



zientziaren
ELHUYAR
komunitateko

Dosierra

CAF-Elhuyar IX. sariak

Askotariko gaiak eta idazle gazteak. D:02

Saridunekin solasean. D:04

Kalamua: *maria*-ren sekretua. D:06

**Nafarroa Garaiko pagadiak:
poluzioaren atzaparretatik ihes egin
ezin duen altxorra.** D:12

Kleopatra, perlak eta luxua. D:18

Naturaren seme ezkutua. D:23



Urtarrilaren 17an, Lasarte-Oriako Txitxardin Beltxa jatetxean jakinarazi ziren CAF-Elhuyar sariaren IX. edizioko irabazleen izenak. Edizio oparoa aurtengoa ere, epaimahaikoez adierazi zuten. Oparoa gaiei eta idazle gazteei dagokienez. Sarituetako bat edo beste aurreko edizioaren batetik ezaguna bada ere, idazle gehienak berriak izan direla aitortu behar da. Gaiei dagokienez ere, gauza bera, ez baitira edizio honetan aurrekoetako gaiak errepikatu. Dosierra irakurri besterik ez duzu esandakoa egiaztatzeko.

Askotariko gaiak eta idazle gazteak

Eider Carton Virto. Elhuyar



IX. CAF-Elhuyar dibulgazio sarietako irabazleak, Imanol Andonegik egindako oroigarria eskuetan dutela.

Hamarkada bat igaro da ia zientziaren dibulgazioa saritzeko CAF-Elhuyar sariak sortu zirenetik eta, aurtengo edizioaren emaitzak ikusita, beste hainbeste egingo dituela ematen du. Gazteenak nagusitu dira aurtengo edizioan. Idazle gazteak eta askotariko gaiak. Gainera, jauzi kualitatibo bat ere eman dela nabarmendu zuten epaimahaikideek, zientziaren dibulgazioaz beraz jardun diren lanak ere jaso dituztelako.

“Kalamua: *maria*-ren sekretua” izenburua duen lanak irabazi du CAF-Elhuyar sariaren IX. edizioa, epaimahaikoen esanean, “molde arruntetatik eta sinplekeriatik ihes egin eta postura ideologikorik transmititu gabe gaia garbi eta zehatz aurkezteagatik”. EHUko Medikuntza Fakultateko Aitziber Mendiguren, Joseba Pineda eta Jose Angel Ruizek garbi adierazi dute zein diren kalamuaren eduki farmakologikoak izan ditzakeen alde erabilgarriak eta onuragarriak, baita alde kaltegarriak ere. Beste edozein farmakoren azalpenari dagokion legez, gaiaren alderdi historikoa, biokimikoa eta fisiologikoa jorratu dituzte, betiere maila zientifiko egokiari eutsiz eta sinplekeriatan erori gabe. “Artikulu praktikoa, irakurterraza, ondo sailkatua eta informazioz betea” epaimahaikoen iritziz.

Bigarren saria Nafarroa Garaiko pagadien egoera aztertu duen lanak jaso du. CAF-Elhuyar sariaren helburuetako bat bertako ikerketen emaitzak dibulgarzea

da eta halaxe egin du bigarren saria eskuratu duen lan honek. Gustavo Amores Olazagirrek zehaztasun handiz erakutsi du Nafarroa Garaiko pagadien egoera zein den. Landa-lanaren emaitzak paperera ekarri ditu, baina ez da horretara mugatu.

Lan horien ondorioak garbi azaldu eta bistarako hain ederrak diren paraje horietan poluzioaren sarbidea nolakoa izan den eta nolakoa izan litekeen erakutsi du.

Ikerketa honek gure gune naturalen egoeraz zer pentsatua eman diola nabarmendu dute epaimahaikoek eta, bertakoa bada ere, neurri handian, nonahikoak ere badirela lan honek erakusten dituen seriotasun zientifikoa eta dibulgaziorako gogoia.



Elhuyar Fundazioko lehendakari Jose Maria Rodriguez Ibabek kargua estreinatu zuen Txitxardin Beltxa jatetxean.

POLY FOTOGRAFOS

● “Kalamua: *maria*-ren sekretua” izenburua duen lanak irabazi du CAF-Elhuyar sariaren IX. edizioa

Hirugarren saria Kleopatrak, perlek eta luxuak irabazi dute, “gai sinple bat jorratuz, idazleek artisau-lan goxoa egitea lortu dutelako, perlak fisika kuantikoaren mailara hurbilduz”. Lan biribila iruditu zaie epaimahaikoei “eskolan banatzekoa zein bikotekidearekin ohean edo norberak komunean irakurtzeko modukoa. Irakatsi eta entretenitu batera, hau da, zientziaren dibulgazioa ondo egiten duena”. Horixe iritzi diote epaimahaikoek Ixaso Apraiz eta Ohiane Lakar biologia-ikasleen lanari. Hirugarren saria irabazi badu ere, artikulu honek jaso ditu lore goxoenak.



POLY FOTOGRAFOS

Irabazleak epaimahaikideekin hizketan aritu ziren.

Idazle gazteentzako sari berezia

Idazle gazteen sari berezia Gorka Azkunereren “Naturaren seme ezkutuak” lanak jaso du. Hogei urteko informatika-ikasle gazte hau ez da dibulgazioan hasiberria, joan den urteko edizioan berak irabazi baitzuen bigarren saria. Orduan supersoken teoria garrantzitsu eta zaila era dotore, erakargarri eta ulergarrian aurkeztu zuen. Aurten, errazagoa ez den beste gai bati heldu dio Gorkak, zulo beltzen teoriari. “Txukun aurkeztu du zulo beltzen teoria, zuzenean behatu ezin diren astroen teoria. Nola aurreikusi ziren, horien existentziaren onarpena, gaur egun ezagutzen diren hainbat ezaugarri, euren bitartez azaltzen diren fenomenoak... Eta, noski, etorkizunari begira irekitzen dituzten ateak, hots, singularitateak, denboramakinak, hiperespazioko bidaiak...”.

Hori guztia Einsteinen Erlatibitate Orokorren Teoria azalduz egin du, hark hasi baitzuen oraindik amaitu gabe dagoen bidaia luze hori. Epaimahaikideek gaiaren gaurkotasuna, eduki zientifikoaren kalitatea eta erabilgaitasuna euskararen estiloa baloratu dituzte, “gai gogor eta astun bat era sinple eta ulerkorrean aurkeztu izana”.

Aurtengo deialdian guztira 17 dibulgazio-artikulu aurkeztu dira, guztiak ere kalitate onekoak epaimahaikoen arabera. Lanen kalitatea eta idazleen gaztetasuna goraiatu dituzte epaimahaikideek, baina, lanen alde grafikoa eta estilo dibulгатiboa gehiago zaintzeko ere eskatu diete. Batek baino gehiagok galdu omen du saria horren erruz. Kritika pozgarria neurri handi batean, zientziaren dibulgazioan beste pauso bat eman dela adierazten baitu horrek. □

Saridunekin solasean

Ana Galarraga Aiestaran. Elhuyar

1. saria:

Kalamua: *maria*-ren sekretua

Egileak: Joseba Gotzon Pineda, Aitziber Mendiguren eta Jose Angel Ruiz

Kalamua gai erakargarria da askorentzat. Nolatan aukeratu duzue gai hori artikulurako?

Guk kalamuari eta beste droga batzuei buruzko ikerketa farmakologikoak egiten ditugu, eta gaia puri-purian dagoela iruditzen zaigu. Beraz, ikuspuntu horretatik jorratzea merezi zuela erabaki genuen.

Zer da artikuluan azaldu nahi izan duzuen?

Batez ere, kalamuaren medikuntza-alderdia, hau da, ezaugarri farmakologikoak eta azpian dauden mekanismo farmakologikoak azaltzea izan da gure asmoa; hori dena, zientifikoki tratatuta.

Kalamuak baditu medikuntzan erabiltzeko moduko propietateak?

Bai, badauzka, eta asko ikertzeko badaude ere, beste batzuk oso argi daude. Adibidez, antiemetiko bezala erabiltzen da toki batzuetan, kimioterapiak eragindako gorakoak saihesteko. Hala ere, horretarako ez da kalamua bera erabiltzen, baizik eta kalamutik eratorritako konposatu kimiko bat. Medikuntzarako erabilgarriak izan daitezkeen beste hainbat propietate ere ari dira zientzialari batzuk; endekapen-gaixotasunak edota Parkinson-en gaixotasuna tratatzeko, besteak beste.

Eta albo-ondorioak?

Ezin da ukatu albo-ondorioak dituenik. Larriena eta nabarmenena menpekotasuna da, eta bestelako ondorio kaltegarriak ere antzeman zaizkio. Horregatik aztertu behar dira alderdi guztiak.



POLY FOTOGRAFOS

Nondik doaz gaur egungo ikerketak?

Ikerketa ugari egin dira saguekin, arratoiekin eta beste animaliekin, baina gizakiarekin egitea falta da. Horren atzean, gizarteak kalamuari buruz duen irudia dago. Izan ere, drogatzat hartzen du; ondorioz, ez du oso begi onez ikusten, eta horrek ikerketetan ere eragiten du.

Orduan, zuen ustez, mereziko luke drogatzat tratatu ordez beste edozein substantzia kimiko bezala tratatzea?

Noski, gu horren alde gaude. Gainera, beste droga batzuekin hala egiten da: morfina droga bat da, baina oso mesedegarria da kasu batzuetan eta medikuntzan erabili egiten da. Beraz, zergatik ez marihuana edo antzeko beste droga bat? Kontua da ondo eza-gutu behar direla eragin eta mekanismo farmakologikoak, erabilera segurua eta eraginkorra bermatzeko. Hori ziurtatuz gero, ez luke bestelako eragozpenik egon behar.



2. saria: Nafarroa Garaiko pagadiak: poluzioaren atzaparretatik ihes egin ezin duen altxorra

Egilea: Gustavo Amores Olazagirre

Zergatik aukeratu duzu gai hori artikulua egiteko?

Gaia interesgarri iruditzen zait, Euskal Herriko arazo bati buruzkoa delako. Gainera, tesia horri buruz egin nuen, baina gaztelaniaz, eta euskaraz argitaratzeko gogoia nuen.

Zein iritzi duzu hemen eta gaur egun egiten den zientzia-dibulgazioari buruz?

Nire ustez, jendeari interesatzen zaio zientzia, baina agian ez daki gauza gehiegi gai horietaz. Horregatik, beharrezkoa ikusten dut zientzia kalera hurbiltzea, eta hori lortzeko lan gehiago egin beharko litzateke.



3. saria: Kleopatra, perlak eta luxua

Egileak: Itxaso Apraiz eta Ohiane Lakar

Zergatik aukeratu duzue gai hori artikulua egiteko?

Azkenaldian gai horrekin ari ginen lanean, eta gustatzen zitzaigunez, aurrera egitea erabaki genuen. Hala, lana pixka bat osatu eta aurkeztu egin genuen.

Zein iritzi duzue hemen eta gaur egun egiten den zientzia-dibulgazioari buruz?

Euskal Herrian badaude zenbait zientzia-dibulgatzaile, baina ez dira gehiegi. Hala ere, gero eta gehiago izango direla iruditzen zaigu, eta espero dugu gu bezala jende gehiago animatzea. Izan ere, lan txikiekin bide zabala egin daiteke pixkana-pixkana.



Sari berezia: Naturaren seme ezkutuatik

Egilea: Gorka Azkune Galparsoro

Zergatik aukeratu duzu gai hori artikulua egiteko?

Batez ere, gertutik ezagutzen dudalako, eta, jendeari begira,

zulo beltzen misterioa askori interesatzen zaiola uste dudalako. Askotan aipatzen dira zulo beltzak, baina agian zertaz ari garen gehiegi jakin gabe.

Zein iritzi duzu hemen eta gaur egun egiten den zientzia-dibulgazioari buruz?

Nik nahiko iritzi ona daukat. Lan dezente argitaratzen direla iruditzen zait, liburu interesgarriak kale-ratzen dira... Beharbada, euskaraz ez daude hainbeste, baina denborarekin gehiago izango direla-koan nago; beraz, egoera nahiko ona dela uste dut.

Kalamua: *maria*-ren sekretua

Aitziber Mendiguren Ordorika
Jose Angel Ruiz Ortega
Joseba Gotzon Pineda Ortiz
Farmakologia Saila
Medikuntza Fakultatea. EHU



Azken urteotan kalamuaren gaitasun terapeutikoa eztabaidagai izan den arren, kalamuaren sendatzeko ezaugarriak ez dira berriak.

Kalamuaren sendatzeko propietateei buruzko lehenengo berriak antzina zabaldu ziren. K.a. 2737. urtean, Txinan Sheng Nung enperadoreak aipatu zuen *Pen Tsao* liburuan kalamua hilekoaren mina, hezueria, malaria eta hainbat gaixotasun prebenitzeko edo sendatzeko ona dela (1. irudia). 1890. urtean Sir Russel Reynoldssek, Ingalaterrako Victoria erreginarenean medikuak, kalamua agindu zion hilekoaren minak arintzeko.

Hori dela eta, *The Lancet* aldizkariaren lehenengo alean mediku honek berak idatzi zuen kalamuari buruz: "... purua denean eta arduraz emanda, dauzkagun botiketarik preziatuenetakoa da...". Kalamua Egiptotik Napoleonek ekarrita heldu zen Europara eta farmakopean sartu zen. Hala ere, urte batzuk geroago, eragin kaltegarriari buruzko ikerketa batzuk agertu ondoren, mundu osoko farmakopeatik kendu zen. Bere eragin psikoaktiboengatik olgetan aritzeko erabiltzen zenez, 1835. urtean Baudelairek eta beste artista batzuek *Hashichines* kluba sortu zuten.

Kalamua urteroko landarea da eta, sexu-dimorfismoa duenez, arraren eta emearen loraketak guztiz desberdinak dira. Kalamua *Cannabis sativa* espeziearen barruan sailkatuta dago eta hiru subespezie desberdin daude: *indica*, *sativa* eta *rudelaris*, bakoitza bere ezaugarriekin (1. irudia). *Sativa* subespeziea



1. irudia. Kalamuari buruz agertutako lehenengo idatzizko erreferentzia Txinan, 'Ta Ma' izeneko. *Cannabis sativa* landarea.

mundu osoan zehar aurki daiteke, baina kanabinoideoen kontzentrazio handiena duena tropikoan hazten da. *Indica* subespezia Himalaian dagoen zuhaixka-itxurako landarea da eta tropikoan jaiotzen dena baino gogorragoa da eguraldiaren ondorioz. Kalamu-emearen hosto eta pistiloek eratutako egiturak erretxina jariatzen du, haxixa egiteko erabiltzen dena. *Rudularis* subespezia antzinako Sobiet Batasuneko errepubliketan aurki daiteke baina kanabinoideoen kontzentrazioa beste subespezieetan baino baxuagoa da.

Kanabinoideoak: eraginen errudunak

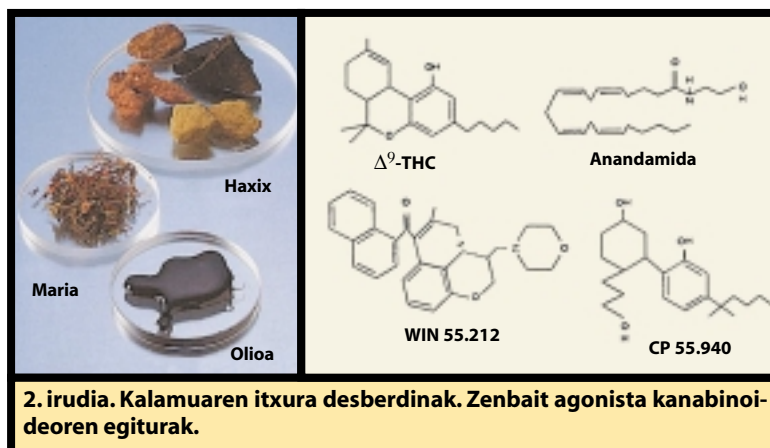
Kanabinoideoak *Cannabis sativa*-tik eratorritako azido karboxilikoak eta horietatik eraturiko produktuak dira. Landarean agertzen den kanabinoideokantitatea faktore genetikoek baldintzatzen dute batik bat, baina klimak (argia, tenperatura), biltze-sasoak, sexuak eta bildutako landarearen atalek ere garrantzia dute. Kalamuan hirurogeita bat kanabinoideo inguru daude eta horietatik hiru baino ez dira eragin psikoaktiboen erantzuleak. Osagaietatik inportanteena, eragin psikoaktiboak dauzkalako, Δ^9 tetrahidrokanabinola da (2. irudia). Beste kanabinoideok, Δ^8 tetrahidrokanabinolek eta kanabinolek kasu, eragin psikoaktibo ahulagoak dituzte. Kanabidiol kanabinoideoak, ordea, psikoaktiboak ez diren beste mota bateko eraginak sortzen ditu.

Kanabinoideoak emateko bideak ugariak dira eta, lipidoetan disolbagarriak direnez, organismo mintoak azkar zeharkatzen dituzte. Erretzea da hartzeko biderik ezagunena. Kalamuak har ditzakeen itxura desberdinen artean gehien erabiltzen dena erretxina bera da (*baxixa*) baina kalamuaren hostoekin eta begiekin egindako prestakuntza (*maria*) eta kalamuaren *olioa* (THCaren kontzentrazio handiena

duena) ere dezente erabiltzen dira (2. irudia). Badirudi kalamuaren errekuntzaren ondorioz kalamu gordinean dagoen THC azidoa THC aske bihurtzen dela. THC aske hori kearekin batera arnasten da eta, birika-albeoloen mintzak zeharkatuta, birika-kapilarrretara ailegatzen da. Handik, THCa oso azkar garraiatzen da bihotzera eta zuzenean garunera; prozesua zain-barneko administrazioa bezain azkarra da. Eragina erre eta berehala agertzen da eta gutxi irauten du. Bestalde, kalamua emateko ahotiko bidea ere erabiltzen da, eragin farmakologikoak mantentzen direlako, nahiz eta xurgapena aldakorra izan.

Landarean agertzen den kanabinoideokantitatea faktore genetikoek baldintzatzen dute batik bat.

Kalamua kronikoki hartzeak ez du kanabinoideoen eliminazioa aldatzen: kantitate bera eliminatzen da. Gainera, arestian aipaturiko ezaugarri lipofilikoak direla eta, kanabinoideok biltegi hidrofobikoetan (ehun adipotsuan, adibidez) metatzeko gaitasuna dute. Beraz, posible da aste batzuetan zehar gernuaren analisisian metabolitoak aurkitzea. Ondeste-bidea erabiliz, ordea, xurgapena oso ona da eta lortzen den bioerabilgarritasuna aho bidezkoarekin alderatuz handiagoa da. Gainera, modu honetan farmakoa zuzenean sartzen da odol-zirkulazioan, eta gibelesko metabolismoa ekiditen da. ➔



2. irudia. Kalamuaren itxura desberdinak. Zenbait agonista kanabinoideoren egiturak.

Sistema kanabinoidea

80ko eta 90eko hamarkadetan, kalamuari buruzko ikerketak berriro martxan jarri zirenean, kanabinoideoen erauzketa, sintesia, metabolismoa, farmakologia eta psikologia aztertu ziren eta hartzaile kanabinoideoak identifikatu ziren. Bi hartzaile kanabinoideo-mota daude: CB1 izenekoa nerbio-sistema zentrallean (NSZan) eta CB2 ehun periferikoetan.

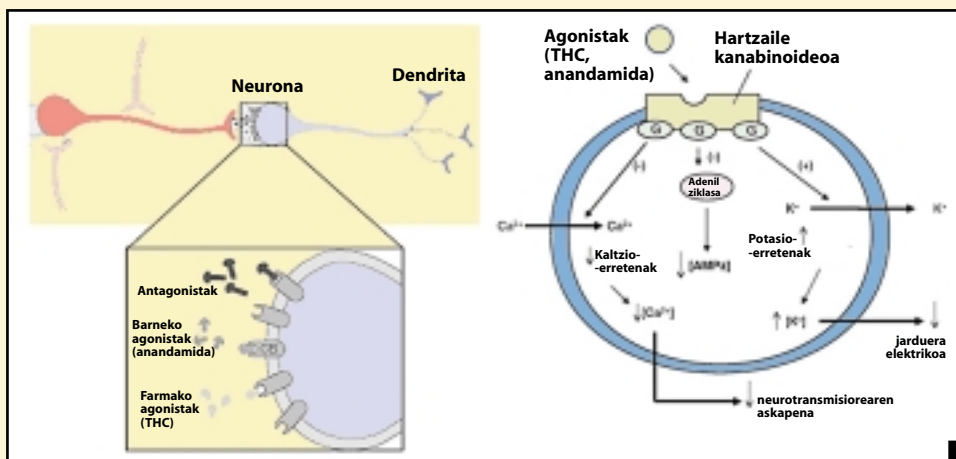
CB hartzaileak G proteinekin lotuta daude eta CB hartzaileei egokituta dagoen Gi/o proteinaren kitzikapenak hiru sistema efektore modula ditzake: MAP kinasa sistema (aktibatu egiten da), adenilil ziklasa sistema (inhibitu egiten da), eta ioi-erretanak (mintz potentziala aldatzen da) (beheko irudia). CB1 hartzaileen banaketa oso zabala da burmuinean eta badirudi kanabinoideoak eman ondoren NSZan agertzen diren eragin farmakologikoekin erlazioz gertatu da. Hartzaileen kopuru handiena gongoil basaletan dago eta bertan nahitaezko mugimenduak kontrolatzea dute helburu. Hipokanpoan ere CB1en kopurua handia da, eta horrek agerian uzten du kanabinoideok oroimenean eta ikasketa-prozesuetan duten eragina. CB2 hartzaileak, ordea, immunitate-sisteman, gibelean, biriketan eta giltzurrunetan daude.

Azken hamarkadan, hartzaile kanabinoideoeekin lotzen diren barneko agonistak aurkitu dira. Horietatik garrantzitsuena anandamida izeneko kanabinoidea da. Antza, molekula horiek azido arakidoni-

kotik eratorriak dira eta CB1 nahiz CB2 hartzaileekin lotzeko gaitasuna daukate. Horien garrantzi funtzionala argitzeke dago, izaki bizidunengan eman eta berehala desagertzen direlako. Badirudi neurotransmisoreak askatzea modula dezaketela, eta, ondorioz, tenperatura, pertzepzioa (koloreak, entzumena, ikusmena eta abar), kognizioa (loa, oroimena, eta abar) eta mugimenduaren kontrola (koordinazioa, giharren tonua) alda ditzaketela. Gaur egun, behin barneko agonistak aurkituta, sistema kanabinoidea betetzen duen funtzioa jakitea zein den izango litzateke interesgarria, erregulazioaren eza-gutzak garrantzia edukiko lukeelako hainbat gaixotasun sendatze-ko. Hori dela eta, barneko agonisten egituretatik molekula berrien bila dabilta ikertzaileak.

Sistema kanabinoidea osoa ezagutarazteko, kanabinoideo sintetikoak azaldu behar dira. Izan ere, kanabinoideo sintetikoak THCa baino boteretsuagoak dira eta, horiei esker, kanabinoideo-sistemari buruzko ikerketek izugarritzko bultzada jaso dute. CB hartzaileak zenbait kanabinoideo sintetikorekiko duten afinitatearen arabera sailkatu dira. Horrela, ikerkuntzan gaur egun gehien erabiltzen direnen artean CB1 agonistak CP55940 eta WIN55212, eta CB1 antagonista SR14176A daude. Gainera, CB hartzaileekiko afinitate handiagoa daukaten molekula berriak agertzeke daude.

Eragin zelularrak. Neurona postsinaptikoan dauden CB hartzaileekin lotzen dira farmako agonistak (hartzaile aktibatzen dutenak), barneko agonistak (zeluletatik eratorriak) eta antagonistak (aktibatu gabe lotzen direnak). Hartzailea aktibatzeak kaltzio-erretanak ixten ditu, adenilil ziklasaren jardueria inhibitzen du eta potasio-erretanak irekitzen ditu.



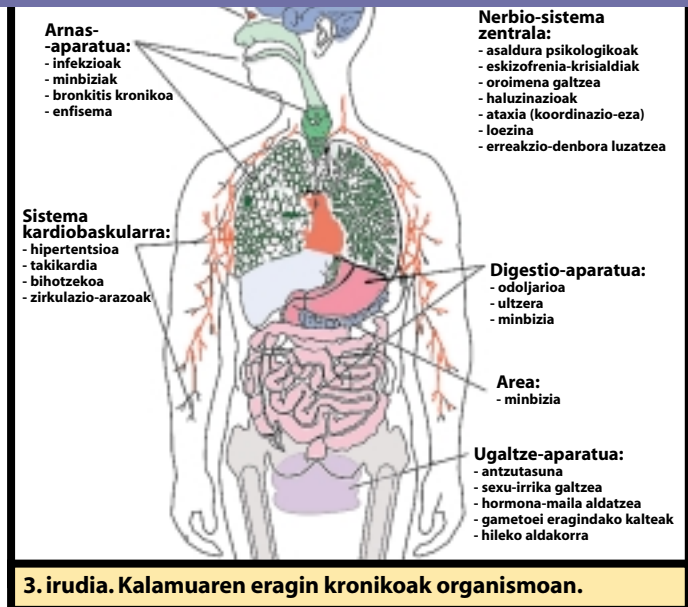
Kanabinoideoak substantzia psikoaktiboak ote dira?

Hainbat ikerketak frogatu dute THCaren efektuak erretzailearen eta drogaren ezaugarrien arabera aldatu samarrak izaten direla. Izan ere, dosiaren, administrazio-bidearen, erabiltzailearen eskarmentuaren, eragin psikoaktiboekiko sentikortasunaren eta erre-tzearen inguruko egoeren menpe daude. Kalamuaren toxikapenak umorearen, ulermenaren eta motibazioaren desoreka larria ekartzen die kontsumitzaileei. Hala ere, erretzaileak eragin pizgarria besterik ez du bilatzen gehienetan. Badirudi kalamuzaleak efektu bizigarri horiek opiazeoek eta estimulatzailerek eragindakoetatik bereizten dituela. Ohiko erretzaileak bi ordutan zehar nabaritzen du eragin pizgarria, kalamuaren eraginkortasuna dosiaren arabera dela

kontuan hartu beharrekoa bada ere. Hainbat azterketak frogatu duenez, drogaren eragin akutuen menpe dagoen bitartean, erabiltzaileari dezente hondatzen zaizkio kognizioa, pertzepzioa, erreazio-denbora, ikasteko gaitasuna eta oroimena. Horretaz gain, gorputzaren mugimenduen koordinazio-ezak ordu batzuetan jarraitzen du eragin pizgarria desagertu eta gero. Asaldura horrek ibilgailuak gidatzeko eta lanean aritzeko ezintasuna du ondorio.

Kalamuaren kontsumo kronikoak drogazalearen portera aldatzen du guztiz eta norabide konplexuz, jangura kasu (3. irudia). Halaber, erretzaile batzuek atsegin handiagoko sexu-harremanak lortzen dituztela aldarrikatu badute ere, kontu hori ez da zientifikoki baieztatu. Frogatuta egon badago, ordea, zenbait eragin desiragaitz

agertzen direla kalamua erre ondoren, hala nola, haluzinazioak, ikara-krisialdiak eta psikosia. Erabiltzaileei egindako inkesten arabera, kalamuaren erretzaileen % 50-60k behin baino gehiagotan izan du antsietate-krisialdia. Erreakzio horiek aho-bidetiko dosi handiekin ikusi ohi dira, erretzeak dosia menperatzeko aukera ematen baitio norberari eraginaren pertzepzioaren arabera. Bestalde, ez da baieztatu kalamuaren eta eskizofrenia sortzeko arriskuaren arteko loturarik; aitzitik, argitalpen kliniko batzuek agerian utzi dute eskizofreniaren aurrekariak dituzten gaixoei, kalamua errez gero, psikosia azkarrago berrager dakiekela.



3. irudia. Kalamuaren eragin kronikoak organismoan.

● Kalamuaren ● toxikapenak umorearen, ulermenaren eta motibazioaren desoreka larria eragin dezake.

Kanabinoideok kronikoki sortzen omen duten eragin eztabaidagarrienetariko bat motibazio faltaren sindromea deitzen da. Aipatzekoa da sindrome hori ez dela diagnosirako gidaliburuetan horrela agertzen, baina terminoak ongi adierazten du gizarteko jarduerak utzi eta eskolan interesik erakusten ez dutenen egoera. Nahiz eta kontsumoarekiko kausalitate-erlaziorik berez frogatu ez, kalamua sindrome horren jatorri gisa hartu ohi da, bereziki erabilera gogorra baldin bada. Era berean, ezin izan da ziurtatu kalamuak neuronak kalte edo behin betiko aldaketa funtzionalak eragiten dituenik. Izan ere, laborategiko animaliekin eta gizakiekin saio klinikoetan egindako ikerketek erakutsi dute kanabinoideok utzita ikaste-prozesuaren kaltea pixkanaka berreskuratzen dela, aste batzuen buruan.

Kalamuaren menpe, nola bada?

Oro har, menpekotasunak hiru gertaera hartzen ditu bere barnean: tolerantzia, menpekotasun fisikoa eta menpekotasun psikikoa.

Tolerantzia. Tolerantzia farmako jakin batek behin eta berriro hartzeagatik eragin ditzakeen efektuak desagertzear datza. Laborategiko animalietan frogatu da zenbait agonista kanabinoideoren administrazio kronikoak tolerantzia sortzen duela analgesiarekiko, aktibitate motorearen inhibizioarekiko, hipotermiarekiko eta beste hainbat efektuekiko. Gizakiengan ere, ikerketa klinikoek THCaren eragin farmakologikoekiko tolerantzia baieztatu dute. Gainera, tolerantziaren garapena hartutako THCaren dosiarekin erlazionatuta dago; beraz, THCaren kontsumoa handitzen den heinean tolerantzia ere areagotu egiten da. Dena dela, aipatzekoa da laborategiko animalietan tolerantzia eragiteko erabiltzen diren dosiak gizakiak normalki erabilitakoak baino askoz handiagoak direla. Hain zuzen ere, animalietan tolerantzia lortzeko dosiak 20-50 mg/kg eguneko izan behar du eta, marihuana zigarro batek 30-60 µg kanabinoideo duela jakinik, gizaki batek eguneko 300-1.500 zigarro erre beharko lituzke fenomeno hori gauzatu ahal izateko. Aipatzekoa da, bestalde, kanabinoideokiko tolerantziaren garapenaren erantzuleak barneko sistema kanabinoidea nahiz opioidea izan daitezkeela. ➔

Menpekotasun fisikoa. Menpekotasun fisikoa organismoa drogak eragindako efektuen menpe funtzionatzera ohitzen delako gertatzen da. Hainbat ikerketaren arabera, laborategiko animaliei THCa (20 mg/kg) 6 egunez eman ondoren, kanabinoideo hori emateari utziz gero, abstinentzia-sindrome motela ikusten da, eta zeinu kliniko adierazgarrienak soilik antagonista kanabinoidea eman ondoren agertzen dira. Badirudi gertaera hori THCaren eliminazioaren erdibizi (kontzentrazio erdira heltzeko behar den denbora) luzearekin erlazionatuta dagoela. Izan ere, WIN 55212 agonista kanabinoideoaren erdibizia txikiagoa izanik, hura hartzeari utziz gero, abstinentzia-sindrome nabariagoa sortzen da. Animalietan, kanabinoideoen abstinentzia-sindromea islatzen duten zeinu kliniko gehienak mugimenduaren kontrolaren asaldurarekin lotuta daude. Besteak beste, ataxia, gorputz-enborraren astinduak, hanken dardara, normalak ez diren jarrerak eta aktibitate motorraren murrizketa gertatzen dira. Aipatzekoa da, bestalde, opiazeoen abstinentzia-sindromean agertzen diren zeinu kliniko begetatiboak (hipotermia eta pisu-galera, adibidez) ez direla kanabinoideen kasuan ikusten.

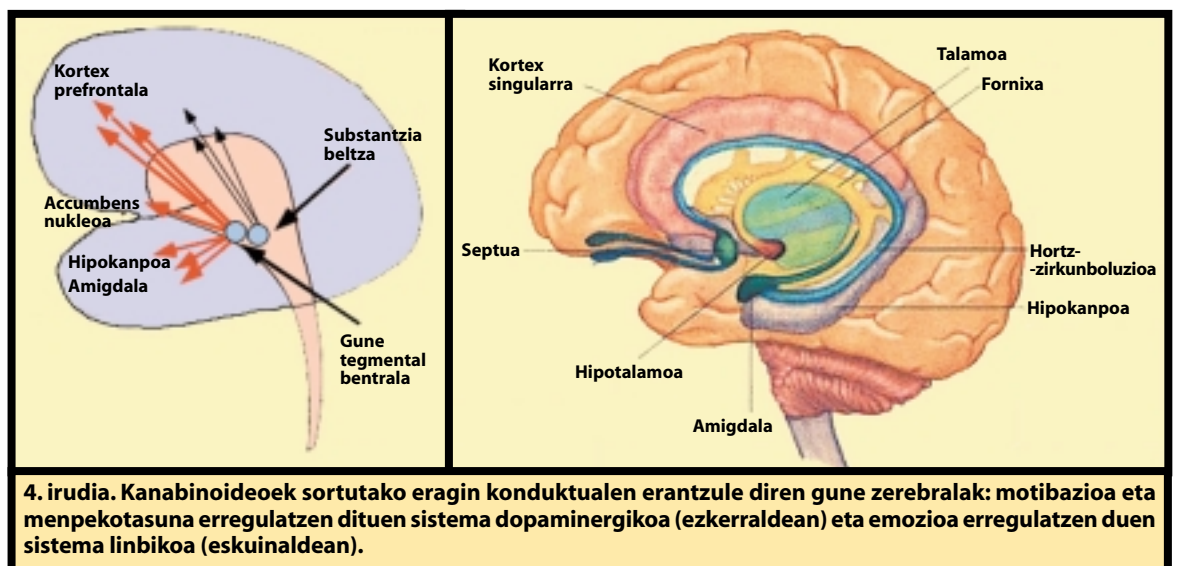
Gizakiengan ere, laborategiko animalietan gertatzen den bezala, abstinentzia-sindrome motela nabari da 3 asteko THCaren tratamenduaren ondoren. Kasu horretan agertzen diren zeinu klinikoak antsietatea, anorexia, loezina eta suminkortasuna dira eta seinale nabarienak lehenengo egunetan azaltzen dira.

Menpekotasun psikikoa. Kanabinoideoekiko menpekotasun psikikoa menpekotasunaren osagai nagusia da, alkoholarekin, heroinarekin eta gainontzeko drogekin gertatzen den bezala, askatasunez droga uzteko zailtasuna adierazten baitu. Drogazaleak kalamua

lortu eta erretzeko duen premiazko beharrak sustrai neurobiologiko zehatz bat du oinarri, alegia NSZko sistema dopaminergikoa. Hala izanda ere, lan neketua izan da kanabinoideoen eragina dopamina neurotransmisorearekin erlazionatzea, batez ere kokaina,

● **Animalietan, kanabinoideoen abstinentzia-sindromea islatzen duten zeinu kliniko gehienak mugimenduaren kontrolaren asaldurarekin lotuta daude.**

nikotina eta opiazeoen kasuekin alderatuz. CB1 hartzailearen eta kanabinoideoen ezaugarri farmakozinetikoen berri eduki arte, azken hamarkadan, ez zen garatu teoria neurobiologiko osoa. Gaur egun argi samar dugu, ikerketa konduktualak eta neurofisiologikoak eredutzat hartuz, kanabinoideoek bide mesolimbikoa aktibatzen dutela (4. irudia). Sistema mesolimbiko horri sari-sarea deritzogu, bizirauteko ekintzak (jatekoa eta sexua, kasu) mantentzen dituen estimulu indartzailer moduan funtzionatzen baitu. Aipatzekoa da sare horretako guneetan dopaminak ez ezik, glutamatoak, GABAk eta neurotransmisore peptidikoek ere parte hartzen dutela. Horiek sendabide berriak lortzeko garrantzi handia dute.



Baditu alde onak ere

Kalamuak sor ditzakeen eragin guztien artean gaur egun terapeutikoki erabilgarrienak eta ikasienak bi dira: eragin antiemetikoa eta hiesa edo minbizia duten gaixoengan jangura handitzea. Izan ere nabilonak, THCaren eratorri sintetikoak, kimioterapiak eragindako gorakoa gutxitzen du. Substantzia hori ez dago salgai Espainian, baina bai Estatu Batuetan, Kanadan, eta Britainia Handian.

Azken hamarkadan, kalamuaren inguruko ikerkuntzak nabarmen ugari dira eta erabilera terapeutiko desberdin ugari proposatu dira. Horietatik aipagarrienak analgesia, NSZeko minbizi jakin baten tratamendua, endekapen-gaixotasunetan gertatzen diren mugitzeko asaldurak saihestea, begi-barneko presioa jaistea eta konbulsio kontrako eraginak dira.

Kalamuaren inguruko ikerkuntzak nabarmen ugari dira eta erabilera terapeutiko desberdin ugari proposatu dira.

Analgesia. Argitalpen zientifiko askok frogatu dute agonista kanabinoideok eragin analgesikoa dutela. Eragin hori bizkar-muinean eta gune supraespinaletan dauden hartzaille kanabinoideok direla medio gertatzen da batik bat. Badirudi ikertzeke dagoen arlo garrantzitsua kanabinoideoen eta opioideen eragin analgesikoen konbinaketa dela. Izan ere, opiazeok analgesia eragiteko mekanismoa eta kanabinoideok erabilitakoa desberdinak izanik, biak dosi txikietan emanda eragin desiragaitzak murriztu eta efektu onuragarriak (analgesia) handituko lirarteke.

Nerbio-sistema zentraletako tumoreak. Azken urteotan, Madrilgo Unibertsitate Complutenseko ikertzaile batzuen lanek frogatu dute arratoietan THC kanabinoideok glioma garuneko tumorearen tamaina gutxitzen duela. Izan ere, kanabinoide horrek zelulen bikoizketa ekiditen du, zeramida deritzon substantzia bat dela medio apoptosia (heriotza programatua) eragiten duelako. Gainera, badirudi THCak angiogenesisa, tumorea elikatzeke eta garatzeko beharrezkoak diren odol-hodien garapena, inhibitzen duela.




Kanabinoideokiko menpekotasun psikikoa menpekotasunaren osagai nagusia da, alkoholarekin, heroinarekin eta gainontzeko drogek gertatzen den bezala.

ARTIBOKOA

Endekapen-gaixotasunak. Sistema endokanabinoideok mugimenduaren kontrolean parte hartzen du. Izan ere, gorputz ildaskatua, mugimenduaren kontrolarekin erlasionaturiko NSZko gunean, CB1 hartzaille ugari daude. Zenbait ikertzailek frogatu dute CB1 hartzaillearen aktibazioak, THCaren bidez esaterako, mugimenduaren inhibizioa ekartzen duela. Ildo horretatik, mugimenduaren kontrola CB1 hartzaillearen bidez gertatzen dela jakiteak ikerkuntzan bide asko zabaldu ditu, batez ere sistema motorrekin erlasionaturiko hainbat gaixotasunetan sendabide berriak bilatzeko (esaterako, Parkinson-en gaixotasunean, Huntington-en korean eta esklerosi anizkoitzean). Horrela, ikertzaile batzuek frogatu dute Parkinsonen gaixotasuna nozitzen duten gizakiengan CB1 hartzaillearen kopurua handiagoa dela. Hortaz, CB1 hartzaillearen antagonistak izango lirarteke ikergai gaixotasun horretarako. Huntingtonen korean, ordea, kontrako gertatzen dela dirudi, hots, gongoil basaletan hartzaille kanabinoideoen kopurua ohikoa baino txikiagoa da, eta, horregatik, kasu horretan CB1 hartzaillearen agonistak izango lirarteke terapeutikoki erabilgarrienak. Alzheimerren gaixotasuna dutenengan ere hartzaille kanabinoide horren kopurua txikiagoa dela frogatu da. Horretaz gain, kanabinoideok esklerosi anizkoitzean gertatzen diren muskulu-uzkurketa mingarriak arintzeko gaitasuna dute. Gertaera hori laborategiko animalietan bakarrik frogatu bada ere, esklerosi anizkoitzea duten gaixok eragin onuragarri hori berretsi omen dute.

Begi barneko presioa. Badirudi kanabinoide sintetikoek begi barneko presioa jaisteko gaitasuna dutela. Baina orain arte probatu diren farmako kanabinoide sintetikoek eragin desiragaitz gehiegi sortzen dituzte onuragarriekin alderatuz.

Epilepsia. Laborategiko animaliekin eta gizakiekin egindako ikerketen arabera, THCak zein kanabidiolak eragin antiepileptikoa dute **grand mal** krisiak dituztenengan. Gainera, kanabidiolak eragin psikoaktiborik ez duela jakinik, interesgarria izango litzateke etorkizunean arlo horretan ikerketa gehiago egitea. 

BIBLIOGRAFIA

HARDMAN, J.G. ETA LIMBIRD, L.E. *Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics*. 2001 Ed. McGraw-Hill, London.

HOWOWLETT, A. C.; BARTH, F.; BONNER, T.I.; CABRAL, G.; CASELLAS, P.; DEVANE, W.A.; FELDER, C.C.; HERKENHAM, M.; MACKIE, K.; MARTIN, B.R.; MECHOUAM, R. ETA PERTWEE, R.G. *International Union of Pharmacology. XXVII. Classification of Cannabinoid Receptors*. 2002 *Pharmacol Rev*; 54 (2): 161-202.

MALDONADO, R. ETA RODRIGUEZ DE FONSECA, F. *Cannabinoid addiction; behavioral models and neuronal correlates*. 2002 *J Neuroscience*; 22 (9): 3326-3331.

PERTWEE, R. *Cannabinoid Receptors*. 1995 Ed. Academic press, London.

Nafarroa Garaiko pagadiak:

poluzioaren atzaparretatik ihes egin ezin duen altxorra

Gustavo Amores Olazagirre

Laurogeiko hamarkadan, une hartaraino ezagunak ziren faktoreei egozterik ez zegoen okerragotze orokorra antzeman zen Mendebaldeko eta Erdialdeko Europako zein Ipar Amerikako basoen osasun-egoeran. Orduz geroztik, aditu asko aritu dira eztabaidan gertakari berri horren konplexutasunaz, eta hainbat estres-faktoreen araberakoa izan litekeela ondorioztatu dute.

Horien artean, tradizionaliki ikertutakoez gain (lehortea, tenperatura, elikagaien erabilgarritasuna, patogeneoak, etab.), zientzialariek aire-poluitzaileak dituzte arretagune, geroz eta gehiago.



M.M. ELOSEGI

Nafarroa Garaiko pagadien garrantzia

Nafarroa Garaiko basoen artean, pagadiak hartzen dute hedadura gehien. Azken azterketek pagoa zabal-tzen ari dela adierazten digute. Gaur egun, 143.280 hektareako eremua betetzen du pagoak Nafarroa Garaian; hots, Iberiar Penintsula osoko pagadien % 25 inguru Nafarroa Garaian daude.

Kantauri aldeko eta Pirinioen aldeko Nafarroako paisaiaren osagai bereizgarriak dira pagadiak, baita Erdialdeko Nafarroako eta Lizarra merindadeko ipar-

-ertzetakoak ere. Basook usadio eta ohiturei tradizio-nalki uztarturik aurki ditzakegu aipatutako eskualde-etan, euren baliagarritasun ekonomikoaz gain balio kultural erantsiak dituztelarik.

Garrantzi orokor horretaz bestalde, Nafarroa Garaian balio ikaragarritzko pagadi bereziak ere badaude. Horietako bat Iratikoa da, Europa osoko basorik garrantzitsuenetarikoa. Beste adibide bat Belagua ibarrean topa dezakegu: Aztaparretako basoa, pagadi-izeidi birjinaren eredutzat hartu ohi dena.



Pago-hostoak.

G. AMORES

Aztertutako zuhaitzak Europako eskualde askotako pagoak baino osasuntsuago daudela dirudi.

Arestian aipaturiko arrazoiak direla eta, Nafarroako Unibertsitateko Kimika eta Edafologiako Sailean Nafarroa Garaiko pagadien egoera aztertzeari ekin genion. Bereziki, elikadura eta poluzio aldetik gaur egun duten egoera aztertu nahi izan genuen. Horretarako, 30 pagadi-sail aukeratu genituen Mendialdea deritzon eskualdearen barruan, Nafarroa Garaiko pagadiak ahalik eta hobekien ordezkatzeko asmoz (1. irudia). Laginketa-puntu bakoitzeko 6 zuhaitz hautatu genituen, eta hostoen makroelikagai- zein mikroelikagai-edukiak aztertu eta Baso-kalteen Inbentarioa delakoa burutu genuen. Halaber, pagoen enbor inguruko lurzorua gainazaleko laginak jaso genituen, metal astunen eduki osoak nahiz frakzio erauzgarriak zehazteko, baita pH-a eta materia organikoaren edukia aztertze ere.

Lorturiko emaitzetatik ateratako ondorio azpimarra-garrienak azaltzen dira jarraian.

Pagoen hostailaren egoera (defoliazioa)

Baso-kalteen Inbentarioari dagokionez, aztertutako zuhaitzak Europako eskualde askotako pagoak baino osasuntsuago daudela dirudi; behinik behin, 1997. urtean kaltetutako pago-kopurua Europako batez-bestearen azpitik dago nabarmen. Hala, Auritz, Larra eta Orbaitzetan kokatutako pago-sailak dira kaltetutzat jo litezkeen bakarrak.

Nolanahi ere, emaitzen analisiak adierazi duenez, pagoen hostailaren egoerak aztertutako beste aldagai batzuekin (zuhaitzen adina, sailen malda, tenperatura, euri-kantitatea, hostoen elikagai-edukia, etab.) lotura-mailaren bat erakutsi arren, ez da horietariko bakar baten ondorio zuzena. Emaitzok bat datoz egun onartutako hipotesiarekin, baso bateko zuhaitzen hostailaren egoera aldagai askoren arteko konbinazioaren ondorioa dela dioenarekin alegia (aldagai klimatologikoak, lurzoruari dagozkionak, genetikoak, poluzioa, izurrien erasoak, etab.).

Pagadien elikadura-egoera

Pago-hostoen makroelikagai-edukiei buruz lortutako emaitzek honako hau ondorioztatzera garamatzate: ➔



Euskara Zerbitzua

Baiña nik, izkuntza larrekoa,
nai aunat ere noranaikoa:
yakite-egoek igoa;
soiña zaar, berri gogoa;
azal orizta, muin betirakoa.

Lizardi

Jatorri nagusia lurzorupeko harkaitza da, kaltzio, potasio, fosforo eta sulfre elementuei dagokienez batez ere. Hala, lurzoruaren ezaugarriek baldintzatzen dute lau elikagai horien edukien banaketa geografikoa. Edonola ere, potasioaren kasuan bada hostoetako edukia mugatzen duen beste aldagai nagusi bat: euri-kantitatea. Euriak, lurzoruko potasioa geruza sakonetaraino garraiatzeaz bestalde, elikagai horren galearra zuzena eragiten du hostoak eta urak elkar ukitzean.

● **Aztertutako pagadi-sailen oso gehiengo nabarmena egoera onean dagoela baieztatu dezakegu, elikadura aldetik begiratuta.**

Magnesioari gagozkiolarik, aipatzekoa da lurzoru azpiko haitzaz gain Kantauri Itsasoa dela bere edukia jatorria. Nitrogenoari dagokionez, berriz, bere ziklo biogeokimikoaren konplexutasunak ia ezinezkoa egiten du hostoetako elikagai honen edukia baldintzatzen duten aldagai zehatzak aurkitzea. Hala eta guztiz ere, aztertutako eremutik iparralderantz zein ipar-mendebalderantz kokaturik dauden eskualdeetatik iristen den mugaz bestaldeko poluzioak islarik izatea oso litekeena da (sufrearen kasuan ere ezin dezaiegu aukera hori baztertu). Bestalde, Nafarroa Garaiko

ko Mendialdean abeltzaintzak duen garrantzia kontuan hartzen badugu, jarduera horren ondorioz aire-ratutako $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ kantitateak hostoen nitrogeno-edukian eragina duela ziurtzat jo daiteke.

Orain arte elikagaien edukiei buruz aritu bagara ere, beraien arteko erlazioak zuhaitz baten elikadura-egoeraren adierazle askoz ere hobeak dira. Guztien artean egokiena N/P erlazioa da, bai nitrogenoa bai fosforoa bereziki fisiologia-funtzioetan nahasturik daudelako. Bada, parametro hori aintzakotzat hartuz gero, aztertutako pagadi-sailen oso gehiengo nabarmena egoera onean dagoela baieztatu dezakegu, elikadura aldetik begiratuta.

Elikagaien arteko erlazioen analisitik ateratzen den beste ondorio nagusia honako hau da: Europa eta Ipar Amerikako baso epel asko ez bezala, Nafarroa Garaiko pagadiak oraindik ez daude N-aseak, eta nitrogenoa da pagoen hazkuntza mugatzen jarraitzen duen elikagaia, gainontzekoen eduki altuek lagunduta. Datu horrekin bat dator beste hau ere: gaur egun, aztertutako eremuan, nitrogeno-jalkinen mailek ez dituzte gaintitzen baso-ekosistementzat kalkulaturiko balio kritikoak.

Pagadien poluzio-egoera

Lur- eta hosto-laginen eduki metalikoen analisiari esker, ondorengo ondorioetara iritsi gaitzeko:

Lurrei dagokienez, berun eta kobrea bidezko poluzioa aztertutako pagadi-sail guztietako lurretan aurkitu dugu, eta zink bidezkoa erdietan edo egiaztatua geratu da ziurtasun osoz. Hala ere, berun bidezko poluzioa da guztietan handiena. Aurkikuntza horren aparteko

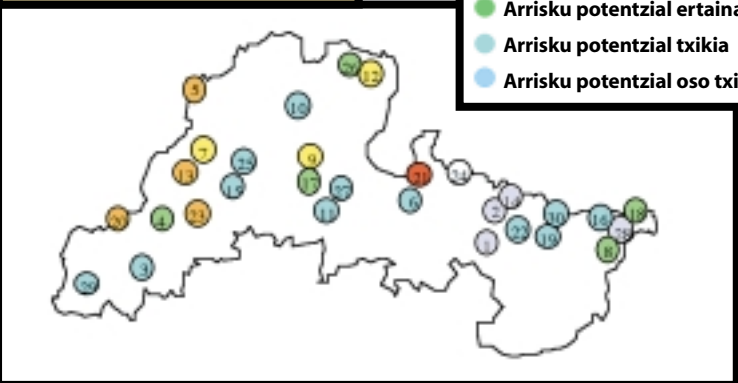
Nafarroa Garaiko Mendialdean abeltzaintzak hostoen nitrogeno-edukian eragina du.



R. SERIAS

Pagadi-sailak	
1. Abaurregaina	16. Juan Pito
2. Abodi	17. Lantz
3. Andia	18. Larra
4. Aralar	19. Lazar
5. Arano	20. Lizarrusti
6. Auritz	21. Luzaide
7. Basakabi	22. Muskilda
8. Belabarze	23. Oderitz
9. Belate	24. Orbaitzeta
10. Bertiz	25. Orokieta
11. Egozkue	26. Otsondo
12. Gorramendi	27. Kintoa
13. Gorriti	28. Belagua
14. Irati	29. Urbasa
15. Jauntsarats	30. Uztarroze

1. irudia. Aztertutako pagadi-sailen banaketa geografikoa Nafarroa Garaiko Mendialdean.



- Sekulako arrisku potentziala
- Arrisku potentzial oso handia
- Arrisku potentzial handia
- Arrisku potentzial ertaina
- Arrisku potentzial txikia
- Arrisku potentzial oso txikia

2. irudia. Fitotoxikotasun-arrisku potentziala aztertutako pagadi-sailetan (Orbaitzetako sailari dagokionez, lorturiko emaitzen aldakortasuna dela eta, ezin liteke ondorio orokorrik atera).

garrantzia berunak eguratseko poluzioaren adierazle gisa duen balioan datza; hau da, berun bidezko poluzioa antzeman izanak poluzio orokorraren zantzua erakusten digu, iturri poluitzaileek ez baitute espezie kaltegarri bat modu isolatuan aireratzten.

Dena den, eta lan honetan jarraitutako prozedurak frogatzerik ahalbidetzen ez duen arren, ezin liteke aipatu gabe utzi aurkituriko berun bidezko poluzioan zirkulazioak derrigorrean izan behar duen eragin garrantzitsua, mundu mailan berun-iturri nagusia dela jakinik. Kobrearen kasuan, ordea, litekeena da iturburu nagusia iparralderantz dauden Europako eskualde industrializatu urrunagoetan aurkitzea.

Berun eta kobre bidezko poluzioa aztertutako pagadi-sail guztietako lurretan aurkitu da.

Hain zuzen ere, aztertutako lur-laginen berun-eduki osoa poluzio bidez iritsitako berunak baldintzatzen du guztiz. Gauza berdintsua esan liteke zinkari eta kobeari buruz, baina neurri batean soilik. Hiru elementuon edukien frakzio erauzgarriak ere arrazoi berberak guztiz baldintzatuta daude. Analizaturiko gainerako metalen (Cd, Cr eta Ni) eduki osoak nahiz frakzio erauzgarriak, berriz, lurzoru azpiko harkaitzaren edo lurzorua berezko ezaugarriaren baten arabera dira. Nolanahi ere, ezin dezakegu zeharo baztertu Nafarroa Garaiko pagadiak mendebaldetik eta ipar-mendebaldetik iritsitako kadmio- eta kromo-ekarpen txikiren batzuk jasotzen dituztela.

Berun- eta zink-ekarpen antropikoek aztertutako eremutik mendebalderantz eta ipar-mendebalderantz kokatuta dauden gune industrializatuetan dute jatorria.

Haatik, Nafarroa Garaiko pagadi-lurren berun-, zink- eta kobre-edukiak oraingoz ez dira lurzoruan bizi den mikrofauna eta mesofaunaren garapena kaltetzeko moduko mailetara iritsi, salbuespenak salbuespen (ipar-mendebaldeko koadrantean kokaturik dauden baso batzuetako lurren berun-edukiak kasu); bai ordea, nahiz eta jatorri naturala izan, aurkitutako kadmio- eta kromo-edukiak. Kontuan hartu beharrekoa da aipatutako bizidunak ekosistemako sentikorenak direla metal astunei dagokienez. ➔



Nafarroa Garaiko pagadiak poluzioaren eragina jasaten dute.

Lur-laginen azterketak uzten digun azken ondorio garrantzitsua gure pagadiak azidotze-fenomenorik jasan ez dutela da.

Hosto-laginen analisisietatik lorturiko emaitzek lur-zoruaren azterketa bidez ondorioztatutakoa egiaztatzen dute, oro har, eta Kantauri itsasertzetik gertu dauden industriguneen eragina agerian utzi.

Poluzio egoera larriagotzearen ondorioz zein ekosistemaren bat-bateko aldaketa baten aurrean pagadi-sail bakoitzeko metal edukiek landarediarentzako ekar dezaketen arriskua ikuspegi orokor batetik aztertzen badugu, ipar-mendebalderantz handitzeko joera antzeman dezakegu (2. irudia).

Pagadi-sail baten azterketa iraunkorra

Nafarroa Garaiko pagadi adierazgarri baten azterketa trinkoa ere burutu genuen, ikerketa osatzearen. Zehazki, ia hiru urtetan, 15 egunetik behin eurilaginak analizatu genituen Auritzen kokatutako pagadi-sail baten barruan zein kanpoaldean (3. irudia), eta ondoko ondorio hauetara iritsi ginen:

Ekosistemak epe luzera jasan lezakeen azidotzeari dagokionez, lortutako emaitzak kezkarriak dira; izan ere, nola katioi basikoen jalkiera osoa hala zelai irekikoa Europako handienetariok badira ere, konposatu azidotzaileenak (nitrogeno eta sulfurearenak) gaina hartzen die, kontinente osoan gertatzen den

antzera. Horiei dagokielarik, nabarmentzekoa da nitrogenoaren jalkiera-tasak sulfurearenak baino dezentez handiagoak direla, azken bi hamarkadetan Europa aldean sumatutako joerarekin bat.

● **Ekosistemak epe luzera jasan lezakeen azidotzeari dagokionez, lortutako emaitzak kezkarriak dira.**

Hala ere, euriaren eraginez landaredian gertatzen den katioi basikoen galerak (potasio eta kaltzioarenak bereziki) botatutako uraren azidotze-ahalmena zein azidotasuna bera indargabetzen ditu baso barruan.

Bestalde, urteko zenbait sasotan landareek euriak dakarren nitratoa xurgatzen dutela iradoki dute emaitzek, eta hori aztertutako pagadia N-asea ez dagoen adierazgarri izan liteke.

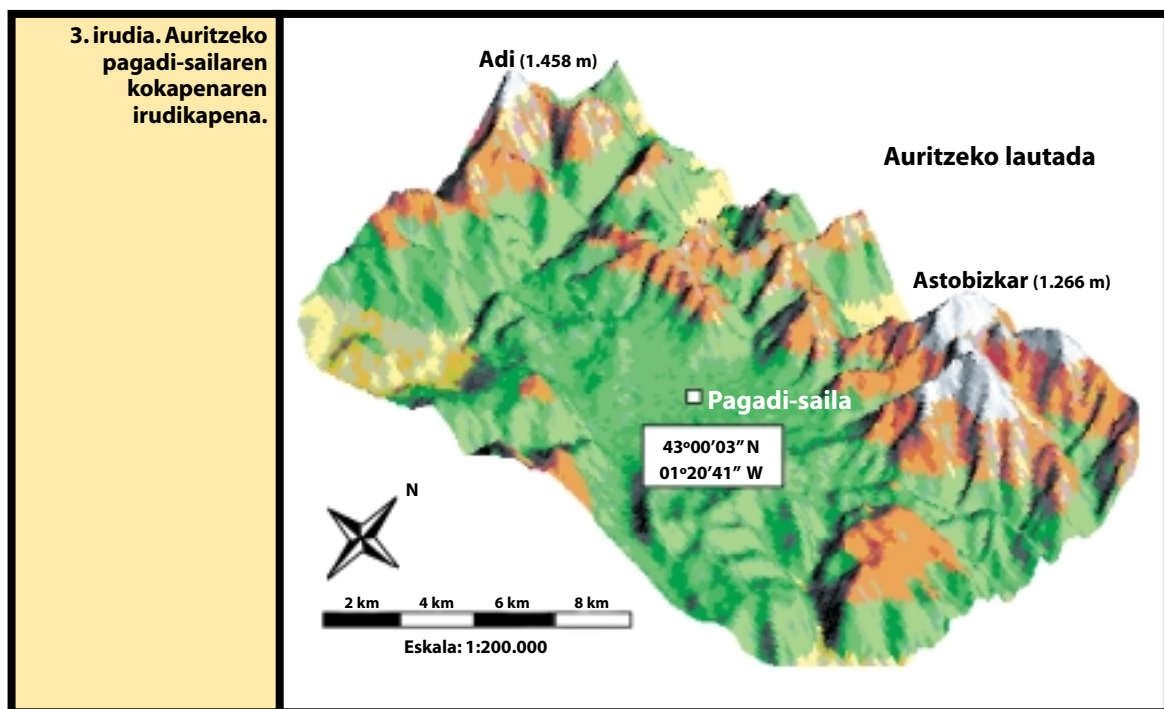
Aztertutako espezie kimikoen jatorriari dagokionez, zelai irekian jasotako sodio, kloruro, magnesio eta potasiorik gehiena Kantauri Itsasotik dator, ipar-

BIBLIOGRAFIA

AMORES OLAZAGIRRE, G. *Evaluación del estado fitosanitario y de contaminación de los hayedos de la Comunidad Foral de Navarra mediante el empleo de indicadores.* Doktoretza-tesia. 332 orr. 2002.

DE VRIES, W., REINDS, G.J., KLAP, J.M., VAN LEEUWEN, E.P., ERISMAN, J.W. 'Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part III: estimation of critical deposition and concentration levels and their exceedances'. *Water, Air and Soil Pollution.* 119: 363-386. 2000.

DUQUESNAY, A., DUPOUEY, J.L., CLEMENT, A., ULRICH, E., LE TACON, F. 'Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France'. *Tree Physiology.* 20: 13-22. 2000.



G. AMORES

-mendebaldeko haize nagusiek garraiatuta. Baso barruan jasotako sodio, kloruro eta magnesioaren kantitatea, berriz, jalkiera hezeak baldintzatzen du bereziki, eta landarediarekin izandako truke-prozesuek ez dute ia bat ere garrantzirik, potasioaren kasuan ez bezala.

Jasotako protoi- eta nitrato-kantitaterik gehiena, ibilgailuek aireraturiko nitrogeno oxidoen oxidazio bidez sortutakoa, iparraldeko haizeekin iristen den euriak garraiatzen du Auritzeko pagadi-sailera. Nolanahi ere, azterketak irau duen denboran, poluzio lokalarekin lotutako zenbait gertaera jazo dira, aipatutako ioien jalkiera lehorrak garrantzi handia hartu du eta eurien pH-a 4'3ko balioetaraino jaitsi da.

Kaltzioari eta sulfatoari dagokienez, bereziki Iruñerriko lantegien isurietan dute jatorria, Nafarroa Garaiko hegoaldean kokaturik dauden eta igeltsutan aberatsak diren lurretatik irits litezkeen aerosolen ekarpena ahaztu gabe.

Etorkizunari begira

Egia da Nafarroa Garaiko Mendialdetik mendebalderantz eta ipar-mendebalderantz kokaturik dauden eskualdeetako industria astunaren gainbeheraz geroztik metal astunen isuriak gutxitu bide direla; baita berunik gabeko gasolina ezarri zenetik ibilgailuek aireraturako berun-kantitatea apalagoa dela ere. Hala eta guztiz ere, komenigarria litzateke gure pagadietako lurren metal astunen edukiak aldizka aztertzen jarraitzea, lan



ARTXIBOKOA

Urteko zenbait sasoi tan landareek euriak dakarren nitratoa xurgatzen dutela iradoki dute emaitzek, eta hori aztertutako pagadia N-asea ez dagoen adierazgarri izan liteke.

honen bitartez ezin zehatz baitezakegu aurkitutako poluzioa aspaldikoa ala duela gutxi iritsitakoa den.

Konposatu nitrogenatuen isuriaren areagotze orokorraren aurrean, pagadien elikadura-egoeraren kontrolak eta euriaren analisiak ere ez lukete etenik izan behar, areagotze horrek, ekosistemen N-asetzeaz gain, lurzoruko metal astunetako batzuk mugikor bihurtuko lituzkeen azidotzea ere eragin baitezake. **□**

EC-UN/ECE (DE VRIES, W., REINDS, G.J., VAN DER SALM, C., DRAAIJERS, G.P.J., BLEEKER, A., ERISMAN, J.W., AUÉE, J., GUNDERSEN, P., KRISTENSEN, H.L., VAN DOBBEN, H., DE ZWART, D., DEROME, J., VOOGD, J.C.H., VEL, E.M.).
Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe, 2001 Technical Report (EC, UN/ECE 2001, Brussels, Geneva). 177 orr. 2001.

RADEMACHER, P.
'Atmospheric Heavy Metals and Forest Ecosystems'.
EC-UN/ECE. CLRTAP. 2001.

Gurea denontzat



Urteko sasoi guztietan

Kulturako Zuzendaritza Nagusia
Koldo Mitxelena Kulturunea
Urdaneta, 9
20006 Donostia
943 428843

Gazteria eta Kiroletako Zuzendaritza Nagusia
Gipuzkoako Plaza
20004 Donostia
943 482488

Euskararen Normalkuntzako Zuzendaritza Nagusia
Gipuzkoako Plaza
20004 Donostia
943 482394



Gipuzkoako Foru Aldundia
Diputación Foral de Gipuzkoa

Kultura, Euskara, Gazteria eta Kiroel Departamentua
Departamento de Cultura, Euskera, Juventud y Deportes

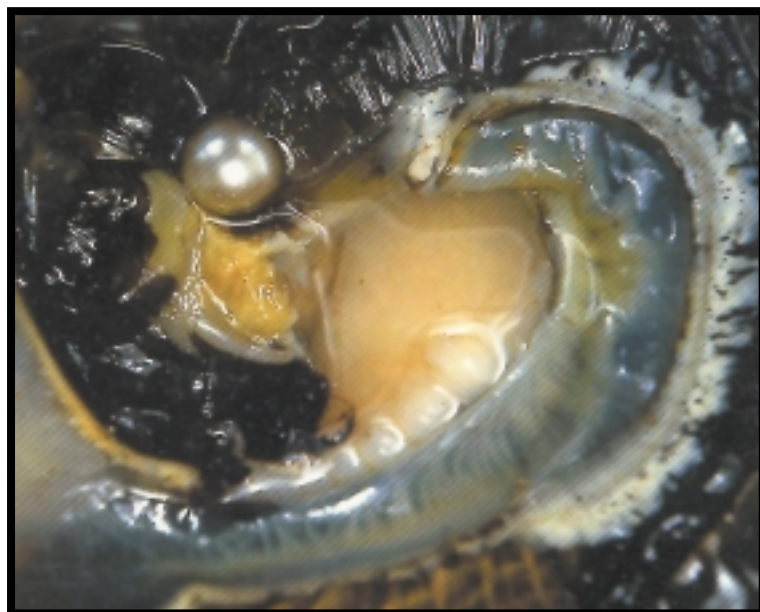
Kleopatra, perlak eta luxua

Itxaso Apraiz Larrucea
Oihane Lakar Iraizoz

Ostra bat jateko orduan, edozeinek pentsa lezake barruan perla bat aurkituko duela. Baina hori ez da horrela izaten, izan ere, perlak ekoizten dituzten ostrak eta jateko erabiltzen ditugunak ez dira talde berekoak, ez daude oso ahaidetuta eta. Areago, biak urtarrak eta kasu gehienetan itsastarrak diren arren, familia taxonomiko desberdinetako animaliak dira, nahiz eta antzeko ezaugarri morfologiko eta fisiologikoak dituzten.

Bitxi benetan bitxiak

Dirudienez, moluskuak duela 530 milioi urte sortu ziren, eta memento horretatik bertatik gaur arte gai izan dira perlak ekoizteko. Maskorra duen edozein molusku gai izaten da perlak egiteko; azken finean, bai maskorrak bai perlek osagai berdinak dituzte. Gaitasun hori, ordea, gutxi batzuek soilik erabiltzen dute. Horrexegatik, perlak oso urriak izan dira betidanik.



Aurkitu duten perlarik zaharrena orain 220-230 milioi urtekoa da. Naturan, 10.000 molusku-aletik batek baino ez du perla ekoizten. Hala ere, perlen hazkuntzaren industrian dihardutenek hainbat teknika garatu dituzte bibalbjo perla-ekoizleen kopurua emendatzeko. Horrelaxe lortu dute inoizko perla-ekoizpenik handiena.

Batez ere kaltzio karbonatoz eratuta dago moluskuen maskorra. Bertan hiru geruza bereiz daitezke: kanpoko (periostrako deritzona) mehea da eta itxuraz adarkara; erdikoak egitura prismatikoa dauka; eta barruko geruza irisatua izaten da eta nakarrak edo perla-amak osatua.

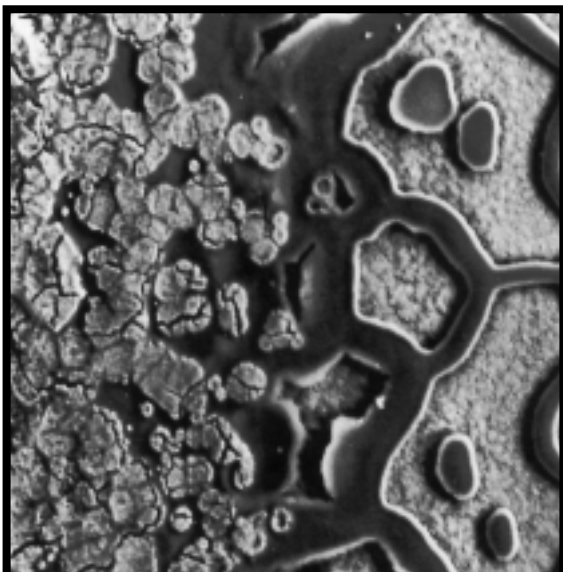
Azterketa-teknikak garatu izan diren heinean, hobeto ulertu ahal izan da nola eratzten den maskor hori: kaltzio karbonatoa kristalizatzen da antzekoak diren poligono-formako kristal lauetan. Kristalak hainbat eratara para daitezke, eta ezaugarri hori aldatu egiten da espezietik espeziara: zutabe modura, eskailerak bezala, piramideak eratzuz eta abar ager daiteke. Modu horretara, animaliaaren gorputz biguna estaltzen duen

maskorra eratzen da. Kristal horiek guztiak konkiolinazko matrize organiko batek inguratzen ditu, periostakoak alegia. Kristalezko geruza horren azpian egoten da nakarra edo perla ama.

Gorputz-azal barrura zatiki arraroren bat sartzen bada (harea-bikor bat, beste animalia baten maskor-pusketa bat...), estaltzen du gorputz arrotza moluskuak kaltzio karbonatoz eta konkiolinaz eratutako milaka geruzaz;

Perlen barne-egitura maskorrarenaren berdina da; izatez, nukleo arrotzaren inguruan eratutako maskorra da.

defentsa-mekanismo bat da azken batean. Modu horretan lortzen da gorputz arrotza isolatu eta animalia baten barrua ez kaltetzea. Perlen barne-egitura, beraz, maskorrarenaren berdina da; izatez, nukleo arrotzaren inguruan eratutako maskorra da. Perlak modu naturalean eratzen direnean, normalean, ostra basatiaren barrura harea-bikorren bat (edota bizkarroiren bat edo zestodoren baten larba) sartu delako



Kaltzio karbonatoa poligono-formako kristal laueta paratuta, inguruan konkiolinazko matrize organikoak inguratuta.

Perlen 'eraketa' erromatarren garaian

Plinio Zaharrak perlei buruzko hainbat kontu azaldu zituen *Naturalis Historia* entziklopedian: batetik, perlak eratzeko prozesua deskribatu zuen, eta bestetik, perlen ezaugarrietan eragina duten faktoreak aipatu zituen. Besteak beste, perlek eguzki-izpiren bat jasotzen bazuten gorritu egiten zirela esan zuen, gizakiari gertatzen zaion bezalaxe, edota hazten ari zirenean tximistarik bazegoen, ez zirela behar bezala hazten kikildu egiten zirelako. Bestalde, perlak biltzeak dakartzan arazoez aritu zen: dela perlak jasotzera doanak itsasoko munstroei aurre egin behar diela, dela ostren kuskuek arrantzalearen eskua harrapatu eta moztzen duela, dela ostrak leku arrokatsu eta sakonetan bizi direla, itsas txakurrek zainduta eta abar. Baina, hala ere, gizona ez du beldurtzen perlen bila joateak, ezpada perlak damek eta andereek derrigorrez behar dituztela. Ildo horretatik, Jules Verne zientzia-fikziozko nobelagileak aspaldi idatzi zizkigun Nemo kapitainaren urpeko abenturak. Horietako ibilaldi batean Ceilaneko itsasosan aurkitu zuen hirurehun kiloko moluskuak erakutsi zigun, gutxi gorabehera hamabost kilo okel zituena eta barruan koko fruituaren tamainako perla.

izaten da. Ordea, kultiboan hazitako perlak ekoizteko, maskor-zatikiak sartzen dituzte ostraren gorputz-barrunbera. Dena dela, ur gezatako ostren perlak sorrarazteko, maskor-zatikien orde, beste moluskuaren baten ehun-zatikiak erabiltzen dituzte.

Esan bezala, perla-kultiboak gorakada handia izan du azken urteotan. Gero eta teknika gehiago dago ostrak perlak egitera bultzatzeko. Nukleazio-prozesuaren bidez nukleoa ostra barruan sartzeak estres hilgarria eragiten die, izan ere, ostren kuskuek bortxaz ireki behar dira. Beraz, beharginek izugarriko trebezia behar dute lana azkar eta ongi egiteko eta, aldi berean, odol-jarioak eta deshidratazioa minimizatze, ostrak ezin baitira denbora luzez zabalik eduki. Prozesu hori hogeita minututik gorakoa bada, moluskuak hil egiten dira. Gainera, kontuan hartzekoa da ostren kuskuek oso gutxi irekitzen direla, animalia baten muga fisiko batengatik, eta, beraz, beharginak ostraren barrualdeko ia ezer ere ikusi gabe egiten duela nukleazioa. Bizpahiru urteko ostrak itsasotik atera, nukleatu eta berriro itsasoratu egiten dira, plataforma flotatzaileetan eskegitako saskietan sartuta. Plataforma horiek maiz aldatzen dituzte lekuz, ostrak harraparietatik eta mesedegarriak ez diren tenperaturetatik babestearren. Hiru eta sei urte arteko zainketa-aldia ostean, ostrak jaso egiten dira, perlak atera eta kalitatearen arabera sailkatzeko. ➔

Historiako afaririk garestiena

Erromatarren garaiko beste istoriorik ere badakarkigu Plinio Zaharrak. Aipagarriena Kleopatra eta Marko Antonioren arteko apustua da. Kleopatra, herentziaz, munduko bi perla perfektuena jabea zen. M. Antonio prest zegoen beti Kleopatraren nahi eta behar guztiak asetzeko, eta sestertzio-mordoa xahutu zuen horretan. Halako batean, Kleopatrak agindu zion gastatutako diru guztia afari batean itzuliko ziola. Jakina, M. Antoniok guztiz ezinezkoa begitandu zitzaion hori, eta, auzia erabakitzeke, apustu bat egin zuten. Afaria oturuntza galanta izan zen, hamar milioi sestertziokoa Plinioren arabera, baina ez zen, inondik inora, M. Antoniok Kleopatrarekin gastatutakoa beste. Zer esanik ez, M. Antoniok irabazitza jo zuen apustua. Baina usteak erdia ustel; halako batean, Kleopatrak edalontzi bete ozpin eskatu zuen, eta, ekarri ziotenean, belarrietatik eskegitako bi perla zoragarrietako bat erantzi eta ozpinetan sartu zuen. Ozpinak, azidoa denez, perlak disolbatzeko gaitasuna du. Kleopatrak perla urtu arte itxaron zuen, eta ostean ozpina edan. Perla bakar horren balioak hainbat eta hainbat aldiz gainditzen zuen Marko Antoniok xahututakoa, eta, beraz, M. Antoniok galdu zuen apustua.

Perlen eraketan lan handiena moluskuek egin arren, gizakia etengabe saiatzen da kalitatea hobetzen edota perlek berez ez duten leinuru edo ezaugarriren bat lortzen, horretarako asmatutako metodoak animalia-erentzat arean kaltegarriak badira ere. Edonola ere, oraindik, perla naturalak dira preziatuenak.

Perlak hazteko teknika horiek egonda ere, urteko ekoizten den perla akatsbakoen kopurua nahikoa txikia da. Adibidez Japonian, nukleatutako ostren erdiak ez dira perla ekoiztera iristen; % 25 oso perla kaxkarrak izaten dira, eta % 20 kalitate ertain-baxukoak dira, baina hala ere saldu egiten dira. Beraz, ostrea guztietatik, % 5ek baino ez dituzte gogobetekotzat sailkatutako perlak ekoizten. Ehuneko hori aldatu egiten da espezieetik espeziera eta herritik herrira, baina perla akatsbakoak guztiz ez-ohikoak dira kasu guztietan.

Edozein garaitan, perlak beti erakargarri

Antza denez, perlekiko mirespena erromatarren eta bizantziarren denboran hasi zen. Perlei garrantzi erabat desberdina eman diete zibilizazio guztiek. Badi-rudi XIX. mendea baino lehen maskor bila ibiltzen

ziren japoniarrek ez zietela inongo jaramonik egiten aurkituriko perlei. Polinesiarrek ostrea perla-ekoizleak hazi hazten zituzten, baina maskorrak (eta ez perlak) aprobetxatzearren. Perlak haurrek erabiltzen zituzten kaniketan olgatzeko. Nolanahi, gugandik hurbilago etorrita, Julio Zesarrek Britainia inbaditzeko izan zituen arrazoietako bat hango perlen jabe bihurtzeko nahia izan zen. Horixe kontatu digu, behintzat, Plinio Zaharrak (K.o. 23-79) bere *Naturalis Historia* eza-gunean. Idatzi zuenaren arabera, Erromako itsasoetan ez zuten perlarik topatzen, eta, aurkitzekotan ere, txikiak eta kalitate eskasekoak izaten ziren. Horregatik, Plinio Zaharraren hitzetan, Julio Zesarrek perla ingelesez apaindu zuen Venus Jainkosaren omenez eraikitako tenplua.

Perlei garrantzi erabat desberdina eman diete zibilizazio guztiek.

Erdi Aroan eta Errenazimentuan, Europako eliza eta noblezia perlaz hornitu ziren, jantzi, bitxi eta apaingarriak edertzeko. Orduko perla gehienak ur gezatoko ostrek ekoiztiak ziren Alemanian, Eskandinavian eta Errusian.

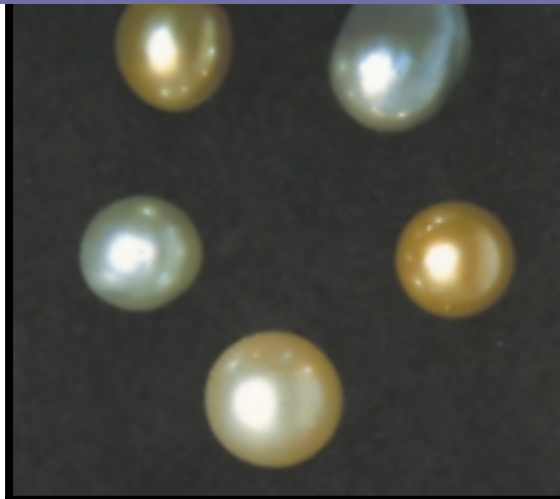


Nukleazioak ostrei hilgarria den estresa eragiten die.

Areago, Errenazimentuan perlak izan ziren Europako harribitxirik preziatuenak. Amerikako kolonizazioaren ondorioz merkatari-sareak ezarri zirenean, XVI. mendean, perlak inoiz baino eskuragarriago egon ziren Europan. Merkatu bi ezarri zituzten Lisboan eta Sevillan, eta horietara etengabe iristen ziren Indian, Persiako Golkoan eta Kariben eskuratutako perlak. Handi-mandiak egunero apaintzen ziren perlez, eta, horrenbestez, perla aberastasunaren, estatusaren eta gustu onaren adierazgarri bihurtu zen. Aipatzekoa da, gainera, garai horretan itxura arraro eta forma irregularreko perlak miresten zituztela gehien.

Dena dela, perlen sukarrak hura apalduz joan zen XVII. mendearen amaieran, batetik, orduko egoera politikotik-erlijiosoagatik, eta bestetik, Mundu Berritik ez zirelako jada lehen beste perla iristen.

Diamanteak-eta lantzeko teknikak garatu zirenean, harribitxi horiek erakarri zuten europarren desira, baina, hala ere, XVIII. mendean perlak erabiltzen jarraitu



Perlak hazteko teknika aurreratuak egonda ere, ekoizten diren perla akatsbakoen urteko kopurua nahikoa txikia da.

zuten, jauregietan batez ere. Lepoko, eskumuturreko, arrakada eta bestelako apaingarrietan erabiltzen zituzten. Jakina, elizako objektuak edertzeko ere erabiltzen zituzten. Gero, XIX. mendean perla-iturri berriak aurkitu zituzten Erdialdeko Amerikan, eta horrek perlekiko interesa berpiztu zuen. ➔

Usurbilgo Udala zientzia euskaraz bultzatzen



Usurbilgo Udala



EUSKAL PIZBONAK
EUSKAL HIZTEGIA

Zernahi gisaz, 1700-1800 urteetan, klase ertaineko-en artean ere (erosteko adina diru zutenen artean) perlekiko interesa zabaldu zen –bai Europan, bai Estatu Batuetan–. Txina eta India ziren ekoizle nagusiak. Egunkari batek 1870ean zihoenez, “perlak zoragariak dira, eta oso egokiak emaztegaiari oparitzeko”.

Esan gabe doa gaur egun ere perlak oso preziatuak direla; mundu osoan, milaka milioi dolar mugitzen dira perlen inguruko negozioetan.

- **Perlak oso preziatuak dira; mundu osoan, milaka milioi dolar mugitzen dira perlen inguruko negozioetan.**

Bestalde, perlak –eta nakarra oro har– botoiak egiteko lehengai modura erabili izan dira; nork ez ditu inoiz ikusi gure aiton-amonon jantzi eta oihaletako botoi irisatuak?

Egun, perlen urrezko garaian gaude, eta, izatez ia-ia edonoren eskura egon arren, oraindik ere gordetzen dute betiko glamourra.

Ostra perla-ekoizleen gainean berba bi

Orain arte, perlei buruz aritu gara, eta gizakiaren onurarako langile bezala aurkeztu ditugu, baina ez da ahaztu behar gehiegizko ustiapenak ostra perla-egileak desagerrarazi dituela hainbat eta hainbat tokitan, bai itsasoan eta bai ur gezatan ere. Adibidez,



Jan vermer-en koadroa.

Madagaskarreko itsasoan, desagertzeko arrisku larrian dago garai batean oso ugaria izan zen *Pinctada margaritifera* ostra perla-egilea.

Ur gezatako ostrek, besteak beste *Maragritifera margaritifera*ak, hainbat arazori egin behar diete aurre: larba-fasean ibaian behera edo laku hondora ez joateko, bertako arrainen zakatzetan edo hegatsetan tinkatu beharra dute, itsasoraino iritsiz gero ezinbestez hilko bailirateke; eta, bide batez, zakatzetan lortzen dituzte behar dituzten elikagaiak. Horrela, bai arrainak bai ostraren larbak ingurunearen menpe bizi dira erabat, bertan dauden jakiez elikatu behar dute eta. Horrenbestez, bizi diren habitata etengabe suntsitzearen ondorioz (alegia, kanalizazioen, giza jardueren urak poluitzearen eta abarren ondorioz), ur gezatako ekosistemetan gero eta ostra perla-ekoizle gutxiago daude, eta hala egongo dira uren kudeaketa aldatzen ez den bitartean. □

Ingurumenzaleen autoa



Naturaren seme ezkututuak

Gorka Azkune Galparsoro.



Unibertsoak sekretu asko dauzka guretzat gordeta. Urteen poderioz, horietako batzuk ulertu ditugu, beste batzuk ulertzeko bidean gara eta nork daki zenbat gehiago ikustea suertatuko zaigun.

Guk, orri hauetan, mendeetan zehar ongi ezkutatuta egon diren zulo beltzak aztertuko ditugu. Nola aurreikusitako ziren, beren existentziaren onarpena, haiei buruz gaur egun dakizkigun hainbat gauza, eta, noski, etorkizunari begira irekitzen dituzten ateak. Baina hori

guztia behar bezala ulertzeko, lehenik eta behin Einsteinen Erlatibitatearen Teoria Orokorra azaldu behar dugu (1. eranskina), hari esker jaio baitzen oraindik amaitu gabe dagoen bidaia luze honi. ➔

Zulo beltzen jaiotza

Izar baten heriotzan, indar grabitatorioa presio termikoari gailentzen zaionean, izarra inplosio grabitatorio batean amiltzen da. Masa nahiko handia badu, gutxi gorabehera Eguzkia baino bi aldiz handiagoa, inplosioaren amaieran, zulo beltz bat jaioko da.

1916an, Karl Schwarzschildek, izarren inguruko espazio-denboraren geometria nolakoa zen argitu zigun. Kalkulu horietaz baliatuz, Robert J. Oppenheimerrek inplosionatzen ari zen izar baten itxura zein zen jakin nahi izan zuen. Baita lortu ere. Horrela, nahi

dugun erreferentzia-sistematik izarren inplosioak zein itxura duen jakin dezakegu. Has gaitezen izarrekiko bere kanpoaldean geldirik dagoen behatzaile batekin. Kontuan izan beti distantzia berari eutsi behar diola, izarerantz amildu gabe.

Izarra uzurtzen doan neurrian, bere inguruko espazio-denboraren kurbadura areagotu egingo da. Ondorioz, izarrek igorritako argiak gorriariko desplazamendu bat jasango du, hots, geroz eta uhin-luzera handiagoko argia igorriko du. Hori logikoa da, kurbadura handiagotzen denean, denboraren fluxua

Einsteinen oparia (1. eranskina)

Erlatibitatearen Teoria Orokorra grabitatea deskribatzen duen teoria bat da, 1916an Einsteinek argitaratua. Bere ekarpenen barne daude argiaren desbideratzea izar baten inguruan pasatzean, denboraren moteltzea, Merkurioren perihelioaren desplazamendua, eta, nola ez, guri interesatzen zaizkigun zulo beltzak.

Erlatibitatearen Teoria Bereziak erakutsi zigun espazioa eta denbora erlatiboak direla, hots, abiadura ezberdinez bidaiatzen duten behatzaileek luzeren eta denbora-tarteen neurketa ezberdinak egingo dituztela. Hala ere, Hermann Minkowski konturatu zen bezala, unibertsoko fenomenoak azken finean gertaerak dira. Eta gertaera bat deskribatzeko lau zenbaki behar ditugu: hiru bere espazioko posizioa adierazteko eta bat gertatu den unea zehazteko. Gure mundua lau dimentsioko espazio-denbora baten bitartez deskriba dezakegu. Espazioa eta denbora beren kasa erlatiboak badira ere, espazio-denbora absolutua da. Hots, edozein

behatzailek, edozein delarik ere bere higidura-egoera, espazio-denborako tarte berdinak neurtuko ditu bi gertakirenen artean (I. irudia). Hori oso baliotsua izango da erlatibitate orokorra formulatzerako garaian. Ikus dezagun zergatia.

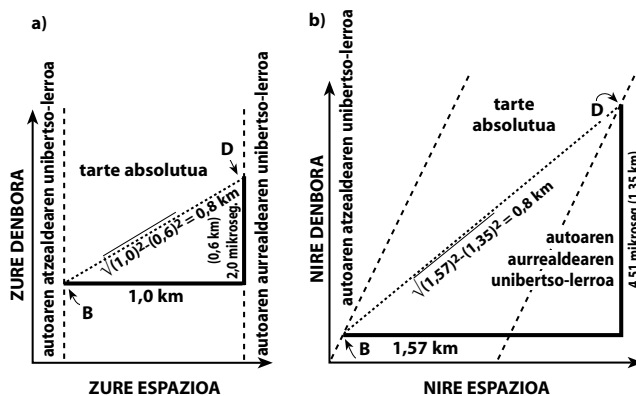
Giltza marea-indarretan dago. Bai, itsasoko mareak sortzen dituzten indar berdinak. Newtonen grabitatearen teoria jarraituz, espazioaren puntu bakoitzean eremu grabitatorioak intentsitate ezberdinak dituelako azaltzen dira indarrok.

Baina Newtonen azalpenek ez dute balio indar horiek ongi ulertzeko. Bere teorian grabitatearen aldaketa distantziarekiko agertzen da giltzarritzat, baina zer distantzia? Nork neurtua? Espazioa erlatiboa baita. Beraz, Lurrera erortzen ari den astronauta baten egoera ez da berdina izango berak deskribatuta eta guk Lurretik ikusita (II. irudia). Garbi dago azalpen horrek ez

duela erlatibitate-printzipioa betetzen; beraz, beste zerbaiten bila hasi beharrean gaude. Saia gaitezen honi irtenbide bat aurkitzen. Demagun lau bolatxo hartu ditugula eta Lurretik urrun aske utzi ditugula erronbo-itxuran utziz (III. irudia). Lurrera gerturatzen doazen neurrian, eremuaren eragina nabarmenagoa egingo da, eta beren ibilbide zuzenak aldatu egingo dira. Ibilbideak kurbatuak bilakatzen dira eremuak eragiten dienean. Hemendik, Einsteinek ondorioztatu zuen marea-indarrak espazioaren kurbaduraren erakusgarri zirela. Baina erreferentzia-sistema batean espazioaren kurbadurak beste batean denboraren kurbadura ere bada- kar, espazioa eta denbora oso lotuta baitaude. Arazo handia da hori. Infinitu erreferentzia-sistema egon daitezkeenez, abiadura eta azelerazio ezberdinekin, infinitu espazio eta denbora kurbatu dauzkagu! Izugarritzko anabasa!

Hemen agertzen zaigu, ordea, Minkowskiren espazio-denbora absolutua. Espazioaren eta

I. irudia. a) Zure espazioan kilometro bateko luzera duen auto batean bidaiatzen ari zara 162.000 km/s-ko abiaduraz, nirekiko. Zure denbora-tartean, argi bat pizten da lehenik autoaren atzealdean (B gertaera), eta 2 mikrosegundoren ondoren, beste argi bat pizten da aurrealdean (D). Bi gertaeren tarte absolutua 0,8 km da zurretzat (espazio-denboran, denbora ere km-tan neurtzen da, eta balio horiek parentesietan agertzen dira). **b)** Zu autoan zoazen bitartean, ni kalean nago, zuri begira. B eta D gertaeren arteko nire espazio-tartea 1,57 km-koa da eta denbora-tartea, 4,51 mikrosegundokoa. Hala ere, tarte absolutua berdina da: 0,8 km.



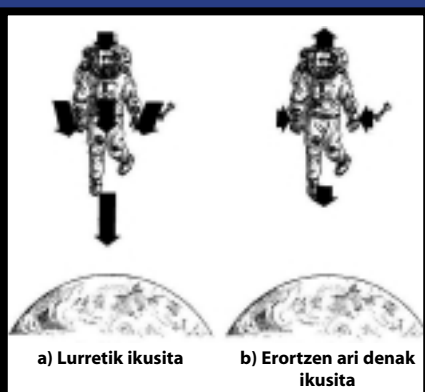
moteldu egingo baita izar barruan. Beraz, atomoek igortzen duten argiaren maiztasuna txikiagoa izango da, eta, noski, uhin-luzera handiagoa.

Halako batean, izarraren erradio jakin batean, argia infinituki desplazatuko da gorriarantz, hots, existitze-ari utziko dio. Momentu horretan, gure izarra zulo beltz bat bilakatu da, argiak ere ihes egin ezin dion objektu arraro bat. Erradio horri *erradio kritikoa* deritzo (I. irudia). Gure behatzailearentzat, argiaren maiztasuna nulua izateak inplikazio sakon bat dauka: **izarraren gainazalean denboraren fluxua izoztu**



NASA / HUBBLE

Urrutiko espiral galaxiak eta galaxia eliptikoak. Astronomoek uste dute galaxia guztien bihotzean zulo beltzak daudela.



II. irudia. Geziek indarren norabideak eta intentsitatea adierazten dituzte.

O, zentrotik gertu dugula, eta bestea, K, urrun, eremuaren eragina ahula den lekuren batean. O-erentzat espazioak ez ditu Eukliden geometriaren legeak errespetatuko. Hots, bi zuzen paralelo marrazten hasita, beti topatuko du punturen bat elkar moztuko dutena. Bere espazioa esfera baten gainazala bezalakoa litzateke, espazio kurbatu bat. K-erentzat, aldiz, eremuaren eragina oso txikia denez, espazioa ia-ia laua izango da. Eukliden legeek bikain funtzionatu dute bere erreferentzia-sisteman.

Denborak ere pairatzen du grabitatearen eragina. Horrela, O-ren erlojua, K-ren erlojua baino motelago joango da, hau da, eremuaren sorburutik gertuago gauden neurrian, denbora-tarteak luzeagoak dira. Deskribatu berri dugun modu honetara ulertu behar da espazioaren eta denboraren kurbadura, bakoitza bere aldetik hartuz gero.

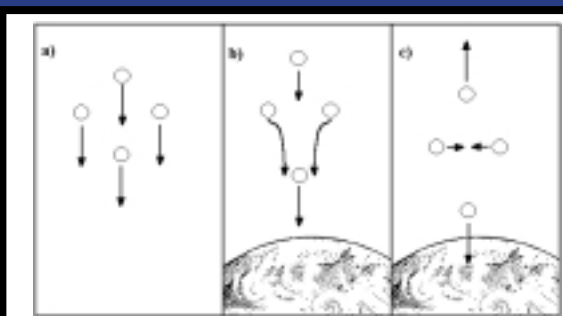
Teoria horren azken pausoa espazio-denboraren kurbaduraren kausak aztertzea da. Azkar ondorioztatzen da unibertsoan dauden masek zehazten dituztela kurbaduraren nondik norakoak. Masa handiagoentzat, kurbadura borti-

Einsteinen eremu-ekuazioa (eranskina)

Einsteinen eremu-ekuazioak espazio-denboraren kurbadura bere kausekin lotzen du. Horrela, espazio-denboraren kurbadura masa-dentsitatea bider argiaren abiaduraren karratua (masa, energia dentsitate bihurtzeko) gehi materiaren presioaren hirukoitzaren proportzionala dela esaten digu. Ekuazio hori edozein erreferentzia-sistemarentzat da baliozkoa.

Esan behar da, ordea, orokorrean, materiaren masa dela kurbaduraren erantzule garrantzitsuenak, hots, presioa arbuigarria dela gehienetan. Presioak neutroizko izarretan eta antzeko objektu berezietan du benetan eragina. Horregatik, artikuluan zehar masa aipatuko dugu gehien, askotan presioa ahantzita.

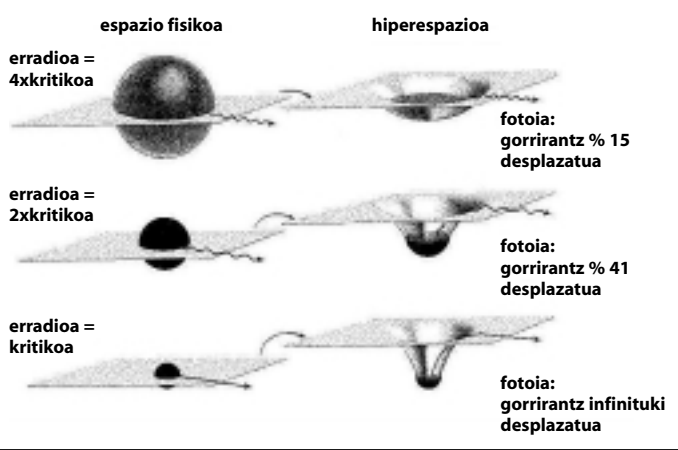
tzagoak, eta, ondorioz, eremu indartsuagoak (eranskina). Hori da, beraz, Erlatibitatearen Teoria Orokorrak dioena, modu orokor batean.



III. irudia.

- a) Lau bolatxo erronbo-forman jarriak eremurik gabeko espazio hutsean. Geziek beren ibilbidea erakusten dute.
- b) Lurrera gerturatzean beraien ibilbidea nola aldatzen den agertzen da. Goiko eta beheko bolatxoak urruntzen diren bitartean, ezker-eskuin bolatxoak gerturatu egiten dira. Geziek Lurreko behatzaile batek ikusiko litzuzkeen ibilbide kurbatuak adierazten dituzte.
- c) Aurreko kasu bera da, baina bolatxoekiko geldiuanean dagoen behatzaile batek ikusia.
- b) eta c) kasuetan agertzen dira ongi behatzaileek ikusten dituzten kurbadura ezberdinak.

1. irudia. Ezkerreko zatian, espazio fisikoan, izarra agertzen da, ekuatorean espazio-orri bat sartuta, eskuineko diagrama nondik moztuta dagoen adierazteko. Eskuineko zatian, insertzio-diagramak agertzen dira. Bertan agertzen da espazioak izango lukeren kurbadura bidimentsionala espazio-orritik moztuta eta hiru dimentsioko hiperespazioan sartuta. Hiperespazio hori diagrama irudikatzen duen dimentsio bat da. Diagramako balizko izaki bidimentsionalek ezingo lukete inoiz hautean. Beraiek marratzuta dagoen gainazalean bakarrik bizi ahalko lukete. Azkenik, aipatu behar da agertzen diren hiru izarrek masa berdina dutela.



egin da! Izarra uzurtzen doan heinean, inplosioa moteltzen joango da, eta erradio kritikoa geldituko da. Horrela, kanpoko behatzaile horrek ez du sekula izarra guztiz uzurtzen ikusiko.

Demagun orain izarraren barruranzko mugimenduan dagoen behatzaile bat dugula. Horren arabera inplosioa ez da erradio kritikoa gelditzen. Aurrera jarraitzen du, izarraren masa guztia bolumen nulu batean bildu arte. Momentu horretan gertatzen diren fenomenoak gure ulermenetik nahiko urrun daude gaur egun ere. Hala ere, aurrerago saiatuko gara *singularitate* deritzon puntu hori aztertzen.

Emaitza horiek, arras arraroak edonorentzat, ez ziren berehalakoan onartu fisikarien artean. Oppenheimerrek izarren barneko faktore asko arbuia zuten bere kalkulua errazteko asmoz. Horrela, bere izarrek ez zuten biratzen, presio termikorik ez zuten, erreazio nuklearrik ere ez... asko ziren faktore horiek zulo beltzen sorrera ekidingo zutela pentsatzen zutenak.

Zalantzak zalantza, 25 urte geroago eginiko ordenagailu bidezko simulazioetan, Oppenheimerrek aurreikusitua gertatzen zela baieztatu zen, jada ikusi ditugun ondorioekin. Hala eta guztiz ere, oso zaila da

onartzea bi behatzailearen arteko ikuspuntua horren ezberdina izan daitekeela, eta horrela gertatu zitzaien oraindik ere fisikari askori. Batzuek esaten zuten mekanika kuantikoaren eta erlatibitate orokorraren elkarketak inplosio hori etengo zuela, baina gaur egun ere urrun samar ikusten da grabitate kuantikoaren teoria desiratu hori.

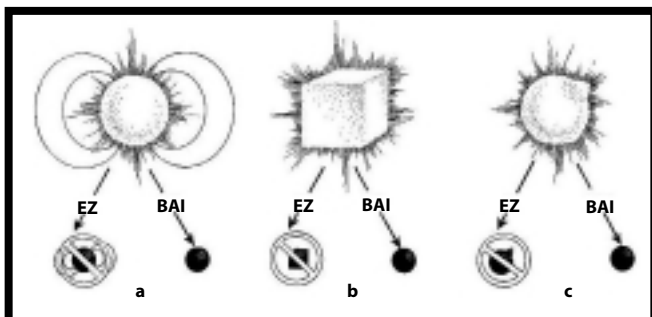
Zerumuga zeharkatzen duen oro, betiko zulo beltzean harrapatua gelditzen da.

Errepara ditzagun ikusitako kontzeptuak. Erradio kritikoa zulo beltzaren erradioa da. Singularitatea zuloaren zentroa dela esan dugu. Zulo beltza hasten den lekua, kanpoaldetik begiratuta, *gertakarien zerumuga* da. Zerumuga zeharkatzen duen oro, betiko zulo beltzean harrapatua gelditzen da, irteteko eta seinalerik bidaltzeko aukerarik gabe; hitz batean, unibertsoetik isolatzen da. Horixe da, beraz, zulo beltz baten. irudia, oraingo bezala.

Zuloen ezaugarri nabarmenenak

Zulo beltzek ez dute ilerik

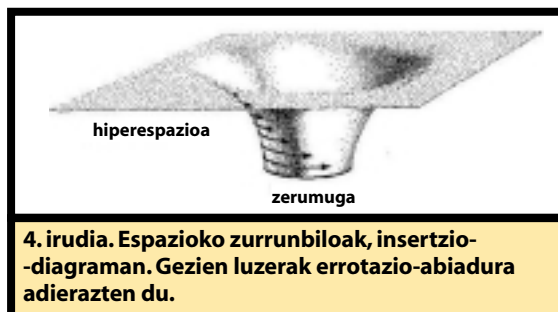
Horrela da, bai, zulo beltzak burusoilak dira. Horrek esan nahi du zulo beltz bat osatu aurretik genuen izarrari buruzko informazioa galdu egiten dela inplosioa gertatzean. Informazio hori, ilea deitzen dioguna,



2. irudia. Inplosioen emaitza: a) Eredu magnetikodun lerroak. b) Izar kubikoa. c) Mendidun izarra.

izarraren formari, bere eremu magnetikoari eta abarri buruzkoa da. **Izarra edonolako delarik ere, bere inplosioak zerumuga esferikoko zulo beltz bat emango du beti** (2. irudia). Hala ere, zulo beltzak hiru ezaugarri gordeko ditu: izarraren masa, karga elektrikoa eta momentu anguluarra. Ezaugarri horiek ezin dira erradiazio moduan askatu inplosioan, beraz, zulo beltzak, behin eratu ondoren, gorde egiten ditu. Bestelako ile guztia erradiazio moduan askatuko da inplosioan zehar (3. irudia).

ruko espazioari eutsi eta berekin batera birarazten du. Horrela, espazioan zurrumbilo bat sortzen da, airean sortzen direnen oso antzekoa (4. irudia).



4. irudia. Espazioko zurrumbiloak, insertzio-diagraman. Gezien luzerak errotazio-abiadura adierazten du.

Zulo beltz bat osatu aurretik genuen izarrari buruzko informazioa galdu egiten da inplosioan.

Horrek guztiak ondorio harrigarri batera garamatza: **zulo beltz bat deskribatzeko hiru propietate nahikoak dira: masa, karga elektrikoa eta momentu anguluarra.** Hori ez da posible beste edozein objektu makroskopikorekin, hala nola, izarrak, planetak edo pertsona bat. Sinpletasun hori oinarritzko partikuletan bakarrik topa dezakegu. Batzuek analogia hori ez dute bere horretan utzi, baina horri buruz geroago mintzatuko gara.

Espazioko zurrumbiloak eta haien energia

Zulo beltzek duten biratzeko gaitasunak beste ondorio txundigarri horietariko batera eramango gaitu. Dirudienez, zuloa biraka ari den heinean, bere inguru-

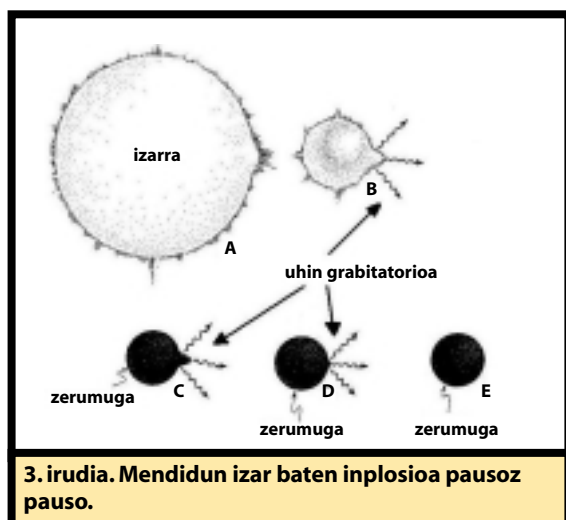
1969an, Roger Penrose-k ikusi zuen, zurrumbiloaren barnean zuloaren errotazio-energia metatzen dela. Eta zurrumbiloa zerumugaren kanpoaldean dagoenez, energia hori kanpoko izakiek erabil dezakete. Gezurra badirudi ere, izugarritzko energia-kantitateei buruz mintzo gara. Abiadura maximoan biraka dabilen zulo beltz batek **eguzkiaren erregai nuklear guztiak baino 48 aldiz energia gehiago eman dezake!** Agian etorkizuneko zibilizazioaren batek asmatuko du nola erabil daitekeen energia hori guztia eta buruhauste asko konponduko ditu.

Zulo beltzak lurrindu egiten dira

Hasieran nahiko argi esan dugu zulo beltzetatik ezin duela ezerk alde egin. Behin zerumuga zeharkatzen dugunean, ezin gara berriro ere kanpoaldera itzuli. Hala ere, 1974an, uste guztien aurka, Stephen Hawkingek erakutsi zigun **zulo beltzek erradiatu egiten dutela!** Mekanika kuantikoaren eta erlatibitate orokorraren elkarketa partzial bat erabiliz, ondorio harrigarri horretara iritsi zen. Baina, nola da hori posible? Azalpenak ulertzeko, lehenik eta behin kuantikaren funtsezko kontzeptu bat ulertu behar dugu: hutsunearen fluktuazio kuantikoak.

Kontzeptu horren arabera, hutsunean, eremurik eta materiarik gabeko espazio-zatian, fluktuazio batzuk sortzen dira (2. eranskina). Espazioko zati batzuek energia positiboa hartu eta beste zati batzuek negatiboan uzten dituzte, modu ausazko eta zehazgabean. Baina batez besteko energia beti nulua da. Hutsunean energia-trukeak gertatzen dira, beraz.

Partikulen ikuspuntutik, fluktuazioak partikula-anti-partikula birtualen bikoteen sorrerarekin uler daitezke. Hutsunean, adibide gisara, momentu batean elektro bat eta antielektroi bat sor daitezke, espazio-zati bat energia negatiboarekin utziz. Baina segundo gutxiren buruan, elkar deuseztu eta energia itzultzen



3. irudia. Mendidun izar baten inplosioa pauso.

Fluktuazio kuantikoaren azalpena (2. eranskina)

Fluktuazioak Heisengebergen ziurgabetasun-printzipiotik ondorioztatzen dira. Honek dio partikula baten posizioa eta momentua ezin direla guztiz zehaztu. Hau da, partikula baten posizioa zehatz-mehatz aurkitzen badugu, momentuaren ziurgabetasun handi bat sortuko dugu, eta alderantziz. Beraz, bi gauzak ez dira posible aldi berean.

Momentu lineala partikularen masaren eta abiaduraren arteko biderkadura da. Horrela, espazio guztiz hutsean, zati bat aztertzen hasten garenean, tarte bat finkatzen dugu. Zehaztapen hori egiteagatik soilik, hutsunean momentuaren ziurgabetasun bat sortu dugu, posizioaren edozein zehaztapenek ondorio hori baitakar. Momentua ezin da, beraz, zero izan, hots, masa eta abiadura daukan zerbait sortuko da hutsunean. Kuantikan uhinak eta partikulak gauza bera direnez, partikula-antipartikula ikuspegia edo eremu-uhinen ikuspegia erabil daiteke fluktuazio horiek azaltzerako garaian. Gure kasuan, lehen aukera errazagoa denez, hortik jo dugu, baina momentuaren ziurgabetasuna uhin moduan ere uler daiteke.

Momentuaren ziurgabetasunak zuzenean inplikatu du fluktuazioak zehazgabeak eta ausazkoak izatea. Eta, azkenik, espazio-zati handiagoentzat, fluktuazio ahulagoak. Orokorrean, gure bizi arrunteko eskaletan, fluktuazioek ez dute eraginik, oso-oso ahulak dira. Partikula birtual bat erreal bihurtzeko izugarriko energia beharko genuke. Energia horiek posible dira zulo beltzen eremu grabitatorioengatik eta horregatik dira fluktuazioak aintzat hartzeko fenomenoak.

diote espazioari. Horrela, batezbestekoa beti nulua da. Egia esan, partikula horiek ez dira errealak baina, nahikoa energia emanez gero, erreal bilakatzen dira. Energia hori, noski, beren uhin-luzeren arabera izango da. Uhin-luzera handiagoek energia gehiago beharko dute erreal bihurtzeko, eta alderantziz. Eta hor dago gakoa.

Zulo beltz baten zerumugaren inguruan, fluktuazio kuantikoak gertatzen dira. Demagun bi fotoi sortu direla, fotoia bere buruaren antipartikula baita (5. irudia). Fotoi horiek elkarrengandik urrun daitezke eremuaren energiak balio positiboa hartu duen espazio-zatian badaude. Zati hori nahiko handia bada, gutxi gorabehera zerumugaren perimetroaren antzekoa, bi fotoiak perimetroaren laurden bat urrun daitezke.

Kontuan izanik zerumugaren inguruan grabitatearen intentsitatea oso bortitza dela, fotoi horiek energia asko jasoko dute grabitatearen azelerazioari esker. Energia hori nahikoa izango da bi fotoiak erreal bihurtzeko eta elkarrengandik askatzeko.

Fotoi bat zerumugan erori eta desagertuko da, baina besteak alde egitea lortuko du, eta berarekin eraman-gu du zulo beltzaren masaren zatitxo oso-oso txiki bat. Bai, berak hartu duen energia zuloaren eremutik hartu du, eta energia eta masa azken finean gauza bera direnez, zuloaren masa berarekin eraman du. Horrela, poliki-poliki, zulo beltza bere masa galtzen joango da eta zerumugaren azalera murriztu egingo da, **azkenik zulo beltza desagertu arte!** Gure zulo beltza lurrindu egin da erradiazio pila bat utzita.

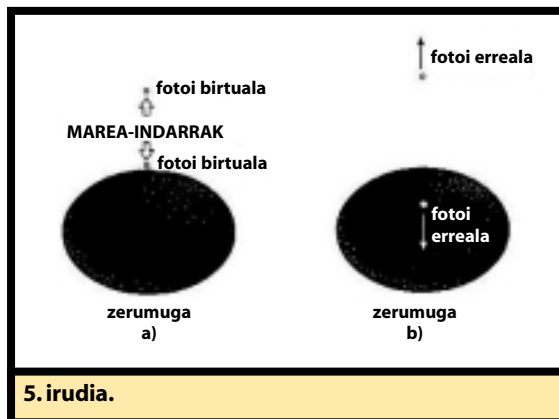
Hala ere, prozesu hori zeharo motela da. Zulo beltz arrunt batek, bi eguzki-masakoa adibidez, **$1,2 \times 10^{67}$ urte behar ditu lurrintzeko!** Urte-kopuru hori handiagoa da zuloaren masa handiagoa den neurrian.

Singularitateak eta grabitate kuantikoaren teoria

Lehenago ere aipatu ditugu singularitateak, zulo beltzen zentroan dauden puntu arraro horiek. Jarraian, haien inguruan orain arte jakin ahal izan duguna ulertzen saiatuko gara. Ez da asko, baina oso korapilatsua da.

Oppenheimerren ekuazioek argi adierazten zuten singularitatea dentsitate infinituko eta bolumen nuluko puntu bat zela, hots, izarraren materia guztia puntu adimentsional batean bildurik. Puntu horretan, espazio-denboraren kurbadura infinitua bilakatzen da eta, gainera, espazio-denbora bera bukatu egiten da. Ez dago ezer singularitatearen beste aldean.

Infinitu horiek guztiak ez dira oso seinale erakargarriak fisikarientzat. Horregatik, askok uste dute singularitatea egoki deskribatzeko erlatibitate orokorra

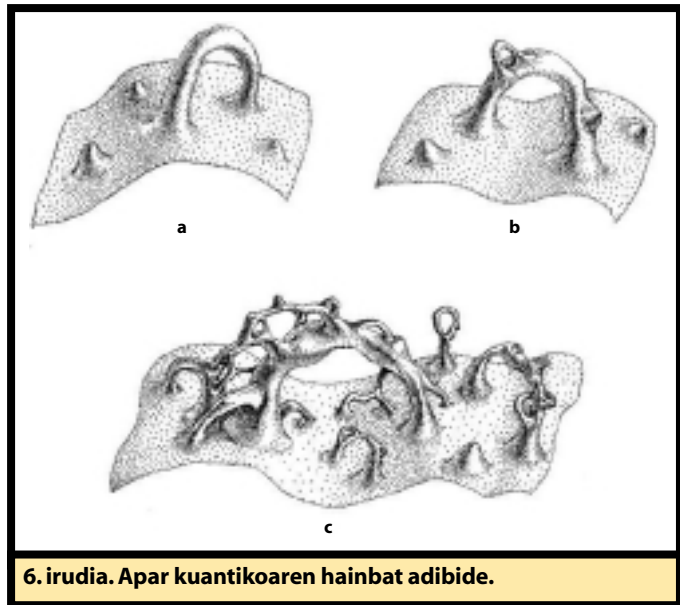


ez dela nahikoa. Fisikariak grabitate kuantikoaren teoriaren bila dabilta jo eta ke, singularitatea behar bezala azal dezakeen ikustearren. Haien arabera, mekanika kuantikoa erlatibitatearekin behar bezala elkartuz, singularitatean ezingo litzateke grabitatea infinitu bilakatu, kuantikak ez luke horrelakorik baimenduko.

● **Fisikariak grabitate kuantikoaren teoriaren bila dabilta jo eta ke, singularitatea behar bezala azal dezakeen ikustearren.**

Gaur egun, ordea, ez daukagu horrelako teoriarik. Elkarteta partzial batzuk lortu dira, zulo beltzen lurrinketan ikusi bezala, baina grabitate kuantikoaren teoria osoa urrun dago. Badirudi oraingoz supersoken teoria dela helmuga horretara heltzeko hautagairik onena, baina guk ez dugu hemen horren inguruan gehiegi hitz egingo (3. eranskina). Horren orde, dakigunarekin singularitatean ulermen-traza batzuk hartuko ditugu.

Singularitate-mota guztien artean, errealitatera gehien hurbiltzen dena BKL singularitatea izan daiteke.



6. irudia. Apar kuantikoaren hainbat adibide.

Azken hurbilketen arabera, singularitate horretan espazio-denbora hautsi egiten da. Espazioa eta denbora independente bilakatzen dira berriro, are gehiago, denbora desagertu egiten da. Une horretan, gertakari bat bestea baino lehenago gertatu denik ezin dugu esan, noiz bezalako kontzeptuek ez dute balio. Espazioa ere ez da guk ezagutu bezalakoa. Apar ausazko eta ezin definitua bihurtzen da, olatu bat lehertzen denean ikusten dugun aparra bezalakoa. Probabilitateak menderatuta, inork ezin du esan nolako itxura duen, itxura konkretu batzuk izateko duen probabilitatea bakarrik ezagutzen baitugu (6. irudia). Espazioa apar kuantiko bilakatzen da. ➔



Zumaiako Udala



“ZUMAIK DU HITZA”

Supersokak eta zulo beltzak (3. eranskina)

Eranskin hau supersoken inguruan zerbait dakitenei zuzendua dago, beren jakin-mina pixka bat asetzeko. Lehenago aipatu dugu zulo beltzen eta oinarritzko partikulen arteko antzekotasuna. Analogia horrek supersoken teoriarekin hartzen du bere indar handiena. Horren arabera, dimentsio kiribilduetan hiru dimentsioko soka batek (hiru-brana bat) esfera bat inguratzan duenean, zulo beltz baten eremu grabitatorio berdina sortzen du. Makroskopikoki zulo beltz bat da. Esfera hori txikitzen doan neurrian, bere joera hori baita, zuloa masa galduz doa eta, azkenik, masa gabeko zerbait bihurtzen da. Zerbait hori, espazioaren topologia aztertuz, oinarritzko partikula bat dela ikusten da. Interresgarria litzateke jakitea hori ote denentz zulo beltzen lurrinketaren azken fasea. Baina ez dakigu. Bestalde, supersokak zulo beltzen hainbat propietate azaltzea lortu dute, hala nola, beren entropia. Baina benetan grabitate kuantikoaren teoria zuzena dela frogatzeko lekuri onenean, hots, singularitateetan, oraindik ez du emaitzarik eman. Beraz, singularitateei buruz orain arte ikasi duguna ez da aldatzen. Gaur egun, azalpen onena, gezurra badirudi ere, guk emandakoa da.

Baina, lehen esan dugun bezala, singularitateen ulermen oraindik ere ez da batera ona. Beraz, oraingoz alde batera utzi eta zulo beltzek ematen dizkiguten beste aukera batzuk aztertuko ditugu.

Denbora-makinak: fikzioa ala errealitatea?

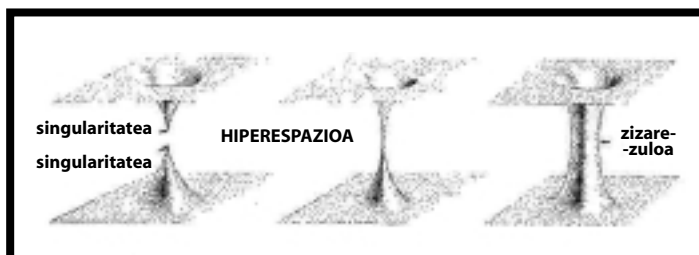
Edonoren burutik pasatu da denboran zehar bidaiatzeko aukera, ezta? Loteriaren zenbaki irabazleak ikusi eta gure papertxoan idatzi diru pilo bat irabazteko. Ametsak azken finean. Edo ez?

Erlatibitate orokorraz baliatuz, denboran zehar bidaiatzeko aukera batzuk badaudela ikusten da. Giltzarria zizare-zuloetan daukagu. Zizare-zuloak espazioko bi puntu konektatzen dituzten hiperespazioko bidezidorrak dira (7. eta 8. irudiak). Bidezidor horiek konektatzen dituzten bi puntu horietan singularitate bana egoteagatik sortzen dira, baina egia esan, espazioaren forma egokia izan behar dugu, eta hori kasualitate handiegia da. Hala ere, teoriarik posible da.

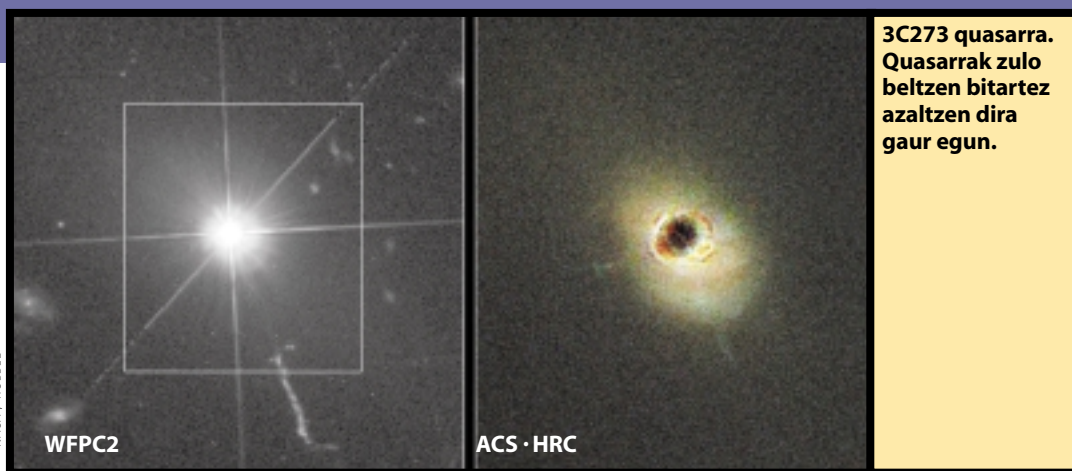
Demagun, beraz, zizare-zulo bat sortu dugula. Orain, arazoa irekita mantentzean datza, zulo horiek berehala deusezten baitira erradiazioaren ondorioz. Baina, beste behin, aukera bat badaukagu: zuloa material exotikoa deritzonaz zeharkatzea. Material horren ezaugarri nagusia da, argi-izpi batetik ikusita, energia-dentsitate negatiboa duela. Arraroa badirudi ere, dentsitatea kontzeptu erlatiboa da, eta posible da material hau existitzea. Zulo beltzen inguruan dauzkagun fluktuazio kuantikoak, hain zuzen ere, exotikoak dira.

Zizare-zuloak espazioko bi puntu konektatzen dituzten hiperespazioko bidezidorrak dira.

Zulo horiek espazio-denboraren kurbaturen ondorio direnez, denbora-fluxua ez da berdina horien barnean eta kanpoan. Ezaugarri hori da denbora-makina mota bat egitea ahalbidetzen diguna. Makina hori zizare-zuloen ahoen abiadura ezberdinetan oinarritzen da. Har dezagun aho bat, joan gaitezen argiaren inguruko abiaduraz 6 ordutan eta, gero, itzul gaitezen berriro beste ahoa utzitako lekura. Bigarren ahoarekin zegoen gure lagunarentzat, gure 12 orduko bidaiak 10 urteko bidaiak izan da erlatibitate bereziaren arabera. Beraz, bi ahoak Lurrean daudenean, bidaiatu duen ahotik begiraturaz gero, 10 urte atzeragoko gauzak ikus ditzake; eta ahoan sartzen bagara beste aldetik irteteko 10 urte atzera bidaiatu dugu! Eta, noski, 10 urte atzera eginda gero, lagun bati etorkizunera bidaiatzeko gonbita luza diezaiokegu, irten berri garen ahoa zeharkatuz. Kontu izan zizare-zuloa ez dela denbora-makina bihurtzen aipaturiko bidaiak bukatu arte.



7. irudia. Inertzio-diagrama. Bi zulo beltzen singularitateen ondorioz zizare-zulo bat nola sortzen den.

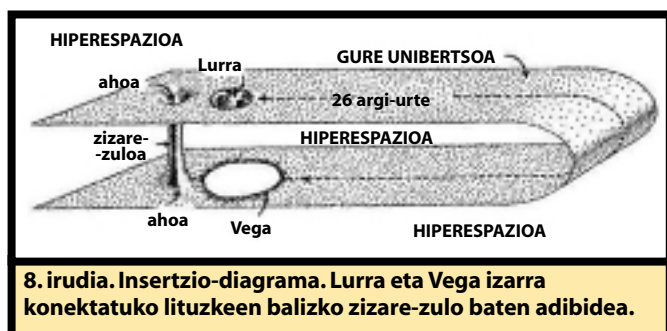


3C273 quasarra.
Quasarrak zulo beltzen bitartez azaltzen dira gaur egun.

Orain, ordea, galdera bat planteatu behar dugu: utziko al digu naturak denbora-makina bat egiten? Galdera horren erantzuna, beste behin, grabitate kuantikoaren teoriak emango digu. Hala ere, gaur egun dakigunarekin, badirudi ez dela posible horrelakorik. Zizare-zulo batean dauden fluktuazio kuantikoek, dirudienez, zuloa deuseztu egiten dute hori denbora-makina bihurtu baino zertxobait lehenago. Hawkingek, ondorio posible hau zabaldu egin du: haren ustean, fluktuazioek mota guztietako denbora-makinak (horiek ez baitute derrigorrean zizare-zuloetan oinarriturik egon behar) deuseztuko dituzte sortu baino instant bat lehenago. Deusezte hori nola gerta daitekeen ez dugu azalduko, baina esan beharra dago, gaur egun, fisikari gehienak Hawkingen iritzi berekoak direla. Egin diren kalkuluek ez dute bestelako interpretaziorik onartzen, baina oraindik ere grabitate kuantikoaren teoriak du azken hitza. Beraz, ameslariak badute heldulekurik beraien iritziei eusteko. Nork jakin?

Ikerkuntzarentzat bide berriak

Zulo beltzen inguruan esan dugun guztiak bide berriak irekitzen ditu bai behatzaileentzat, baita teorikoentzat ere, hots, ikerketa berrientzat. Unibertsoaren behaketaren ondorioz, hainbat objektu ezezagun aurkitu dira: quasarrak, pulsarrak, erradiogalaxiak... Guztiak teknologiaren aurrerakadari esker ezagutzen ditugu, baina zulo beltzen ulermen teorikoa heldu arte ezin ziren ongi azaldu. Gaur egun, quasarrak eta erradiogalaxiak, esaterako, zulo beltzen bitartez azaltzen dira.



8. irudia. Inertzio-diagrama. Lurra eta Vega izarra konektatuko lituzkeen balizko zizare-zulo baten adibidea.

Fisikarien beste erronka handia singularitateen behaketarena da. Nahiz eta Penrosen zentsura kosmikoak singularitate biluzirik ez dagoela esaten duen, bada aukera bat zerumugarik gabeko singularitateak topatzeko. Hawkingen esanean, zulo beltz bat lurrintzean, ez da guztiz desagertzen. Prozesuaren amaieran, zerbait gelditzen da. Ez dakigu ziur zerbait hori singularitate biluzia ote denentz. Hala ere, hori behatu ahal izateko, Big-Bang-aren garaian sorturiko minuzulo beltzak dira aukera bakarra. Horien lurrintze-denbora kalkulatu, gaur egun amaitu behar lukete prozesu osoa. Beraz, astro berezi horiek behatzen hasiak dira hainbat astronomo.

Unibertsoaren behaketaren ondorioz, hainbat objektu ezezagun aurkitu dira: quasarrak, pulsarrak, erradiogalaxiak...

Dena dela, zulo beltzek hainbat misterio argitu dituzte. Aipatu ditugu erradiogalaxiak eta quasarrak. Gure galaxiaren zentroan dauden izarren translazio-abiadura ikaragarriak azaltzeko ere, zulo beltz erraldoiak erabiltzen dira. Baina zulo beltzen gauzarik interesgarriena irekita utzi dituzten misterio berriak dira. Singularitateak, denbora-makinak, hiperespazioko bidaiak... etorkizunerako erronka handiak utzi dizkigute. Eta hori guztia zuzenean behatu ezin izan diren astroek eskainita, zulo beltzek, hots, naturaren seme ezkutuek.

BIBLIOGRAFIA

HAWKING, S. W. ETA PENROSE, R. (1996). *La naturaleza del espacio y el tiempo*. Editorial Debate, S.A. (1998).

JEAN-PIERRE LUMINET (1987). *Agujeros negros*. Alianza Editorial, S.A. (1991).

EINSTEIN, A. (1916). *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Ediciones Altaya, S.A. (1998).

DAVIES, P. *En busca de las ondas gravitatorias*. Salvat Editores, S.A. (1995)

WEINBERG, S. (1976) *Unibertsoaren hasierako hiru minutuak – Unibertsoari buruzko ikuspegi modernoa*. Gaiak argitaldaria (1993).

THORNE, KIP S. (1994). *Agujeros negros y tiempo curvo*. *El escandaloso legado de Einstein*. Crítica (1995).

HAWKING, S. W. (2001). *El universo en una cáscara de nuez*. Editorial Planeta, S.A. (2002)

HAWKING, S. W. (1988). *Historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros*. Alianza Editorial, S.A. (1995).