

BEROTEGI EFEKTUA, ZER DA?

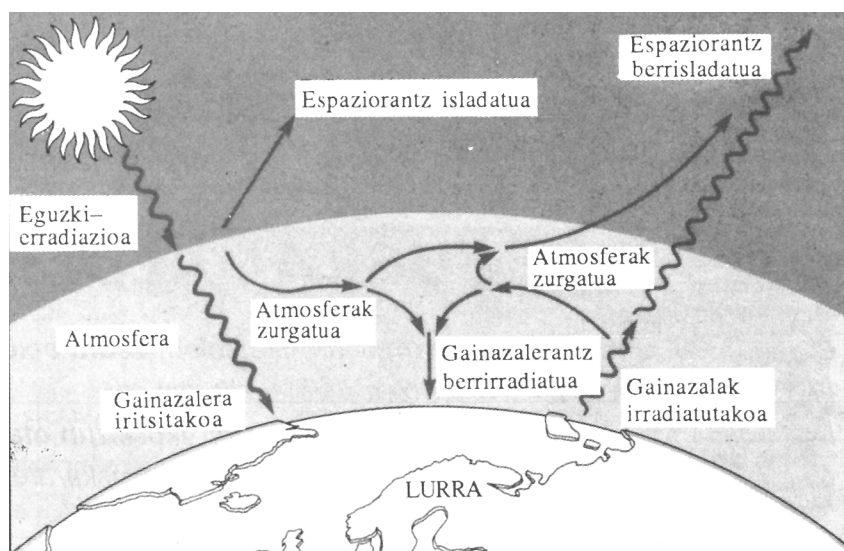
John Gribbin

Egunotan gertatzen diren eguraldi-aldaketa ustegabekoek, giza ekintzek eragindako berotegi efektua omen dute errudun. Dena den, berotegi efektua naturaren zati bat da, nahiz eta gizakiaren eraginak honen oreka kolokan ipini.

Aire-koltxoi batek inguratzen duela, "nahikoa epela" da Lurra. "Nahikoa epela" izateak, Lurraren temperatura 0°C eta 100°C bitartean dagoela (urak likido irauten duen tartean alegia) esan nahi du. Hori horrela izanik, gure planetako tenperaturak Ilargiarenarekin konparatzen baditugu Lurraren atmosferak erantzunkizuna duela ikusiko dugu. Ilargia eta Lurra gutxi gorabehera distantzia berdinerara daude Eguzkitik—Eguzki-sistemako bero-iturritik—, baina Ilargia atmosferarik gabeko "planeta" da. Airerik gabeko Ilargian, temperatura 100°C-raino igotzen da eguzki-galdatan eta -150°C-raino jaisten da gaez.

Ilargi-gainazalaren batezbesteko temperatura -18°C-koa da. Temperatura horretan, Ilargiak espaziora igortzen duen energiak, Eguzkitik jasotzen duena berdintzen du. Lurrak aire-koltxoirik izango ez balu eta Ilargia bezalako harrizko bola izango balitz, -18°C-ko batezbesteko gainazal-tenperatura izango luke. Gure planetaren batezbesteko gainazal-tenperatura 15°C-koa da. Aire-koltxoiak gure planetaren temperatura legokioketena baino 33°C epelago mantentzen du.

Baina hori nola gertatzen da? Eguzkiaren energia espektroaren alderdi ikuskorrean erradiatzen da batez ere; 0,4-0,7 mikrako bandan. Erradiazio honek eta uhin-luzera motzeko infragorriak Lurraren atmosfera zurgatuak izan gabe zeharkatzen dute —hala ere hodeiek zati



Lurraren gainazalak infragorrian igortzen diren erradiazioaren zati bat, atmosferak lurrazalera berrigortzen du.

bat espaziora isladatzen dute— eta lurreko eta itsasoko gainazalak berotzen dituzte. Eguzki-energiaren %7 0,4 mikra baino erradiazio laburragoetan erradiatzen da; ultramorrearen zonan hain zuzen ere. Espektroaren beste muturrean, 0,7 mikratik gora, energia infragorrian erradiatzen da. Infragorritzko energia hau eta zuk zure etxeko erradiadorearen parean jarrita sentitzen duzun beroa, guztiz berdinak dira.

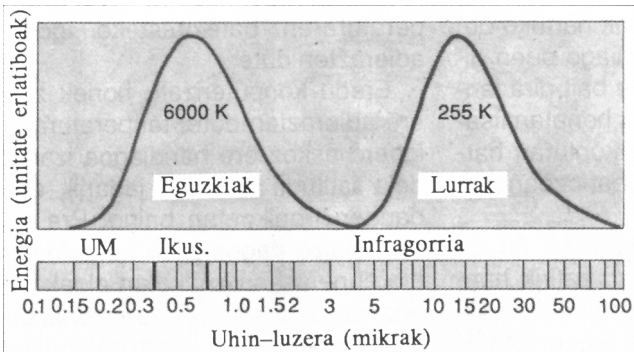
Lurraren koltxoa

Objektu bero batek gehiena zein uhin-luzera tartean erradiatuko duen, objektu beroaren tenperaturaren menpekoa da. Eguzkiaren

gainazal-tenperatura 6.000°C ingurukoa da eta temperatura horri banda ikuskorreko erradiazioa dagokio. Eguzki-erradiazioak epeltzen duen Lurraren gainazalak, Celsius gradu gutxiren temperatura du eta ondorioz infragorrian erradiatzen du; 4-100 mikrako tartean nagusiki.

Ur-lurrinak 4-7 mikrako bandan bortizki zurgatzen du eta karbono(IV) oxidoak 13-19 mikrako bandan. Horrela, 7-13 mikrako tartean leihoa dago eta hortik lurrazalari darion energiaren %70 baino gehiagok espaziora ihes egiten du.

Zurgapenaren kausaz planetaren gainazal epelari darion bero infragorriak ezin du libre espaziora ihes egin



Lurrak Eguzkitik jasotzen duen energi kantitate berdina igortzen du espaziora, uhin-luzera handiagotan hala ere.

eta atmosferaren geruzarik barrenekoena —troposfera— berotzen du. Troposferako airea epela denez, beroa erradiatzen du lurrerantz eta egon zitekeena baino beroago mantentzen du. Hori da negutegi efektua, hain zuzen ere.

Aireak duen ur-lurrinaren eta karbono(IV) oxidoaren kantitateak eta Eguzkitik datorren berokantitateak konstante dirauten heinean, oreka ezartzen da. "Berotegi-gasek" (karbono(IV) oxidoa, ur-lurrina eta beste batzuek) erradiazio infragorria zurgatzeaz gain, igorri egiten dute. Altuera handiagotu ahala troposferaren tenperatura jaitsi egiten denez, troposferako geruza bakoitzak beherago dagoenak erradiatzen duen energia zurgatuko du eta bere gainean dagoenari pasatuko dio. Azkenik beroak tenperatura baxuagoan espaziora ihes egingo du. Efektua guztira, espaziora erradiatzen den infragorria gutxiagotzea da. Gainazalaren tenperaturak gora egin behar du, Lurrari darion energia Eguzkitik datorren energia orekatu arte.

Berotegi efektuak zorua eta airea berotzen ditu. Giza ekintzek atmosferan dagoen karbono(IV) oxidozko kantitatea handiagotuz dihardutelako sortu da gaur egun berotegi efektuari buruz dagoen kezka. Karbono(IV) oxidozko isurketek berotegi efektua sendotu egiten dute. Egun giza ekintzek sortzen dituzten beste zenbait gasek —gas antropogenikoek—erradiazioak ihes egiteko erabiltzen duen 7-13 mikrako leihoan zurgatzen dute energia infragorria. Gas antropogeniko hauen eragin konbinatuak hurrengo hamarkadetan Lurra nabarmenki berotuko duela dirudi.

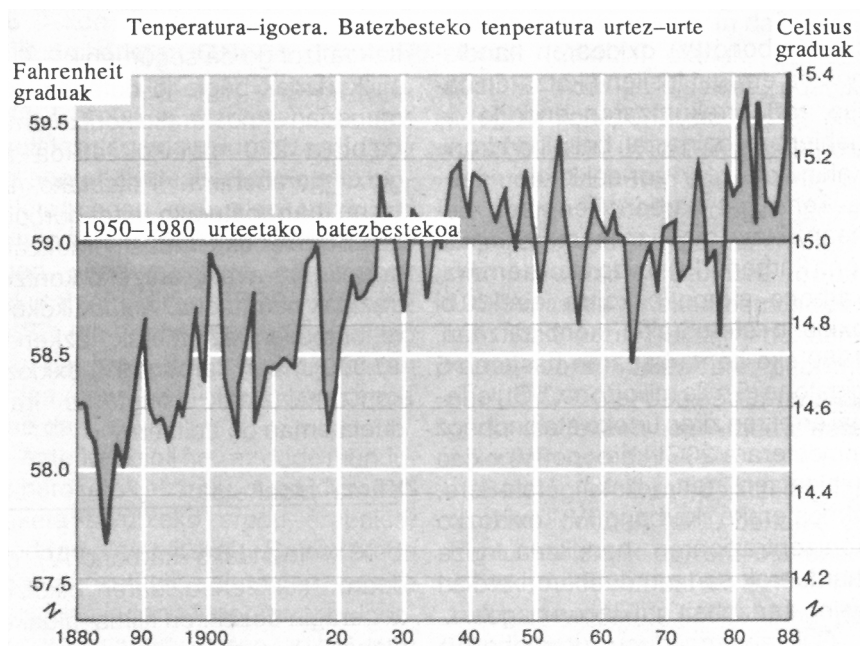
Aberastutako atmosfera

Berotegi efektuaren berri, XIX. mendearen erdialdeaz gero daukate zientzilariek. 1863.ean *John Tyndall* zientzilari britainiarrak ur-lurrinak berotegi-gas moduan zuen jokabidearen berri eman zuen *Philosophical Magazine* izenekoan. 1890.ean *Svante Arrhenius* suediarra eta *P. C. Chamberlain* iparramerikarrak, ikatzaren errekuntzak sortutako karbono(IV) oxidoa airean metatzeak sor zitzakeen arazoak aztertu zituzten. Gainazal-aiarearen batezbesteko tenperatura XX. mendearen lehenengo zatian apur bat igo zen; 0,25°C 1880. eta 1940.aren bitartean. Baina 1940 eta 1970 bitartean mundua 0,2°C hoztu zen eta munduaren berotzearen azterketa ez zen ikergai interesgarri bilakatu. Egoera aldatu egin zen gero atmos-

ferako karbono(IV) oxidozko kontzentrazioen neurketak kontzentrazioaren igoera nabarmena zela adierazten hasi zirenean. 1970.eko hamarkadan interes bizia piztu zen gai honen inguruan eta XIX. mendean zegoen karbono(IV) oxidozko kontzentrazio "naturalaren" bikoizketak, Lurrari 2°C-tan berotzea eragingo ziola esaten hasi ziren.

1970. eta 1980. urteen bitartean, iragarpen horiek egiten ziharduten garai berean, Lurreko batezbesteko tenperatura 0,3°C igo zen eta 1980.eko hamarkadan zehar jarraitzeko joera duela dirudi. Tenperaturei buruz dauzkagun daturik zaharreneak 1850.ekoak dira. 1987.a guztietan beroena izan da eta 1988.enak, lehenengo sei hilabeteen datuen arabera, marka hauts dezake. Hau berotegi efektu antropogenikoaren ondorio bakarrik dela ez dago frogatzerik. Baina arazoaren azterketa oso gai interesgarri bilakatu da.

Airean dagoen karbono(IV) oxidozko kantitatearen neurketa zehatza, Mauna Loa-n (Hawaii) eta Hego Poloan hasi ziren egiten Nazioarteko Urte Geografikoaren (1957-58) aitzaiaz. Bi neurtoki hauek garrantzitsuak dira, poluzioaren iturrietatik urrun daudelako eta atmosferaren "ondo nahasturiko" egoera adierazten dutelako. Bi puntu hauetan urteko erritmoa nabaritzen da. Erritmo hau



1880.etik batazbesteko tenperaturak.

Ipar Hemisferioko lurrak estaltzen duen landarediaren urtaro-aldaketarekin erlazionatuta dago. Lurreko landarediak karbono(IV) oxidoa arnasten du (ziklo honetan Ipar Hemisferioak agintzen du lurmasarik handienak bertan daudelako). 1970.eko hamarkadarako urteroko erritmo honi, karbono(IV) oxidorekin igotzea markatzen duen joerari gainjartzen zitzaiola argi eta garbi zegoen.

1957.ean atmosferan zegoen karbono(IV) oxidorekin kontzentrazioa 315 milioiko zatikoa (%0,0315) zen. Egun 350 milioiko zatikoa (%0,035)

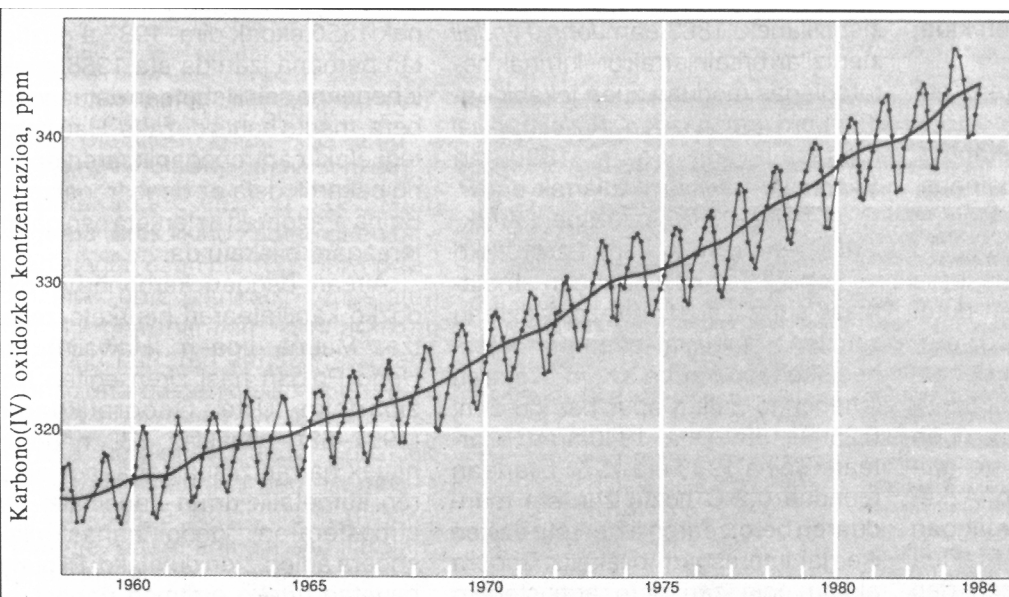
da. Zati bat landarediak hartuko du; karbono(IV) oxido gehiago duen giroan sendoago hazten bait dira landareak. Landaredi hitz honetan itsasotako planktona ere kontutan hartzen dugu. Beste zati bat ozeanotan disolbatuko da.

1850 eta 1950 bitartean 60 Gt karbono (ikatz moduan zatirik handiena) erre ziren industri iraultza pilpilean zegoenean. Gaur, karbono-kantitate hori erretzeko 12 urte baka-rik behar dira. Gaurtik mendebukae-rra arte atmosferara isuriko den karbono(IV) oxidorekin kantitatea 1850-1950 bitartean erre zena adina-

peraturaren batezbesteko igotzea adierazten dute.

Eredu konputerizatu horiek zera ere adierazten dute: tenperaturaren igotzea askoz ere handiagoa izango dela latitude altuetan jadanik epel dauden tropikoetan baino. Era berean haize nagusien norabidetan eta euri-jasen banaketan aldaketak egongo dira. Uste denez, kontinenteen barnekaldeak idortu egingo dira berotegi efektua handiagotu ahala.

Eguneko kontzentrazio-igoeraren estrapolazioa eginez, karbono(IV) oxidorekin kontzentrazioaren bikoizteta 2080. urtearen inguruan gerta-



Mauna Loa behatokian kendutako CO₂-zko kontzentrazioak.

tuko da. Estimazio honetan ez dira kontutan hartu datorren mendean energi iturrien erabilpenean gerta daitezkeen aldaketak. Eztabaida bizian dago arazoa egun. Dena den, zenbaki hori karbono(IV) oxidorekin arazoa dimentsionatzeko erabil dezakegu.

Giza iharduerak atmosferara isurtzen dituen beste zenbait gasek (hala nola ozonoak, metanoak, nitrogeno-oxidoek eta fluorohidrokarburoek) erradiazio infragorriaren 7-13 mikrako leihoan zurgatzen dute. Fluorohidrokarburoak Arktikoan eta Antarktidan ozono-

geruzan gertatzen ari diren zuloen erantzule izateaz gain, oso berotegi-gas indartsuak dira. Fluorohidrokarburo arruntaren molekula batek karbono(IV) oxidorekin 10.000 molekulen berotegi efektua eragiten du.

Gaur egun, metanoaren atmosfera-kontzentrazioa 1,7 milioiko zatikoa da eta urteko %1,2 igotzen ari da. Arroz-soroetako bakterioen lana eta gas- eta petroliohobietan gertatzen diren isuriak dira igotzea horren kausa. Nitrogeno-oxidoak 0,3 milioiko zatikoa dira atmosferan eta beren kontzentrazioa %0,3 igotzen ari da urteko, ongari nitrogenatuen erabilpena hedatuz doalako.

Chicagoko unibertsitateko *Veerhabadrhan Ramanathan* ikerlariak, gas hauen berotegi efektua karbono(IV) oxidorekin baliokide bihurtu du eta 2030. urterako hauen

koa izango da seguruenik.

Ikerlariak begiz jo dutenez, XIX. mendean atmosferako kontzentrazio naturala 270 milioiko zatikoa zen gutxi gorabehera. Poloetako izotzean harrapatutako aire-burbuilak aztertu direnean, industri iraultzaren aurreko garairako antzeko kontzentrazioak neurtu dira. Antarktikoko aire-burbuilak azterketak, azkeneko 10.000 urtean karbono(IV) oxidorekin kontzentrazioak konstante iraun duela eman du aditzaera.

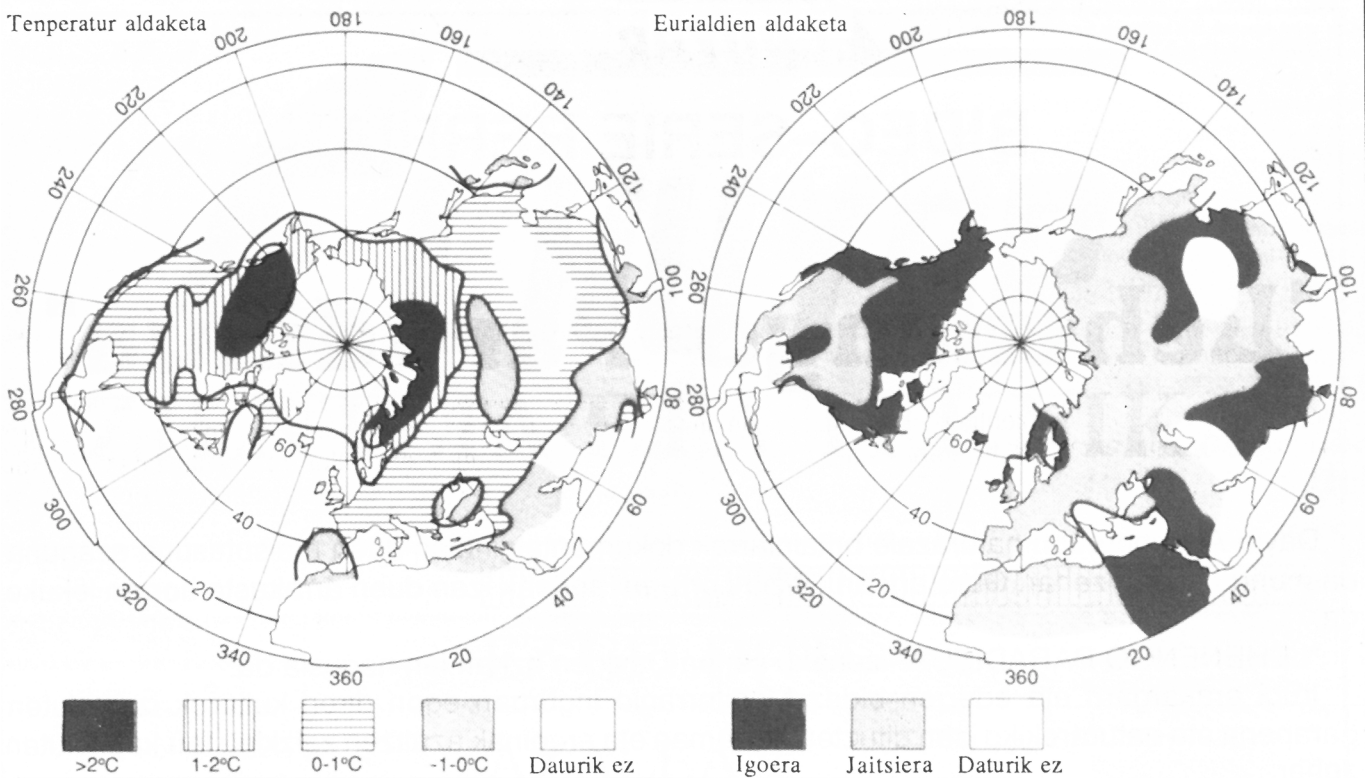
Klima-aldaketak

XIX. mendeko karbono(IV) oxidorekin kontzentrazioaren bikoizketak eragin dezakeen klima-aldaketa globalari buruzko eredu konputerizatu desberdinek, zifra berdinean samarrak eman dituzte: gehienek 2°C-ko ten-

peraturaren batezbesteko igotzea adierazten dute.

Eredu konputerizatu horiek zera ere adierazten dute: tenperaturaren igotzea askoz ere handiagoa izango dela latitude altuetan jadanik epel dauden tropikoetan baino. Era berean haize nagusien norabidetan eta euri-jasen banaketan aldaketak egongo dira. Uste denez, kontinenteen barnekaldeak idortu egingo dira berotegi efektua handiagotu ahala.

Eguneko kontzentrazio-igoeraren estrapolazioa eginez, karbono(IV) oxidorekin kontzentrazioaren bikoizteta 2080. urtearen inguruan gerta-



Temperatura- eta euri-eskemen aldaketak mundu epelagoan.

kontzentrazioaren estrapolazioa egin du. Bere aburuz, ekarpen txiki guzti hauen batura giza iharduerak sortzen duen karbono(IV) oxidoarenaren adinakoa izango da. Laburtuz, berotegi efektu antropogenikoaren indarra bikoiztu egingo da. Alegia, karbono(IV) oxidoaren kontzentrazioaren bikoizte efektiboa 2030. urtean gertatuko da; karbono(IV) oxidoaren igoera bakarrak eragingo lukeena baino mende erdia lehenago.

Arazo klimatikoa

Azaldu berri dugun gertakizun honek nola eragingo dio munduko klimari? Inork ez dauka zehatz-mehatz esaterik, baina ideia bat izateko zera egin daiteke: mende honetan munduko eskualde desberdinetan, urte beroetan eta urte hotzetan egon diren eguraldi-joerei begiratzea. Britainia Handiko East Anglia-ko Unibertsitateko ikerlariek lan hori egin dute. 1925.etik 1974.erarteko 50 urteetako datuak aztertu dituzte eta bost urte epelenak eta bost hotzenak aukeratu dituzte.

Arktiko inguruko, 65°I eta 80°I latitudeen arteko eskualdeetako tenperaturak aztertu dituzte lehenbizi.

Zona honetan Laponia, ia Finlandia osoa, Islandia, Kanadaren iparraldea, Alaska eta Ipar Siberia sartzen dira. Zona honetan, mutur beroen eta hotzen arteko tenperatur diferentzia 1,6°C-koa da, baina Ipar Hemisferioa osorik harturik tenperatur diferentzia hori 0,6°C-koa da. Neguak bakarrik konparatzen badira, muturren arteko tenperatur diferentzia 1,8°C-koa da eta udan 0,7°C-koa latitude horietan. Gainera, urte epeletan euri-jasak %1-2 igoko dira. Hau itxarotekoa da, zeren eta urte epeletan ur gehiago lurrintzen bait da ozeanotan. Batezbesteko eurite globaletan egon den aldeketak xume honen atzean, eskualde konkretutan egon diren aldaketa handiagoak ezkututzen dira. EEBB, Europa, SESB eta Japonian eurite gutxiago izan da. India eta Ekialde Hurbilean ordea, euri-kantitatea handiagoa izan da.

Azterketa soil hau ez dago munduko beroketak ekarriko duen klimaldaketa taxutzeko eredu erabakior moduan erabiltzerik. Baina eredu konputerizatuak adierazten zutena (latitude altutan tenperaturaren igoera batezbestekoa baino lau bat aldiz handiagoa izango dela) baieztatu egiten duela dirudi. Era berean guk orain erabiltzen ditugun eguraldi-

eskemek ere ez dutela balio adierazten du.

Berez, berotegi efektua ez da gauza txarra. Gizakiaren ikuspegitik egokiagoa da Izotz-Aro berri bat baino. Arazoa gizateriak ingurugiroaren aldaketari aurre nola egin da. Berotegi efektuaren ondorioz mundua aldatu egingo dela gauza segurua da. Baliabideez egin daitezkeen planak (nekazal planak, uholdeei eusteko murruren diseinua, edateko urtegien kokapena eta beste) oker egongo dira. Klimatologistek joan den udan EEBBtan egon den lehorte horren adibide moduan jartzen dute. Ez dirudi berotegi efektua horren erantzule bakarra denik; 1987.eko uda 88.ekoa bezain epela izan bait zen. Baina, lehortearen kausa edozein delarik ere, Iparrameriketako XXI. mendea aurreratu ahala gerta daitezkeen euri-murriztearen adierazle izan daiteke.

Berotegi efektua epe luzeko plangintzan kontutan hartu beharko da. Puntu honetatik aurrera eta energi motak (nuklearra bai ala ez) aukeratzeko unean, arma politiko bihurtu daiteke. Izan ere, ingurugiroa babestearen ikuspegitik energia nuklearra da kasu honetan garbia. ■