

Konputazio-makinak eta adimena

ALAN M. TURING

«Computing Machinery and Intelligence». 1950. *Mind* 49 (236): 433-460.

Itzultzailea: Xabier Arrazola¹

DOI: 10.1387/gogoa.19737

1. Imitazio-jokoa

Galdera hau aintzat hartzea proposatzen dut: «Pentsa al dezakete makinak?». «Makina» eta «pentsatu» terminoen definizioetatik abiatu beharko litzateke. Definizioak eraiki daitezke hitzen erabilera arrunta ahalik eta gertuen isla dezaten, baina jarrera hori arriskutsua da. «Makina» eta «pentsatu» hitzen esanahia arrunki erabiltzen diren modua aztertuz aurkitu behar bada, zaila izango da ez ondorioztatzea esanahi hori eta «Pentsa al dezakete makinak?» galderaren erantzuna Gallup inkestaren gisako estatistika batean bilatu behar dela. Baina hori absurdoa da. Horrelako definizioaren bila saiatu ordez, galdera honen lekuan beste bat hartuko dugu, hari hertsiki loturik dagoena eta anbiguotasunik gabeko hitzetan adierazgarri dena.

Arazoaren forma berria «imitazio-jokoa» esango diogun joko baten terminoetan deskriba daiteke. Hiru pertsonak hartzen dute parte, gizonezko batek (A), emakumezko batek (B) eta galdetzaile batek (C); edozein sexutakoa izan daiteke. Galdetzailea gela batean dago besteetatik bereizirik. Galdetzai-
learen jokoa helburua da mugatzea beste bietatik zein den gizonezkoa eta zein emakumezkoa. X eta Y etiketen bitartez du besteen berri, eta jokoa bukaeran «X A da eta Y B da» edo «X B da eta Y A da» esaten du. Galdetzai-
leak A eta B galderak egin diezazkieke, hau bezalakoak:

C: Esango al dit, mesedez, X jokalaria zein luzera duen bere ileak?

¹ Itzulpen hau A. M. Turingek, 1950ean, *Mind* aldizkarian «Computing Machinery and Intelligence» izenburupean argitaratutako bertsioarena da. Itzulpenaren lehenagoko bertsioa hemen argitaratu zen, 2003an: *Gogoa* III-2, 171-196. [Bertsio berri hau Larraitz Zubeldiak eta Kepa Kortak orraztu dute].

Demagun X A dela orain; beraz, A jokalariai erantzun egin behar du. C galdetzaileak identifikazio okerra egin dezan saiatu eta eragitea da A jokalariairen helburua jokoan. Haren erantzuna izan daiteke:

«Nire ilea geruzatua da, eta xerlorik luzeenak bederatzi hazbete ingurukoak dira».

Ahotsaren doinuek galdetzaileari lagun ez diezaioten, erantzunak idatziz eman beharko lirateke, edo, hobeto oraindik, makinaz idatzita. Eraketa ideala da tele-inprimagailu bat izatea bi gelen arteko komunikaziorako. Hirugarren (B) jokalariairen helburua galdetzaileari laguntzea da. Harentzat estrategiarik onena, ziur asko, egiazko erantzunak ematea da. Bere erantzunei gehi diezaietke «Ni naiz emakumea, ez horri entzun!» edo antzekorik, baina alferrik izango da, gizonezkoak antzeko aipamenak egin baititzake.

Orain galdetzen dugu, «Zer gertatuko litzateke jokoan A jokalariairen lekua makina batek hartuko balu?». Maizago okertuko litzateke galdetzailea joko horrela jokatzaren denean gizonezko baten eta emakumezko baten artean jokatzaren denean baino? Galdera horiek hartzen dute gure «Pentsa al dezaketekete makinek?» jatorrizkoaren lekua.

2. Arazo berriaren kritika

«Zein da galderaren forma berriaren erantzuna?» galdetzeaz gain, galde daiteke «Merezi al du galdera berria aztertzea?». Azken galdera aztertuko dugu besterik gabe, eta, horren bitartez, erregresio infinitu bat saihestuko.

Arazo berriaren abantaila gizon baten ahalmen fisikoaren eta adimen-ahalmenen arteko lerro zorrotza marraztean datza. Ez da ingeniari ez eta kimikaririk giza azaletik bereizteztina den materiala ekoizteko gai dela dioenik. Litekeena da noizbait horrelakorik lortzea, baina, horrelako asmakizunik gure esku balego ere, onartu beharko genuke fundamentu gutxi lukeela «makina pentsalari» bat gizatiarragoa egiten saiatzeak haragi artifizial horrekin jantzi. Eta horixe islatzen du finkatu dugun arazoaren formak, galdetzaileari beste jokalariai ikusi edo ukitzea, edo haien ahotsak entzutea galarazten dion baldintzari esker. Proposatutako irizpidearen beste abantaila batzuk erakuts daitezke galdera eta erantzun hauen bitartez:

G: Idatz ezazu «Fourth Bridge»ri buruzko soneto bat, mesedez.

E: Ez nirekin kontatu horretarako. Ez dut inoiz poesia idazterik izan.

G: Batu 34957 eta 70764.

E: (30 segundo inguruko etenaldia eta ondoren erantzuna) 105621.

G: Ba al dakizu xake-jokoan?

E: Bai.

G: E dut nire Elean, eta ez beste piezarik. Zuk E E6an eta D Dlean bakarrik dituzu. Zure txanda da. Zein da zure jokaldia?

E: (15 segundoko etenaldi baten ondoren) D-D8 mate.

Galdera-erantzun metodoak egokia dirudi gutxienez kontuan hartu nahi ditugun giza jardueren arlo guztiak aurkezteko. Ez dugu makina zigortu nahi edertasun-lehiaketetan distiratsu azaltzeko bere gaitasunik ezagatik, ez eta gizonezkoa zigortu nahi hegazkin baten aurkako lasterketa batean galtzeagatik. Gure jokoaren baldintzek garrantzirik gabekotzat jotzen dituzte ezintasun horiek. «Lekukoak» nahi adina harropuztu daitezke, komenigarria baderitzote, beraien xarmaz, indarraz edo adorez, baina galdetzaileak ezin du erakustaldi praktikorik eskatu.

Agian kritika daiteke jokia makinak irabazteko aukera gutxi dituelako. Gizonak makina bat izaten saiatu eta itxurak egingo balitu, argi da erakustaldi oso eskasa egingo lukeela. Berehala kanporatua izango litzateke aritmetikarako moteltasunagatik eta zehaztasunik ezagatik. Ezin al dezakete makinek pentsatze gisa deskriba daitekeen baina gizonak egiten duenaren oso bestelakoa den zerbait egin? Objekzio hori oso sendoa da, baina gutxienez esan dezakegu, imitazio-jokoa egokiro jokatzeko makina bat eraikitzerik bago, ez gintuzkeela objekzio horrek kezkatu behar.

Argudia liteke «imitazio-jokoa» jokatzekoan, makinarentzat estrategiarik onena izan daitekeela gizon baten jokaera imitatzea ez den beste zerbait. Agian horrela da, baina ez dut uste horrek ondorio nabarmenik izango lukeenik. Nolanahi ere, ez da gure asmoa hemen jokoaren teoria ikertzea, eta onartuko dugu gizon batek naturalki emango lituzkeen erantzunak ematen saiatzea dela estrategiarik onena.

3. Jokoa parte hartzen duten makinak

1. atalean egin dugun galdera ez da erabat argituko «makina» hitzaren bidez esan nahi duguna zehazten ez dugun bitartean. Naturala da desiratzea gure makinetan ingeniartzako teknika mota guztiak erabiltzeko aukera onartzea. Ingeniari batek edo ingeniari talde batek funtzionatzen duen makina bat eraiki ahal izateko posibilitatea ere irekia utzi nahi dugu, baina eraikitzaileek funtzionamendu-modua egokiro deskribatzerik ez dutena, oso esperimentala den metodoa aplikatu dutelako. Azkenik, ohiko moduan jaiotako gizonak makinetatik at utzi nahi ditugu. Zaila da hiru baldintza horiek beteko lituzketen definizioak eraikitzea. Eska liteke, adibidez, ingeniari taldeko guztiak sexu berekoak izatea, baina ez litzateke onargarria izango, posible delako ziur asko bako oso bat eraikitzea (adibidez) gizon baten azaleko zelula bakun batetik. Horrelakorik egitea gorespenik handiena mereziko lukeen biologiako teknika-oren lorpena izango litzateke, baina ez gintuzke «pentsatzen duen makina ba-

ten eraikuntza» kasutzat ikustera eramango. Horrek bultzatzen gaitu teknika mota guztiak erabiltzeko aukera permititzen duen baldintza baztertzera. Prest gaude hori egiteko, ikusita egun «pentsatzen duten makinetan» den interesa makina mota partikular batek sorrarazi duela, «konputagailu elektronikoa» edo «konputagailu digitala» esan ohi zaionak. Iradokizun horri jarraituz, gure jokoan konputagailu digitalak bakarrik onartuko ditugu.

Murrizketak gogorregia dirudi lehenengo begiradan. Saiatuko naiz erakusten benetan ez dela horrela. Hori egiteko konputagailuen izaeraren eta ezaugarrien azalpen labur bat behar da.

Esan liteke, baita ere, makinen eta konputagailu digitalen arteko identifikazio hori, «pentsatu» hitzerako gure irizpidea bezala, asegaitza izango dela soilik baldin eta konputagailu digitalak (nire usteen aurka) jokoan emaitza ona lortzeko gai ez izatea suertatzen bada.

Badira jadanik konputagailu batzuk funtzionatzeko moduan, eta galde daiteke «Zergatik ez berehala ahalegindu esperimentuarekin? Erraza litzateke jokoaren baldintzak asetzea. Galdetzaile batzuk erabil daitezke eta estatistikak bildu identifikazio zuzena zenbatero ematen den erakusteko». Bat-bateko erantzuna da ez garela galdetzen ari konputagailu digital guztiek jokoan ongi egingo luketen, ez eta egungo konputagailuek ongi egingo luketen ere, baizik eta imajina daitezkeen konputagailuek ongi egingo luketen. Hori, ordea, bat-bateko erantzuna besterik ez da. Geroago ikusiko dugu auzi hau beste ikuspegi batetik.

4. Konputagailu digitalak

Konputagailu digitalen ideiaren oinarrian dena azal daiteke esanez makina hauek giza konputagailu batek egin ditzakeen eragiketa guztiak egiteko asmotan eraikitzen direla. Emantzat jotzen da giza konputagailuak erregela zehatzak jarraitzen dituela; ez duela autoritaterik horietatik aldentzeko inolako xehetasunetan. Suposa dezakegu erregelak liburu batean eskaintzen direla; liburua aldatu egingo da lan berri baten aurrean jartzen dugunean. Badu paper-hornikuntza mugagabea ere, non bere kalkuluak egiten dituen. Bere biderketak eta batuketak ere egin ditzake «idazmahai-makina» batean, baina ez da garrantzitsua. Goiko azalpena definizio gisa erabiltzen badugu, argudioaren zirkularitatean erortzeko arriskuan egongo gara. Ihes egingo diogu horri, nahi dugun ondorioa lortzea bideratuko duten baliabideen eskema azalduz. Konputagailu digitala hiru partez osaturik balego bezala ikus daiteke oro har:

1. Erreserba
2. Unitate exekutiboa
3. Kontrola

Erreserba informazio-biltegi bat da, eta giza konputagailuen paperaren baliokidea da, non bere kalkuluak egiten dituen edo inprimatuta dagoen bere erregelen liburua. Giza konputagailuak kalkuluak buruz egiten dituen neurrian, erreserbaren parte bat haren memoriaren baliokidea izango da.

Unitate exekutiboa kalkuluan zerikusia duten hainbat eragiketa bakun egingo dituen parte da. Eragiketa bakunak zer diren makina batetik bestera aldatuko da. Oro har eragiketa aski luzeak egin ahal izango dira, «Biderkatu 3540675445 zenbakia 7076345687 zenbakiaz» gisakoak, baina makina bazuetan «Idatzi 0» gisako oso sinpleak bakarrik dira posible.

Aipatu dugu konputagailuari eskainitako «erregelen liburua» erreserbaren parte batek ordezkatzeko duela makinan. «Jarraibideen taula» deritza. Kontrolari dagokio jarraibide horiek zuzenki eta ordena egokian jarrai daitezken. Kontrola eraikitzen dugu, beraz, horixe ezinbestean gerta dadin.

Erreserbako informazioa zatitu egiten da normalean neurri txikiagoko paketetan. Makina batean, adibidez, pakete bat 10 digitu hamartarrez osaturik egon daiteke. Hainbat informazio-pakete gordetzen dituzten erreserbako zatiei zenbakiak esleitzen zaizkie era sistematikoren batean. Ohiko agindu batek esan dezake:

«6809 lekuan gordetako zenbakia 4302an dagoenari batu eta jarri emaitza erreserbako azken lekuan».

Ez dago esan beharrik ez lukeela zertan ingelesez adierazia egon makinan. 6809430217 moduko forma batean kodifikatua egon liteke. Hor 17k adierazten du bi zenbakien artean egin daitezkeen hainbat eragiketaren artean zein egingo den. Kasu honetan, eragiketa goian deskribatutakoa da; hau da, «Batu... zenbakia...». Aipatzekoa da aginduak hamar digitu dituela eta, horrela, informazio-pakete bat osatzen duela modu egokian. Aginduak betetzeko garaian, gordeta dauden lekuen ordenaren arabera hartuko ditu kontrolak, baina noizean behin azalduko zaizkio

«Orain 5606 lekuan gordeta dagoen agindua bete, eta jarraitu handik»

gisakoak, edota honelakoak:

«Baldin 4505 lekuan 0 bat bada, bete ezazu ondoren 6707 lekuan gordetako agindua, bestela jarraitu zuzen-zuzenean».

Azken tipo horretako aginduak oso garrantzitsuak dira, posible egiten baitute eragiketa-segida bat behin eta berriro errepikatzea baldintzaren bat asetzen den arte, baina ez agindu berria obedituz errepikapen bakoitzeko, baizik eta behin eta berriro agindu bera obedituz. Har dezagun etxeko analogia bat. Demagun amak nahi duela Tommy eskola-bidean goizero zapataria-

renetik pasatzea, bere zapatak konponduta dauden ikusteko. Goizero gogoraz diezaioke. Bestela, oharra itsats dezake atondoan behin betirako, zeina eskolarako irteten denean ikusiko duen, eta non esango zaion zapatei buruz galdetzeko eta, baita ere, oharra apurtzeko zapatak berekin dauzkala etxeratzten bada.

Irakurleak onartu behar du egia dela konputagailu digitalak eraiki daitezkeela, eta, hain zuzen ere, eraiki direla, deskribatutako printzipioen arabera, eta giza konputagailu baten ekintzak oso hertsiki imita ditzaketela benetan.

Deskribatu dugun erregelen liburua, giza konputagailuak erabiltzen duen modukoa, fikzio komenigarria da, noski. Egungo giza konputagailuek benetan gogoratzen dute egin behar dutena. Norbaitek nahi badu eragiketa konplexuren batean giza konputagailuaren jokaera makina batek imita dezan, galdetu egin beharko dio nola egin duen, eta, ondoren, erantzuna itzuli agindu-taula baten erara. Agindu-taulen eraikuntza «programazioa» gisa deskribatu ohi da. «A eragiketa egiteko makina bat programatzeak» esan nahi du makinari agindu-taula egokia eskaintzea A egin dezan.

Konputagailu digital baten ideiarekin aldaera interesgarri bat «elementu aleatorioa duen konputagailu digitala» da. Dado baten jaurtiketaren moduko aginduak dituzte, edo prozedura elektronikoko baliokideak. Agindu horietako bat izan liteke, adibidez, «Jaurti dadoa eta jarri lortutako zenbakia 1000 kokalekuan». Batzuetan makina hauek gogo-askatasuna izango balute bezala deskribatzen dira (nik ez nuke horrelako esaldirik erabiliko, halere). Makina bat behatuz ez da posible izaten, normalean, elementu aleatoriorik baduen antzematea, ondorio bera lor daitekeelako, esaterako, n zenbakiaren hamartarren dimituen menpe hautapenak egingo lituzkeen prozeduraren moduko bitartez.

Gaur egun diren konputagailu digital gehienek erreserba finitua dute soilik. Ez da zailtasun teorikorik erreserba mugagabea duen konputagailuaren ideian. Noski, zati finitu bat bakarrik erabili ahal izango da une bakoitzeko. Era berean, kopuru finitu bat eraiki ahal izan da soilik, baina imajina dezakegu gehiago eta gehiago gehitzen zaiola behar izanez gero. Horrelako konputagailuek interes teoriko berezia dute, eta ahalmen infinituko konputagailuak esango diegu.

Konputagailu digital baten ideia zaharra da. Charles Babbagek, 1828-1839 bitartean Cambridgeko Lucasian Professor of Mathematics izan zenak, proiektatu zuen horrelako makina bat, Asmakizun Analitikoa zeritzona, baina ez zen inoiz eraiki. Nahiz eta Babbagek oinarritzko ideia guztiak izan, haren makina ez zen garai hartan oso proiektu erakargarria. Lortu ahal izango zuen abiadura giza konputagailu batena baino handiagoa izango zatekeen zalantzarik gabe, baina Manchesterreko makina baino 100 aldiz motelagoa; egungo makinaren arteko motelenetakoa huraxe. Erreserba erabat mekanikoa beharko zuen, gurpilak eta tarjetak erabiliz.

Babbageren Asmakizun Analitikoa osorik mekanikoa izateak sineskeria batetik aldentzen lagunduko digu. Egungo konputagailu digitalak elektrikoak izateari garrantzia ematen zaio askotan, nerbio-sistema ere elektriko delako. Babbageren makina ez zenez elektriko, eta konputagailu digital guztiak baliokideak direnez zentzu batean, ikusten dugu elektrizitatearen erabilerak ezin duela garrantzi teorikorik izan. Seinaleen arintasuna beharrezkoa denean, elektrizitatea erabiltzen da, noski, eta, horregatik, ez gaitu harritzen bi testuinguru hauetan hura aurkitzeak. Nerbio-sisteman fenomeno kimikoak elektrikoak bezain garrantzizkoak dira gutxienez. Konputagailu batzuetan erreserba-sistema akustikoa da nagusiki. Ondorioz, badirudi elektrizitatea erabiltzearen ezaugarria oso azaleko antzekotasuna dela. Antzekotasunak aurkitu nahi baditugu, hobere gendake funtzio-antzekotasun matematikoak bilatu.

5. Konputagailu digitalen unibertsaltasuna

Goiko atalean kontsideratutako konputagailu digitalak «egoera diskretuko makinak» artean sailka daitezke. Egoera zehatz batetik beste batera klik eginez edo bat-bateko jauzien bidez mugitzen diren makinak dira. Egoera horiek nahikoa ezberdinak dira beraien arteko nahasketaren posibilitatea baztertzeko. Zorrozkiz hitz eginez, ez da horrelako makinarik. Benetan guztia mugitzen ari da etengabe. Baina badira makina mota asko egoera diskretuko makinatzat jo ditzakegunak, gure onurarako. Argiztapen-sistema baterako etengailuak kontsideratuz, adibidez, fikzio komenigarria da etengailu bakoitzak erabat konektatuta ala erabat deskonektatuta egon behar duela. Izan daitezke bitarteko egoerak, baina helburu gehienetarako ahazt ditzakegu. Egoera diskretuko makina baten adibide gisa kontsidera dezakegu segundo bakoitzeko 120° mugitzen den gurpila, baina kanpotik maneia daitekeen palanka batez gera daitekeena; gainera, bonbilla bat pizten da gurpilaren posizio jakin batean. Makina hori abstraktuki defini daiteke ondoren adierazten den moduan. Makinaren barne-egoera (gurpilaren posizioaren bitartez deskribatzen da) q_1, q_2 edo q_3 izan daiteke. Bada i_0 edo i_1 sarrera-seinale bat (palankaren posizioa). Azken egoerak eta sarrera-seinaleak determinatzen dute une oroko barne-egoera taula honen arabera:

		Azken egoera		
		q_1	q_2	q_3
Sarrera	i_0	q_2	q_3	q_1
	i_1	q_1	q_2	q_3

Irteera-seinaleak, kanpotik ikusgai den barne-egoeraren adierazle bakarra (argia), taula honek deskribatzen ditu:

$$\begin{array}{l} \text{Egoera} \quad q_1 \quad q_2 \quad q_3 \\ \text{Irteera} \quad o_0 \quad o_0 \quad o_1 \end{array}$$

Ohiko egoera diskretuko makinaren adibidea da. Horrelako taulen bidez deskriba daitezke baldin eta egoera posibleen kopuru finitua badute.

Pentsa liteke makinaren hasierako egoera eta sarrera-seinalea emanik etorkizuneko egoera guztiak iragartzea posible izango dela beti. Horrek Laplaceren ikuspegia gogorarazten du: denbora jakin batean unibertsoaren egoera osoa emanik, partikula guztien abiadurak eta posizioak deskribatu bezala, posible izan beharko luke etorkizuneko egoera guztiak iragartzea. Hala ere, aintzakotzat hartzen ari garen iragarpena praktikotasunetik gertuago da Laplacek aintzat hartzen duena baino. «Unibertsoa osotasun gisa» sistema halakoa da, non hasierako baldintzetan eginiko okerrik txikiak ere sekulako eragina izan dezakeen ondorengo denboraren batean. Une batean elektroi bakar baten zentimetroaren bilioirenaren desplazamendua izan daiteke urtebete beranduago elur-jauzi batek gizon bat hiltzearen edo gizonak ihes egitearen arteko ezberdintasuna. Fenomeno hori ez gertatzea da «egoera diskretuko makinak» deritzegun sistema mekanikoen oinarritzko ezaugarri bat. Makina idealizatuen ordez egungo makina fisikoak kontsideratzen baditugu ere, egoeraren une bateko ezagutza nahiko zehatzak ezagutza nahiko zehatza emango du ezain urrats kopuru beranduago.

Aipatu dugun bezala, konputagailu digitalak egoera diskretuko makinaren klasean sartzen dira. Baina makina hauek har dezaketen egoeren kopurua izugarri handia izan ohi da. Esaterako, Manchesterren orain martxan den makinarentzako kopurua $2^{165.000}$ ingurukoa da; hau da, $10^{50.000}$ ingurukoa. Alderatu goian deskribatutako gurpil-makinaren adibidearekin, zeinak hiru egoera zituen. Ez da zaila ikustea zergatik izan behar duen egoeren kopuruak hain neurrigabea. Konputagailuak erreserba bat du bere baitan, giza konputagailu batek erabiliko lukeen paperari dagokiona. Posible izan behar du paperean idatzita dagokeen edozein sinbolo-konbinazio erreserban idazteak. Demagun erraztasunagatik 0tik 9rako digituak soilik erabiltzen direla sinbolo gisa. Idazkera-aldaerak bazter uzten dira. Demagun konputagailuak 100 paperezko orri dituela erabilgarri, bakoitzak 50 lerro ditu, eta lerro bakoitzak 30 digiturentzako lekua du. Orduan, egoeren kopurua $10^{100 \times 50 \times 30}$ litzateke; hau da, $10^{150.000}$. Egoeren kopuru hori Manchesterreko hiru makina elkarrekin jartzea bezalakoa litzateke gutxi gorabehera. Egoeren kopuruaren bi oinarriko logaritmoari makinaren «erreserba-ahalmena» deritzo. Horrela, Manchesterreko makinak 165.000 inguruko erreserba-ahalmena du eta gure gurpil-makinak 1.6 ingurukoa. Bi makina elkartzen baditugu, gehitu egin beharko ditugu horien ahalmenak, sortutako makinaren ahalmena lortzeko. Horrek adierazpen honen modukoak egiteko posibilitatea irekitzen digu:

«Manchesterreko makinak 64 pista magnetiko ditu, bakoitza 2.560ko ahalmenarekin, eta 1.280ko ahalmena duten zortzi hodi elektroniko. Bestetariko erreserba-ahalmena 300 ingurukoa da, eta guztira 174.380».

Egoera diskretuko makina bati dagokion taula emanik, posible da makinak zer egingo duen aurreikustea. Ez da arrazoirik esateko kalkulu hori ez litzatekeela egin behar konputagailu digital baten bitartez. Nahikoa azkar egin badezake, konputagailu digitalak egoera diskretuko edozein makinaren jokatibidea imita dezake. Orduan, imitazio-jokoa martxan jar liteke makina honekin (B gisa) eta konputagailu digital imitatzailarekin (A gisa) eta galdetzailak ezin izango lituzke bereizi. Konputagailu digitalak erreserba-ahalmen egokia izan beharko luke, bai eta nahikoa azkar jardun, noski. Gainera, berriro programatu behar izango dugu imitatu nahi den makina berri bakoitzeko.

Konputagailu digitalen ezaugarri berezi hau, edozein egoera diskretuko makina imitatzeko ahalmena, makina *unibertsalak* direla esanez deskribatzen da. Ezaugarri hau duten makinaren existentziak, abiadura-etzabaidak utzita, ondorio garrantzitsua du; alegia, ez dela beharrezkoa konputazio-prozesu ezberdinak egiteko makina berri ezberdinak diseinatzea. Guztiak egin daitezke konputagailu digital bakarrarekin, kasu bakoitzerako egokiro programatuz. Ikusiko da konputagailu digital guztiak, horren ondorioz, zentzuren batean baliokideak direla.

Orain kontsidera dezakegu berriro 3. atalean aipatutako gaia. Behin-behineko iradoki dugu «Ba al da imajina daitekeen konputagailu digitalik imitazio-jokoan ongi egingo lukeenik?» galdera «Pentsa al dezakete makinek?» galderaren lekuan jar zitekeela. Baina unibertsaltasunaren arabera, ikusten dugu galdera horiek beste honen baliokideak direla: «Arreta jar dezagun C konputagailu digital zehatz batean. Konputagailu hori erreserba egokia izan dezan eraldatuz, bere ekintzen abiadura egokiro handituz eta programa proposaz hornituz, egia al da Ck imitazio-jokoan Aren lekua modu onargarrian jokatzea lor daitekeela, Bren lekua gizon batek harturik?».

6. Galdera nagusiaren aurkako ikuspegiak

Kontsidera dezakegu orain oinarrikoena argitu dela eta prest gaudela gure galderaren, «Pentsa al dezakete makinek?», eta azkeneko atalaren bukaeran aipatutako aldaeraren etzabaidari ekiteko. Ezin dugu erabat baztertu arazoaren jatorrizko forma, aldaeraren egokitasunari buruzko iritzi ezberdinak izan daitezkeelako, eta, gutxienez, entzun egin beharko dugu horri buruz esan behar dena.

Irakurleari gauzak erraztuko dizkiot lehenengo eta behin arazoari buruzko nire usteak azaltzen baditut. Kontsidera dezagun lehenik arazoaren

formarik zehatzena. Uste dut berrogeita hamar urte barru posible izango dela konputagailuak programatzea, 10^9 inguruko erreserba-ahalmenarekin, imitazio-jokoan hain ongi jarduteko, non galdetzaile arrunt batek bost minutuko galdeketaren ondoren identifikazio zuzena egiteko aukera ehuneko 70 baino gehiago ez den izango. Uste dut jatorrizko «Pentsa al dezakete makinak?» galdera zentzugabeegia dela eztabaida merezi ahal izateko. Haatik, uste dut, mendearen bukaera aldean, hitzen erabilera eta iritzi publiko ongi hezia hainbeste aldatuko direla, non makinaren pentsamenduari buruz hitz egin ahal izango den eztabaidatua izatea espero gabe. Gainera, uste dut uste hauek ezkutazeak ez diola inongo helbururi mesederik egiten. Zientzialariek, frogatu gabeko aieruen eraginik gabe, ongi oinarritutako gertaeretatik ongi oinarritutako gertaeretara ezinbestean dihardutelako ikuspegi hedatua guztiz okerra da. Argi uzten bada zein diren gertaera frogatuak eta zein aieruak, ez da kalterik sortuko. Aieruak garrantzi handikoak dira, ikerkuntza-le-ro erabilgarriak iradokitzen dituztelako.

Orain nirearen aurkako iritziak aztertzeari ekingo diot.

(1) *Objekzio teologikoa*. Pentsamendua gizonaren arima hilezkorren einkizuna da. Jainkoak gizon eta emakume bakoitzari arima hilezkor bat eman dio, baina ez beste edozein abere edo makinari. Ondorioz, ez da abere-rik ez makinarik pentsa dezakeenik.²

Ez naiz gauza horren zati bat ere onartzeko, baina saiatuko naiz termino teologikoetan erantzuten. Argudioa sinesgarriagozat nuke baldin animaliak gizonekin sailkatuko balira, ezberdintasun handiagoa dagoelako, nire ustean, ohiko bizidun eta bizigabeen artean gizonaren eta beste abereen artean baino. Iritzi ortodoxoaren bidegabeko izaera nabarmenagoa bihurtzen da kontsideratzen badugu zer irudituko litzaiokeen beste komunitate erlijioso bateko kide bati. Zer irizten diote kristauek emakumeek arimarik ez dutelako musulmanen ikuspegiari? Baina utz dezagun puntu hau alde batera eta itzul gaitezen argudio nagusira. Iruditzen zait goian aipatutako argudioak Ahalguztidunaren guztiahaltasunaren murrizketa larria inplikatzeko duela. Ontzat jotzen da badirela zenbait gauza Berak egin ezin ditzakeenak, bat berdin bi egitea bezalakoak, baina ez al dugu uste behar Berak baduela askatasuna elefante bati arima emateko Berak egoki baderitzo? Espero genezake Berak ahalmen hau erabiliko lukeela bakarrik mutazio batekin batera, zeinak arima horren beharrez arduratuko litzatekeen garun egokia eskaini zion elefanteari. Argudio formalki guztiz berdintsua eman daiteke makinaren kasurako. Ezberdina irudi dezake, «irenstea» zailagoa delako. Baina, egiatan,

² Agian ikuspegi hau heretikoa da. San Tomas Akinokoak (*Summa Theologicat*ik Bertrand Russellek aipatua, 408. or.) adierazten du Jainkoak ezin duela arimarik gabeko gizonik sortu. Baina hori ez da Bere ahalmenen benetako muga bat, gizonen arima hilezkorra eta, ondorioz, suntsiezina izatearen ondorioa baizik.

horrek soilik esan nahi du pentsatzen dugula arima eskaintzeko Berak egokitzen joko lituzkeen zirkunstantziak gertatzea zailagoa dela. Aipatu zirkunstantziak artikularen gainerakoan eztabaidatuko dira. Horrelako makinak eraikitze ahaleaginean ez diogu arimak sortzeko Bere ahalmena lotsagabeki usurpatzen, umeak sortzean egiten ez dugun moduan: aitzitik, edozein kasutan, Berak sortzen dituen arimek jauretzeak eskaintzeko Bere borondatearen tresnak gara.

Haatik, espekulazio hutsa da hau. Argudio teologikoek ez naute asko hunkitzen, zernahiren alde erabil badaitezke ere. Argudio horiek okerrak izan dira maiz iraganean. Galileoren garaian argudiatzen zen «Eta eguzkia gelditu egin zen... eta ez zen sartalderatu ia egun oso batez» (Josue x.13) eta «Berak sortu zituen Lurraren oinarriak inoiz mugitu ez zedin» (cv.5 Salmoa) testuak teoria kopernikarraren errefutazio egokia zirela. Egun dugun ezagutzarekin argudio horrek hutsala dirudi. Ezagutza hori eskuragarri ez zenean oso bestelako inpresioa sortzen zuen.

(2) «*Buruak indarrean*» *objekzioa*. «Makinek pentsatzearen ondorioak ikaragarriak liriteke. Espero eta uste dezagun ezin dutela horrelakorik egin».

Argudio hau oso gutxitan adierazten da goian bezain modu agerian. Baina honi buruz pentsatzen dugun gehienok hunkitzen gaitu. Nahi dugu uste izatea Gizona sorkuntzako gainerakoak baino nagusiagoa dela, modu sotilen batean. Hobe *ezinbestez* nagusia dela froga badaiteke, orduan ez lego-keelako bere agintari-maila galtzeko arriskurik. Argudio teologikoaren ospea sentimendu horrekin loturik da argi eta garbi. Litekeena da intelektuaren artean indartsuagoa izatea, pentsamenduaren ahalmena besteek baino gehiago baloratzen dutelako eta joera dutelako Gizonaren nagusigoari buruzko ustea ahalmen horretan oinarritzeko.

Ez dut uste argudio honek nahikoa funtsik duenik errefutazioa merezi ahal izateko. Kontsolamendua izango litzateke egokiagoa: arimen transmisioan bilatu beharko genuke agian.

(3) *Objekzio matematikoa*. Logika matematikoaren zenbait emaitza badira erabil daitezkeenak frogatzeko badirela mugak egoera diskretuko makinaren ahalmenentzat. Emaitza horien artean ezagunenari Gödalen teorema deritzo,³ eta frogatzen du, edozein sistema logiko nahikoa ahaltuan, formula daitezkeela sisteman ez frogagarri ez eta frogaezin diren baiezenak, sistema bera inkonsistentea den kasuan izan ezik agian. Badira beste emaitza batzuk, antzekoak ezaugarri batzuetan, *Church*, *Kleene*, *Rosser* eta *Turingi* esker. Azkenak da kontuan izateko egokiak, zuzenean makinak aipatzen dituelako; besteak, aldiz, zeharkako argudioetan erabil daitezke soilik: Gödalen teorema erabiltzen badugu, adibidez, sistema logikoak makinaren terminoetan eta ma-

³ Letra etzanez dauden egileen izenak bibliografian aipatzen dira.

kinak sistema logikoen terminoetan deskribatzeko tresnak ere beharko ditugu. Aipatu emaitza makina mota bati buruzkoa da, zeina funtsean ahalmen infinitua duen konputagailu digital bat den. Frogatzen du badirela horrelako makina batek egin ezin dituen zenbait gauza. Imitazio-jokoaren moduan galderak erantzun ditzan eraikitzen bada, galdera batzuk izango dira oker erantzungo dituenak edo ez dituenak batere erantzungo, erantzuteko denbora soberan uzten badiogu ere. Noski, horrelako galdera asko egon daitezke, eta baliteke makina batek zuzen erantzun ezin dituen galderak beste batek egokiro erantzun ahal izatea. Oraingoz emantzat jotzen ari gara, noski, galderak «Bai» edo «Ez» erantzuna egokitzen har dezaketen motakoak direla, eta ez «Zer pentsatzen duzu Picassori buruz?» gisako galderak. Makinak erantzun ezin izango dituela badakigun galderak mota honetakoak dira: «Kontuan hartu honela definitutako makina... “Bai” erantzungo al dio inoiz galderaren bati?». Etenpuntuak forma estandarrean emandako makinaren baten deskripzioa, 5. atalean erabili dugunaren antzekoa izan daitekeena, ordezkatzeko daude. Deskribatutako makinak galdekaturako denarekiko erlazio simple samarra duenean, froga daiteke erantzun okerra emango duela edo ez duela erantzunik emango. Hau da emaitza matematikoa: argudiatzen da makinaren ezintasun bat frogatzen duela, giza adimena mugatzen ez duena.

Argudio honentzako erantzun laburra da, frogatua bada ere edozein makina partikularren ahalmenentzat badirela mugak, adierazi dela bakarrik, inongo froga klaserik gabe, giza adimenari ez zaizkiola muga horiek aplikatzen. Baina ez dut uste ikuspegi hau hain arinki bazter daitekeenik. Hauek makina bati galdera kritiko egokia egiten diogunean eta erantzun zehatza ematen duenean, badakigu erantzun horrek okerra izan behar duela, eta horrek nolabaiteko nagusitasun-sentipena ematen digu. Irudimenezkoa al da sentipen hori? Erabat benetakoa da, zalantzarik gabe, baina ez dut uste garrantzi handiegirik eman behar diogunik. Guk ere askotan erantzun okerrak ematen ditugunez, gure poza ez da justifikatzen makinaren hutseginkortasunaren ebidentziaren aurrean. Gainera, gure nagusigoa une batean garaitu dugun makina batekiko soilik senti dezakegu. Ez litzateke auzirik izango makina *guztiak* aldi berean garaitzeari buruz. Laburtuz, beraz, egon daiteke edozein makina zehatz baino argiagoa den gizonik, baina orduan ere egon daiteke makina argiagorik, eta abar.

Argudio matematikoarekin bat datozenek, nire ustez, onartuko lukete imitazio-jokoa eztabaidarako oinarritzat hartzea. Aurreko bi objektioekin bat datozenek ziur asko ez lukete interesik izango inongo irizpidetan.

(4) *Kontzientziaren argudioa*. Argudio hau oso ongi adierazita dago Jefferson irakaslearen 1949ko *Lister Orationen*, eta handik aipatzen dut: «Makina batek soneto bat idatzi edo kontzertu bat konposatu ahal izan arte, bere pentsamenduei eta sentitutako emozioei esker, eta ez sinboloen kateatze ustekabekoaren bidez, ezin izango dugu adostu makinak garuna berdintzen duenik

—hau da, ez du idatzi bakarrik egiten, baizik eta badaki idatzi duela—. Ez da mekanismorik bere arrakastan plazera senti dezakeenik (eta ez soilik artifizialki seinalatu; amarru erraza), nahigabea bere balbulak urtzen direnean, poza laudorioengatik, miserablea dela bere okerrengatik, lilura sexuagatik, haserrea edo depresioa nahi duena lortzerik ez duenean».

Argudio honek gure testaren baliozkotasunaren ukazioa dirudi. Ikuspegi honen formarik gogorrenaren arabera, makina batek pentsatzen duela ziur egoteko modu bakarra da makina bera *izatea* eta norbera pentsatzen sentitzea. Batek, orduan, deskriba liezazkioke sentipen horiek munduari, baina, noski, inor ez litzateke ohartzeko justifikatuta egongo. Modu berean eta ikuspegi honekin bat, *gizon* batek pentsatzen duela jakiteko modu bakarra gizon partikular hori izatea da. Ikuspegi solipsista da benetan. Ikuspegirik logikoena izan daiteke, baina oso zaila bihurtzen du ideien komunikazioa. A bultzatua da uste izatera «Ak pentsatzen du, baina Bk ez»; Bk, berriz, uste du «Bk pentsatzen du, baina Ak ez». Horri buruz etengabe argudiatzen aritu ordez, ohikoa da guztiok pentsatzen dugulako akordio adeitsua onartzea.

Ziur naiz Jefferson irakasleak ez duela hartu hain muturreko ikuspegi solipsista. Ziurrenik guztiz prest egongo litzateke imitazio-jokoa test modura onartzeko. Jokoa (B jokalaririk gabe) sarritan erabiltzen da praktikan *viva voce* izenpean, norbaitek zerbait benetan ulertzen duen ala «papagai moduan ikasi duen» erabakitzeko. Entzun dezagun halako *viva voce* baten zati bat:

Galdetzailea: Zure sonetoaren lehenengo lerroan, «Konparatuko zaitut udako egun batekin» dioenean, ez al litzateke berdin edo hobe izango «Udaberriko eguna» balitz?

Lekukoa: Ez litzateke neurrikoa izango.

Galdetzailea: Eta «neguko egun bat». Neurri egokia du horrek.

Lekukoa: Bai, baina inork ez du nahi neguko egun batekin konparatzea.

Galdetzailea: Esango al zenuke Mr. Pickwickek eguberria gogorarazten dizula?

Lekukoa: Neurri batean.

Galdetzailea: Eguberria neguko egun bat da, eta ez dut uste Mr. Pickwicki arazorik sortuko liokeenik konparazioak.

Lekukoa: Ez dut uste seriocki ari zarenik. Neguko egun batez neguko egun tipikoa adierazi nahi da, ez eguberria gisako hain egun berezia.

Eta abar. Zer esango luke Jefferson irakasleak soneto-idazlea den makina gai balitz horrelako erantzunak *viva voce* emateko? Ez dakit hark erantzun hauek «artifizialki soilik seinalatu» dituen gisa hartuko lukeen makina, baina, erantzunak goiko pasarteetan bezain onargarriak eta egokiak

balira, ez dut uste «amarru xingle» gisa deskribatuko lukeenik. Esaldi horrek, nire ustez, seinlatu nahi ditu gisa honetako gailuak: makinaren barnean soneto bat irakurtzen duen norbaiten grabazioa, etengailu egokia duena noiz-behinka pizteko.

Laburtuz, orduan, kontzientziaren argudioa sostengatzen duten gehienak konbentzi litezke ikuspegia bertan behera uzteko, jarrera solipsistan erortzera behartu baino lehen. Ziur asko, orduan, gure testa onartzeko prest leudeke.

Ez nuke kontzientziari buruzko misteriorik ez dela pentsatzen dudan irudia eman nahi. Bada, adibidez, hura kokatzeko edozein saiorekin loturiko paradoxazko zerbait. Baina ez dut uste misterio hauek nahitaez aurrez argitu behar direnik, artikulua honetan kezkatzen gaituen galdera erantzun ahal izateko.

(5) *Hainbat ezintasunetan oinarritutako argudioak*. Argudioek forma hau hartzen dute: «Onartzen dizut aipatutako gauza guztiak egingo lituzketen makinak egin ditzakezula, baina inoiz ez zara gai izango X egingo duen bat eraikitzeke». X ezaugarri anitz iradokitzen dira zentzu honetan. Aukeraketa bat eskaintzen dut:

Adiskidetsua izan, asmamen handikoa, ederra, lagunkoia (17. or.), inizatiba izan, umore-sena izan, gaizki denaz ongi dela esan, huts egin (17. or.), maitemindu, marrubiez eta esnegainaz gozatu (17. or.), norbait maitemintzea lortu, esperientzietatik ikasi (24. or.), hitzak egokiro erabili, norberaren pentsamenduen subjektua izan (18. or.), gizonak bezain jokatibide ezberdinak izan, benetan berria den zerbait egin (19. or.). (Ezintasun horietako batzuei aipamen berezia egingo zaie orrialdearen zenbakiak seinlatu lekuan).

Ez ohi da adierazpen horietarako sostengurik eskaintzen. Uste dut zientzia-indukzioaren printzipioan oinarritzen direla gehienbat: gizonak milaka makina ikusi ditu bere bizitzan. Horietan ikusitakotik ondorio orokor zenbait ateratzen ditu. Itsusiak dira; bakoitza zeregin oso mugatu baterako diseinatua da; helburu desberdin bat eskatzen zaienean zehatz-mehatz, alferrikakoak dira; makina horietako bakoitzaren jokaeren aukera oso txikia da, etab., etab. Ondorioztatzen du, beraz, makinaren nahitaezko ezaugarriak direla. Muga hauetako asko makina gehien erreserba-ahalmen oso txikiarekin loturik daude. (Emantzat jotzen ari naiz erreserba-ahalmenaren ideia zabaltzen dela, moduren batean edo bestean, egoera diskretuko makinaz gain beste batzuk bildu ahal izateraino. Definizio zehatzak ez du garrantzirik, eztabaida honetan xehetasun matematikorik eskatzen ez den moduan). Urte gutxi direla, konputagailu digitalei buruz ezer gutxi aipatzen zenean, haiei buruzko sinesgogortasun asko sor zitekeen, norbaitek haien ezaugarriak aipatuz gero, eraikuntza-modua deskribatu gabe. Horrela zen, antza denez, zientzia-indukzioaren printzipioaren aplikazio berdintsu baten ondorioz. Printzi-

pioaren aplikazio hauek inkontzienteak dira neurri handian, noski. Erre egin den haur batek suari beldurra dionean eta erakusten duenean beldur diola hura saihestuz, zientzia-indukzioa aplikatzen ari dela esango nuke. (Deskriba nezake haren jokaera beste modu askotan ere, jakina). Gizadiaren lanek eta ohiturek ez dirudite gai oso egokiak zientzia-indukzioa aplikatzeko. Espazio-denbora tarte oso zabala ikertu beharko litzateke baldin emaitza fidagarriak lortuko badira. Bestela, erabaki dezakegu (haur ingeles gehienek egiten duten moduan) mundu guztiak ingelesez hitz egiten duela eta inozoa dela frantsesa ikastea.

Badira, hala ere, aipatu diren ezintasun askori buruz egin beharreko ohar bereziak. Marrubiez eta esnegainaz gozatzeko ezintasuna arinkeria irudi dakiok irakurleari. Plater goxo horretaz gozatzeko makina bat eraiki zitekeen, baina hori egingo lukeen bat eraikitzeke edozein ahalegin ergelkeria litzateke. Ezintasun honi buruz garrantzitsua da beste ezintasun batzuei laguntzen diela; adib., gizonaren eta makinaren arteko adiskidetasun mota bera gizon zurien eta gizon zurien artean edo gizon beltzen eta gizon beltzen artean izatearen zailtasuna.

«Makinek ezin dute okerrik egin» adierazpenak bitxia dirudi. Bat tentatua dago erantzutera, «Okerragoak al dira horregatik?». Baina har dezagun jarrera ulerkorragoa eta saia gaitezen benetan zer esan nahi duen argitzen. Pentsatzen dut kritika azal daitekeela imitazio-jokoaren terminoetan. Esaten da galdetzaileak bereiz ditzakeela makina eta gizona aritmetikako problema zenbaiten aurkezpen soilarekin. Makina mozorrorik gabe geratuko litzateke bere izugarriko zehaztasunagatik. Erantzuna sinplea da. Makina (jokoan aritzeko programatua) saia daiteke problema aritmetikoei erantzun *zuzena* ez ematen. Nahita egin ditzake okerrak, modu kalkulatuan, galdetzailea nahasteko. Matxura mekaniko bat ziurrenik azalduko litzateke erabaki desegoki baten bidez; esaterako, aritmetikan zein oker klase egin behar den. Kritikaren interpretazio hau ere ez da oso ulergarria. Baina ezin diogu lekua eskaini gehiago sakontzeko. Niri iruditzen zait bi oker motaren arteko nahasketan oinarritzen dela kritika. «Funtzionamendu-okerrak» eta «ondorio-okerrak» esan diezaiekegu. Funtzionamendu-okerrak huts mekaniko edo elektrikoko baten ondorio dira, makina diseinatu zenarekiko beste modu batean portarazten dutenak. Eztabaida filosofikoetan oker horien aukera baztertu nahi izaten da; bada, «makina abstraktuak» eztabaidatzen dira. Makina abstraktuak fikzio matematikoak dira, ez objektu fisikoak. Definizioz, ezgauza dira funtzionamendu okerrak izateko. Zentzu horretan, benetan esan dezakegu: «makinek ezin dute inoiz okerrik egin». Ondorio okerrak sor daitezke soilik makinaren irteera-seinaleari esanahia eransten zaionean. Makinak ekuaizio matematikoak edo ingeleseko perpausak mekanografia litzazke, adibidez. Proposizio faltsu bat idazten duenean, makinak ondorio oker bat egin duela diogu. Argi dago ez dela inongo arrazoirik esateko makina batek ezin duela mota honetako okerrik egin. Egin lezake soilik « $0 = 1$ » idatzi behin eta berriz.

Adibide ez hain gaiztoa erabiliz, zientzia-indukzioaren bitartez ondorioak ateratzeko metodoren bat izan lezake. Espero behar dugu horrelako metodo batek noizean behin emaitza okerretara eramatea.

Makina bat bere pentsamenduaren edukia ezin izan daitekeelako adierazpena erantzun daiteke soilik baldin froga badaiteke makinak edukiren *bat* duen pentsamenduren *bat* duela. Haatik, badirudi «makinaren eragiketen edukiak» zerbait esan nahi duela, honetaz aritzen den jendearentzat gutxienez. Adibidez, makina $x^2 - 40x - 11 = 0$ ekuazioaren ebazpena aurkitzen arituko balitz, tentatuak egon gaitzke ekuazioa momentu horretan makinak duen eduki gisa deskribatzera. Zentzu mota honetan, dudarik gabe makina bat bere buruaren edukia izan daiteke. Erabil daiteke bere programen eraikuntzan laguntzeko, edo bere egituraren aldaketen eragina iragartzeko. Bere jokaeraren emaitzak behatuz bere programak alda ditzake, helbururen bat modu eraginkorragoz lortzeko. Horiek etorkizun hurbileko posibilitateak dira, ez amets utopikoak.

Makina batek jokamolde-aniztasun handirik ezin duela izan dioen kritika, erreserba-ahalmen handirik ezin duela izan esateko modu bat besterik ez da. Orain dela gutxi arte mila digituko erreserba-ahalmena oso arraroa zen.

Hemen aztertzen ari garen kritikak kontzientziaren argudioaren forma mozorrotuak dira askotan. Normalean, norbaitek defendatzen badu makina batek horietako gauzaren bat egin *dezakeela*, eta deskribatzen badu makinak erabiliko lukeen metodo klasea, ez du oihartzun handirik lortuko. Pentsatzen da metodoa (edozein delarik, mekanikoa izan behar baitu) benetan oso arrunta dela. Alderatu parentesia 15. orrialdean aipatutako Jeffersonen pasartearekin.

(6) *Lady Lovelaceren objekzioa*. Babbageren Makina Analitikoaren informaziozirik zehatzena *Lady Lovelaceren* txosten batetik datorkigu. Hauxe ematen du aditzera: «Makina Analitikoak ez du asmorik ezer *sortzeko*. Egiteko *agindua nola eman badakigun edozer* egin dezake» (letra etzana berea). Adierazpen hori *Hartree* (70. or.) aipatzen du, eta gehitzen du: «Honek ez du inplikitzen ez denik posible “bere kabuz pentsatuko” duen tresneria elektronikoa eraikitzea, edo non, termino biologikoetan, ezar lezakeen batek “ikastearen” oinarritzat balioko lukeen erreflexu baldintzatu bat. Printzipioz hori posible den ala ez auzi bizigarri eta ziragarria da, garapen berri horietako zenbaitek piztua. Baina ez zirudien orduan eraikitako edo proiektatutako makinek ezaugarri hau zutenik».

Horretan bat nator erabat *Hartree*ekin. Nabarmenduko da ez duela baieztan delako makinek ez zutenik ezaugarria, baizik eta *Lady Lovelace* ek eskuragarri zuen ebidentziak ez ziola gogorik pizten bazutenik uste izateko. Litekeena da oso delako makinek ezaugarri hau edukitzea zentzu batean. De-

magun egoera diskretuko makina batek ezaugarria duela. Makina Analitikoa konputagailu digital unibertsala zen, eta, beraz, haren erreserba-ahalmena eta abiadura moduzkoak balira, programazio egokiaz imitaraziko litzaioke delako makina. Ziur asko argudio hau ez zitzaien bururatu ez Kontesari ez eta Babbageri. Edozein kasutan, ez zuten esan zitekeen guztia esateko bete-beharrik.

Arazo honi guztiari berriro ekingo diogu ikasten duten makinaren izenburupean.

Lady Lovelaceren ezadostasunaren aldaera batek adierazten du makina batek ezin duela «inoiz ezer benetan berririk egin». Horri eraso egin diezaiokegu, momentuz, esaera honekin: «Ez da ezer berririk eguzkipean». Nor egon daiteke ziur egin duen «lan originala» irakaskuntzak beregan landutako haziaren hazkundera ez denik, edo printzipio orokor ezagunen jarraipenaren ondorioa? Ezadostasunaren aldaera hobe batek dio makinak ezin gaituela inoiz «ezustean harrapatu». Baieztapen hori erronka zuzenagoa da, eta zuzenean erantzun daiteke. Makinek oso sarritan harrapatzen naute ezustean. Hori gertatzen da, neurri handian, egingo dutenaz zer espero behar dudan erabakitzeko ez ditudalako nahikoa kalkulu egiten, edo, hobe, kalkulu bat egin arren, lasterka eta arduragabe egiten dudalako, arriskuak hartuz. Agian nire buruari esaten diot: «Pentsatzen dut hemengo tentsioak hangoa bezalakoa izan behar duela: dena dela, demagun horrela dela». Oker nago maiz, jakina, eta emaitza ezustekoa da niretzat, esperimendua eginda zegoenerako ahaztu egin ditudalako suposizioak. Aitorpen horiek nire ohitura ankerrei buruzko erretoliken aurrean uzten naute, baina ez dute nire sinesgarritasuna zalantzan jartzen esperimendatzen ditudan ezustekoen testigantzari dagokionez.

Ez dut espero erantzun honek nire kritika isilaraztea. Ziurrenik esango du ezusteko horiek nire gogoaren sormen-ekintzaren baten emaitza direla, eta ez dutela makinaren meriturik islatzen. Horrek kontzientziaren argudiora garamatza atzera, eta ezustekoaren ideiatik urrutira. Itxiztat jo behar dugun argumentazio-lerroa da, baina agian merezi du azpimarratzea zerbait ezustekotzat jotzeak «gogoaren sormen-ekintza» bera eskatzen duela, ezusteko gertakaria gizon batengandik sortzen denean, edo liburu batetik, edo makina batetik, edo edonondik sortzen delarik.

Makinek ezustekorik sorrarazi ezin dutelako ikuspegia, nik uste, filosofoak eta matematikariak bereziki erortzen diren falazia baten ondorio da. Onartu egiten da gogo baten aurrean gertakari bat aurkezten den bezain laster, aldi berean gertakari horren ondorio guztiak bat-batean azaltzen zaizkiola. Onarpen oso erabilgarria da egoera ezberdinetarako, baina aise ahazten du batek faltsua dela. Hori egitearen berezko ondorio bat da batek onartzen duela, orduan, datuetatik eta printzipio orokorretatik ondorioak ateratze hutsak ez duela meriturik.

(7) *Nerbio-sistemaren jarraitutasunaren argudioa.* Nerbio-sistema ez da, ez horixe, egoera diskretuko makina bat. Neurona batean eragiten duen nerbio-bultzada baten indarrari buruzko informazioko oker txiki batek ezberdintasun handia sorraraz dezake irteerako bultzadaren indarrean. Argudia daiteke, horrela izanik, batek ezin duela espero egoera diskretuko makina baten bidez nerbio-sistemaren jokaera simulatzeko gai izatea.

Egia da egoera diskretuko makina batek makina jarraitu baten ezberdina behar duela izan. Baina imitazio-jokoaren baldintzei atxikitzen bagatzaizkie, galdetzailea ez da gai izango ezberdintasun horretatik abantailarik ateratzeko. Egoera argitu daiteke makina jarraitu sinpleagoren bat aintzat hartzen badugu. Analizatzaile diferentzial bat, adibidez. (Analizatzaile diferentziala kalkulu mota batzuk egiteko erabiltzen den egoera diskretuko klasekoa ez den makina mota bat da). Horietakoren batzuek mekanografiaturik ematen dituzte beraien erantzunak, eta, beraz, egokiak dira jokoan parte hartzeko. Ezinezkoa izan daiteke konputagailu digital batentzat zehazki aurrez esatea analizatzaile diferentzialak arazo bati emango lizkiokeen erantzunak, baina erabat gai izan daiteke erantzun mota zuzena emateko. Adibidez, π -ren balioa (3,1416 ingurukoa) emateko eskatuko balitzaio, zentzuzkoa litzateke ausaz aukeratzea 3,12, 3,13, 3,14, 3,15, 3,16 balioen artean, probabilitateak 0,05, 0,15, 0,55, 0,19, 0,06 izanik (demagun). Zirkunstantzia horietan oso zaila egingo litzaioke galdetzaileari analizatzaile diferentziala eta konputagailu digitala bereiztea.

(8) *Jokabidearen informaltasunaren argudioa.* Ez da posible arauen multzo bat eskaintzea pentsa daitekeen zirkunstantzia multzo bakoitzean gizon batek egingo lukeena deskribatzeko asmoz. Eman liteke araua, adibidez, trafiko-seinale gorria ikustean gelditu egin behar dela, eta aurrera jo berdea ikusten bada, baina, matxura baten ondorioz biak aldi berean agertzen badira, zer? Batek agian erabaki dezake seguruagoa dela geratzea. Baina bestelako zailtasunen bat sor daiteke beranduago erabaki hori dela eta. Gertakizun bakoitza, trafiko-argien inguruan sortzen direnak barne, kontsideratzeko asmoz portaera-arauak eskaintzeko ahaleginak ezinezkoa dirudi. Horrekin guztiarekin bat nator.

Horretan oinarriturik argudiatzen da ezin garela makinak izan. Saiatuko naiz argudioa aurkezten, baina beldur naiz nekez egingo diodala justizia. Dirudenez, horrela garatzen da gutxi gorabehera: «Gizon bakoitzak bere bizitza arautuko luketen portaera-arauen multzo zehatz bat balu, ez litzateke makina bat baino hobea izango. Baina ez da halako erregularik existitzen; beraz, gizonak ezin dira makinak izan». Nabarmena da banaketarik gabeko erdikoa. Ez dut uste argudioa inoiz horrela aurkeztu denik zehazki, baina uste dut hori dela erabilitako argudioa, hala ere. Egon daiteke, haatik, gaia iluntzen duen nahasketarik «portaera-arauen» eta «jokamolde-legeen» artean. «Portaera-arauekin» adierazi nahi ditut «gera zaitez argi gorria ikusten ba-

duzu» gisako aginduak, zeinen arabera joka daitekeen eta zeini buruz kontziente izan daitekeen. «Jokamolde-legeez» adierazi nahi ditut «Ziztutzen bazu garrasi egingo du» gisako gizon baten gorputzari aplikatzen zaizkion naturaren legeak. Aipatutako argudioan, «bere bizitza arautzen duten jokamolde-legeak» idatzi ordez, «portaera-legeak, zeinen arabera arautzen duen bere bizitza» idatziko bagenu, banaketarik gabeko erdikoa ez litzateke jadanik gaindiezina. Uste dugulako ez dela bakarrik egia jokamolde-legeek araututa egoteak makina motaren bat izatea inplikatzeko duela (nahiz eta ez nahitaez egoera diskretuko makina), baita alderantziz ere, horrelako makina bat izateak horrelako legeek arautua egotea inplikatzeko duela. Hala eta guztiz ere, ezin dugu erabateko jokamolde-legeen gabeziak gure burua hain erraz konbentzitu, erabateko portaera-arauen gabeziak bezala. Halako legeak aurkitzeko ezagutzen dugun modu bakarra behaketa zientifikoa da, eta benetan dakigu ez dela zirkunstantziarik non «Behar adina bilatu dugu. Ez da horrelako legerik existitzen» esan genezakeen.

Froga dezakegu sendotasun handiagoz horrelako edozein adierazpen arrazoirik gabekoa litzatekeela. Demagun ziur egon gitezkeela, horrelako legeak existituko balira, aurkituko genituzkeela. Orduan, egoera diskretuko makina bat emanik, dudarik gabe posible izango litzateke haren behaketaren bitartez etorkizuneko bere jokamoldeari buruz nahikoa aurkitzea, eta hori arrazoizko denboran; mila urtean, adibidez. Baina ez dirudi hori denik kasua. Manchesterreko konputagailuan soilik 1.000 erreserba-unitate erabiltzen dituen programa txiki bat ezarri dut, zeinaren bitartez makinak, hamasei digituko zenbaki bat emanez, beste zenbaki bat bi segundotan itzultzen duen. Erronka egingo nioke edonori erantzun horietatik programari buruz nahikoa ikasteko, saiatu gabeko balioetarako edozein erantzun aurrez esateko gai izateraino.

(9) *Zentzumenez kanpoko pertzeptzioaren argudioa.* Emantzat jotzen dut irakurleak zentzumenez kanpoko pertzeptzioaren ideia ezaguna duela, eta lau gai hauen esanahia ezagutzen duela: telepatia, iragarmena, aurrekognizioa eta psikokinesia. Fenomeno kezkarri horiek gure ohiko ideia zientifikoko guztiak ukatzen dituztela dirudi. Zenbat gustatuko litzaigukeen horiek gezurtatzea! Tamalez, ebidentzia estatistikoa, telepatiari buruzkoa behintzat, izugarria da. Oso zaila da baten ideiak berrantolatzea gertakari berri hauek sar daitezkeen. Behin ideia hauek onartu eta gero, ez dirudi oso urrats handia marmuetan eta iratxoetan sinesteak. Desagertuko litzatekeen lehenetako ideia izango litzateke gure gorputzak lege fisiko ezagunen arabera, eta oraindik aurkitu gabekoak baina nolabait antzekoak diren beste batzuen arabera, soilik mugitzen direla.

Argudio hau, nire usterako, erabat sendoa da. Erantzuteko asmoz, batek esan dezake zientzia-teoria askok, dirudienez, praktikan baliagarri irauten dutela ZKPrekin bat etorri ez arren; izan ere, oso ongi molda gaitzake hura

ahaztuz. Kontsolamendu hotzegia da hau, eta bat beldur da pentsamendua ez ote den fenomeno mota berezia, non ZKP bereziki garrantzitsua izan daitekeen. ZKPn oinarritutako argudio zehatzagoa honelakoa izan liteke: «Imitazio-jokoa egin dezagun, telepatia-hartzaile ona den gizon bat lekukotzat eta konputagailu digital bat erabiliz. Galdetzaileak honelako galderak egin ditzake: “Zein koloretakoa da nire eskuineko eskuan dudana karta?”. Telepatiaz edo iragarmenez gizonak 400 kartatik 130 alditan ematen du erantzun zuzena. Makinak ausaz igar dezake soilik, eta beharbada 104 asmatzen ditu; ondorioz, galdetzaileak identifikazio zuzena egiten du». Aukera interesgarri bat irekitzen da hemen. Demagun konputagailu digitalak ausazko zenbakien sorgailu bat duela. Hala, naturala izango litzateke hura erabiltzea zein erantzun eman erabakitzeke. Baina, orduan, ausazko zenbakien sorgailua galdetzailearen ahalmen psikokinetikoen menpe egongo litzateke. Baliteke psikokinesi horrek probabilitate-kalkuluaren arabera espero litekeena baino gehiagotan iragarraraztea zuzen makinari; eta, ondorioz, galdetzailea ez litzateke identifikazio zuzena egiteko gauza izango oraindik. Bestetik, baliteke gai izatea inongo galdeketerik egin gabe erantzun zuzena emateko, iragarmenez. ZKPrekin edozer gerta daiteke.

Telepatia onartzen bada, beharrezkoa izango da gure testa mugatzea. Egoera har liteke galdetzailea bere buruari hizketan arituko balitz eta lehiakideetako bat belarria horman duela entzuten egongo balitz gertatuko litzatekeenaren antzekotzat. Lehiakideak «telepatia-frogetarako gela» batean sartzeak baldintza guztiak aseko lituzke.

7. Ikasten duten makinak

Irakurleak aurreikusiko zuen ez ditudala nire ikuspegiak sostengatzeko izaera positiboa duten argudio oso sendoak. Izan banitu, ez nukeen hainbeste lan hartuko aurkako ikuspegiaren falaziak nabarmentzen. Orain eskainiko ditut ditudan ebidentzia guztiak.

Itzul gaitezen une batez Lady Lovelaceren objekziora, zeinak adierazten duen makinak egiteko esaten dioguna soilik egin dezakeela. Batek esan zezakeen batek makinari ideia bat «injekta» diezaiokeela, eta hark erantzungo duela, neurri batean, eta, ondoren, geldialdian geratuko dela, piano-hari bat mailu batez eragindakoan bezala. Beste alderaketa bat izan liteke neurri kritikoa baino txikiagoa den pila atomiko bat: ideia injektatua kanpotik pilan sartzen den neutroi baten baliokidea da. Halako neutroi bakoitzak nahasteren bat eragingo du, eta azkenean desagertu egiten da. Haatik, pilaren neurria nahikoa handitzen bada, oso litekeena da sartzen den neutroiak eragindako nahastea hazten eta hazten joatea pila osoa suntsitu arte. Ba al da fenomeno baliokiderik gogoentzat? Eta ba al da makinentzat? Dirudienez bada bat giza gogoarentzat. Horietako gehienek «azpikritikoak» dirudite; hau

da, neurri azpikritikoko pilen baliokideak dira analogia horretan. Horrelako gogo bati aurkeztutako ideia batek ideia bat baino gutxiago sortuko du erantzun gisa batez beste. Proporzio txiki antzeko bat dira super-kritikoak. Horrelako gogo bati aurkeztutako ideia batek bigarren mailako, hirugarren mailako edo urrunagoko ideiaz osaturiko «teoria» oso bat sor dezake. Animalien gogoek nabarmenki azpikritikoak dirudite. Analogia horri atxikiz, galdetzen dugu: «Eraiki al daiteke makina bat super-kritikoa izan dadin?».

«Tipularen azala» analogia ere lagungarria da. Garunaren edo gogoaren zereginak kontsideratuz, zenbait eragiketa aurkitzen ditugu, termino mekaniko hutsetan azal ditzakegunak. Diogu hori ez dela benetako gogoaren baliokidea: benetako gogoak aurkitu nahi badugu kendu beharreko azal antzeko zerbait dira. Baina, orduan, kendu beharreko beste azal bat aurkitzen dugu gelditzen den horretan, eta abar. Jarduera horri jarraituz, iritsiko al gara inoiz «benetako» gogora, edo iritsiko al gara azkenean bere baitan ezer ez duen azalera? Azken kasu horretan gogoak osorik mekanikoa da. (Hala eta guztiz ere, ez litzateke egoera diskretuko makina bat izango. Eztabaidatu dugu hori).

Azkeneko bi paragrafoek ez dute izan nahi konbentzitzeko moduko argudioak. Aitzitik, «Usteak sortzeko errezitazioak» gisa deskribatu beharko genituzke.

6. atalaren hasieran adierazitako ikuspegirako eman daitezkeen sostengu benetan onargarri bakarra izango da mende bukaeraren zain egon eta, orduan, deskribatutako esperimendua egitean emandakoa. Baina bitartean zer esan dezakegu? Zein urrats eman beharko lirateke esperimendua arrakastatsua izan dadin?

Azaldu dudak bezala, arazoa programazioan datza funtsean. Ingeniaritzan ere aurrerapenak egin beharko dira, baina zaila dirudi eskakizunentzako egokiak ez izateak. Garunaren erreserba-ahalmenaren balioespenak 10^{10} digitu bitarretatik 10^{15} era aldatzen dira. Balio txikiaren alde nago, eta uste dut maila handiko pentsamenduentzat oso frakzio txikia soilik erabiltzen dela. Gehiena segur aski ikuste-inpresioen atxikipenean erabiltzen da. Harrituko nintzateke 10^9 baino gehiago beharrezkoa balitz imitazio-jokoa behar bezala jokatzeko; izatekotan, gizon itsu baten aurka. (Oharra: *Encyclopaedia Britannica*ren ahalmena, 11. edizioarena, 2×10^9 da). 10^7 ko erreserba-ahalmena aukera oso egingarria izango litzateke egungo tekniken bitartez ere. Segur aski ez da beharrezkoa makinaren eragiketa-abiadura batera areagotzea. Egungo makinaren parteek, zeinak nerbio-zelulen antzekotzat har daitezkeen, aurrekoak baino mila bat aldiz azkarrago egiten dute lan. Horrek era askotan sortutako abiadura-galerak estaliko lituzkeen «segurtasun-tarte» bat eskaini behar luke. Gure arazoa da, orduan, makinak jokoan aritzeko nola programatu jakitea. Egungo nire lan-erritmoan, egunean programazioko mila digitu inguru idazten ditut; beraz, hirurogei langile inguruk berrogeita hamar

urtez etengabe lanean arituz beteko lukete eginkizuna, paperontzira ezer ez badoa. Desiragarriak dirudite metodo bizkorragoek.

Giza gogo heldu bat imitatzeke ahaleginaren prozesuan beharturik gaude dagoen egoerara eraman duen prozesuari buruz asko pentsatzera. Hiru osagai nabarmendu daitezke:

- (a) Gogoaren hasierako egoera, jaiotzean, adibidez,
- (b) Jaso duen hezkuntza,
- (c) Beste zenbait esperientzia, hezkuntza gisa deskribatu ezin daitezkeenak, zeinen menpe egon den.

Helduaren gogo simulatzeko programa bat egiten saiatu ordez, zergatik ez haurrarena simulatuko lukeena egiten saiatu? Ondoren hezibide-ikastaro egokia jasoko balu, helduaren garuna lortuko litzateke. Antza denez, haurraren garuna paper-dendetan erosten den koaderno baten antzeko zerbait da. Mekanismo txiki bat eta orri zuri anitz. (Mekanismoa eta idazkera ia sinonimoak dira gure ikuspuntutik). Gure itzaropena da haurraren garunean mekanismo hain txikia egotea, non horrelako zerbait programatzea erraza izango den. Onar dezakegu hezkuntzako lan kopurua, lehen hurbilketa batean, giza haurrarentzako denaren oso antzekoa dela.

Gure arazoa, hortaz, bi ataletan erdibitu dugu: haurraren programa eta hezkuntza-prozesua. Oso estuki lotuta mantentzen dira biak. Ezin espero dezakegu haur-makina on bat lortzea lehen ahaleginean. Horrelako makina bati irakatsiz esperimendatu behar da, eta zein ongi ikasten duen ikusi. Orduan beste makina bat proba daiteke eta ikusi hobea ala okerragoa ote den. Lotura nabaria dago prozesu honen eta eboluzioaren artean, identifikazio hauekin:

Haur-makinaren egitura = Herentziazko edukia

Haur-makinaren aldaketak = Mutazioa

Hautespén naturala = Esperimentatzailearen judizioa

Espero daiteke, hala ere, prozesu hau eboluzioa baino azkarragoa izango dela. Egokienaren biziraupena metodo motela da abantailak neurtzeko. Esperimentatzailea, adimenaren erabileraren bitartez, bizkortzeko gai izango litzateke. Hori bezain garrantzitsua da ez dagoela zorizko mutazioetara mugatua. Aurki badezake ahultasunen baten zergatia, ziurrenik hausnar dezake hura hobetuko duen mutazio mota.

Ez da posible izango makinari haur normal bati aplikatzen zaion irakaskuntza-prozedura berbera aplikatzea. Ez du izango, adibidez, hankarik; beraz, ezingo genioke eskatu kanpora joateko eta ikatz-ontzia betetzeko. Beharbada ez du begirik izango. Baina hutsune horiek ingeniari-tza trebeari esker gairi balitezke ere, ezingo genuke izakia eskolara bidali beste haurren

gehiegizko burlen menpe utzi gabe. Eskolaren bat eman beharko zaio. Ez dugu asko kezkatu beharrik hankez, begiez, eta abarrez. Miss *Helen Keller*ren adibideak erakusten du hezkuntza izan daitekeela baldin eta irakaslearen eta ikaslearen artean bi norabideetako komunikazioa izan badaiteke, modu batera edo bestera.

Normalean zigorrak eta sariak irakaskuntza-prozesuekin lotzen ditugu. Haur-makina simple batzuk eraiki edo programatu daitezke printzipio mota horren arabera. Makina eraiki behar da zigor-seinale baten oso aurretikoak diren gertakizunek errepikatzeke probabilitate txikia izan dezaten; aldiz, sari-seinaleak bera sortzeko izan diren gertakariak errepikatzearen probabilitatea handitu dezan. Definizio horiek ez dute makinaren inongo sentimendurik auresuposatzen. Esperimentu batzuk egin ditut horrelako haur-makina batekin, eta arrakasta lortu dut gauza gutxi batzuk irakatsiz, baina irakaskuntza-metodoa ez-ortodoxoegia zen esperimentua benetan arrakastatsutzat jotzeko.

Zigorrak eta sariak erabiltzea gehienez irakaskuntza-prozesuaren parte bat izan daiteke. Orokorrean esanda, irakasleak ez badu ikaslearekin komunikatzeko beste modurik, lor daitekeen informazioaren kopuruak ez du ezarritako sarien eta zigorren kopurua gaindituko. Haurrak «Casabianca» errepikatzen ikasi duenerako, ziur asko oso minduta sentituko litzateke, noski, testua «Hogei Galdera» teknikaren bitartez soilik aurki bazitekeen, «EZ» guztiek kolpe baten itxura hartuta. Beharrezkoa da, hortaz, beste komunikazio-kanal «ez-emozionalen» batzuk izatea. Horiek erabilgarri badira, posible da makinari irakastea, zigorren eta sarien bidez, hizkuntzaren batean, hizkuntza sinboliko batean adibidez, emandako aginduak bete ditzan. Agindu horiek kanal «ez-emozionalen» igorri behar dira. Hizkuntza honen erabilerak asko gutxituko du beharrezko zigorren eta sarien kopurua.

Haur-makinan egokia den konplexutasunari buruz hainbat iritzi egon daitezke. Saioa egin daiteke printzipio orokorrekin konsistenteena izan daitekeen sinpleena eginez. Bestela, batek eduki lezake inferentzia logikoaren sistema oso bat «txertatua».⁴ Azken kasuan, erreserba definizioz eta proposizioz beterik egongo litzateke gehienbat. Proposizioek hainbat estatus klase izan ditzakete; adibidez, ongi oinarritutako gertakariak, aieruak, matematikoki frogatutako teorema, aditu batek emandako baieztapenak, proposizioen forma logikoa duten baina uste-baliorik ez duten adierazpenak izanik. Proposizio batzuk «aginterazkoak» gisa deskriba daitezke. Makina eraiki beharko litzateke agindu bat «ongi oinarritutzat» sailkatzen den bezain laster, dagokion ekintza automatikoki egin dezan. Hori azaltzeko, demagun irakasleak esaten diola makinari «egin etxeko lanak orain». Baliteke

⁴ Edo hobeto «bere baitan programatua», gure haur-makina konputagailu digital batean programatuko delako. Baina sistema logikoa ez da ikasi beharrik izango.

horrek eragitea «Irakasleak dio “egin etxeko lanak orain”» gertakari ongi oinarrituen artean sartzea. Horrelako beste gertaera bat izan daiteke «Irakasleak dioen guztia egia da». Horien konbinazioak, azkenik, «egin etxeko lanak orain» agindua ongi oinarritutako gertakarien artean sailkatzera eramango du, eta horrek esan nahiko du, makinaren egituragatik, etxeko lana benetan hasten dela, baina efektua oso onargarria da. Makinak erabiliko dituen inferentzia-prozedurek ez du zertan logikaririk zehatzena aseko lukeenaren modukoak izan. Baliteke, esaterako, tipoen hierarkiarik ez egotea. Baina horrek ez du esan nahi nahitaez tipoen falaziak izango direnik, babesik gabeko amildegietan erortzera behartuak ez gauden moduan. Agindu egokiek (sistematan *bertan* adieraziak, baina sistemaren erregelen parte izan gabe), «Ez erabili klase bat irakasleak aipatutako baten azpiklase bat ez bada» gisakoek, «Ez gehiegi hurbildu»k duenaren antzeko eragina izan dezakete.

Gorputz-adarrik ez duen makina batek obedi ditzakeen aginduek izaera intelektuala izan behar dute, goian emandako adibidean bezala (egin etxeko lanak). Horrelako aginduen artean garrantzitsuak izango dira aplikatu behar diren sistema logikoaren erregelen ordena arautzen dutenak. Zeren eta sistema logiko bat erabiltzen denean, aldi bakoitzeko aukerako urrats kopuru oso zabala dago, zeinetako bakoitza onartua dagoen, sistema logikoaren erregelak obeditzen diren heinean. Aukera horiek arrazoitzen duen pertsona buruargi baten eta kaskar baten arteko aldea markatzen dute, ez zuhur baten eta falaziak egiten dituen baten arteko aldea. Era honetako aginduak sortzen dituzten proposizioak izan daitezke, adibidez, «Sokrates aipatzen denean, Barbara silogismoa erabili» edo «Frogatu bada metodo bat beste bat baino azkarragoa dela, ez erabili metodo motelena». Hauetako batzuk «autoritatez emanak» izan daitezke, baina beste batzuk makinak berak sortutakoak izan daitezke; zientzia-indukzioaren bitartez, adibidez.

Ikasten duen makina baten ideia paradoxikoa iruditu dakieke irakurle batzuei. Nola alda daitezke makinaren eragiketen erregelak? Erabat deskribatu beharko lukete makinak nola erantzungo lukeen bere historia dena delarik eta jasan ditzakeen aldaketak direnak direlarik. Erregelak, beraz, denboran zehar aldaezinak dira erabat. Hori egia da. Paradoxaren azalpena da ikaskuntza-prozesuan aldatzen diren erregelak handinahi gutxiagoko klase batekoak direla, baliozkotasun galkorra eskatzen dutelarik soilik. Estatu Batuetako Konstituzioarekin aldera dezake irakurleak.

Ikasten duen makina baten ezaugarri garrantzitsu bat da askotan irakaslea barnean gertatzen denaren berri ez dakiena izango dela neurri handian, nahiz eta balitekeen oraindik gai izatea bere ikaslearen jokabidea aurrez esateko neurri bateraino. Arrazoi gehiagorekin aplikatu beharko litzaioke hori ongi saiaturako diseinua (edo programa) duen haur-makina batetik

sortutako makina baten geroagoko hezkuntzari. Hori kontraste argian dago konputazioak egiteko makina bat erabiltzen denean erabiltzen den prozedura normalarekin: helburua datza, kasu honetan, konputazioko momentu bakoitzean makinaren egoeraren gogo-irudi argi bat izatean. Helburua ahalginez bakarrik lor daiteke. Horren aurrean arraroa dirudi «Makinak soilik egin dezake egin dezan nola agindu dakiguna» ikuspegiak.⁵ Makinan sar ditzakegun programa gehienak makinak zerbait egitean gertatuko dira; guretzat ez du izango inongo zentzurik edo guztiz zorizko jokaera gisa ikusiko dugu. Jokaera adimentsua ustez datza konputazioko guztiz araututako jokaeratik desbideratzean, baina hain txikia da, non ez duen eramaten zorizko jokaerara, ez eta zentzurik gabeko begizta errepikakorretara. Gure makina, irakaskuntza- eta ikaskuntza-prozesu baten bitartez, imitazio-jokoan bere parte egin dezan prestatzearen beste emaitza garrantzitsu bat da litekeena dela «giza hutseginkortasuna» alde batera uztea modu nahiko naturalean; hau da, «prestakuntza» berezirik gabe. (Irakurleak 18-19. orrialdeetako ikuspegiarekin alderatu beharko luke hau). Ikasitako prozedurek ez dute emaitzen ziurtasuna ehuneko ehunean bermatzen; bestela, ezingo lirateke ahortzi.

Ziur asko zuhurra da zorizko osagai bat sartzea ikasten duen makinan (ikus 8. or.). Zorizko osagai bat guztiz erabilgarria da arazo baten ebazpenaren bila gabiltzanean. Demagun, esate baterako, aurkitu nahi dugula 50 eta 200 arteko zenbaki bat, bere digituen baturaren karratuaren berdina dena. 51tik has gitezke, gero 52 saiatu, eta horrela balio duen zenbaki bat lortu arte. Bestela, zoriz aukera genitzake zenbakiak, egokia lortu arte. Metodo honek bere alde du ez dela beharrezkoa zein balio saiatu diren kontuan hartzea, baina eragozpena da berdina bitan saia daitekeela; baina ez da oso garrantzitsua, hainbat soluzio baldin badira. Metodo sistematikoak duen eragozpena da lehenik aztertu beharrek inguruan soluziorik gabeko izugarritzko espazioa egon daitekeela. Ikaskuntza-prozesua ikus daiteke, orain, irakaslea (edo beste irizpideren bat) aseko duen jokabide baten bilaketa gisa. Ziur asko soluzio asegarrien kopuru handi bat izango denez, zorizko metodoak hobea dirudi sistematikoak baino. Kontuan hartu behar da eboluzioaren antzeko prozesuan erabiltzen dela. Baina hor metodo sistematikoa ez da posible. Nola egin liteke saiatu diren konbinazio genetiko ezberdinen jarraipena, berriro saia daitezen saihesteko?

Espero dezagun makinak arlo intelektual guztietan lehiatuko direla, azkenean, gizonekin. Baina zein dira onenak, haiekin hasteko? Hori ere erabaki zaila da. Jende askok pentsatzen du jarduera oso abstraktu bat, xakean jokatzea bezalakoa, litzatekeela onena. Defenda daiteke, baita ere, onena dela diruak eros ditzakeen sentimen-organorik onenez hornitzea makina, eta, or-

⁵ Alderatu Lady Lovelaceren adierazpenarekin (186. or.), ez du «soilik» hitza.

duan, ingelesa ulertzen eta mintzatzen irakastea. Prozesu horrek haur baten irakaskuntza normala jarrai lezake. Gauzak seinalatu egingo lirateke eta izena jarriko litzaieke, eta abar. Berriro diot ez dakidala erantzun zuzena zein den, baina uste dut bi hurbiltzeak saiatu beharko liratekeela.

Etorkizuneko tarte txiki bat aurreikus dezakegu soilik, baina egin beharreko gauza ugari ikus dezakegu hor.

Bibliografia

- BUTLER, Samuel (1865), *The Book of the Machines*. Erewhom, London. 23, 24 eta 25. kapituluak.
- CHURCH, Alonzo (1936), «An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory». *American J. Of Math.* 58: 345-363.
- GÖDEL, K. (1931), «Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme, I». *Monatshefte für Math. und Phys.*, 173-189.
- HARTREE, D.R. (1949), *Calculating Instruments and Machines*. New York.
- KLEENE, S.C. (1935), «General Recursive Functions of Natural Numbers». *American J. of Math.* 57: 153-173 eta 219-244.
- JEFFERSON, G. (1949), «The Mind of Mechanical Man». Lister Oration for 1949. *British Medical Journal*, i. alea, 1105-1121.
- COUNTESS OF LOVELACE (1842), «Translator's notes to an article on Babbage's Analytical Engine». *Scientific Memoirs* (R. Taylor argitaratzailea), 3. alea, 691-731.
- RUSSELL, Bertrand (1940), *History of Western Philosophy*. London.
- TURING, A.M. (1937), «On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem». *Proc. London Math. Soc.* (2), 42: 230-265.
- Manchesterreko Victoria Unibertsitatea*