eremuko populazioaren % 94en eta hiriko populazioaren % 73en energia-iturria nagusia. Eskala globalean, urtean erregai gisa erabiltzeko erretzen den egurraren karbono-edukia 2,5 eta 5 PgC artekoa dela kalkulatzen da.

CO2-aren hustulekuak

Aireko CO2-aren kontzentrazioaren zuzeneko neusketen bidez, ondorioztatzen da, gaur egun, urteko 3 edo 4 PGC handitzen dela, batez beste, atmosferako karbono-edukia. Karbono-emisio antropikoak, ordea, 7 PgC-tik gorakoak dira. Beraz, isuritako karbonoaren erdia bakarrik gelditzen atmosferan.

Oraindik ere zalantza handiak daude egungo CO2-hustulekuen kokapenari buruz, eta, halaber ez dakigu atmosferan geratzen ez den karbonoa zerproportziotan banatzen den ozeanoen eta landaretzaren artean. Pensatzen da ozeanoek hiru aldiz CO2 gehiago metatzen dutela kontinenteek baino. Aditu batzuek uste dute bilakaera bat ari dela gertatzen ozeanoen zirkulazioan, eta, bilakaera horri esker, errazago xurgatzen dela CO2-a. Gainera, 1948-2003 epealdian Ipar itsasoan eta Atlantikoaren ipar-ekialdean izandako itsas ekoizpenari buruzko azterketen arabera, asko handitu zen fitoplankton-kantitatea -batez ere, 80ko hamarkadan-, eta, gaur egun ere, handitzen jarraitzen du.

Sabibe eta beste lankide batzuek itsasoetan disolbatutako karbonoaren gehikuntza-iturriak buruzko azterketa konplexu bat egin zuten, eta ondorio hauek atera zituzten: batetik, 1800-1994 epealdian, 255PgC isuri ziren erregai fosilak erretzearen eta zementua fabrikatzearen ondorioz, eta, bestetik, kontinenteetan, 39 PgC-ko emisio garbiak izan ziren, lurreko biomasa-hustulekuak xurgatutakoari lurzorua-aren erabilera-aldaketan ondorioz isuritakoa kendua. Aldiz, ozeanoek



noek 118 PgC xurgatu zituzten eta 165 PGC gehiago isuri ziren atmosferara CO2 moduan.

Hala eta guztiz ere, 1980-1999 epealdiko azterketen arabera, erregai fosilek eta zementuak isuritako 117 PgC-tik, 65 PGC atmosferara isuri ziren, 37 PgC ozeanoek xurgatu zituzten eta 15 PgC kontinenteen gainazalak xurgatu zituen (eta ez isuri, 1800-

1994 epealdian gertatu zen bezala).

Beste batzuek xurgatze kontinental handiagoak adierazten dituzte: 1 eta 2PgC/urte artean 25° N latitudetik iparraldera, atmosferako CO2-aren gehikuntzaren eta tenperaturaen igoeraren ondorioz. Errusian egindako azterketa zehatzagoek diote basoek 74 TgC/urte eta 284 TgC/urte artean xurgatu zutela 1983-1998 epealdian.

Atmosferan gelditzen den isuritako karbonoaren ehunekoa gero eta txikiagoa da. Adibidez, 70eko hamarkadan, atmosfera isuritako CO2 antropikoaren % 70 gelditzen zen atmosferan, baina, 90eko hamarkadan, 5 50 baino gutxiago. Etorbizunean atmosferako CO2-kantitatea zenbat handituko den kalkulatzeko, oso garrantzitsua da jakitea ehuneko horrek txikitzen jarraituko duen eta zer erritmotan txikituko den, baina oraindik ez dakigu hori. Ozeanoek, landaretzak eta lurzoruek gero eta CO2 gehiago xurgatzen dutenez, gero eta handiagoa da emisio antropikoen eta atmosferako CO2-aren gehikuntzaren arteko aldea. Atmosferaren eta ozeanoetako O2-aren kontzentrazioan izandakoa aldaketetan eta CO2-aren eta O2-aren neusketetan behatutako gradiente latitudinaletan oinarritzen dira kalkuluak.



Atmosferaren CO2-aren bilakaera-kurban oinarritzen da lurreko biomasa-gehikuntzaren frogak. Azken 30 urteetan, handitu egin da atmosferaren CO2-kontzentrazioaren urteko zikloaren anplitudea, nahiz eta forma irregularrean izan. Anplitudearen hazkunde hori jardura begetatibo handiagoagatik izan dela uste da, zeren, batetik, horrek esan nahi du lurraz gehiago xurgatzen duela udaberrian eta udan (fotosintesi globalaren hazkundeagatik), eta, bestetik, CO2 gehiago askatzen dela udazkenean eta neguan (materia organiko gehiago oxidatzen delako).

Lurreko ekosistemei buruz, berriz, badakigu Ipar hemisferiokoek CO2 gehiago xurgatzen dutela era garbian, Hego hemisferiokoek baino. Hala adierazten dute behintzat azken hamar urteetan karbonoaren zikloari buruz egindako azterketek. Ipar hemisferioko aire troposferikoaren CO2-kantitatea Hego hemisferiokoarena baino 3 ppm inguru handiagoa da bakarrik, eta, aldi berean, CO2 gehiena Ipar hemisferioan isurtzen da. Beraz, are handiagoa izan beharko luke aldeak (4-5 ppm inguru). Ipar hemis-

ferioko landaretzak kontinentalak betetzen duen hustuleku-funtzio garrantzitsuak azaldu dezake anomalia hori. Alderdi horietatik, kalkulu batzuen arabera, Estatu Batuetan eta Kanadan, lurzoruek eta landaretzak xurgatzen duten CO2-kantitatea handiagoa da herrialde horietako CO2-aren emisio antropikoen kantitatea baino. Beste kalkulu kontserbadoreago batzuen arabera, ordea, isuritako CO2-aren herena bakarrik xurgatzen du Estatu Batuetako lurraldeak (1,5 Pg karbono isuri eta 0,5 Pg curgatu). Europarako egindako kalkuluak dagokienez, biomasak emisioen % 7 eta % 12 artean xurgatzen duela uste da.

Bestalde, Ipar Amerikako eta Eurasiako baso borealen 48 eremutan aztertutako zuhaitz-eraztunen azterketek bi faktore hauen arteko korrelazioa adierazten dute: batetik, sateliteetatik jasotako NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) berde-tasun-indizearen hazkundera ekainean eta uztailan azken hamarkadetan eta, bestetik, CO2-aren hustuleku-efektua.

Joera hori jarraituz, klima-ereduek kalkulatzen dute, CO2-aren kontzentrazioa bikoiztean, % 20 baino gehiago handituko dela ekoizpen primario garbi globala.

Hala, deforestazioa alde batera utzita, landaretzak kontinentalaren hustulekuaren karbono-edukia urteko 5 Pg-ra iritsi daiteke 2050ean (ja egungo emisioak adina). Lurreko biomasaren gehikuntza hori azaltzeko, hainbat mekanismo aipatzen dira: atmosfera emankorrako bihurtzea CO2-aren gehikuntzagatik; lurzorua emankorrako bihurtzea, nitrogeno antropikoen metaketa handiagoagatik; moztutako basoak basoberritzea eta paisaiaren beste aldaketa batzuk (adibidez, sasiak hartutako nekazaritza-lur abandonatuak); eta tenperatura igotzea



eta hazkunde begetatiboaren garaia luzatzea.

Airearen emankortasuna. CO₂-aren gehikuntzak eragin positiboa izan dezake jarduera begetatiboan, bi eratan. Batetik, CO₂-a ugaritzeak funtzio klorofilikoa indartzen du, eta, beraz, landareen hazkunde eta biomasaren ekoizpen garbia bultzatzen ditu. Bestetik, CO₂-a ugaritzearen ondorioz, murriztu egiten dira hostoen eba-potranspirazioa eta landaretzaren ur-kontsumoa. Izan ere, aireko Co₂-aren kantitatea handitzen denean, estomek ixteko joera dute. Hala, landareek ur gutxiago galtzen dute, eta fotosintesia eraginkorragoa bihurtzen da. Eta landareen ur-premia txikiagoa denez, garapen begetatibo handiagoa lortzen da idortasun-arazoak dituzten eskualdeetan.

Lurzoruaen emankortasuna. Eskualde batzuetako lurzorua emankorrak bihurtzen ari direla uste da, konposatu nitrogenatu atmosferiko jakin batzuek -paradoxikoki gizakien poluzioak sortutakoak- lurra nitrifikatzearen eraginez.

Goi-latituteetako tenperaturen balizko igoeraren eraginez, konposatu nitrogenatuak bizkorrago deskonposatzen dira lurlean; hala, landareek eta zuhaitzek nitrogeno gehiago dute hazteko, eta landare-masa sortzeko prozesu fotosintetikoaren eraginkortasuna handitzen da.

Basoberritzea. Munduko eskualde askotan -bereziki Eurasiako eta Amerikako latitude epeletan- nekazaritza-lurrak abandonatzen hasitako basoberritze-prozesua eta basoen hazkunde naturala deforestazioa baino handiagoa da. Hala, kalkulatzeko da Estatu Batuetako basoen egur-bolumena % 30 handitu dela azken 50 urteetan, eta 1980-1993 epealdian izandako inbentario-aldaketek 3 Pg-ko karbono-metaketa adierazten dute urtean. Europan, % 25 handitu da biomasa, 1971 eta 1990 artean.

Urtaro begetatiboa luzatzea eta izozte gutxiago. Azkenik, latitude ertainean eta borealetan hazkunde begetatiboaren garaia luzatu izana izan daiteke biomasaren gehikuntzaren beste arrazoi bat. Seinale fenologiko batzuen arabera, badirudi udaberria aurreratu egin dela, batez beste, eta udazkena zenbait egun luzatu, tenperaturen igoeraren ondorioz.



Orobat, gaueko tenperaturen igoerak ere izozterik gabeko aldiak luzatzen lagundu du, ziur aski.

Atmosferako metanoa Kontzentrazioa

Metanoa oso berotegi-gas eraginkorra da, eta gaur egun, 1,7-1,8 ppm-ko (aireko bolumenaren milioiko parte) kontzentrazio atmosferikoa du, batez beste. Industria aurreko garaitik aurrera izandako gehikuntza handiaren ondorioz -orduan, 0,7 ppm-koa bakarrik zen kontzentrazio atmosferikoa-, erradiazio-behartzeko handia sortu del auste da: 0,7 W/m² inguru (CO₂-arena 1,4 W/m² da). Metanoaren emisio-iturriak askotarikoak dira, baina aireko OH erradikalek oso bizkor suntsitzen dute gasa, hainbeste ezen, metano atmosferikoaren batez besteko bizitza 12 urtekoa baita. Hori dela eta, kontzentrazio atmosferikoaren bilakaera ez dago iturrien baitan bakarrik, baizik baita aireko erradikalean presentzia handiagoaren edo txikiagoaren baitan ere.

Bilakaera

Zenbait ikerlariren ustez, nekazaritza sortzean eta, bereziki, duela 5.000 urte arroza lantzen hastean hasi zen handitzen metano-kantitatea. Ruddiman-en ustez, nekazaritzak eragindako igoera temikoa (40 ppm Co₂ deforestazioaren eraginez eta 0,25 ppm metano ureztatzearen eraginez) industriak eragindakoa baino lehenago gertatu zen, eta haren neurriko berotzea edo handiagoa eragin zuen. Ikerlari horrek dioenez, nekazaritzak beste glaziazio bat has-tea galarazi zuen duela 3.000 urte inguru.

Azken 300.000 urteetan, latitude tropikalen intsolazioaren -montzoien indarra eta hezegune gehiago ego gutxiago izatea baldintzatzen du- eta metano atmosferikoaren bilakaeraren -Antartikako izitz-zundaketen bidez kalkulatzeko da -artean izandako bate-tortzeak aztertuta, Ruddiman-ek ondorioztatzen du duela 10.000 urtetik gaur egun arte metanoaren kontzentrazioa murriztuz joatea izango zela naturalena. Baina metano-kantitatea handitzen hasi zen duela 5.000 urte, eragin antropikoaren ondorioz, eta,

bereziki, arroz-soro berrietako lur urtsuak betetzen zituzten bakterio metanogenikoen ondorioz.

Bestalde, Antartikako izotzetan harrapatutako metanoaren karbono-13aren kontzentrazio isotopikoari buruzko azterketen arabera, gure aroaren lehen milurtekoan metano pirogenikoaren emisio nahiko handiak izan ziren, dirudiennez, Txinako eta Europako larre eta basoetako biomasa erretzearen ondorioz.

Gehikuntza-erritmoaren murrizketa

Aurreko mendean atmosferako metano-kantitatea nabarmen handitu bazen ere, gehikuntza horren arritmoa moteldu egin da azken urtekoan.

Baina ez dira horren arrazoiak ezagutzen. Zenbaitek uste dute kimika atmosferikoan izandako aldaketek metanoaren suntsiketa bizkortu dutela, eta horregatik gertatu dela moteltzea. Beste batzuen ustez, aldiz, emisioen murrizketari zor zaio moteltzea. halaber, pentsatu izan da euri azidoen ondorioz hezeguneetako sufre-kantitatea handitzeak, agian, kalte egin diela hezegune horietan ugariak izaten diren bakterio metanogenikoei. Kausa edozein izanik ere, atmosferako urte arteko gehikuntza a nulua da, eta, areago, murrizketa absolutu txiki bat izan zen. Gogoan izan behar da atmosferan CH₄-aren batez besteko



biziaren iraupena oso laburra dela -12 bat urte-, eta beraz, aise igartzen dira metanoaren ekoizpenaren eta suntsiketaren artean gertatzen diren desorekak.

Emisio-iturriak

Nekazaritza eta abelazkuntza dira metano gehien sortzen duten giza jardueretako batzuk. Kondizio anaerobikoetan bizi diren mikrobioek 400 milioi tona metano sortzen dituzte urtero materia organikoa degradatuz. Mikrobio horiek askotariko inguruneetan jarduten dute: hausnrki baten urdailean, simaurtegi baten barruan, urez betetako arroz-soro batean, padura baten hondotan... Arroza urez estalitako eremu zabaletan landatzeak metanogenesia bultzatzen du urpeko lokatzetan.

Munduko hausnarkarien kopuru handiak ere metanoaren ekoizpena handitzen du, haien urdailetan gas hori sortzen baita hartzidura enteriko bidez (behi baten janari-masaren % 5-10 metano bihurtzen da). Zeelanda Berrian, behi eta ardiek sortutako metanoa da berotegi-gasen emisioen osagai nagusia (% 40). Irlandan, berriz, berotegi-gasen emisioen % 15 abereek sortzen dute.

Horrez gain, landareak erretzeak ere metano-emisioak eragiten ditu (batez ere, lurrak ongarritzeko sabana tropikaletan erretzen diren sastrakak). Sabanako suteetan, biomasaren ia karbono guztia (% 85) CO₂ moduan lurruntzen da eta % 0,1-0,25 metano moduan. 1997-98an El Niñoren ondoren izandako baso-suteetaan ere metano-kantitate handiak isuri ziren. Batzuetan, erretako eremuaren lurzorutik bertatik sortzen da metanoa (batez ere, sute borealetan), permafrosta desioztearen ondorioz.

Duela gutxi, jabetu dira zuhaitzen eta landareen hosto biziak ere metanoa isurtzen dutela. Emisio horiek ehuneko handia izan dezakete emisio totalekiko: iturri globalaren % 10-30 (iturri globala 600 milioi tonakoa da). Oihan tropikaletako eskualdeetan izaten dira mota horretako emisio gehienak (40 eta 160 milioi tona artean). Beste kalkulu batzuen arabera, zifra horiek askoz ere txikiagoak dira (10 eta 60 milioi tona artean). Eztabaida irekita dago oraindik. Gainera, are konplexuagoa da, landare batzuek beste batzuek baino 4.000 aldiz metano gehiago isur dezaketela uste baita.

Eskualde industrial eta populatuetoako eskualdeek metano-kontzentrazio handiagoa izaten dute.

Hondakindegia gizakiak eragindako metano-emisioen iturri garrantzitsua dira: izan ere, leku horietan pilatutako materia organikoa baldintza anaerobikoetan degradatzen da, eta metano bihurtzen. Hondakinen bilketa hobetuz -instalazioak



ondo zigitatuz- eta, hala, sortu-tako metanoa berreskuratuz, metano hori erregai modura erabil daiteke, eta emisioak murriztu. Herrialde aurreratu batzuetan egin dira probak.

Horiez gain, XX. mendeko metano-iturri antropikoak izan dira ikatz-meategietan (grisu arriskutsua), gas naturalaren erauzketarako instalazio akas-tunetan (% 90 metanoa da) eta gas naturala garraiatzeko gas-hodien milaka kilometroetan izandako isuriak.

Kalkuluen arabera, errusian -gas metanoaren herrialde ekoizle hanienean- % 1 eta 2,5 artean isurtzen da atmosferara. Halaber, ikerlari horren ustez, gas naturalaren isuriak ekoizpenaren % 5,6 baino handiagoak balira, gas naturala erabiltzen duten zentral termikoek berotegi-efektu handiagoa sortuko lukete ikatzarekin baino. Metanoaren energia-erabileraren gorakadak gasa ateratzeko eta garraiatzeko instalazio gehiago eraikitzea eskatuko du, baina pentsatzeko da hobekuntza teknikoei eskeraferrik galdutako energia murriztuko dela eta isuri gutxiago egingo direla atmosferara, Beraz, oraindik ez da zehaztasunez ezagutzen atmosferako metanoaren kontzentrazio globala. Dirudenez, kontzentrazioa handiagoa da oihanen gainean hiri handien gainean baino. Peter Bergamaschi ikerlariaren arabera, Erresuma Batuko metano-emisioak ez daude ondo kalkulatu, eta britainiaren Kyoto protokoloa berretsi zutenean adierazitakoaren bikoitza dira. Frantsesek, berriz, emisioen harena ezkutatu zutela uste da.

OXIDO NITROSOA

Metanoarekin batera, oxido nitrosoa ere lurzoruko mikrobioek nekazaritzako nitrifikazio- eta desnitrifikazio-prozesuetan eta nitrifikazio- eta desnitrifikazio-prozesu naturaletan sortzen duten berotegi-gasa da. Erregai fosilak erretzearen bidez ere sortzen



da, neurri txikiagoan bada ere. Molekulaz molekula, oxido nitrosoaren berotegi-efektua CO₂-arena baino 320 aldiz eraginkorragoa da. Egungo emisioak 7 milioi tona inguruak dira, urteko.

Oxido nitrosoak denbora luzez irauten du atmosferan (120 urte, batez beste), eta atmosferan duen kontzentrazioa ozo mantso aldatzen da. Nekazaritzako garapena eta, bereziki, amonio-nitratoaren erabilera dira azken mendean oxido nitrosoaren gehikuntzaren kasua nagusia (0,2 ppm-tik 0,3 ppm baino pixka bat gehiagora). 1750etik 2004ra izandako kontzentrazio-gehikuntzak 0,2 W/m² inguruko erradiazio-behartzeara eragiten du.

HALOKARBURUOK

Halokarburoak jatorri antropikoko gasak dira, eta CFCak dira ezagunenak (CFC-11 eta CFC-12). Ozono estratosferikoaren balizko hondatzearen errudun nagusizat hartzen dira, eta, gainera, berotegi-efektuko gas gisa jarduten dute troposferan. Gizakiak sortutakoak direnez, ia ez zegoen halokarburo-kontzentrazioarik 1950 aurretik. Askok erabili izan dira hozte-sistemetan eta sprayetako aerosolen propulsaizaileretarako. Montrealgo itunetik eratorritako nazioarteko protokoloek esker, erotik murriztu da halokarburoen produkzioa. Gainera, gas horren kontzentrazioaren joera ere aldatu egin da, eta beheranzko joera hartu du bai troposferan bai estratosferan.

(estratosferan erradiazio ultramoroen bidez suntsitzen da). Hala eta guztiz ere, hozkailuetan halokarburoak ordezkatu dituzten gasen kontzentrazioak gora egin du -batez ere, HFCak, eta horien artean, bereziki, HFC-23-, eta horiek ere erradiazio-behartzeara nahiko handia eragiten dute.

OZONOA Ozono troposferikoaren gehikuntza

Ozonoa gas atmosferiko garrantzitsua da. Izan ere, erradikal hidroxiaren aitzindaria da, eta hori da, hain zuzen, agente oxidatzaile nagusia eta hainbat poluitzaileen garbitzailea. Baina, horrez gain, ozonoa berotegi-gas indartsua da, gai baita 9 mm-ko erradiazio infragorria xurgatzeko (Lurraren azalaren erradiazio-espektraren emisibitate maximo-tik oso gertu dagoen uhin-luzera da hori). Molekulaz molekula, ozonoaren erradiazio-behartzeara mila bider indartsuagoa da karbono dioxidoarena baino.

Ozono troposferikoan dago ozono guztiaren % 10, eta lpar hemisferioko latitude ertainetan 50-60 dobson-unitatea iristen da udan, hau da, eskualde horretako guztizko ozono-zutanearen % 15 gutxi gorabehera. Ozonoa modu naturalean sortzen da eguzki-izpiek oxigeno-molekuletan duten efektuaren bidez, troposferan bertan eta, batez ere, estratosferan. Estratosferatik troposferara pasatzen da ozonoaren parte handi bat, tropopausan gertatzen den aire-trukeari esker. Aldi berean, ozonoa etengabe suntsitzen da modu naturalean, intsolazioaren bidez eta hainbat elementure-

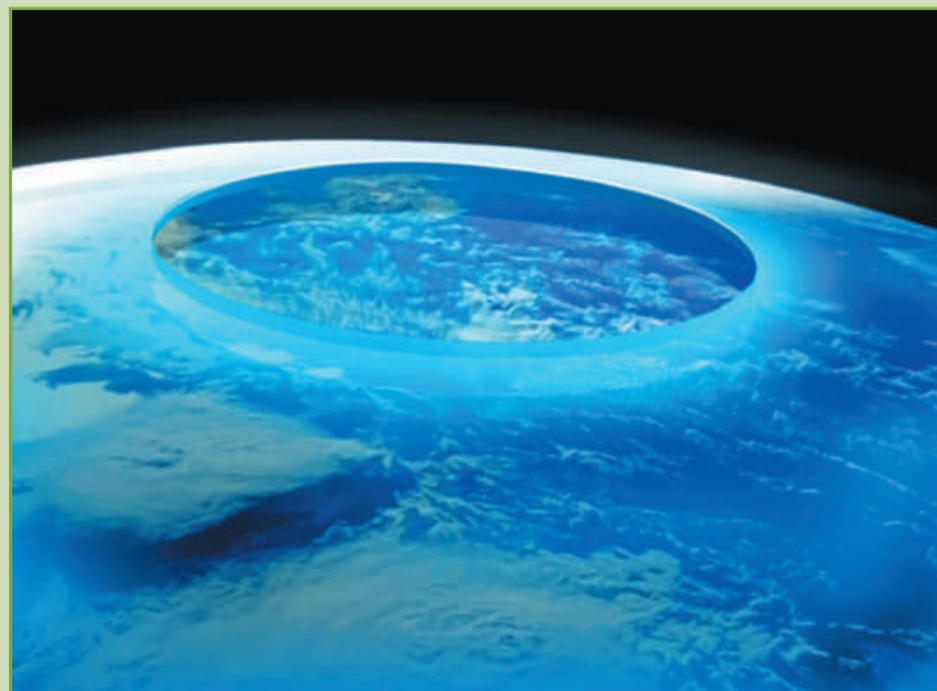


kin gertatzen diren erreakzio kimikoen bidez (adibidez, kloroa, bromoa, oxido nitrikoa, karbono monoxidoa, hidroxiolo erradikalak...).

Jatorri antropikoko ozono troposferikoaren parte handiena hidrokarburo lurrunko-aren oxidazio fotokimiko bidez (eguzki-argia) sortzen da, NO eta NO₂ nitrogeno-oxidoekin batera. Beraz, ozono troposferiko hori ez da zuzenean isurtzen atmosf-

rara, baizik eta bigarren mailako poluitzaile gisa eratzen da. Eguzkiak haren osagai primarioen artean- nitrogeno-oxidoak eta konposatu organiko lurrunkorak- eragindako erreakzio fotokimikoen bidez. Ozono troposferikoaren kontzentrazioa zikloka aldatzen da (egunez eguneko urtaroz urtaro). Kontzentrazio maximoa arratsaldearen erdialdera lortzen da, intsolazioak eragindako erreakzio fotokimikoen ondorioz. Bestalde, maximo naturalak udan izaten dira, eguzki-erradiazio ultramorearen gehikuntza dela eta. Dena den, neguan ere, zenbait hiri-eskualdek indize altuak izan ditzakete garai eguzkitsuetan eta antizikloi-aldietan, erregai gehiago erabiltzeagatik. Intsolaziorik ez denean eta gauetz, berriz, nitrogeno-oxidoek aurkako funtzioa betetzen dute; hots, ozonoa suntsitzea. Horrekin batera, lurzoruko eta itsasoaren azalak ere gainazaleko ozonoa harapatzen dute.

Hiri eguzkitsu handietan (Mexiko Hiria, Txileko Santiago, Atenas...) eguzki-izpak industriaren -eta, batez ere, zirkulazioaren- emisioekin nahastean, ozono-kontzentrazio handiak sortzen dira egunez. Eskualde tropikaletan ere, oihan- eta sabana-erreketez ozonoa sorrarazten duten erreakzio fotokimikoak eragiten dituzte atmosferan. Globalki ozono troposferikoaren goranzko joera ia ziurra izan arren, goi-latitudeetako zenbait lekutan (adibidez, Eskandinaviako eta Kanadako zenbait hiritan), intsolazio oso ahularen eraginez, poluzioaren nitrogeno-



oxidoek kontrako efektua eragiten dute, hau da, ozonoa suntsitu eta gutxitzen dute.

Ozonoa ez dago homogeneoki banatuta planetako geografian, poluitzaile aitzindarien eta intsolazioaren arabera sortzen etasuntsitzen baita, eta bi faktore horiek oso desberdinak dira latitudearen eta urtaroren arabera.

Azken mendean ozonoaren gehikuntza handia izan da troposferan. IPCC-ren txostenaren arabera, XX. mendean, gehikuntza hori % 35 ekoa izan da lpar hemisferioan. Hauek dira gehikuntzaren kasuak: Nekazaritzako erretzen den landaretzaren hazkundera sabana tropikaletan, eta nitrogeno-oxidoen eta konposatu organiko lurrunkorren emisioen gehikuntza (ibilgailuen motorrak dira emisio horien iturri nagusia). Gehikuntza horrek berotegi-efektu garrantzitsua eragin zuen XX. mendearen bigarren erdian, baina ez da erraza zehaztea maila globalean eragindako erradiazio-behartzeara. Behartze hori askoz handiagoa da lpar hemisferioan Hego hemisferioan baino, eta, zenbait autoreren arabera, zerrenda subtropikalean du baliiorik handiena, hau da, 20 ° N eta 30° N latitudeen artean. Erradiazio-behartzeara global 0,3 W/m² eta 0,4 W/m² dela zenbatesten da, baina Mediterraneoan eta Asiako hego-mendebaldean 0,5 W/m²-tik gorakoa da.

Berriki, Afrikan ere ozono troposferikoa handitu egin dela dirudi, nitrogeno-oxido gehiago isurtzen baita energia lortzeko, erregai fosilen errekuntza areagotu dela eta. Bestalde, satelite bidezko azterketek adierazten dutenez, azken urteetan, nitrogeno-oxidoa -ozono troposferikoaren aaitzindaria- asko gutxitu da Europako eta Estatu Batuetako eskualde populatu eta industrialenetan, baina gehikuntza handia izaten jarraitzen du Txinan. Erradiazio-behartzeara gain, ozono troposferikoaren gehikuntzak zeharkako beste efektu bat izan dezake kliman. Izan ere, ozono hori kaltegarria da fotosintesiaren garapen normalerako, eta, hala, baliteke landaretzak CO₂ atmosferiko gutxiago xur-



gatzea eragitea.

Ozono estratosferikoaren murrizketa

Ozonoaren % 90 estratosferan dago. Jatorrizko erreferentzia gisa 1979 urtea hartuz gero, ondoriozta daiteke ozono troposferikoa gehitu den arren, zenbait eskualdetan, behe-estratosferako ozonoa -hor dago ozono-masaren proportzio handiena- murriztu egin dela. Ozono estratosferikoaren murrizketa horrek 0,1 eta 0,2 W/m²arteko erradiazio-behartzeara negatiboa sortu duela uste da. Ozono-geruzaren lodieraren murrizketa hipotetiko baten ondoren oso gutxi handitzen da jasotako eguzki-energia zuzenaren kantitatea. Izan ere, ozonoak xurgatutako eguzki-erradiazio ultramorea Eguzkitik jasotako energia totalaren ehuneko oso txikia da (% 004 baino gutxiago). Horregatik da negatiboa erradiazio-behartzeara. Sartutako eguzki-energiaren gehikuntza txiki hori txikiagoa da irteten den atxiki gabeko energia infragorriaren gehikuntza baino (behe-estratosferako ozonoaren murrizketaren ondorioz sortzen da energia hori). Beraz, hasiera batean, ozono estratosferikoaren murrizketaren ondorio garbia. Lurraren azala hoztea da (geroago aztertuko ditugun zirkulazio atmosferikoaren gaineko beste ondorio batzuk kontuan hartu gabe).

Ozonoaren masa globalak (troposferikoa eta estratosferikoa) nahiko bilakaera konplexua izan du 1979z geroztik (ordu hasi ziren satelite bidezko neurketak egiten). Ziurtzat jotzen da orduetik beheranzko joera orokorra eta jarraitua izan dela. Baina grafikoaren bilakaera modu zehatzagoan aztertuz gero, ikusten da 1983az geroztik ez dela izan beheranzko edo goranzko joera garbirik, Chichón (Mexiko, 1982ko apirila) eta Pinatubo (Filipinak, 1991ko ekaina) sumendien erupzioen ondorengo beherakada handiak kontuan izan gabe. lpar hemisferio-ko latitude ertainetan (35-60° N) gehikuntza handia izan da 1993tik 2005era, batez ere, zirkulazio estratosferikoan izandako aldaketen eraginez. Hala, urte horretako ozono-kontzentrazioa 1985 eko maila berean dago. Zalantza asko daude ozono estratosferikoaren etorkizunari buruz, CO₂-aren gehikuntzaren eraginez, estratosfera



hoztu egin daitekeela uste baita. Erradiazio infragorriaren xurgatzaile eraginkorra izateaz gain, erradiazio-mota horren igorle bikaina ere bada CO₂-a. Maila estratosferikoetan, CO₂-ak igorritako erradiazio infragorriaren zati bat kanpoko espaziora joateen da. Ondorioz, CO₂-ak hoztu egiten du estratosfera. CO₂-aren eta ozono troposferikoaren beraren gehikuntzak estratosferan eragindako hoztearen eraginez -ozonoak Lurretik irteten den erradiazioa harrapatzen du behe-mailetan-, hodei polar estratosferiko gehiago sortzen dira. Horregatik, baliteke hodei horietan ozono gehiago suntsitzea eta goi-latitudeetan urtaroko "zulo" sakonagoak sortzea.

Halaber, lurrunaren gehikuntzak ere hodei polar estratosferikoan maiztasuna -eta, beraz, ozonoa suntsiketa- handitu dezake. Metanoa da estratosferako hezetasun-iturri nagusia, eta haren oxidazioak karbono dioxidoa eta ura sortzen ditu. Neurketa gutxi egin diren arren, hainbat datuk adierazten dute estratosferako lurrun-kantitatea urteko % 1 handituz joan dela azken hiru hamarkadetan. Estratosferako uraren kontzentrazioa handitu balitz, hodeiak errazago eratuko lirateke. Gainera, CO₂-ak bezala, lurrunak hozte-efektu garbia sortzen du behe-estratosferan, eta hozte horrek ere hodei polar estratosferikoen maiztasuna handitzen duela uste da. Hala ere, etorkizunean, estratosferaren hozteak eremu epel eta tropikaletako ozono estratosferikoa handitu dezake. Izan ere, leku horietan kimika homogeneoko erreakzio naturalen abiadura (gas-gas) murriztu egiten da (erreakzio horien bidez, ozonoa suntsitu egiten da eta ozonoaren eraaketa-prozesua orekatzen da Eguzkiak oxigenoan duen eraginagatik). Faktore horri ozonoa suntsitzen duen kloro askearen balizko murrizketa gaineratu behar zaio, 1987an sinatutako Montrealgo protokoloaren CFC konposatuen debekatua dela eta.



Azkenik, ez da ahaztu behar ozono estratosferikoaren suntsiketa heterogeneoko kimika oso loturis dagoela sumendien erupzio kataklismikoek estratosferan eragindako zikinkeriarekin. Beraz, oraindik ez dakigu zer bilakaera izango duen etorkizunean. Hala, Pinatubo sumendiak pliniar erako erupzio ikaragarria izan zuen 1991eko ekainean, eta 5 km³ inguru material piroklastiko era errauts eta 17 bat milioi tona SO₂ isuri zituen atmosferara. Gas-masaren parte handi bat estratosferara iritsi zen, eta aerosol sulfatatuen geruza bat sortu zen. Geruza hark latitude guztiak estali zituen poliki-poliki. Hodei sulfatatuen barruko ozonoaren suntsiketa kiniko heterogeneoko erreakzioal ereagotzearen eraginez, ozono estratosferikoaren kontzentrazioak beherakada handia izan zuen. Europan % 8ra arteko murrizketa erregistratu zen zenbait hilabetetan. Ozonoaren kimika estratosferikoan erregistratutako aldaketa garrantzitsu horreek adierazten du, agian, iraganean, ozono-suntsiketa are handiagoak izan zirela askoz ere erupzio handiagoen ondorioz. Hala, ozono estratosferikoaren kontzentrazioan izandako bat-bateko aldaketa batek aldaketa konplexuak eragin zitzaizkeen zirkulazio atmosferikoan. Izan ere, ozonoak garrantzi handia du energiaren banaketan bertikalean.

AEROSOL ANTROPIKOAK

Aerosol antropikoen efektua da gizakiak egungo kliman duen eraginaren auzi garrantzitsuenetako bat. Aerosol antropikoak airean esekita gelditzen diren partikula txiki-txikiak dira, eta erregai fosilen eta baso eta sabanen erreketatik sortzen dira. Baina oraindik ere ez dugu ulertzen aerosol horiek klima globalean duten eragina, batetik, zuzeneko eta zeharkako efektuak gainjarrita daudelako, eta, bestetik, aerosolek erradiazio-portaera desberdina dutelako motaren, tamainaren eta formaren arabera.

60ko eta 90eko hamarkadetakoa aerosol antropikoen gehikuntzaren ondorio posibleetako bat erretorikoki "iluntze globala" deitu dena izan daiteke 1957/58 Nazioarteko Urte Geofisikoz geroztik. Lurraren azalera iristen den eguzki-erradiazioaren fluxu globalaren neurketak egin dira piranometroekin.



Horrelako gailu gitxi izan arren, neurketa horiek joera harrigarria adute hiru hamarkada horietan: 6 eta 9 W/m² arteko iluntze ia globala, eta 20 W/m²-ra arteko murrizketa zenbait eskualdetan (adibidez, Errusian). Eskualde gutxi batzuk daude iluntze horretatik salbu (adibidez, Australia eta Japonia). Horrez gain, bete ezaugarri batzuk ere adierazten dute iluntze hori izan dela: batetik, lurruntzearen murrizketa erregistratu zen -intsolazioaren murrizketarekin lotuta egon zitekeen hori-, bestetik, gauaren eta egunaren arteko anplitude termikoa murriztu zen -hori ere bat dator intsolazioaren murrizketarekin- eta, azkenik, estazio erregistratzaileetako ikuspena murriztu zen.

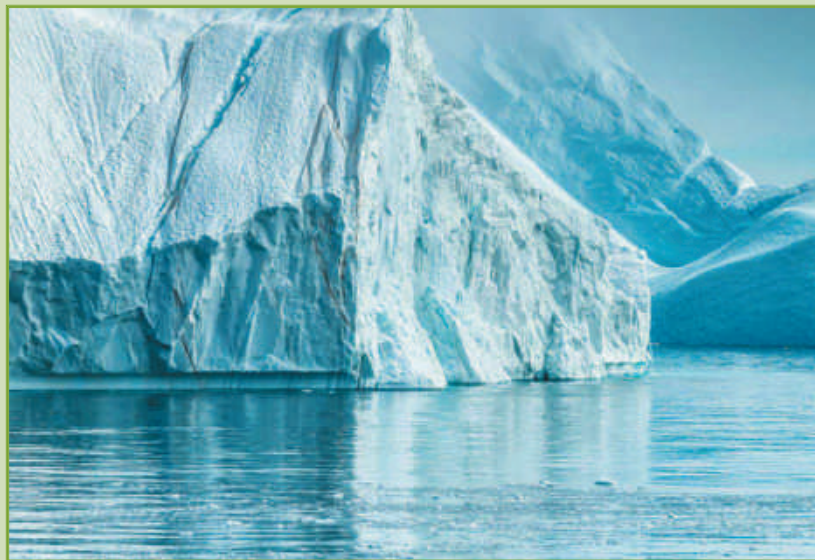
Hala eta guztiz ere, badirudi azken 20 urteetan joera hori alderantzikatu egin dela, eta, itxura batean, Lurraren azalean jasotako intsolazioa handitu egin da lehen izandako murrizketa adina. Eguzki-erradiazioaren transmisio atmosferikoa hobetzeak, aerosolak murrizteak eta zeruen argitasuna handitzeak ekarri ditu aldaketa horiek, agian.

Ez da erraza aerosolen erradiazio-eragina -batez ere, kontinenten gainekoa- neurtzea. Eta are zailagoa da batezbesteko globala kalkulatzeko, aerosolen kontzentrazioa oso heterogeneoa eta oso aldakorra baita eskualdeen arabera. Orain dela gutxi, ozeanoaren gainean egun argietan dagoen batezbestekoa kalkulatu da sateliteekin egindako azterketa baten bidez, eta -3,8 eta -6,0 W/m² arteko emaitza ateratu a.

Jatorri antropikoko aerosolek -1,4 W/m² inguruko erradiazio-behartzeko eragiten dute. Ozeanoen gainean, berriz, -2,3 W/m²-koa dela kalkulatu da lpar hemisferioan eta -0,8 W/m²-koa Hego hemisferioan. Baina aerosol antropikoei hodei gehiago sorrarazten dituzte zeharka (% 5 inguru gehiago), eta, ondorioz, Lurraren azalean jasotako eguzki-argia 5 W/m² inguru murriz daiteke. Berotegi-gasen gehikuntzaren eraginez jasotako erradiazio infragorriak eragindako erradiazio-hazkundera (2,4 W/m²) baino dezente handiagoa da murrizketa hori. Beste azterketa batzuek -1,6 W/m²-ko erradiazio-behartzeko global zuzena eta -1,4 W/m²-ko zeharkako erradiazio-behartzeko (hodeiak ugari-zearen eraginez) adierazten dute.

Aerosol sulfatutak

Groenlandiako izotzetan egindako azterketek erakusten dute



sulfatoen (eta nitratoen) kontzentrazioa asko handitu dela XX. mendean.

Erregai fosil guztiek (ikatz, petrolio eta gasa) dituzte sufrezpurutasunak beti, eta horiek erabiltzen ondorioz, giza jardueren urtero 60 milioi tona sufre isurtzen dituzte atmosfera SO₂ moduan. 1989an erregistratu zen isuri kantitate handiena (70 milioi tona inguru). Industriako eta nekazaritzako emisioez gainera, kontuan izan behar dira itsasontzien SO₂ eta NO₂ emisioak ere. Emisio horiek lpar hemisferiokoeremu ozeanikoei eragiten diete bereziki, eta, behe-hodeitza estratifikatua handituz, albedoa handiarazten dute. Kalkulatzen da itsas nabigazioak SO₂ emisio globalen % 5 eta NO_x emisio globalen % 10 eragiten dituela.

Airea isuritako sufre dioxidoa urarekin elkartu, eta azido sulfurikoa sortzen da, eta, aldi berean, azido sulfurikoa ur-tantatan disolbatzen da sulfato ioien forman. Hala, eguzki-argia islatzen duten hodei horixkak eratzen dira. Geruza sulfatu horiek atmosferaren gardentasuna txikitzen dute -AOD (Aerosol Optical Depth) indizearen bidez neurtzen da gardentasun hori- eta, halaber, poluitutako eremuen gainazaldeko intsolazioa txikitzen dute. Globalki, argitasun-galeraren herena eragiten dutela kalkulatu da.

Aerosol sulfatutak egun batzuk bakarrik irauten dute troposferan; izan ere, uretan disolbatuta daudenez, berehala hauspe-zen dira euri azido modura. Atmosferan hain denbora gutxi egotearen ondorioz, batez ere eskualde industrializatu-etan sortzen den sulfato bidezko poluzioa ez da berdina banatzen planeta guztian, baizik eta eskualdeka.

Zuzeneko efektua. Eresu klimatikoek erakusten dutenez, aerosol sulfatutak -1 W/m² inguruko erradiazio-behartzeko negatiboa eragiten dute lpar hemisferioan. Hego hemisferioan, berriz, ez dute ia ondoriorik: Globalki, -0,5 W/m² inguruko erradiazio-behartzeko eragiten dute. Eskualde industrial batzuetan, erradiazio-behartzeko positiboa baino handiagoa. Behar bada, arrazoi horregatik hoztu dira Txinako Sichuan industria-eskualdeko gaizazaleko tenperaturak azken lau hamarkadetan.

Zeharkako efektua (hodei gehiago). Aerosol sulfatutak hodeietan duen eraginaren ondorioz Lurraren azalean eragindako zeharkako hozte-efektua lehenago aztertutako zuzeneko hozte-efektua bezain garrantzitsua izan daiteke.

Lurruna kondentsatzeko nukleo ezin hobeak izan



nik, partikula sulfatutak eragina dute hodeien eraketan, eta, ondorioz, tanten kontzentrazioa andiagoa da bolumen unitateko. Hala, hodeien albedoa handitu egiten da, eguzki-izpiak islatzen diren azalera handitzen delako. Gainera, tanten kontzentrazioa handitzearekin batera, txikitu egiten da haien batez besteko tamaina. Ondorioz, hodeiek eraginkortasuna galtzen dute prezipitatzeko adinako tamaina duten tanten eraketan, eta, beraz, mantsoago desagertzen dira. Hartara, hodei estratifikatu- en iraupena luzatu egiten da, eta handitu egiten da, halaber, hodei-estaldura.

Azken finean, erregai fosilen bidez energia sortzearen ondorioz, batetik, CO₂-kantitatea handitzen da -eta berotzea eragiten du- eta, bestetik, aerosol sulfatutak ugartzen dira -eta horrek aurrakako ondorioa izan dezake, hau da, tenperaturak hoztea-. Diotenez, 1940 eta 1970 arteko hamarkadetan, industria astunaren garapenaren eta sufre askoko erregai fosilen erabilaren ondorioz, aerosol sulfatutak hozte-efektua handiagoa izan zuten Lurraren azalean, berotegi-gasek izandako berotze-efektua baino. Epealdi horretan tenperatura globalek izandako jaitsiera azalduko luke horrek, CO₂ emisioak asko handitu arren. Hala ere, bada aerosolek eragindako hoztearen teoria hori kontra-erosten duen gertaera garrantzitsu bat: aerosol gutxiago izan arren, Hego hemisferioa ez zen lpar hemisferioa baino gehiago berotu XX. mendean.

Egia bada aerosolek hoztu egiten dutela Lurraren azala, kontuan izan behar da, halaber, askoz denbora laburragoa irauten dutela atmosferan berotegi-gasek baino, eta, beraz, epe luzera, berotegi-gasen efektuek nagusitu behar dute. Hala, paradoxikoki, bat-batean erreketen prozesu guztiak etengo balira, planetaren berotzea ereagatuko litzateke epe laburrean. Izan ere, aerosol sulfatutak lur-ean jalkiko lirateke denbora oso laburrean, eta atmosfera garbi eta garden geldituko litzateke eguzki-erradiazio-



arentzat; azken urte hauetan isuritako CO₂-ak aitzitik, luzaz jardungo luke atmosferan, harik eta astiro-astiro ozeanoek eta litosferak berriro xurgatu arte. Beraz, epe motzera -eta, batez ere, lpar hemisferioan-aerosolen hozte-efektua deagertuko litzateke urte gutxi- ren buruan, eta CO₂-aren berotze-efektua, oster, askoz astiroago desagertuko litzate- ke.

Dena den, zaila da andiak daude aerosol sulfatutuen efektuek eragindako erradiazio-behartzaren kalkulari buruz.

Adibidez, sufre-konposatu gaseoso batzuek esekitako gatz-partikulekin konbina daitezke, eta sulfato puruzko aerosolek baino partikula handiagoak sorditzakete. Partikula handiagoek eguzki-argi gutxiago islatzen dute, eta, beraz, kasu horretan, erradiazio-behartzeko ez da hain negatiboa.

Gerta daiteke, orobat, aerosol batzuek hodeien "glaziazioari" laguntzea, hau da, izotz-kristaltxoak sortzen laguntzea hodeie- tan. Izotz-kristaltxo horiek prezipitazioa bultzatzen dute, eta, halaber, erradiazioaren efektua aldarazten dute.

Bestalde, eskualde ozeaniko tropikaletan, aerosol sulfatutak, islatu ez ezik, xurgatu egin dezake eguzki -erradiazioa. Hala, airea berotzen da eta itsas kumulu txiki gutxiago eratzen da haize alisioak ibiltzen diren eremuetan. Albedoa txikituz gero, azkenean, aerosolek azaleko berotze-efektua eragingo lukete itsas eskualde batzuetan.

Aerosolen efektu konplexuak direnak direla, azken urteetan, lpar Amerikaren ekialdeko eta Europako eskualde garatuenetan nabarmen gutxitu dira SO₂ emisioak, batetik, sufre-purutasun txikiagoko erregaiak erabiliz, energia xahutzen duten industriak itxiz eta elektrizitatea sortzeko zentral termikoak eta energia asko kontsumitzen duten industriak modernizatuz.

Aitzitik, garatze-bidean dauden herrialdeetan -eta, batez ere, industria-garapen azkarreko eta ikatz-kontsumo handiko eskual- deetan (adibidez Txinaren ekialdea)- askoz zailagoa da SO₂ emisioak gutxitzea. Hala, gaur egun, Txinak emisio gehiago egiten du Estatu Batuek eta Europak batera baino, azken urteetako joera beheranzkoa den arren.

Halaber, Indiako eta Txinako industria-eremu poluitue- nako gainazaleko intsolazioak behera egin du (adibidez, Sichuan arroan), batez ere, hautsak, kedarrak eta aerosol sulfatutak -industria edo etxeetan ikatza erretzean sor- tzen dira- sortutako behe-lai- noaren ondorioz. Hori dela eta,



azken hamarkadetako udakko tenperatura maximo-ek beheranzko joera adierazten dute. Betalde, Txinako eta Indiako eskualde batzuetan, ondorio hau izan dezakete poluzioak sortutako behe-geruzak: aerosolek troposfera berotu eta gainazala hoztean, gradiente bertikal termikoa txikitu, eta airearen konbektzioa, garapen bertikaleko hodeien eraketa eta prezipitazioak gutxiaraz ditzakete.

KEDARRA

Kedarra (black carbon) ere kontuan hartu beharreko aerosol antropikoa da. Basoak eta sastrakak erretzean, erregai fosilak (ikatz eta petrolioak) gaizki erretzean eta, batez ere, biomasa edo biofuela (egurra, egur-ikatz, nekazaritza-hondakiak eta simaur lehorrak) erretzean sortzen da.

Atmosferako kedarra oso partikula finez osatuta dago. Grafito-formako oinarizko karbonoa da partikula horiek elementu nagusia. Partikula horiek airean flotatzen dute eta, askotan, ganduarekin estaltzen dituzte populazio-dentsitate handiko eskualdeak (adibidez, Indiaren iparralde eta Txinaren ipar-ekialdea). Batez ere, amaitu gabeko errekuntzaren ondorioz sortzen da kedarra. Beraz, kedar-kantitatea ez dago erretako erregai-kantitatearen baitan soilik, baizik eta, batez ere, errekuntzaren eraginkortasunaren baitan. XX. mendean, herrialde industrializatuak asko hobetu da zentral termikoetan eta diesel motorretan erabiltzen den ikatzaren eraginkortasuna, eta, beraz, behera egin du atmosferako kedar-poluzioak. Ikatza erabiltzen duten berogailuak desagertzeak ere berebizikoa eragina izan du (adibidez, Londresen). Aitzitik, garatze-bidean dauden herrialdeetan (adibidez, Txinan eta Indian) oraindik ia ez dira hasi garbitsun-eta eraginkortasun-neurriak hartzen ikatzaren eta diesel motoren erabileran, eta, beraz, atmosferako kedar-poluzioa oso handia da oraindik leku horietan.

Ga, herrialde horietan, sukalde tradizionalak egurra, egur-ikatz, nekazaritza-hondakinak eta simaurra erretzean sortzen diren emisioak handiagoak dira industria- edo garraio-sektoreko emisioak baino. Kalkuluen arabera, Indiako kedar-emisioen %33 sasitza eta basoen errekuntzatik dator eta % 42 etxeetako biofuel-errekuntzatik. Txinako etxeetan -batez ere, landa-eremukoe- tan- ikatz eta bioerregatik erretzearen ondorioz kedar asko sortzen da oraindik ere: emisio globalen %10, hau da, Estatu Batuetako edo Europako emisio totalak baino gehiago.

Azkenik, aipatu behar da, Hirugarren Munduko herrialdeetan, egurra eta egur-ikatz erabiltzen duten sukaldeetako kedarrak milioika heriotza goiztiar -batez ere, haurrak- eragiten dituela urtean, amasketa-gaixotasunen ondorioz. Horien orde, erregai fosilak eta elektrizitatea erabiliko balira, askoz ere hildako gutxiago izango lirateke, eta, halaber, deforestazioa murriztuko litzateke. Saharatik hegoaldeko Afrikan kontsumitzen da egur gehien, egur natural eta egur-ikatz moduan. 2000n 470 milioi tona egur kontsumitu ziren,



hau da, 720 kilo egur biztanleko.

Aerosol sulfatuekin gertatzen denaz bestera, kedarrak gaizki islatzen du eguzki-energia, eta, kolore ilunekoak denez, zuzenean goitik heltzen den argiaz gain, ondo xurgatzen du lurzoruan islatzene den eta behetik heltzen den. Ondorioz, troposfera berotu egiten da, baina, gainazalean, hodei zikinen azpian, hotzea eragin dezake.

Bengalako Golkoan zenbait azterketaren arabera, 25 W/m² arte gal daiteke gainazalera iristen den uhin laburreko eguzki-erradiazioa. Honela banatzen da galera hori: batetik, atmosferak 18 W/m² gehiago xurgatzen du eta, betetik, 7 W/m² murrizten da atmosferatik islatzen den argia, eta espazioan galtzen da. Beste azterketa batzuen emaitzak are latzagoak dira. Ganges haraneko Kanpur hirian, kedarraren ondorioz murriztutako eguzki-erradiazioa 62 W/m² arter iristen da, eta atmosferaren mugan islatutako erradiazioaren murrizketa 9 W/m²-koa da.

Eredu berri batzuen arabera, maila globalean, kedarrak 0,55 W/m²-ko erradiazio-beharteza eragiten du Lurraren azalean. Metanoaren gehikuntzak eragiten duenaren antzeko balio da hori, eta 0,8 W/m² handiagoa ere izan daiteke. Dena den, zifra hori ez da batere ziurra, eta, are gehiago, zenbait azterketek ondorioztatzen dutenez, jatorri biologikoko karbonato-aerosolen eragina gaineratuz gero -txikiagoak dira, baina xurgatzaile txarragoak- gainazalaren hozte zuzeneko efektua nagusitzen da.

Bestalde, kedarrak izotzarekin eta elurrarekin estalitako gaizazalak zikin ditzake, eta haien albedoa txikitu. Hala, eremu zuri eta sentikorrretan (adibidez, Artikoko izotzak) gainazalaren berotzea eragin dezakete.

Halaber, kedarrak eragina izan dezake prezipitazioetan ere. Hala, Amazonasen, baso-eremu zabalak erretzean sortutako keak atmosfera- ren berotzea eta gainazalaren hoztea eragin ditzake. Ondorioz, tenperaturaren gradiente bertikala eta hodeitza konbektiboa murrizten dira, eta, horren eraginez, intsolazioa eta gainazaleko berotzea handitzen dira. Azkenik, aire zabalean biomasa erretzeak izan ditzakeen ondorioen gain, sukaldetan biomasa erretzeak sortutako kedarrak ere eragina izan dezake Indiako eta Txinako prezipitazioen erregimenean.



PRONOSTIKOAK ETA ESTRATEGIAK



Zenbakizko ereduen arabera (IPPC), CO₂-aren kontzentrazio atmosferikoa bikoizteak 2 °C eta 4,5 °C arteko berotze globala eragingo du, eta batez besteko balioa 3 °C ingurukoa izatea espero da. Dena den, berotze horren formulazioak zalantza handiak sortzen du oraindik; bereziki, lurrunaren eraginari dagokionez eta, baita ere, sistema klimatikoaren berezko aldakortasun naturalari dagokionez. Era berean, hipotesi ugari daude gizakien jarduerak etorkizuneko atmosferaren konposizio kimikoan izango duen eraginari buruz. Beraz, ezinezkoa da jakitea noiz bikoiztuko den CO₂-kantitatea; XXI. mendean, XXII. mendean edo inoiz ez.

Epe laburragoko zenbakizko aurreikuspenek sinesgarritasun handixeagoa dute, CO₂-aren kontzentrazioari buruzko zalantzen pisua ia guztiz baliogabetzea lortzen baitute. Hala, 2020-2030 hamarkadako ereduak 1,5 eta 2,5 °C arteko batez besteko igoera adierazten dute 1990-2000 hamarkadarekiko. Igoera oso desberdina espero da latitudearen arabera: oro har, uste da latitude tropikaleko urteko batez besteko tenperatura 1 °C baino gutxiago igoko dela, latitude ertainetakoa 1 °C eta 1,5 °C artean eta goi-latitudeetakoa 2 °C-tik gora.



Baina ereduak adierazten dutenaren kontra, azken hamarkadetan, Antartika -ereduan arabesa, gehien berotu behar zuen eskualdea -ez da berotu, oro har, eta horrek zalantza jartzen du eredu horien fidagarritasuna. Zenbaiten ustez, ozono estratosferikoaren murrizketak eta berotegi-gasen gehikuntzak estratosfera hoztu eta haize zirkunpolarren zurrumbilua -SAM indizea eragin leungarritik isolatu du kontinentea.

Temperaturen igoera neurritsuak eta CO₂-aren gehikuntzak gizateriari epe laburreko onurak ekar diezazkiokeen arren (hotz gutxiago neguan, hazkunde begetatiboko aldi luzeagoa, biomasa gehiago maila globalean...), erakunde zientifiko, politiko, sozial eta komunikabide gehien ustez, handiagoak izango dira kalteak, eta, horregatik, uste da emisioak murrizteko zerbait egin behar dela. Baina, zer egin?

Zaila da datozen urteetan energia-kontsumo globala murriztu eta CO₂-aren emisioak gutxitzea. Garraio-sektorearen (automobilak, itsasontziak eta hegazkinak) energia-kontsumoa handitzen ari da ia herrialde guztietan, eta are gehiago hazkunde ekonomikoko ahalmen handiena dutenetan (adibidez, Txinan eta Indian). Egia da industria-emisioek beheranzko joera adierazten dutela herrialde aurreratuenetan,

baina, aurrerapen teknologikoei esker, ekoiztutako unitate bakoitzeko energia gutxiago behar delako gertatzen da hori, eta oraindik ez da horrelako aurrerapenik herrialde azpigaratu gehienetan. Baina, zailtasunak zailtasun, zer estrategia global aplika daitezke atmosferako CO₂-aren kontzentrazioak handitzen jarrai ez dezan?

Energia alternatiboak eta neurri fiskalak

Erregai fosilen orde, beste energia-iturri batzuk erabiltzea izan daiteke irtenbideetako bat (batez ere, energia elektrikoaren ekoizpenaren arloan). Azarora da, gaur gaurkoz, ener-

gia nuklearra eta energia hidraulikoa direla benetan alternatiboak diren energia bakarrak. Energia nuklearrak eragozpen handiak ditu ekologiaren ikuspegitik, istripuak gertatzeko arriskuagatik eta hondakinen kudeaketarengatik. Ener-gia hidroelektrikoak, berriz, aldaketak eragiten ditu presak eraikitzen diren arroetan. Iritzi publikoaren babes handiagoa duten haize- eta eguzki-energiak, oster, elektrizitatea ekoizteko erabiltzen diren erregaia fosilen ehuneko osotxiki bat bakarrik ordezkatzeko maila globalean eta amarkada batzuetako epean. Hala energiaren % 10 baino askoz ere gutxiago sortzen da, gaur egun, iturri horietatik.

Bigarrenik, erregai fosilen kontsumoa murrizteko saiakera egin daiteke, energia horien erabilera are gehiago tasatzen duen politika fiskalen bidez. Baina, bistan denez, neurri horiek hartuz gero, gobernuak gasolinaren, elektrizitatearen eta berokuntzako gasaren prezioak igo beharko lituzkete. Garraio-sektorean, ibilgailuak higiarazteko beste metodo batzuk aurkitzen eta merkaturatzen ez diren artean -adibidez, hidrogeno bidezko erregai-zelulak-, CO₂-aren emisio garbiek gora egiten jarraituko dute.

Energia -eraginkortasuna hobetzea

1973an petrolioaren prezioek izandako igoera ikusgarriaren aururretik, energia-eraginkortasuna hobetzen ari zen poliki-poliki, baina, prezioak biderkatu zirenean, askoz ere ahalegin handiagoa egiten hasi ziren garraioaren, industriaren eta eraikuntzaren arloko ikerkuntzan, eta horrek hobekuntza handiak ekarri zituen energia-eraginkortasunean. Hala, adibidez, 2000n hozkailu batek lau aldiz energia elektriko gutxiago kontsumitzen zuen 1975eko antzeko hozkailu batek baino, eta auto batek gasolinaren erdia baino gutxiago behar zuen 1975eko pisu bereko auto baten aldean.



Energia-eraginkortasunaren arloan egindako hobekuntzek ekoizpen-arlo guztietan murriztu ditzakete emisioak -ez soilik industriaren arloan, baizik baita nekazaritzan ere-, eta, aurreikuspen guztien arabera, XXI. mendean, herrialde handien garapen ekonomikoaren ondorioz (adibidez, India eta Txina) emisioek izango duten gehikuntzaren murrizketan garrantzia handia izango du energia-eraginkortasunak. Orain arte, gas naturalari -zeinaren osagai nagusia metanoa baita- nagusitasuna emataren alde egin da, petrolioaren eta ikatzaren gainetik. Ekoizpen elektrikoaren zentral termikoek % 30-40 CO₂-emisio gutxiago egiten dituzte ekoiztutako energia-unitate bakoitzeko, fuel-olua edo ikatza erabiltzen dutenak baino. Hala, elektrizitatea sortzeko gas naturala erretzean, 500 gramo inguru CO₂ isurtzen dira ekoiztutako kWh bakoitzeko; petrolioaren errektuntzak 700 gramo isurtzen ditu kWh bakoitzeko; eta ikatzarenak 900 gramo kWh bakoitzeko.

Duela gutxi arte, beldur ginen gas naturalaren erreserbak ez ote ziren eskasegiak izango, baina, azken urteetan sekulako metano-biltegiak aurkitu dira eskualde kontinental eta kostaldeko eskualde zabaletako zorupean. Edonola ere, gas

naturalaren eraginkortasunaren azken balantzea egitean, ez dira, ahaztu behar ustiaketan eta garraioan gertatzen diren jarioak ere. Molekulaz molekula, metanoak CO₂-ak baino berotze-ahalmen askoz ere handiagoa duenez, jario horien ondorioz, litekeena da ikatza erabiltzen suten zentral termikoak gas naturala erabiltzen dutenik ordezkatzeko inolako abantailarik ez ekartzea. Berreskuratu ezin diren eta askotan nahita egindako gas-jario horiek, metanoa ezezik, CO₂-a izaten dute naturalaren bolumenaren % 20 inguru CO₂ izaten baita (eta gas-hodi bidez garraia daitekeen kalitateko gas naturala ekoizti aurretik desegin beharrezko azpi produktu gisa). Norvegian, Indonesian eta Autralian, badituzte, jadanik, CO₂-soberakin horiek agortutako hobietan berriz txertatzeko sistematik, eta badirudi ez dela gairiditu ezin-neko erazo teknikorik hobi horiek iragazgaitasun ezin hobea erakutsi baitute nilioika urtetan.

Gas naturalak sekulako aurrerakada izan duen arren, oraindik ere, mundu mailan, ikatza da elektrizitatea ekoizteko gehien erabiltzen den erregai fosila, ikatza oso banatuta baitago geografiko-ki eta merkeagoa baita. Ezagutzen diren ikatz-erreserbak oso handiak dira, eta oraindik ere hainbat mendeetan ustia daitezke. Hala, oraingoz ez da espero Txina eta Indiaren gisako herrialde garrantzitsuetan ikatzaren erabilera murriztea. Txinan ikatzarekin funtzionatzen duten ehun zentral termiko inguru eraikitzen dira urtean, guztira, 75.000 Mw-ko ahalmenarekin (Espainiako gehieneko elektrizitate-kontsumoaren ia bikoiztaren balio-kidea). Ikatza darabilten zentral termikoen eraginkortasuna hobetuz gero, beste energia-iturri batzuek erabiltzen dituztenak baino errentagarriagoak bihurtu daitezke. Petrolioari dagokionez, prospekzio-teknikei esker, erreserba berriak aurkitzen ari dira. Gainera, petrolio gordin astunen ustiapenak (adibidez, Venezuelako Orinoco zerrendakoak) uxatu edo gutxitu egin ditu, duela urte batzuk, epe laburre-



ko petrolio-eskasiari buruz zabalduetako kezak. Hala eta guztiz ere, petrolioak hainbat eragozpen ditu: batetik, petrolioaren ekoizpen-eremuetatik kontsumo-lekuetara lurrez edo itsasoz garraiatzean izaten diren istripuek eragindako jario eta marea beltzen arrisku ekologikoak, eta, bestetik, herrialde esportatzaile gutxi batzuek eskaintza guztia kontrolatzea eta petrolioaren prezioaren

ezegonkortasuna faktore geopolitikoaren eraginez.

CO₂-a atzitu eta biltegitratzea

CO₂-emisioen gehikuntza murrizteko airera isuritako CO₂-a atzitu eta biltegitratzeko teknologiak ere erabil daitezke. Baina ez da erraza ikaragarriko kuantitateak ekoizten baitira. Adibidez, ikatza erabiltzen duen 1.000 MW-eko potentziako zentral termiko batek 2,5 milioi tona CO₂ sortzen ditu urtean. Besteak beste, ustiatutako petrolio- eta gas-putzuetan CO₂-a txertatu eta bahitzeko metodoei buruzko saiakuntzak egiten ari dira. Horretarako, erregaia (petrolio, gas edo ikatza) erabiltzen duten instalazioen eta erregaia bahitzeko putzuen arteko lotura egin behar da Horretarako, gas-bideak edo gas-on-tziak erabil daitezke. Garraioaren arloan, zailagoa da hori egitea. Izan ere, ia ezinezkoa da automobiletako gasolinaren errektuntzak modu barreiatuan igorritako CO₂-a (ia 150 gramo kilometroko) jasotzea. Ozeanoan ere biltegitratzea daiteke bahitutako CO₂-a. Konpresioz likidotu ondoren, itsasoaren hondan injektatu daiteke. Kaliforniako Monterrey badiaren horrelako saiakuntzak egin dituzte dagoeneko. Edonola ere, oraindik ere zaila da haindik daude itsasoan CO₂-a era masiboan bahitzeko teknikek eragin ditzaketen ondorio biologiko eta ingurumen-desorekei buruz. Beste proiektu teorikoago -garestiak direlako- batzuen arabera, CO₂-aneutralizatu, eta karbo-



nato egonkor eta disolbaezinak sor dai-
tezke, oinarritzko magnesio- eta kaltzio-
ioien eta sodio- eta potasio-ioien azido
karbonikoa neutralizatuz.

Xurgapen biologikoa

Lurzoruaren erabilak aldatu, eta lurzo-
ruaren beraren edo landaretzaren hustu-
leku-efektua bultzatzen duten erabilerak
martxan jartzeak gero eta interes han-
diagoa sortzen du atmosferako CO₂-
aren gehikuntza geldiarazteko. Baso
berri batek 10 kg karbono xurga ditzake
landatutako metro kuadro bakoitzeko.
Lurreko biomasa modu naturalean ari da
gehitzen, eta emisio antropikoek sortuta-
ko CO₂-aren parte handi bat xurgatzen
du Ekoizpen primario garbia (NPP)
(ekoizpen primario garbia ken landareek
arnastean/denkonposatzean kontsumi-
tutakoa) 50 PgC da urteko gaur egun.
Efektu hori handiagoa izateko, basobe-
rritzeko politikak gehiago garatzea, lan-
dutako soroen higadura kontrolatzea eta
larreak hobetzea izan daiteke bideetako
bat, basoak artifizialki ongarriz, baita
espezie emankorrakoak genetikoki sor-
tuz eta landatuz ere. CO₂-aren kontzen-
trazioa murrizteko estrategia horrek are garrantzi handiagoa
hartu du hainbat herrialdek Kyotoko protokoloa sinatu eta
berretsi ondoren.

Hala ere, ez dira oso ondo ezagutzen baso-eremu berriek
izan ditzaketen ondorio termikoak eta plubiometrikoak.
Adibidez, litekeena da goi-latitudeetan berotzea areagotzea
-batez ere, udaberrikoa- gainazal elurtuen albedoa txikitu
ondoren. Lurrazala elurrez estaltzen den egunetan, baso
borealen zerrendak 0,35eko albedoa du sateliteen neurke-
ten arabera, hau da, basorik gabeko lurrek baino askoz ere
txikiagoa.

Goi-latitudeetan efektua konplexuagoa da.
Zerrenda epeleko lur landuak eta larreak
elurrez estaltzen direnean albedoa 0,70era
igotzen da, baina, udan, badirudi basoek
dezente jaitsarazten dituztela tenperaturak.
Prezipitazioei dagokienez, ebapotranspira-



zioak euri gehiago eragin dezake
tropikoan, baina latitude epeletan
basoek indarra kentzen diete airea-
ren mugimendu konbektiboei eta
goranzko mugimenduei, eta, ondo-
rioz, euriak ekar dezakeen hezetasu-
naren.

Kyotoko Protokoloa

1997ko abenduan, 39 herrialdetako
gubernuen ordezkariak protokolo bat idatzi eta sinatu zuten
Kyoton (Japonian). Hala, proiektua behar adina herrialdek
-herrialde horiek emisioiek emisio globalen % 55 gainditu
behar zuten- berretsi ondoren, herrialde horiek konpromisoa
hartu zuten 2008 eta 2012 artean, CO₂-emisioak % 5
murrizteko 1990eko emisioak kontuan hartuta.
Jatorrizko itunean helburu desberdinak jasotzen dira herri
bakoitzarentzat. Hala, Europako Batasuneko herrialdeek
beren artean banatu ditzakete murrizketa-kuotak, guztira,
emisioak % 8 murriztea lortzeko. Hori esker Europako
Batasuneko herrialde batzuek (Espainiak, esate baterako)



% 18 handitu ahal izango
dituzte emisioak. Nahiz eta
Europako estatu batzuek
nekez beteko duten hitzartu-
takoa, baliteke Europak, oso-
tasunean, helburua betetzea
politika berriak ezarri beha-
rrik gabe eta kostu handiago-
rik jasan gabe. Izan ere, emi-
sio-murrizketa handiak izan
dira Frantzian (energia nukle-
arraren alde egin duelako), Alemanian (90eko
bateratzearen ondoren, industria astuna ixteaga-
tik) eta Erresuma Batuan (Thatcher-en garaieta-
tik ikatza utzi, eta gasa eta energia nuklearren
alde egin duelako). Arazoa, ordea, bestelakoa da
Estatu Batuetan. Protokoloak % 7ko emisio-
murrizketa ezarri zion, eta, jadanik, 2000n, ez
berrestea erabaki baino lehen. Estatu Batuen
emisioak 1990ekoak baino %18 handiagoak
ziren. Hauek dira Estatu Batuen emisio handien
bi arrazoi nagusiak: batetik, erragaien -batez ere,
gasolinaren-gaineko fiskalitate txikia eta, beste-
tik, ikatza ekoizpen elektrikoaren energia-iturri
nagusia izatea (% 54, 2000n). Bestalde, hitzar-



mena sinatu arren, betebeharretatik kanpo
daude, aurreikuspenen arabera, datozen urte-
etan emisioak gehien handitu dituzten herrial-
deak (Txina, India, Brasil eta Mexiko).
Hitzarmenak haibat eztabaida sortu ditu, eta
berresteko zailtasunak dituzte herrialdeek,
baina, berez, Kyotoko protokoloak oso eragin
txikia izango du. Hala, datozen urteetan hitzar-
tutako murrizketa lortuko balitz, eredu klimati-
koen arabera, neurririk hartu gabe baino
gradu-hamarrena gutxiago igoko litzateke ten-
teratura.

Kyotoko protokoloaren alderdi eztabaidatue-
netako baten arabera, emisio-kuota handitu
dezakete basoberritze-politika ezartzen duten
estatuak, hustuleku gisa jarduten duten baso
berriek xurgatutako CO₂-kantitatea kontuan
hartuta (kalkulatu hori egitea ez a batere erra-
za, hainbat faktore hartu behar baita kontuan).

Are zailagoa da lurzoruaren erabileraren balizko aldaketek
zenbait CO₂ xurgatuko duten kalkulatzeko. Basoberritze-
politikari oinarritutako neurri horren kontraesanetako bat da
ez dela kontuan hartzen baso gehien duten paisaiekin albedo
txikiagoa dutela, hau da, eguzki-energia gutxiago islatzen
dutela. Beraz, goi-latitudeetan baso berriak sortzeak sortu-
ko lukeen albedoaren murrizketak -eta gainazaleko tenpe-
ratura igotzeak-, agian, CO₂-aren xurgapen handiagoak
sortuko lukeen hozte-efektua indargabetuko luke.

Halaber, Kyotoko protokoloaren arabera, zilegi da emisio-
kredituak salerostea gobernu batzuen eta besteen artean,



gobernu bakoitzari ezarritako kotak kontuan hartuta. Hala,
bere emisio-kuota gaintu nahi duen estatu batek CO₂-
aren emisio-kredituak eros ditzake nazioarteko merkatuan,
eta, hartara, berez dagokiona baino emisio gehiago egin di-
tzake. Emisioak murrizteko konpromisoa hartu duten baina
konpromiso hori bete ezin duten herrialdeek kuota handia-
goa lor dezakete "garapen garbiko mekanismoak" izeneko-
en bidez. Adibidez, Espainiak murrizketa-konpromisorik ez
duen hirugarren herrialde bati (adibidez, Txina) emisioak
murrizten laguntzen badio, bere murrizketa-obligazioaren
salbuespen partziala lortzen du.

MADRILGO KLIMAREN GOI BERAK EZ DU KARBONO MERKATUA AURRERA ATERATZEA LORTU

**COP25ek isurketen murriz-
ketetan anbizio handiagoa
eskatzen duen dokumentu
bat adostea lortu du.**

COP25 bilera igandean,
abenduaren 15ean, amaitu
zen, Madril, eta bertan, mun-
duko herrialdeak ez ziren gai
izan adostasun handirik erdiste-
ko; ondorioz, klima larrialdiri
aurre egiteko neurri eraginkorrik
hartu gabe joango dira etxera negoziatzaileak.
Ostiral iluntzean zen bukatzekoa bilkura, baina,
adostasunik ez zenez, luzatzea erabaki zuen
presidentetzak, zeina Txileren ardurapean
egon den. Azkenean, herregun lortu gutxiene-
ko akordio bat (Txile-Madril: Ekintzarako
ordua), eta, horren arabera, herrialdeek
2020an neurri gehiago eta azkarragoak hartu
beharko dituzte klimaren egoera larriari aurre
egiteko. Ez ditu zehazten, ordea, sein neurri diren, eta herrial-
de bakoitzak bereak aurkeztu beharko ditu. Datorren urtean,
Glasgow (Eskozia) izango da COP26 goi bilera eta ordurako
zehaztuta egon beharkoa da bakoitza zeran ari den.
Madrilgo goi bilera osoan, hainbat gaitan katramilatu dira
herrialdeak, eta nagusia karbono isurien merkatua (saleroske-
ta) arautzearena izan da, Paris-ko Hitzarmeneko 6. puntua,
hain zuzen. Azkenean, ez dute ezer adosu gai horren inguruan,
ela Glasgown bilerarako utzi dute ados jartzeko aukera.



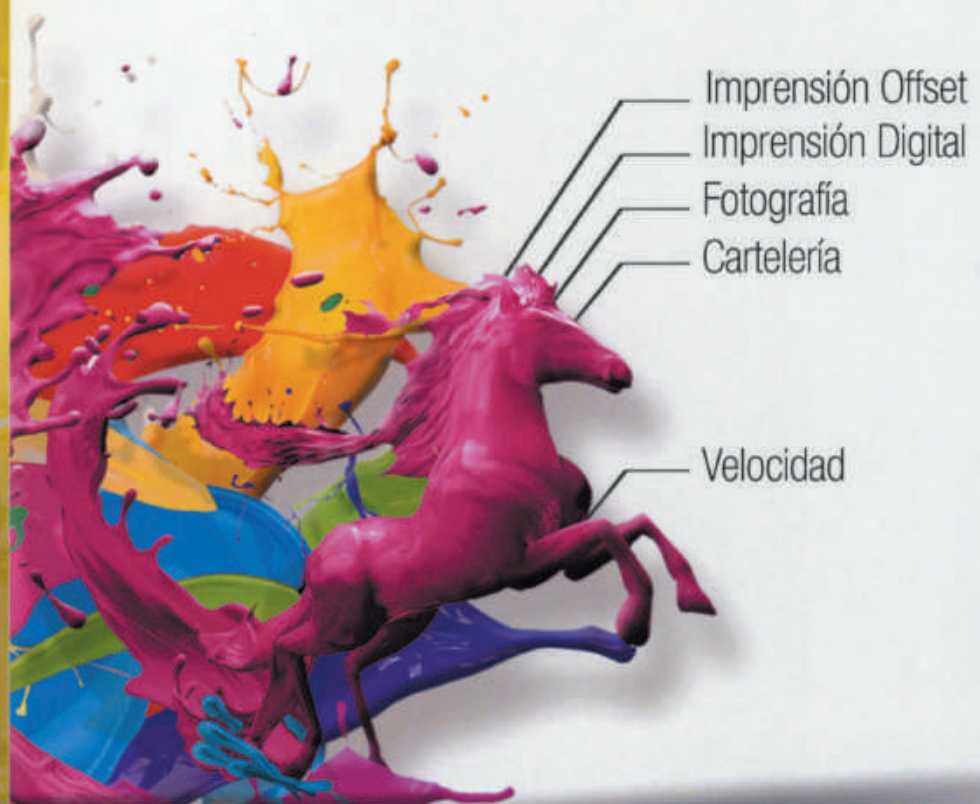
Herrialdeak bat etorri dira
gai honetan: zientziari apar-
teko garrantzia eman behar
zaio klima aldaketari aurre
egiteko gobernuak hartuko
dituzten neurrietan. Baina
zientzia aspaldi dabil neurri
eraginkorrek eskatzen, eta,
oraingoz, ez du erantzun
zehatzik jaso gobernuen
partetik. Ezta Madril ere.
Generoaren Ekintza Plana
abian jartzea badator akor-

dioan, emakumezkoen presentzia "han-
ditzeko" klimaren inguruko nazioarteko
negoiazioetan. Horrez gain, klima alda-
ketaren eraginak emakumeak gehiago
erasaten dituzenez, neurriak iragarri dituz-
te hori bukatzeko, eta pertsona horiek
"eragileak" hartuko dituzte klimari aurre
egiteko neurrietan. 2025ean berrikusiko
dute zer bilakaera izaten ari den puntu
hori.

Adostutakoari eta adosteke geratu denari buruzko balorazio
kontrajarriak agertu dituzte Euskal Herriko eragile politiko uga-
rik. Jaurilaritzak, esaterako, irakurketa "izugarri positiboa" egin
du: "Mugarri izan da. Ekonomia, industria eta nekazaritza minis-
troak ikusi ditugu: inoiz ikusi gabeko transbertsalitatea egon
da", esan de Elena Moreno Eusko Jaurilaritzako Inguruen sail-
buruordeak ETBn: "Madrilik aurrera, emaitza positiboak baino
ez dira espero".



GRÁFICAS **RD**



Impresión Offset

Impresión Digital

Fotografía

Cartelería

Velocidad

Tu imprenta de confianza



C/ IRUÑA, 1 BIS, 2ª PL.- BILBAO

✉ info@graficasrd.com

☎ 94 447 93 04

💻 www.graficasrd.com