

LURRAZ HARAGOKO ESPLORATZAILEAK

GORKA AZKUNE GALPARSORO
Adimen artifizialean ikertzailea/DeustoTech

Gizakiaren historia bilaketan eta aurkikuntzen historia izan da. Gure arbasoek beren jakin-mina asetzen zuten itsasontzi batean begiek ere ikus ez zitzaizkiren lekuetara bidaiatuz. Balentria handiak egin zituzten, alajaina! Gaur egun, grina berbera dugu barruan. Asko da ezagutzen duguna, baina oraindik gehiago ezagutu nahi duguna. Gizakiak mundu berriak aurkitu eta esploratu nahi ditu. Mundu berri horiek, ordea, gure planetatik urrun geratzen dira, itxura batean helezinak diruditen lekuetan. 1969an lehen pauso handia eman genuen mundu berri horiek bertatik bertara aztertzeko: gizakia Ilargira heldu zen. Orain, gure begiak Marte planetan pausatu dira. Nola aska ditzakegu planeta gorriak planteatzen dizkigun misterioak?

Martera bidaiatzeak dituen arriskuak eta arrazoi ekonomikoak direla medio, gizakiak ezin izan du bertara iritsi oraindik. Baina bere ordean, jada bidali ditu esploratzaile be-rezi batzuk: **robotak**.

1997an, NASAREN lehen robota iritsi zen Martera: *Sojourner* robota. 2004an, berriz, bi robot biki iritsi ziren planeta gorria ikuskatzera: *Spirit* eta *Opportunity*. Hasiera batean haien misioak 3 hilabete iraun behar bazuten ere, *Opportunity* oraindik ere lanean ari da! *Spirit*ek, bestalde, 2010ean bidali zuen bere azken seinalea.

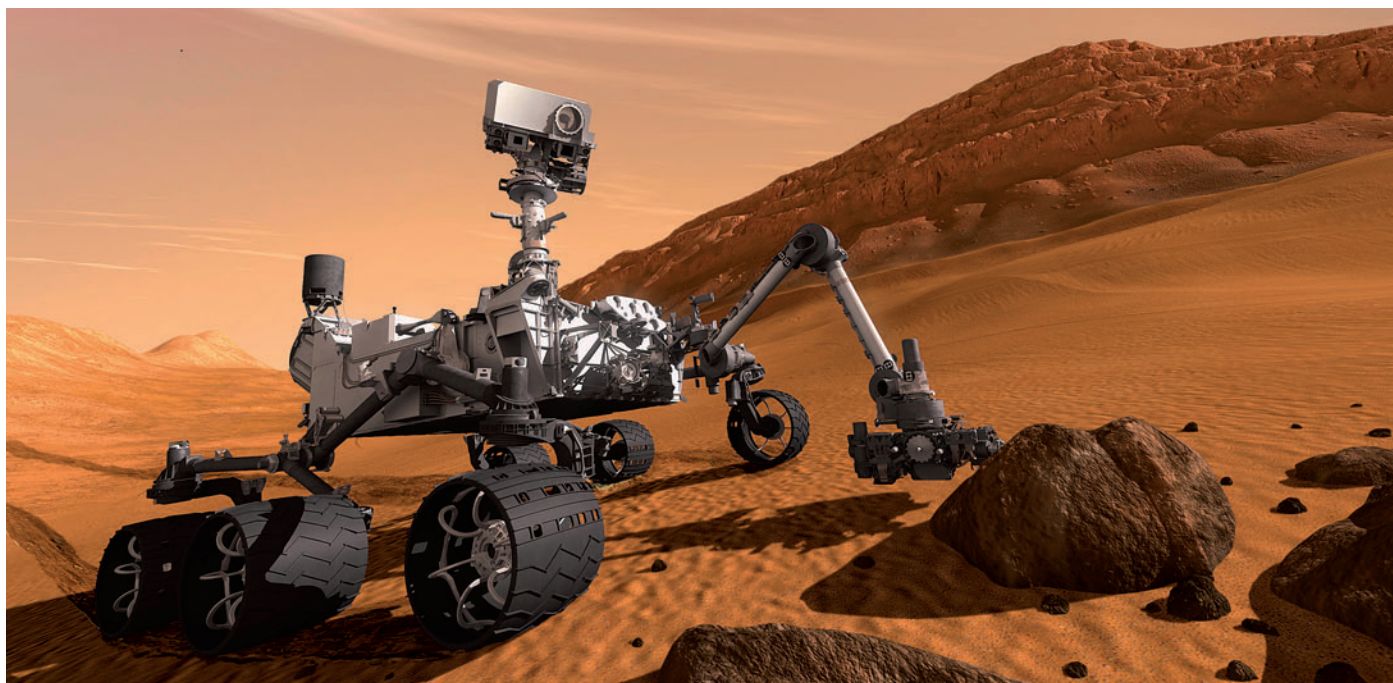
Azkenik, 2012. urteko abuztuan, *Curiosity* robota iritsi zen Martera (ikus 1. irudia). *Curiosity* bere aurrekarien anaia zahartzat jo dezakegu. Teknologikoki aurreratuagoa, tamainaz ere handiagoa, jada ari da Marteko lurrazala eta eguratsa aztertzen, eskura dituen sentso-re eta aparatu guztiak erabiliz.

MARTEKO LABORATEGI ZIENTIFIKOA

Curiosity ez da robot bat soilik; asmo handiko helburu zientifikoak dituen laborategi osatu bat da. Helburu hauek ditu:

- Marten inoiz bizi-formarik egon den zehaztea.
- Marteko klima ezagutzea.
- Marteko geologia aztertzea.
- Gizakien etorkizuneko bidaiak prestatzen laguntzea.

Lana behar bezala egiteko, robota laborategi mugikorra bilakatu dute, eta maila goreneko ekipamenduz hornitu. 2. irudian ikusten dira robotaren gailu nagusiak. Laburbilduz, *Curiosity*k hainbat helburutako 17 kamera ditu, Lurrarekin komunikatzeko



1. irudia. *Curiosity* robota Marten. IRUDIA: NASA/JPL.



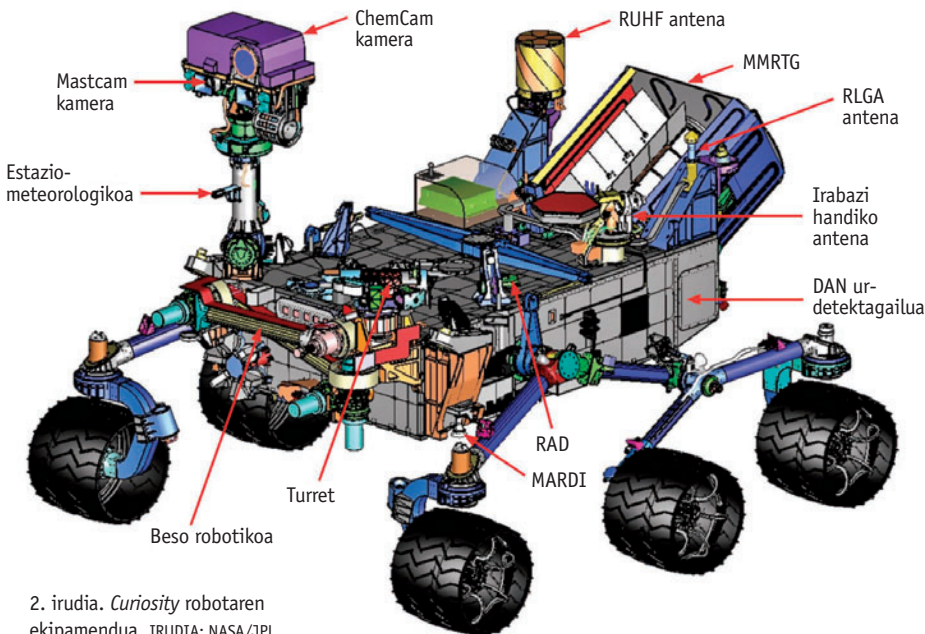
antenak, sentsorez hornituriko beso robotiko bat, eta hamaika aparatu lurzoruko laginak aztertzeko. Aipatzekoak dira, batez ere, ura detektatzeko DAN gailua eta klima aztertzeko estazioa (REMS).

Hori guztia ikaragarria izateaz gain, Curiosityk han-hemenka ibiltzeko gaitasuna behar du gailu horiek beren lana egin, datu mordoxka bat bildu eta Lurreko ikertzaileei helarazteko. Hots, gure robotak Marten zehar mugitu behar du, leku interesgarrietara heldu eta han bere aparatuak martxan jartzeko. Noski, horretarako ditu sei gurpilak. Baita beso robotiko bat ere. Beraz, badirudi nahikoa litzatekeela Lurrean pertsona bat izatea, Curiosityren kamerak jasozten duten informazioarekin robota gidatzen dakiena. Bideo-joko baten modukoa izango litzateke. Ala ez?

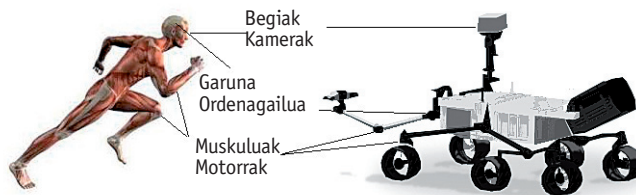
ROBOT AUTONOMOEN BEHARRA

Lurretik ezin da Marten dagoen robot bat gidatu. Bi arrazoi nagusik egiten dute ezinezko:

- 1) Komunikazio-atzerapena: Marteren eta Lurraren posizio erlatiboak kontuan hartuz, seinale batek 8-42 minutu behar du joan-etorria egiteko.



2. irudia. Curiosity robotaren ekipamendua. IRUDIA: NASA/JPL.



3. irudia. Curiosity robotaren eta gizaki baten arteko konparazioa. IRUDIA: GORKA AZKUNE.

- 2) Aldizkako komunikazioa: Lurraren eta Marteren arteko komunikazioa Marteren orbitan dauden zunda batzuen bitartez egiten da. Zunda horiek Lurrera begira egon behar dute informazioa igorri ahal izateko. Ondorioz, robotarekin komunikazioa ezin da etengabea izan.

Gauzak horrela, urrutiko kontrola ez da nahikoa. Zerbait aurreratuagoa behar dugu arrakastarik izan nahi badugu. Gakoa **autonomia** da.

Nahiz eta autonomiaren kontzeptua roboten funtzio askori aplikatu dakiogun, gaitasun batean zentratuko dugu guk: mugikortasunaren autonomia edo **nabigazio autonomoa**. Trebetasun hori guztiz oinarritua da beste planeta batean dagoen robot bat erabilgarria izan dadin.

Gizakiok badugu aipaturiko trebetasun hori. Horretarako, ezinbestekoa zaigu, ordea,

ingurunea hautematea (zentzumenak), hautemandakoa interpretatzea (garuna), interpretatutakoaren gainean erabakiak hartzea (garuna) eta erabaki horiek exekutatzea (muskuluak). Lan handia egin da robotei ere gaitasun berak emateko. Eraitza 3. irudian dugu: begien ordeztu, Curiosityk kamerak ditu; garunaren ordeztu, ordenagailuak; eta muskuluen ordeztu, motorrak ditu gurpiletan. Beraz, baditugu autonomia izateko behar ditugun elementu guztiak, baina orain beste pauso bat falta zaigu. Nola erabil daitezke elementu horiek robotak modu autonomoan nabigatzen?

NABIGAZIO AUTONOMOIA

Ezinbesteko gaitasun baten aurrean gaude. Robot bat ezin bada mugitu bere ingurunea miatzeko, ezer gutxirako balioko digu. Ingurune bateko puntu batetik beste puntu batera oztupoak saihestuz mugitzeko gaitasun gisa definitzen da nabigazio autonomoa. Curiosityren kasuan, nabigazioaren arazoa hiru azpibloketan zatitzen da: **ingurunearen interpretazioa**, **ibilbidearen plangintza** eta **kaparenaren zenbatespena**. Ikus ditzagun banan-banan.

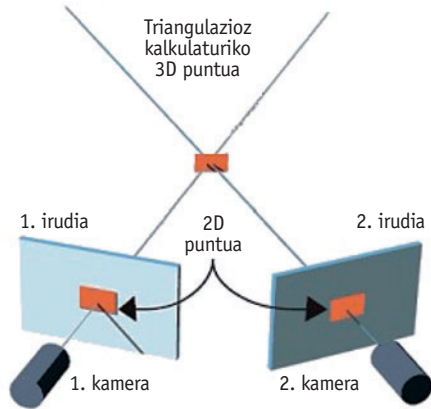
Ingurunearen interpretazioa

Gure robota ingurune ezezagun batean dagoenez, nahitaezkoa zaio inguruan dituen objektuak eta lurzorua ezaugarriak hautematea edozein mugimendu egin aurretik. Aurrean harri bat badu, ez luke aurrera jo behar harriarekin talka egin baitezake. Harria saihesteko, ezinbestekoa du ingurune-tik jasotzen dituen datuak interpretatzea.

Horretarako, Curiosityk bi kamera erabiltzen ditu, eta ez da halabeharrez. Gizakiok 3 dimentsioko ikusmena badugu, bi begi erabiltzen ditugulako da, hein handi batean. 4. irudian ikus daitezkeenez, robotentzat ere eredu berari jarraitu zaio. Ideia sinplea da. Bi kamerekin ingurune beraren bi irudi ezberdin egiten dituzte. Bi irudien artean despla-

zamendu txiki bat dago, kameren arteko distantziarekin proportzionala den alde bat. Irudi bakoitzean puntu bera bereiziz gero, oso erraz kalkulatzen da, triangulazio bidez, puntu horrek ingurunean duen 3 dimentsioko posizioa.

Bi irudietan puntu asko parekatzeko gai bagara, ingurunearen puntu-laino bat lor dezakegu. Puntu-laino bat 3 dimentsioko puntu-multzo bat da. Adibide gisara, 5. irudian baso batean lortutako puntu-laino bat



4. irudia. 3 dimentsioko ikusmenaren funtzionamendua. Irudi bakoitzean, puntu berak posizio ezberdinak ditu. Triangulazioz, puntuaren 3 dimentsioko posizioa kalkulatzen da, bi kameren arteko distantzia jakinda.

IRUDIA: VISIONRTtik MOLDATUA/GORKA AZKUNE.

dugu. Curiosityk modu horretako puntu-lainoak lortzen ditu Marten, eta haren lana da ingurunearen ezaugarriak ezberdintzea laino horien bitartez. Adibidez, zeharkatu ezin dituen tokiak, maldak, zuloak eta abar. Prozesu horren emaitza da ingurunearen nabigazio-mapa bat, non eremu nabigagarriak eta ez-nabigagarriak bereizten baitira.

Ibilbidearen plangintza

Autoetako GPS gailuek egiten duten antzera, Curiosityk ere biderik laburrena kalkulatzen du bere tokitik helburu-puntura. Plangintza hori kameren bidez lortutako nabigazio-mapen gainean egiten du, 6. irudian ikus daitekeenez. Horretarako, robotak exekuta ditzakeen ibilbide denak kontuan hartzen ditu. Ibilbide horiek eremu ez-nabigagarrietan sartzen badira, alde batera uzten dira. Ibilbide posibleen artean, mugimendu-kopurua minimizatu eta oztopoetatik urrunden daudenak aukeratzen dira, bilaketa-algoritmoak erabiliz.

Kokapenaren zenbatespena

Nabigazioa ez da posible ez baldin badakigu non gauden gure helburu puntuarekiko. Gauden lekutik 10 metro aurrera egiteko agintzen badigute, ezinbestean jakin behar dugu une oro zenbat desplazatu garen hasierako puntutik, eta, beraz, non gauden helburuarekiko. Desplazamendu horiek

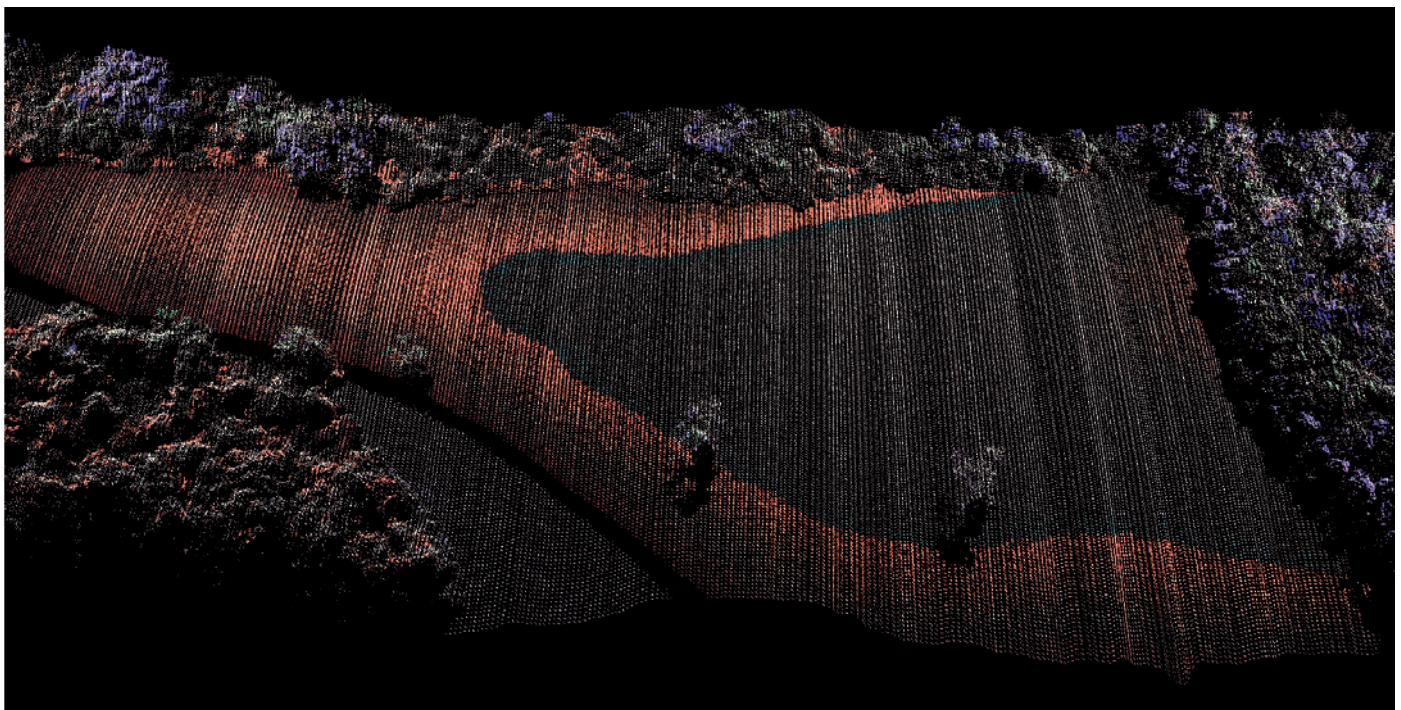
neurtzeko modurik onena *ikusmen bidezko odometria* erabiltzea da. Beste behin, bi kameraz baliatuz inguruneko puntu esanguratsu pilo bat bereizi eta beraien 3 dimentsioko koordinatuak kalkulatzen dira. Irudi berri bat iristen denean, lehenago irudiko puntu berak identifikatzen dira eta irudi zaharrarekiko izan duten desplazamendua neurtzen da. Hala, bada, desplazamendu hori robotaren mugimenduaren ondorio denez, robotaren benetako desplazamendua kalkulatzen da. Prozesu horren emaitza 7. irudian dakusagu.

Azaldutako hiru gaitasun horiek konbinatuz lortzen du Curiosityk Marten mugitzea eta Lurreko langileek agindutako lekuetara bere kasaka joatea. Prozesuaren deskribapen laburtu bat ikusten da 8. irudian.

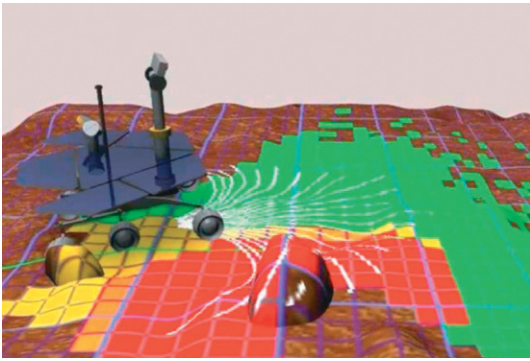
ETORKIZUNA

Marte sakonago ezagutzeko egitasmo handiak daude martxan. Beharbada erakargarriena *Mars Sample Return*¹ deritzona da. Hain zuzen, NASA eta ESA (Europako Espazio Agentzia) elkarlanean ari dira robot berri bat Martera bidali eta han biltzen dituen laginak Lurrera ekartzeko. Zeregin horretarako robot berriak autonomia-maila handiagoa izan beharko du.

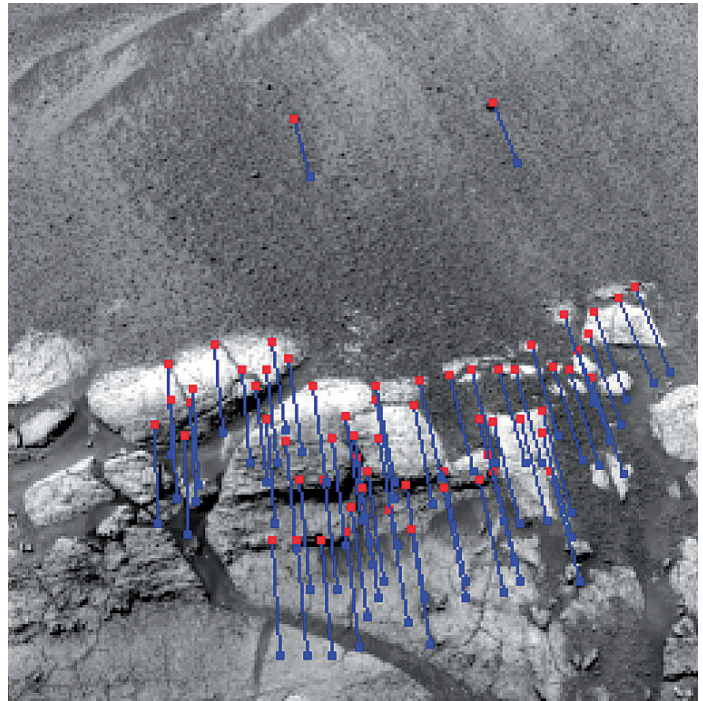
Misioa epe jakin baterako izango da, Martera bidalitako ontzia itzularaztea zailagoa baita denbora pasatzen den heinean.



5. irudia. Baso batean lorturiko 3 dimentsioko puntu-laino bat. IRUDIA: CARNEGIE MELLON UNIBERTSITATEA/ROBOTIKA INSTITUTUA.



6. irudia. Robotak nabigazio-mapa batean kontuan hartzen dituen bide posibleak. Maparen koloreek nabigagarritasuna adierazten dute: gorria, ez-nabigagarria; horia, arriskutsua; berdea, nabigagarria; eta marroia, ezezaguna. IRUDIA: NASA/JPL.



7. irudia. Ikusmen bidezko odometriaz neurturiko desplazamenduak. Irudian ikusten diren marra urdinek puntu esanguratsu batzuen mugimendua erakusten dute. Mugimendu horiek kameraren mugimenduak dira, eta, beraz, hasieratik bukaerara arte kamerak nola mugitu diren kalkula daiteke. IRUDIA: NASA/JPL.

Hori dela eta, robotak bere ingurunearen mapa osatuak egiteko gaitasuna izan behar du. Ontzitik laginak bildu dituen lekuraino egin dituen ibilbideak gogoratu behar ditu, plangintza azkarragoak lortzeko. Nabigazioa hobea izateko, lurzorua ezaugarriak ezagutu behar ditu ikusmena erabiliz: harea ala lokatza den, ingurune irristakorrek saihesteko eta abar.

Hori guztia lortu da jada Lurrean; beraz, zergatik ez Marten? Arrazoi nagusi bat dago: espaziora bidaltzen diren ordenagailuek dituzten mugak. Tenperatura-aldaketak, erra-

diazioa eta energia-kontsumoa direla medio, *Curiosity*ren bi ordenagailuek gure etxeetan orain dela 10 urte zeuden ordenagailuen ahalmena dute. Eta, horrela, oso zaila da behar duten autonomia-maila lortzea.

Ondorioz, espaziorako ordenagailuetan eta algoritmoen eraginkortasunean lan handia dago egiteko. Eta lan hori egingo da. Robot gehiago bidaliko dira, bai planeta gorriara, bai beste batzuetara. Haiek izango dira gure esploratzaile eta aurrekariak. Egunen batean gizakia bera ere iritsiko delako Lurraz haragoko mundu liluragarri horietara. ●

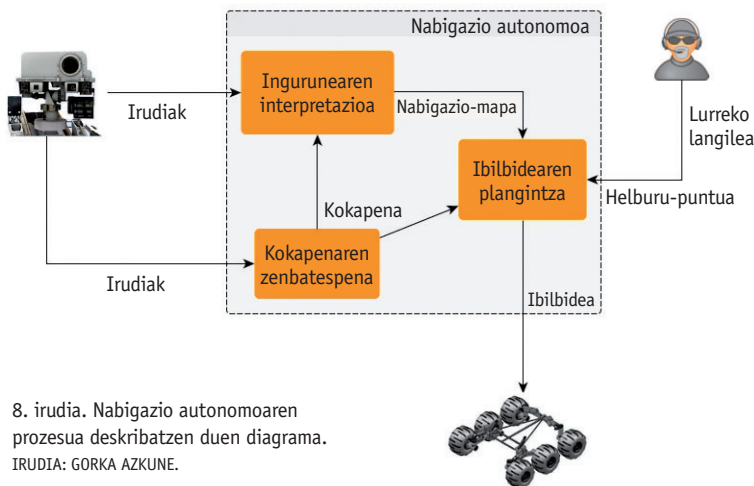
BIBLIOGRAFIA

BAJRACHARYA, M.; MAIMONE, M.W.; HELMICK, D.: "Autonomy for mars rovers: Past, present, and future". *Computer*, 41 (12) (2008), 44-50.

HELMICK, D.M.; CHENG, Y.; CLOUSE, D.S.; MATTHIES, L.H.; ROUMELIOTIS, S.I.: "Path following using visual odometry for a mars rover in high-slip environments" In *Aerospace Conference, 2004*. Proceedings. 2004. *IEEE*, volume 2 (2004), pages 772-789. *IEEE*.

HOWARD, T.M.; MORFOPOULOS, A.; MORRISON, J.; KUWATA, Y.; VILLALPANDO, C.; MATTHIES, L.; MCHENRY, M.: "Enabling continuous planetary rover navigation through fpga stereo and visual odometry" In *Aerospace Conference, 2012 IEEE*, (2012) pages 1-9. *IEEE*.

LEGER, P.C.; TREBI-OLLENNU, A.; WRIGHT, J.R.; MAXWELL, S.A.; BONITZ, R.G.; BIESIADECKI, J.J.; HARTMAN, F.R.; COOPER, B.K.; BAUMGARTNER, E.T.; MAIMONE, M.W.: "Mars exploration rover surface operations: Driving spirit at gusev crater" In *Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference on*, volume 2 (2005), pages 1815-1822. *IEEE*.



8. irudia. Nabigazio autonomoaren prozesua deskribatzen duen diagrama. IRUDIA: GORKA AZKUNE.