

Eboluzioa bizi artifizialean

Arantza Etxeberria¹ & Jesus Ibañez²

Biziaren zientzietan erantzun finkorik ez duen galdera asko dago oraindik. Bizidunok biziduna berehala ezagutzen badugu ere, bizigabeen eta bizidunon arteko mugak zehazki azaltzea ez da berez lan erraza.

Bizidunak zer diren azaltzeko orduan, testuliburueta haien ezaugarrien zerrendak ematen dira beste definizio hobeagorik ezean (I. taula). Gainera, bizia ez da gertakari homogeneous; alderantziz, biziaren ezaugarriak garrantzitsuenetakoa ugaritasuna dela esan daiteke. Gaur egun lurreko espezie biziak 5 milioiren bat dira (ornodunak 50.000 baino ez). Biziak lilura ikaragarria sortzen digun arren, orain arte zientziak edo injinerutzak garatutako sistema artifizialik konplexuenak ere ezin izan du bizidunen parekorik lortu. Edo hala zirudien bederen.

1987an izenburu bitxia zuen kongresua izan zen Los Alamosen (EEBB). Bertan bizia eta haren ezaugarriak ikertzerakoan, arlo berria sortu zen: Bizi Artifiziala (BA). Orain arte Biologiak ezagutzen dugun bizia aztertu du eta BA-aren eginkizuna berri,

izan litekeen bizia ikertzea da. Era horretan, biologiak Lurreko eboluzioaren historian agertu diren ezaugarri kontingenteak (hau da, ezinbestekoak ez diren eta beste era batean izan zitezkeenak) ikertzen dituen bitartean, BA-ak biziaren zientzia unibertsala eratzea du helburu. Bi eratako helburuak ditu eginkizun horrek: alde batetik, konputaziozko

sistema berriek biziaren zientzietan izan ditzaketen ondorioak aztertzea eta bestetik, orain arte emaitza garbirik ez zuten problema askorentzat tratamendu berriak asmatzea, bizidunak eta beren ezaugarriak inspirazio iturritzat hartuz. Hiru motako sistema artifizialak eratu dira: *software*-an bizidunen ezaugarriak agertzen dituzten sistemak programatzen dira, *hardware*-an robotak eraiki edo konputagailuentzako txipak eboluzioaren bidez diseinatzen dira, eta *wetware* delakoan, molekulaz eraturiko osagai artifizialak sortzen dira (adibidez, RNA molekula berriak sintetizatzea entseiu-tutuan).

Ikertzaile asko hurbildu da BA-erazken urteotan helburu ugariaren atzetik: bizi artifiziala sortu, biologia teorikoaren oinarriak sendotu, sistema konplexuak azaltzeko eredu egokiagoak aurkitu, konputazio-sistemak garatzeko estrategia naturalak erabili, inguru ezezagunetan (adibidez, beste planetaren batean) portaera egokia izango luketen makinak edo robotak garatu eta azkenik, arazo filosofikoak tresneria kontzeptuala baino sofistikatuagoa izan daitekeen esparruetan aurkezteko aukera zabaldu. Horrela, BA-ean gure pentsamenduaren mugak zabalduko lituzketen protesiak garatuko lirateke.

Artikulu honen xedea Bizi Artifizialak eboluzioari buruz garatu dituen azterbideak aurkeztea da.

I. taula. Bizia definitzeko Biologian ematen diren ezaugarri-zerrenden adibidea.

- 1) Bizia espazio-denboran ematen den patroia da.
- 2) Biziak ugalketa behar du (bizidunak bere burua sortzen du edota ugalketa-prozesuaren ondorioa da).
- 3) Bizidunak bere burua sortzeko behar duen informazioa du bere baitan.
- 4) Bizidunek inguruko materiaz eta energiagaz barne-materia eta barne-energia lortzen dute metabolismoaren bidez.
- 5) Bizidunek inguruarekin elkarreragin funtzionala dute.
- 6) Bizidunek bere zatien arteko menpekotasun handia dute.
- 7) Bizidunak egonkorak dira kanpoko eraginaren aurrean.
- 8) Biziak eboluzionatu egiten du.

- 3800 milioi urte
- 2000 milioi urte
- 700 milioi urte
- 400 milioi urte
- 7,5 - 5 milioi urte

BIZIAREN AGERPENA
ZELULA EUKARIOTAK (Ugalketa sexuala)
ZELULA ANITZEKO ORGANISMOAK
ANIMALIA ORNODUNAK
HOMINIDOEN AGERPENA

2. taula. Eboluzioaren historia.

Eboluzio artifiziala ardatz harturik beraz, hiru eszenatoki desberdin aztertuko ditugu. Lehenengoan, Informatikak eboluzio biologikoa erabiltzen du bere eremuan agertzen diren problemak ebazteko. Bigarrenean, alderantzizko egoera aurkezten da, hots, Biologia tresneria informatikoz baliatzen da naturan gertatzen diren eboluzio-prozesuak simulatzeko. Eta azken adibidean ez da oso garbi gelditzen non dagoen Informatikaren eta Biologiaren arteko muga.

Algoritmo genetikoa

Lurreko izadia eboluzio-prozesu baten ondorioa da eta denbora luzea iragan da gaur ezagutzen ditugun formak ager daitezzen (2. taula). Eboluzioa kontutan hartu baino lehen, ez zen milioka urtetako denbora-eskalarik behar: XVIII. mendera arte Lurraren adina Adanetik hasi eta Bibliako profeten bizitzen iraupenak gehituz kalkulatzeko zenez, askoz gazteagoa zela uste zen (ikerketa horien arabera, K.a. 4004. urteko urriaren 23an, goizeko 9etan amaitu zen kreazioa). Gaur egungo zenbait ikerlarik ere antzeko jarrera erakutsi dute, BA-a gaurtik biharko eginkizuna balitz bezala. Baina eboluzioak behar izan duen denboraren aurrean, pentsaera inozoa da hori.

Eboluzioaren ideia Darwin-en aurrekoa izan arren, berak proposatu zuen eboluzioa azaltzeko mekanismorik onartuena: hautespen naturala. Darwin naturalista trebea zen eta mundu osoko izadia eta espezie desberdinak arakatzeko bost urte igaro zituen. Hala ere, eboluzioaren mekanismoa nekazaletxeetan usoak edo abereak hazteko erabiltzen ziren teknikak behatuz otu zitzaion. Hazleek aldaketa txikiekin jotzen dute ezaugarri jakina sortuko duen nahasketa egokiak lortzeko. Naturan ere antzekoa izango litzateke prozesua, baina kontzientea ezik, itsua eta helburugabea den indarrak agindu eta hautatzen ditu aldaketa egokiak.

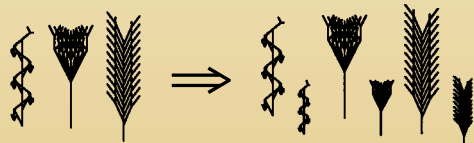
BA-ean prozesu darwindar hori eboluzio artifiziala ekoizteko erabili da, hiru printzipiotan oinarrituz: herentzia, aldakuntza eta hautespena (1. irudia). Eredu artifizialetan, Darwini

hautespen naturala iradoki zioten kasu artifizialetan bezalaxe, Algoritmo Genetikoetan ikerlariak zein helbururantz jo erabakitzen du.

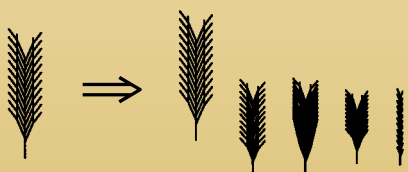
Algoritmo Genetikoa problema bat ebazteko erabilgarria da, beti ere soluzio-espazioa ezaguna eta mugatua denean eta soluzio bakoitzaren egokitasuna neurtzeko funtzio objektiboaz hornitzea bideragarria denean. Oso normala da problemaren soluzioa algoritmo bat izatea (programa, automata, sare neuronalak edo sistema adituaren bidez kodetuta).

Gure asmoa ahalik eta soluziorik onena aurkitzea da. Eboluzioaren printzipioak aplikatzeko, lehenik hasierako belaunaldia osatzen duen ausazko soluzio-multzoa sortzen dugu (gehienak desegokiak izango bide dira). Belaunaldi bakoitzetik hurrengoa eratoritzeko, ondoko pausak jarraituko ditugu (2. irudia):

1. irudia. Herentzia, aldakuntza eta hautespena dira eboluzioaren printzipioak. Indibiduo baten ezaugarriak bere ondorengoei igortzeko ahalmenari herentzia deitzen diogu. Transmisio-prozesu horretan, aldakuntzak sortzen dira. Populazio baten barruan indibiduo batzuek besteak baino bizirauteko (eta beraz, ugaltzeko) aukera handiagoa baldin badute, orduan hautespen-mekanismoa indarrean jartzen da.



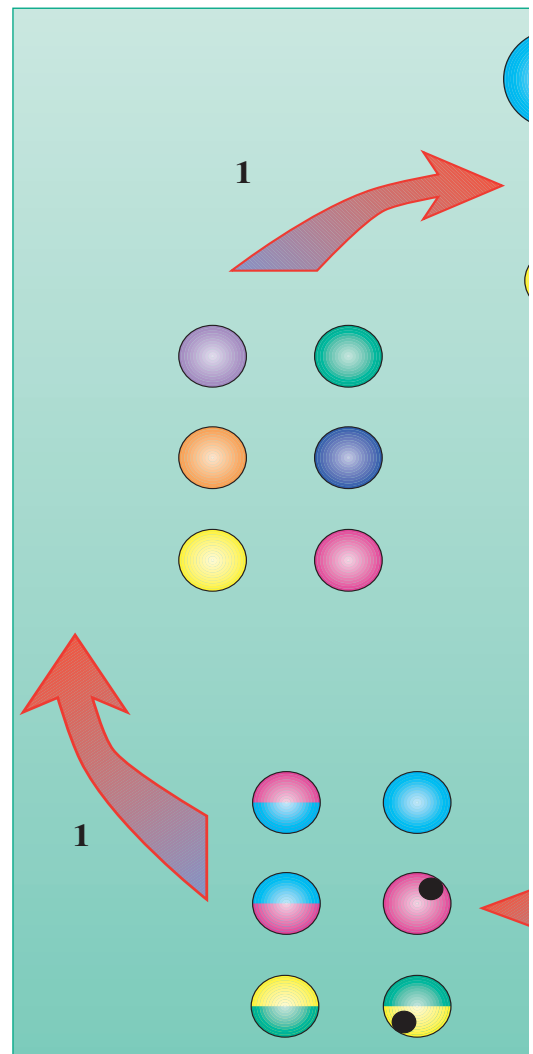
Herentzia



Aldakuntza



Hautespena



- Ebaluazioa: egokitasun-funtzioa aplikatzen zaio populazioko indibiduo bakoitzari.
- Ugalketa: ebaluazioaren emaitzen arabera, indibiduoek hurrengo belaunaldian irauteko probabilitatea dute.
- Mutazioa: aukeratutakoek ausazko aldaketa lokalak jasaten dituzte.
- Gurutzaketa: zenbait zati elkar trukatzen dute binaka.

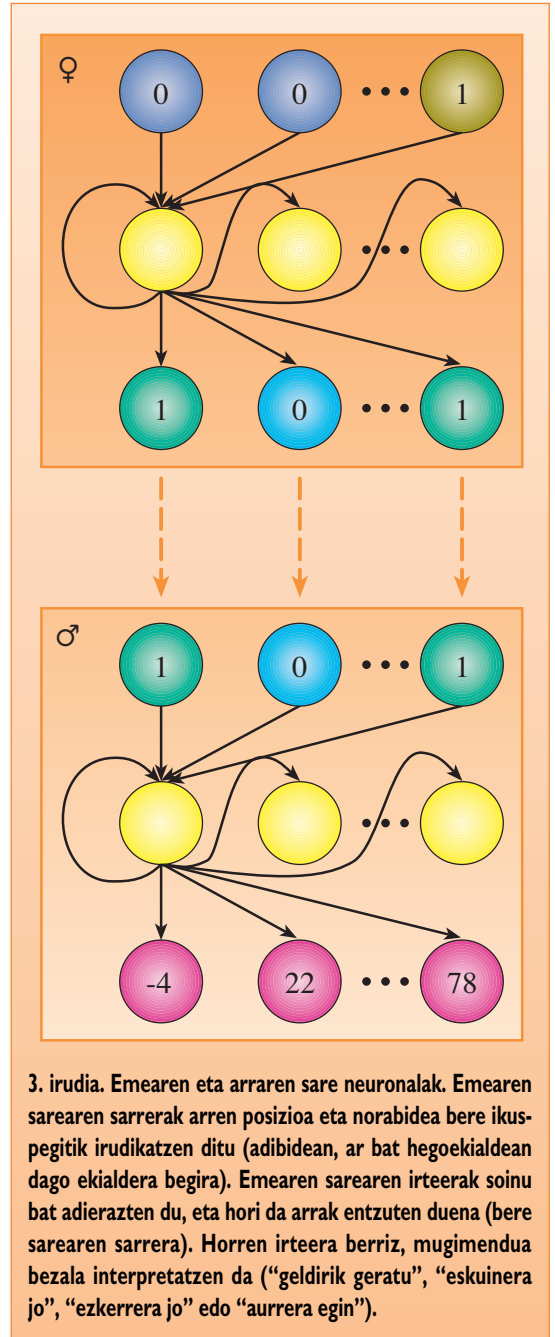
Metodo horrekin jarraituko da soluzio optimoa aurkitu arte edo belaunaldi-kopuru maximoaraino iritsi arte. Lortutako emaitzak gero eta hobetoagoak dira (zein puntutaraino ere aukera dezakegu). Gainera, algoritmo genetikoak erabiltzeko ez dugu problema konkretuari buruzko ezagupenik behar. Izan ere, propio egindako algoritmo eraginkorrek garatzeko oztopo handiak dituzten pro-

blema askorentzat, oso soluzio onak bermatzen dituzte algoritmo genetikoek; hori horrela, BA-aren industria aplikazio nagusi bilakatu dira.

Mundu artifizialak

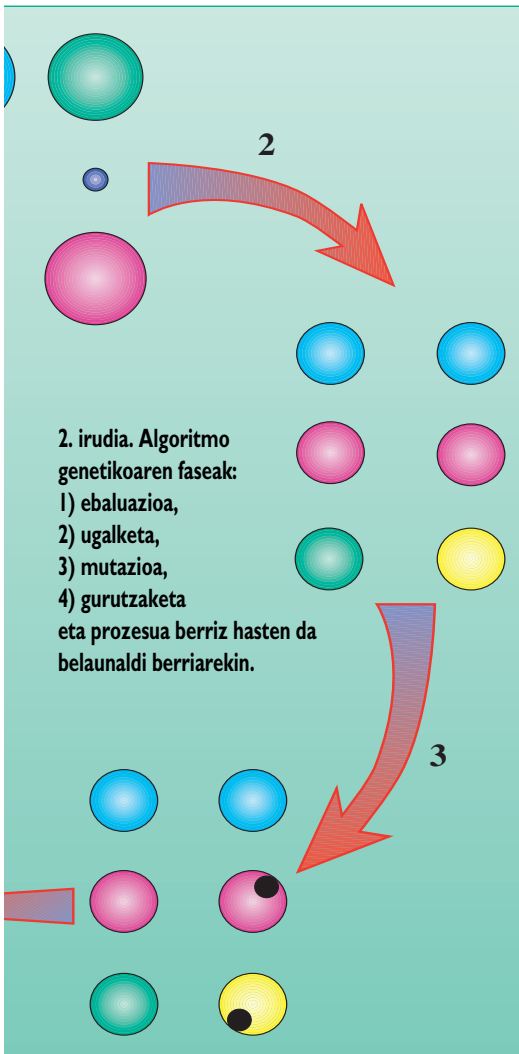
BA-aren adibiderik ezagunenetakoa mundu artifizialena da, hots, bere baitan mundu osoa (izaki bizidunak eta bizigabeak, espazio egituratua, eguraldi desberdinak, etab.) biltzen duten ingurune simulatuak. Mundu horietan garatuko dute bere bizialdi osoa organismo artifizialek: jaiotze, ikasi, elikatu, harrapariengandik ihes egin... Sarritan organismoen portaera eta eboluzioa konputagailuaren pantailan zuzenean ikusteko aukera eskaintzen da. Baliabide horietaz jabeturik, ikerlariak eboluzioaren alderdi desberdinak ikertzeko erabili dituzte mundu artifizialak: eboluzioaren eta ikastearen arteko harremana, hautespen sexuala, espezieen dinamika, harrapari eta harrapakinen arteko erlazioa, hizkuntzaren sorrera eta beste hainbat gai.

Mota honetako lanen adibide polita Werner eta Dyer-ek asmatutako mundua da. Ikertu nahi zuten arazoa honako hau da: nola sor daiteke komunikaziorako hizkuntza? Galdera horren aurrean, ez zuten gizakion hizkuntzan oinarritu, animalien baizik eta inspirazio-iturri gisa igelek ernaltzeko erabiltzen duten kantua hartu zuten. Komunikazioaren eboluzioa aztertzeko, espeziearen barruan jaiotzetiko zeinuen garapena ikertu zuten. Horretarako animalia artifizialen bizileku gisa laukiekiko saretxo definitu zuten. Saretxo horren begi bakoitza hutsik ala betetarik egon daiteke eta eme- eta ar-kopuru bera dago. Animalia horien zeregina bikotea aurkitzea da, ernaltu eta kumeak izateko. Arrak itsuak izanik, ez dituzte emeak ikusten; emeak aldiz, ezin dira mugitu eta arrak erakartzeko, bidea adierazi behar diete kantuen bidez. Animalia bakoitzaren portaera genoma batean kodetuta dagoen sare neuronalak agintzen du (3. irudia). Orduan, algo-



3. irudia. Emearen eta arraren sare neuronalak. Emearen sarearen sarrerak arraren posizioa eta norabidea bere ikuspegitik irudikatzen ditu (adibidean, ar bat hegoekialdean dago ekialdera begira). Emearen sarearen irteerak soinu bat adierazten du, eta hori da arrak entzuten duena (bere sarearen sarrera). Horren irteera berriz, mugimendua bezala interpretatzen da (“geldirik geratu”, “eskuinera jo”, “ezkerrera jo” edo “aurrera egin”).

ritmo genetiko baten bidez, eboluzioa ahalbidetzen da. Komunikazioa egon dadin, hau da, emeak arra bereganatzeko, emeak arrek ulertuko dituzten zeinuak egin behar ditu, eta arrak zeinuak interpretatzen ikasi behar du. Emearen zeinuaren eta arraren mugimenduen arteko erlazioa arbitrarioa da. Helburua zeinuen interpretazio posible batean ados dagoen populazioa bilakatzea da. Arrak emearekin topo egitean, parekatu eta bi kume egiten dituzte: bata emea eta arra bestea.



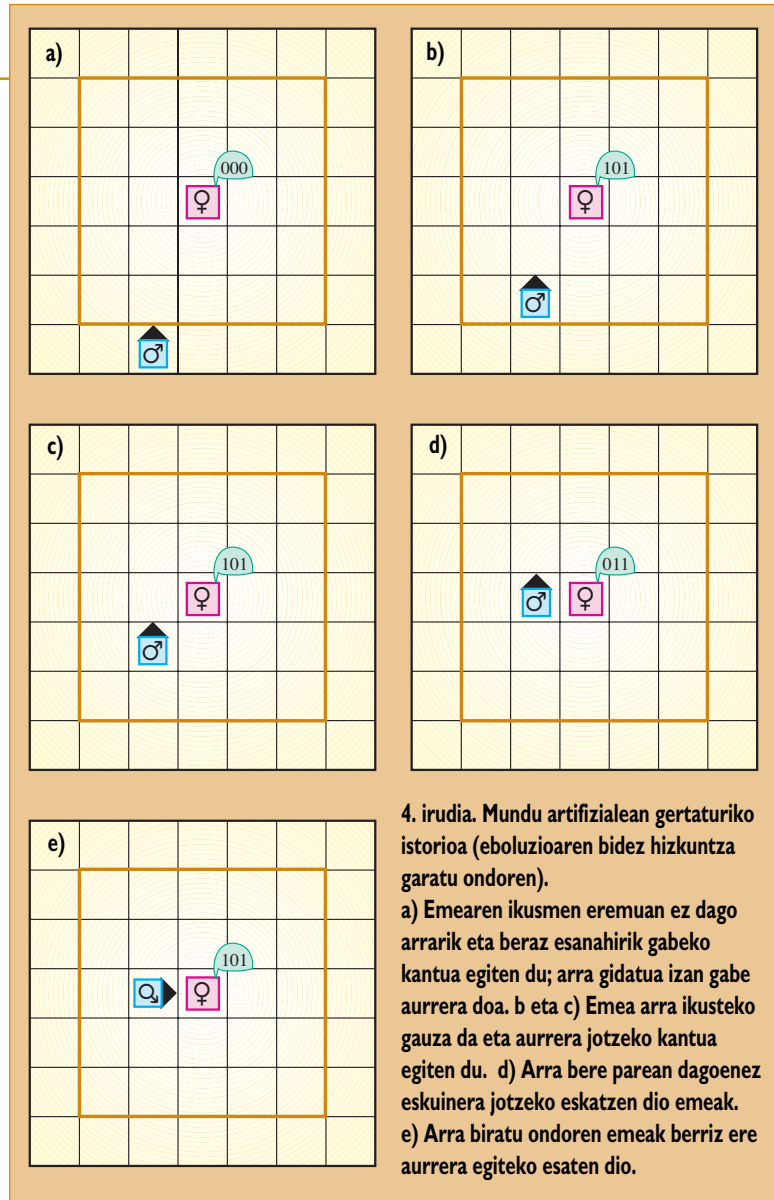
2. irudia. Algoritmo genetikoaren faseak: 1) ebaluazioa, 2) ugalketa, 3) mutazioa, 4) gurutzaketa eta prozesua berriz hasten da belaunaldi berriarekin.

Esperimentu horretako belaunaldi-bilakaera ondokoa izan zen: 1) arren eta emeen portaera ausazkoa da, 2) geldirik egoteko joera duten arrek desagertu egiten dira, 3) gertzen diren arren gehiengoak aurrera egiteko joera du; biraka aritzeko joera dutenak berriz, desagertu egiten dira, 4) maila horretan agertzen diren arrek emearen lerroa edo zutabera iristean biratzen badakite; bestalde, zeinu esanguratsuak egiten dituzten emeak ugartu egin dira besteak gutxiagotuz. Arrek, emerik entzuten ez dutenean, aurrera egiten dute zuzenean eta hurbil daudenean berriz, biratu, 5) emeak egoera gehiago adierazteko erabiltzen dituzte zeinuak. 4. irudian ikus daiteke hizkuntza garatu ondoren gertatuta-ko istorio bat.

Konputazio-ekosistemak

Orain arte ikusi dugunez, mundu artifizialean naturaren lege fisiko eta biologikoak nolabait isladatzen saiatzen da eta ingurune informatikoa egoera errealean abstrakzioetat hartzen da. Aztertuko dugun azken hurbilketaren ikuspuntua ordea, oso desberdina da: konputazio-ekosistemen paradigman informazio digitalaren printzipioak nagusi dira, mundu erreala errepikatzen saiatu gabe. Beraz, agertzen diren eragileak programa hutsak dira (normalean, mihiztadura-lengoaia bereziaz kode-turik) eta beren funtzionaltasuna birtarte informatikoak (memoria, egikaritzeko ahalmena, etab.) kudeatzearen dinamikan datza.

Scientific American aldizkariaren orrialdeetatik Dewdney-k *Core Wars* joko informatiko berria proposatu zuen 1983. urtean. MARS (Martitz) deituriko konputagailu birtual baten memorian elkar suntsitzeko helburua duten bi borroka-programa plazaratu behar ziren. Programa bakoitza izaki autonomotzat hartzen zen: programatzaileak ez daki zeintzuk izango diren bere arerioak bere "kreatura" diseinatzen duenean eta MARSen barruan askatu ondoren,



4. irudia. Mundu artifizialean gertaturiko istorioa (eboluzioaren bidez hizkuntza garatu ondoren).
 a) Emearen ikusmen eremuan ez dago arrarik eta beraz esanahirik gabeko kantua egiten du; arra gidatua izan gabe aurrera doa. b eta c) Emea arra ikusteko gauza da eta aurrera jotzeko kantua egiten du. d) Arra bere parean dagoenez eskuinera jotzeko eskatzen dio emeak. e) Arra biratu ondoren emeak berriz ere aurrera egiteko esaten dio.

programak bere kasa konpondu beharko du.

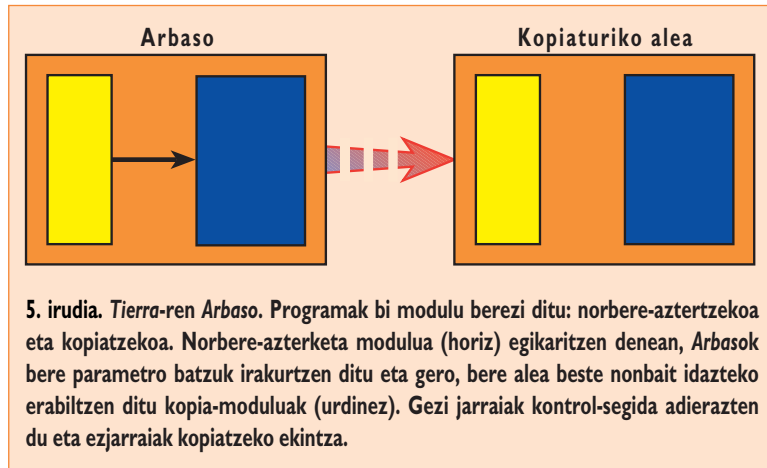
Jokozale ugari sortzeaz gain, Dewdney-ren ideiak esparru informatikoan oso emankorrak izan zirela azpimarratzeko, lehen birus informatikoak teoria horietan inspiraturik sortu zirela aipa daiteke. Horrez gain, programa izaki autonomoen antzera ingurune ezezagunetan ibil daitekeela ikusi zen. Gainera, laster nabarmendu zen bizirauteko estrategia sasibiologikoak gara zitezkeela: programa agresiboak, adaptagarriak, ugalkorrak eta bere burua konponitzeko gai direnak agertu ziren.

1990. urtean Rasmussen, Knudsen eta Feldberg-ek *Venus* sistema proposatu zuten. MARSen iharduteko diseinatzen ziren programak eta horien tankerakoak berezko prozesuen ondorioz sor zitezkeen aztertu nahi zuten. *Venus*-en memoria zoriz

banaturiko agindu deslaiez betetzean, horietatik batzuk egikaritzen hasten dira eta prozesu horretan, berez antolatzen diren konputazio-egiturak beha daitezke.

Sistema dinamikoen teknikak aplikatuz, zenbait ondorio adierazgarri aipa daitezke: agindu batzuek elkarrekin lan egiteko joera erakusten dute, unitate funtzional sinpleak erazten dira eta jokabide inbariantek eta erakarle dinamikokoak agertzen dira. Sistemaren egileek autonomotzat har daitezkeen programen sorrera bultzatzeko, zenbait esperimentutan hasierako banaketa soslaitu zuten, baina ez zuten beraien helburua lortu.

Venus-en emaitzak espero baino eskaxagoak izan ziren. Horrek garbi erakutsi zuen konputazio-ekosisteman gara daitezkeen biziraupen-estrategiak ez direla erraz sortzen



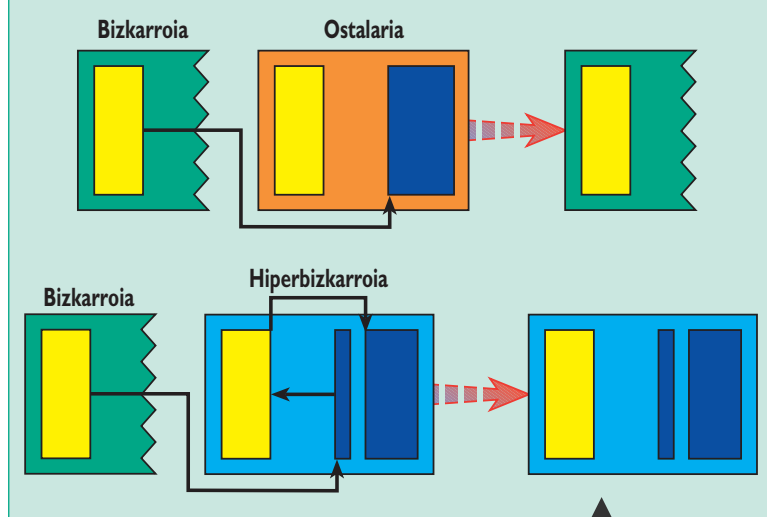
5. irudia. *Tierra*-ren *Arbaso*. Programak bi modulu berezi ditu: norbere-aztertzea eta kopiatzea. Norbere-azterteta modulua (horiz) egikaritzen denean, *Arbaso* bere parametro batzuk irakurtzen ditu eta gero, bere alea beste nonbait idazteko erabiltzen ditu kopia-moduluak (urdinez). Gezi jarraiak kontrol-segida adierazten du eta ezjarraiak kopiatzeko ekintza.

hasierako baldintzetatik. Uste okerraz jabeturik, Tom Ray ikerlariak beste hurbilketa erabili zuen *Tierra* (Lurra) sistema diseinatu zuenean: salda primitibotik “organismoak” lortzen saiatu ordez, berak diseinatutako *Arbaso* programa hartu zuen abiapuntutzat. Horrek *MARS*-en bidean atzerapausoa dela dirudien arren, aipatzekoak dira bere ezaugarri berriak:

- *Arbaso* behin eta berriro bikoizteko gauza da (5. irudia) eta beraz, *Tierra*-n gertatzen diren fenomeno aipagarriak populazio-mailan ematen dira.

- Programen arteko elkarreragin zuzena debekaturik dago, programa bakoitzak idazkeraren aurkako babesa baitu: beste programa batek bere kodea irakur eta egikari diezaioke, baina eraldatzeko ahalmenik gabe; printzipioz zauriezinak direnez, programa zaharrenak edo desegokienak akabatzeko mekanismo segalaria sartzen da.
- Mutazioak sorrarazteko zenbait aukera dago: *Tierra*-n edozein bit zoriz alda daiteke (“izpi kosmikoa”), kopiatzeko mekanismoek noizbehinka huts egiten dute (“akats genetikoak”) eta aginduen

6. irudia. Bizkarroitasuna eta immunitatea *Tierra*-n. Bizkarroi tipikoak ez dauka kopia-modulurik, baina beste batena erabil dezake bere kopiak burutzeko. Ostalaria *Arbaso* edo mutazioaren bidez agerturiko senide hurbila izan daiteke. Bizkarroitasunaren aurkako immunitate-estrategiak garatzen dira eta horien artean, hiperbizkarroia kontutan hartzekoa da. Bizkarroia hiperbizkarroia kopia-modulua erabiltzen saiatuz gero, azken horrek ezuste galanta gordetzen dio: bere kopia-moduluak atzera jotzeko agindu berezia dauka eta kopiatzen hasi baino lehen, hiperbizkarroia norbere-azterteta modulua egikaritzen da. Hortik aurrera, bizkarroiak bere parametroen ordez, ustezko ostalariarenak gordetzen ditu eta beraz, ostalariaren aleak soilik kopiatuko ditu. Hiperbizkarroien agerpenak dagozkien bizkarroien sarraskia dakar.



portaerak porrot egin dezake (“errore funtzionalak”).

Eboluzioa plazaratzeko eszenatoki egokitzat har dezakegu *Tierra*, herentzia, hautespena eta aldakuntza gauzatzeko mekanismoak baitaizka. Egia esan, ekosistema horretan ematen den konplexutasunean jauzi oso handia ematen da eta eboluzioaren bidez jokabide sasibiologiko aberatsak sortzen dira. 6. irudian zehazten den bizkarroitasun-immunitate fenomeno ziklikoak esaterako, oso tipikoak dira.

Ondorio gisa

Bizi Artifizialak biziaren ikuspegia alda dezake eta bere eraginez, natura eta kulturen arteko erlazioak era berri batean agertu. Baina, batez ere, Bizi Artifizialak erakusten digu mendebaldeko Zientziak munduaren aurrean duen jarrera analitikoaren fenomeno konplexuen teoriak garatzeko desegokia izan daitekeela. Horretarako fenomenoak gure arrazamenduen bidez deskonposatzen saiatzen garenean, ateratako zatiak osoa bezain konplexuak izaten dira, edo azalpenerako behar den elementu garrantzitsuenak galtzen ditugu bidean. Aldiz, Bizi Artifiziala gauza sinpleen elkarreraginaren indarraz baliatzen da, Konplexutasunaren Zientzia berria izan daitekeenaren bidea argituzeko.



- 1 EHUko Logika eta Zientziaren Filosofia Saila.
- 2 EHUko Informatika Fakultatea.

Gehiago irakurtzeko:

- Emmeche, C. (1994) *The garden in the machine. The emerging science of Artificial Life*, Princeton (NJ), Princeton University Press.
- Fernández, J. eta Moreno, A (1992) *Vida Artificial*, Madrid, Eudema.