

# ATMOSFERA PLANETARIOAK: ARTIZARRAREN KASUA

ITZIAR GARATE LOPEZ  
EHUko Zientzia Planetarioen  
Taldeko doktoregaia

Asko dira Artizarrak gaur egun oraindik isilpean gordetzen dituen misterioak. Atmosferari bakarrik erreparatuz, lauzpabost aipa daitezke jada, goi-geruzen superrotazioa, xurgatzaile ultramore ezezaguna, neurrigabeko berotegi-efektua edota poloetako bortize aldakorak, besteak beste. Zorionez, zientzialariok badugu informazio-iturri bikain bat, planetaren inguruan biraka dabilen *Venus Express* espazio-ontziari eta hark daramatzen zazpi instrumentuek jasotako irudi- zein datu-mordoari esker. Ondorengo lerroetan, misterio horien nondik norakoak ezagutzera gonbidatzen zaituztegu.

Eguzkitik gertuen dagoen bigarren planeta da Artizarra, zeina orbita ia zirkular batean baitabil 0,72 UA-ko distantzian (UA, unitate astronomikoa, Lurraren eta Eguzkiaren arteko batez besteko distantzia da, ia 150 milioi kilometro). Artizarrak Eguzkiaren inguruan bira bat emateko behar duen denbora (Lurreko 224,7 egun) bere errotazio-periodoa (Lurreko 243 egun) baino laburragoa da. Hau da, Artizarrean urtea eguna baino laburragoa da. Planetaren errotazio-ardatza ia guztiz perpendikularra da ekliptikarekiko, Eguzkiaren ekuatoreak definitzen duen planoarekiko. Hori dela eta, Artizarrak ez du urtarorik, eta eguzki-sistemako gainerako planeten aurkako noranzkoan biratzen da (ikus 1. irudia).

Artizarra Lurraren oso antzekoa da alderdi askotan, adibidez, tamainaren (Artizarraren erradioa Lurrarenaren % 95 da) eta masaren aldetik (% 96,1). Baina beste batzuetan, bi planetek ez dute zerikusirik, esaterako, atmosferan. Lurrarena batez ere nitrogenoz ( $N_2$ , % 78,1) eta oxigenoz ( $O_2$ , % 21) osatua dago. Artizarrarena, berriz, karbono dioxidoz ( $CO_2$ , % 96,5) eta nitrogenoz ( $N_2$ , % 3,5), eta uraren presentzia 20 ppm (milioiko parte) soi-

lik da. Horren ondorioz, Artizarraren atmosfera askoz dentsuagoa eta beroagoa da. Izan ere, gainazaleko presio atmosferikoa 90 bar-ekoa da, lurrazalean baino 90 aldiz handiagoa, eta tenperatura 460 °C-koa. Hori nahikoa ez eta, hodeiak azido sulfurikozkoak dira, eta, beraz, hango euria oso korrosiboa da; hala ere, tenperatura altuak direla-eta gainazalera iritsi baino lehen lurruntzen da. Muturreko baldintza horiek asko zailtzen dute gainazala esploratzea. 1970eko hamarkadako Venera espazio-zunda sobietarrek besterik ez dute lortu gainazalean pausatzea, eta ez zuten 110 minutu baino gehiago iraun jardunean.

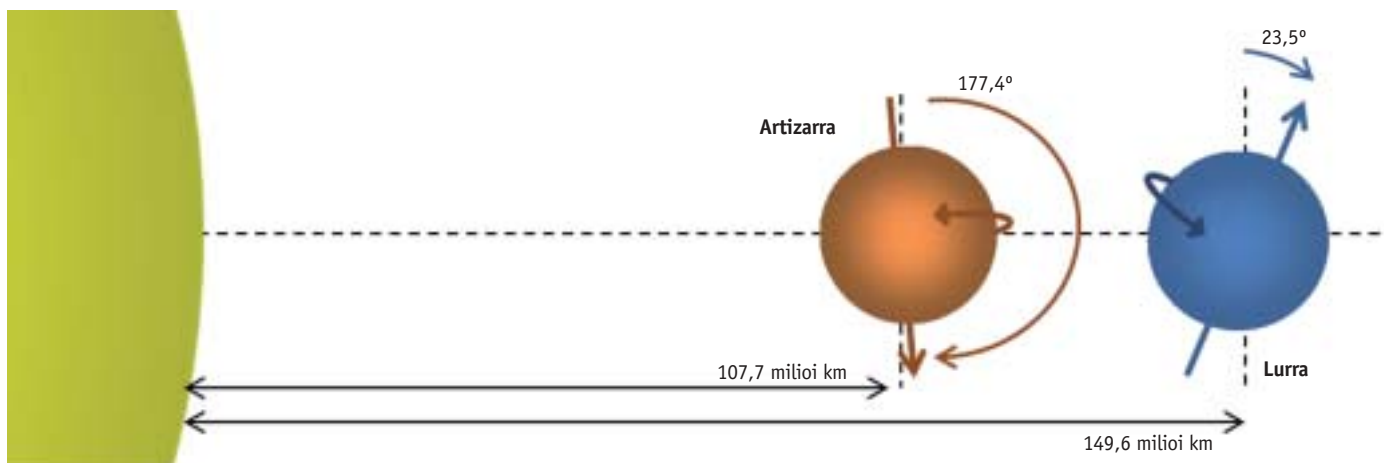
## BEROTEGI-EFEKTUA

Atmosferan egon daitezkeen gas batzuek, hala nola karbono dioxidoak, metanoak eta ur-lurrinak, berotegi-efektua eragiten dute hainbat planetatan. Eguzkiko erradiazioa espektro ikusgaiaren barruan dago ia osorik, eta aipatutako gasek uhin-luzera horiek xurgatzen ez dituztenez, oztoporik gabe gainazalera iritsi daitezke argia, eta hango tenperatura igoarazi. Bestetik, planetaren gainazalak espaziora igortzen duen beroa, erra-

dazio termikoa, espektro infragorrian kokatzen da, eta aipatutako gasek uhin-luzera horiek xurga ditzaketenez, erradiazioa atmosferan "harrapatuta" geratzen da, eta tenperatura are gehiago igo.

Bai Lurrean bai Artizarrean berotegi-efektua dago, baina bi ezberdintasun handi daude. Batetik, Lurreko atmosferan dagoen  $CO_2$ -a eta ur-lurrin kopurua oso txikiak dira Artizarreko  $CO_2$ -arekin alderatuz. Eta bestetik, Lurrean ura dago; ozeanoek  $CO_2$ -a desegiteko ahalmena dute, berotegi-efektua orekatzen dute neurri batean (efektuaren berezko zatia behintzat bai; ez gizakiak eragindakoa) eta lurrazalean, batez beste, 15 °C-ko tenperatura izaten da, hau da, planeta bizitzeko egokia gertatzen da. Artizarrean, ordea, ez dago ozeanonik, eta berotegi-efektuak tenperatura ikaragarriak eragiten ditu (460 °C).

Hala ere, lurrazalean bada karbono dioxidoa. Izatez, mineral karbonatuaren moduan Artizarreko atmosferan adina  $CO_2$  dago, eta, hori dela eta, uste da bi atmosferen hasierako baldintza berak izan arren bilakaera oso ezberdinak jasan zituztela. Garai batean, Artizarra Lurraren oso antzekoa izan zitekeen, ten-



1. irudia. Lurraren ardatza 23,5° makurtua egoteak eragiten du Eguzkitik datorren erradiazioaren inklinazioa ezberdina izatea urtean zehar. Artizarrean, aldiz, errotazio-ardatzaren makurdura ez da urtarorik sortzeko adinakoa. IRUDIA: ITZIAR GARATE.



peratura baxuagoekin eta gainazalean ur likidoa izanik. Uneren batean, planeta berotzen has zitekeen, gainazaleko ur guztia lurruntzeraino, eta horrek, berotegi-efektuan ur-lurruna CO<sub>2</sub>-a baino eraginkorragoa denez, tenperatura are gehiago igoaraziko zukeen. Orduan, harkaitzetako karbonoa sublimatzen has zitekeen, eta CO<sub>2</sub> gehiago sortu atmosferako oxigenoarekin erreakzionatzean. Karbono guztia atmosferara sublimatzean, tenperatura eta presio altuagoko oreka batera iritsi eta gaur egun ezagutzen dugun Artizarra eratu zukeen.

### SUPERROTAZIOA

Konposizioaz gain, Artizarren dinamika atmosferikoa ere Lurrarena ez bezalakoa da oso. Gure planetan, atmosferaren errotazio-periodoa eta gainazalaren oso antzekoak dira; hau da, atmosferak planetaren inguruan eta Lurrak berak bira bana emateko behar duten denbora oso antzekoa da. Artizarrean, atmosferaren abiadura altuerarekin batera handituz doa 65 bat kilometrotaraino. Han, atmosferak 360 km/h-ko abiadura maximoa du, hau da, gainazala baino 60 aldiz azkarrago mugitzen da. Lurrean, aldiz, haize indartsuenek planetaren errotazioa baino % 10-20 handiagoak diren abiadurak besterik ez dituzte. Fenomeno horri superrotazio deritza, eta gaur egun oraindik ez da ezagutzen horren jatorria, ezta nola mantentzeko ulertzen ere.

Eguzki-sisteman bada beste superrotazio kasu bat, Titanen, hain zuzen ere. Saturnoren ilargirik handiena da Titan, atmosfera nabarmena duen ilargi bakarra. Artizarren kasuan bezala, errotazio geldoa eta atmosfera

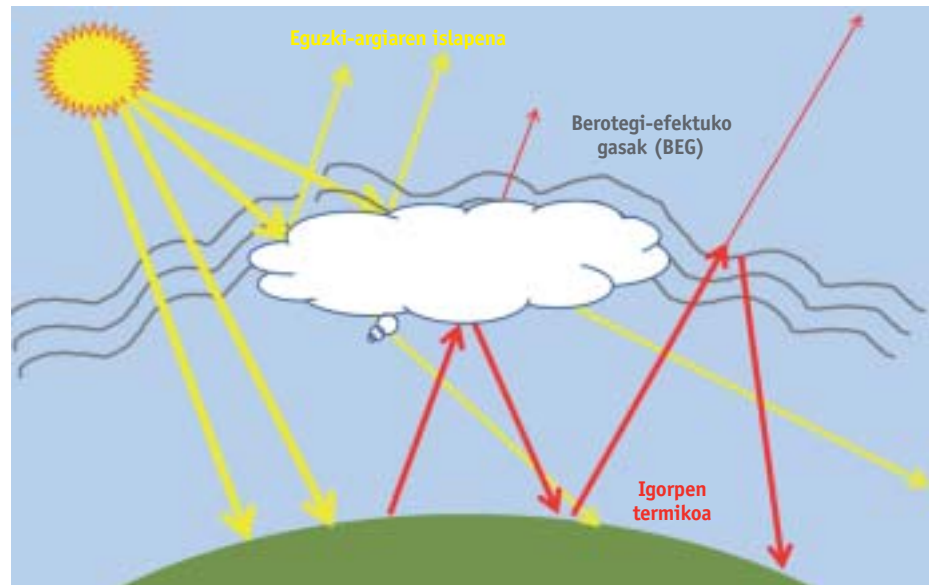
azkarra ditu. Titaneko egun batek Lurreko 16 egun irauten du, baina 125 km-ko altueran dauden haizeak gainazala baino 8-9 aldiz azkarrago higitzen dira.

### XURGATZAILE ULTRAMOREA

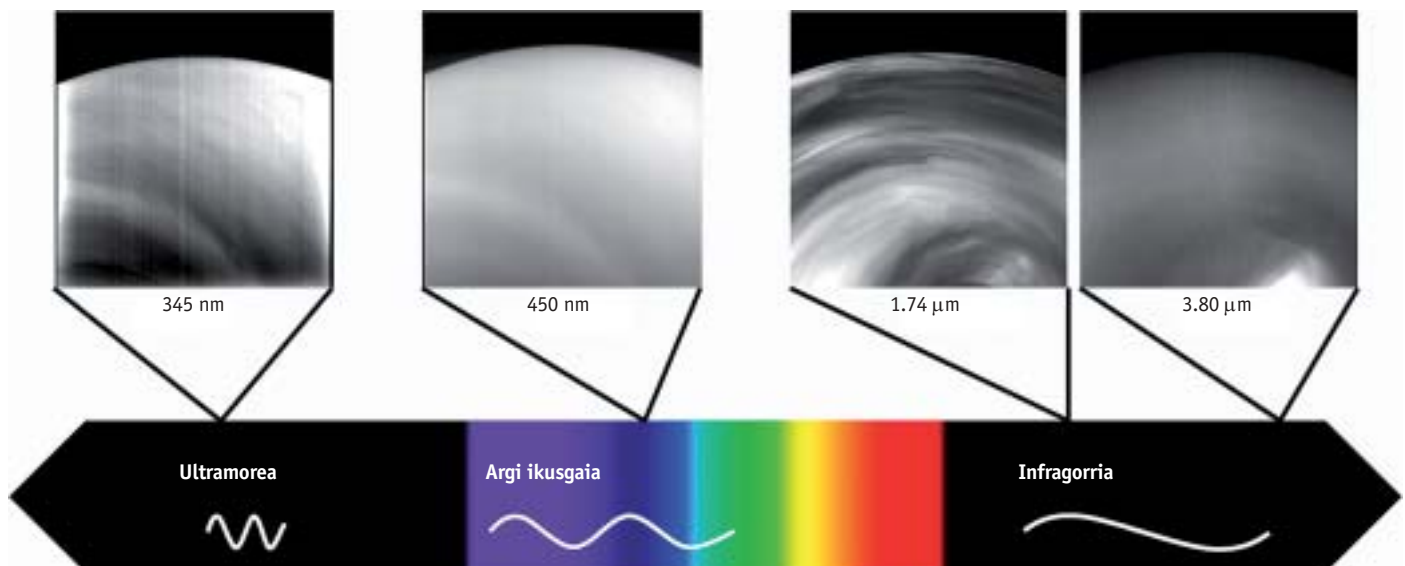
Artizarren beste ezaugarri garrantzitsueta-ko bat da hodeiz erabat estalita dagoela. Nahiz eta hodei horiek bakarka oso lodiak ez izan, gutxi gorabehera 45-65 km-ko altueran zabaltzen den hodei-geruza osoaren opakotasunak azpitik dagoenari behatzea galarazten du. Gaur egun, Europako Espazio Agentziaren *Venus Express* espazio-ontziko irudi-espektrometroa edota iragazki zehatzak

dituen kamera bat erabiliz, planetak igortzen duen erradiazioaren espektrorik elektromagnetikoa aztertzen da, uhin-luzera ezberdineko erradiazioa neurtuz atmosferaren propietate eta altuera ezberdinak iker baitaitezke.

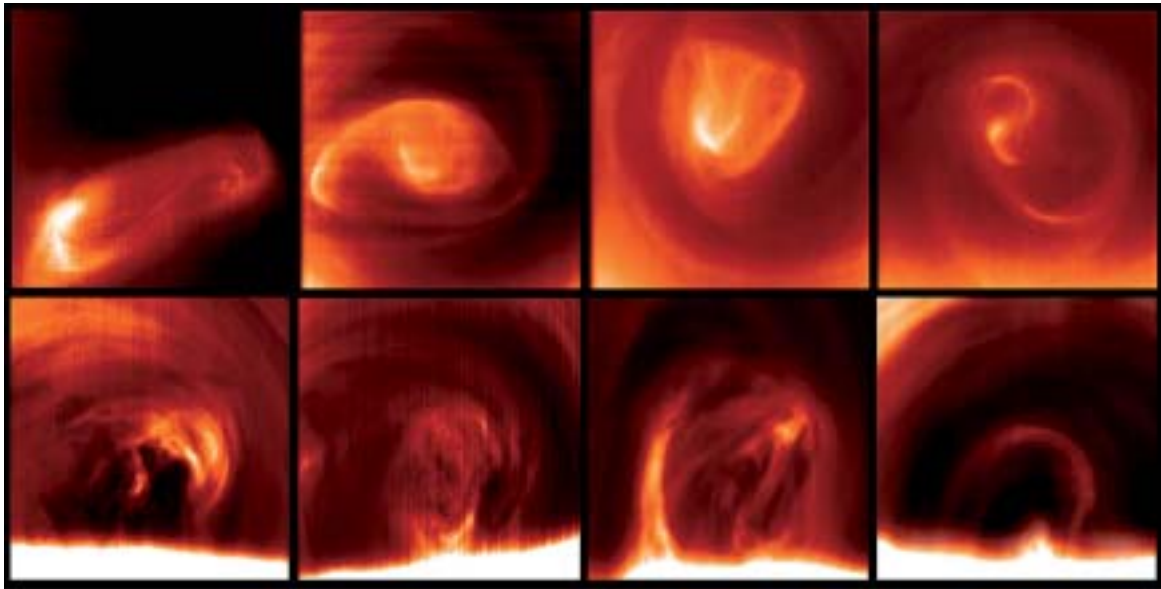
Adibidez, eremu ultramorean, eguna den planetaren zatian, eguzki-argi islatua beha daiteke. Islapena hodei-geruzaren goiko aldean gertatzen denez, irudi ultramoreek atmosferan 65 km-ra dauden hodeien banaketa aurkezten dute (ikus 3. irudia). Izatez, gune argitsu eta ilunak tartekaturik ikusten dira irudietan, eta horrek adierazten du gaur egun oraindik ezezaguna den argi ultramorearen xurgatzaile indartsu bat dagoela.



2. irudia. Hodeiak eta berotegi-efektuko gasak direla eta, gainazalak igorritako erradiazio termikoaren parte bat ez da pasatzen espaziora, eta atmosfera berotzea eragiten du horrek. IRUDIA: ITZIAR GARATE.



3. irudia. Ezkerreko bi irudiak une berekoak dira, eta hodei-geruzaren goiko aldeko hodeiak erakusten dituzte. Eskuineko biak lau egun geroagoak dira, eta atmosferan 45 km-ra eta 65 km-ra dauden hodeiak erakusten dituzte, hurrenez hurren. ITURRIA: ESA.



4. irudia. Artizarreko Hego poloko bortizeak ehunka aurpegi ditu, egunez egun aldatzen baitu forma. Irudi honetako goiko panelek 65 km-ra dauden hodeiak erakusten dizkigute, eta behekoek, 45 km-ra daudenak. ITURRIA: ESA.

Artizarrera iristen den argiaren % 75 islatu egiten da; baina Eguzkiaren ia erradiazio osoa ikusgaia denez, uhin-luzera horietan planeta oso distiratsua da, eta ez da hodei-gunerik nabarmentzen irudietan. Uhin-luzera handiagoko erradiazio infragorria joanez gero, igorpen termikoaren espektroan murgiltzen gara. Hots, gorputz batek tenperatura jakin batean egote hutsagatik igortzen duen erradiazioaren eremuan. Hortaz, igorpen termiko bat neurtuz gero, atmosferako tenperatura zehatz bati egokitu dakioke, eta, ondorioz, baita altuera bati ere.

Hala, bada, badakigu 1,1  $\mu\text{m}$ -ko uhin-luzera duen igorpena gainazaletik datorrela edota 3,80  $\mu\text{m}$ -ko erradiazioa goiko hodeiei dago kiela. Gerta daiteke irudietan ikusten dugun hodei-banaketa espazialak, hodeien igorpen zuzena adierazi beharrean, opakotasunaren iturri bihurtzen diren hodeiak adieraztea. 1,74  $\mu\text{m}$ -ko erradiazioaren kasuan, esaterako, igorpenak atmosferaren alde beheerenean du jatorria; baina goranzko bidean, 45 km-ra dauden hodeiekin topo egin eta zati batean xurgatua izaten da. Hau da, hodeiek iragazki moduan jokatzeko dute, eta bakoitzak erradiazio-kantitate ezberdina oztopatzen du.

## HEGO POLOKO BORTIZEA

Artizarra behatzeko uhin-luzera egokiak aukeratzuz gero, hodei-egitura ezberdinak azaltzen dira irudietan. Bortizeak dira erdigune baten inguruan azkar biratzen diren hodei-haizezko egitura konplexuak. Ur-zurrunbiloak eta urakanak Lurreko bortizeen eredu dira, baina baita Artikoko eta Antartikako bortize polarrak ere, poloen inguruan biraka dabil-tzan zirkloiak. Eguzki-sistemako planeta asko

dituzte bortize polarrak. Batzuek forma arraroa dute, baina Artizarreko Hego poloko bortizea da guztietan aldakorrena.

Planetari emandako lehenengo biran, *Venus Express* espazio-ontziak Hego poloan “begi bikoitz” baten itxurako bortize erraldoi bat ze-goela egiaztatu zuen. Ordutik, VIRTIS tresnaren bereizmen handiko irudi infragorriek erakutsi dute egitura horrek batzuetan forma dipolarra eta besteetan itxura biribilagoa duela, nahiz eta gehienetan bi konfigurazioen arteko trantsizio-forma bat izan.

Orokorrean, egun gutxiren buruan egitura batetik bestera salto egiten duen arren, horietako egitura batzuk egonkorrak dira hainbat egunez. Kasu horietan, baldin jotzen bada hodeiak trazatzaile pasiboak direla eta haizeak mugiarazten dituela, haizearen abiadura neur daiteke. Hala, ikusi da bortizea planetako Hego polotik aldentuta dagoela eta aurrean ezin den moduan higitzen ari dela haren inguruan. Mugimendu hori atmosferaren noranzko eta abiadura berekoa da. Hortaz, etengabe egitura suntsitu eta eraberritzen dituzten mugimendu txikiak izan arren, oso-tasunean harturik bortizea atmosferarekin batera higitzen da.

Iraunkorra den patroia bakarra da bortizea inguratzen duen eta ingurua baino 15 °C hotzago egon ohi den eraztun-itxurako egitura. Bai bortizea bai eraztuna iraunkorrek izateak adieraz dezake bi egituren artean erlazio dinamiko bat dagoela, baina oraindik ez dago garbi zein izan daitekeen erlazio hori.

Bortizearen dinamikak, beharbada, badu zerikusia gainerako atmosferaren superrotazioarekin. Edo agian ez. Akaso, planetako mila sumendik baino gehiagok parte hartzen dute

hodeiak eratzekeo prozesuan, atmosferara jaurtitzen dituzten partikula berrien nolabaiteko eragina dela eta. Edo agian ez. Argi dagoen gauza bakarra da Artizarra misterioz betetako planeta dela. Beraz, ez da harritzekoa “gure planeta bikia” deitu izan zaion astroarekiko gaur egungo jakin-mina. ●

## ERREFERENTZIAK

- “Atmosphere of Venus”, Wikipedia, the free encyclopedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere\\_of\\_Venus](http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Venus).
- SVEDHEM, H.; TITOV, D. V.; TAYLOR, F. W.; WITASSE, O.: “Venus as a more Earth-like planet”. *Nature*, 450 (2007), 629–32.
- LIMAYE, S. S.: “Venus atmospheric circulation: Known and unknown”. *Journal of Geophysical Research*, 112 (2007), 1–16.
- FLASAR, F. M.; SAMUELSON, R. E.; CONRATH, B. J.: “Titan’s atmosphere: temperature and dynamics”. *Nature*, 292 (1981), 693–698.
- Venus Express espazio-ontziaren web-orria: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Space\\_Science/Venus\\_Express](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Venus_Express).
- MARKIEWICZ, W. J. *et al.*: “Morphology and dynamics of the upper cloud layer of Venus”. *Nature*, 450 (2007), 633–6.
- HAUS, R.; ARNOLD, G.: “Radiative transfer in the atmosphere of Venus and application to surface emissivity retrieval from VIRTIS/VEX measurements”. *Planetary and Space Science*, 58 (2010), 1578–1598.
- PICCONI, G. *et al.*: “South-polar features on Venus similar to those near the north pole”. *Nature*, 450, 637–40 (2007).
- Luz, D. *et al.*: “Venus’s Southern Polar Vortex Reveals Precessing Circulation”. *Science*, 332 (2011), 577–580.