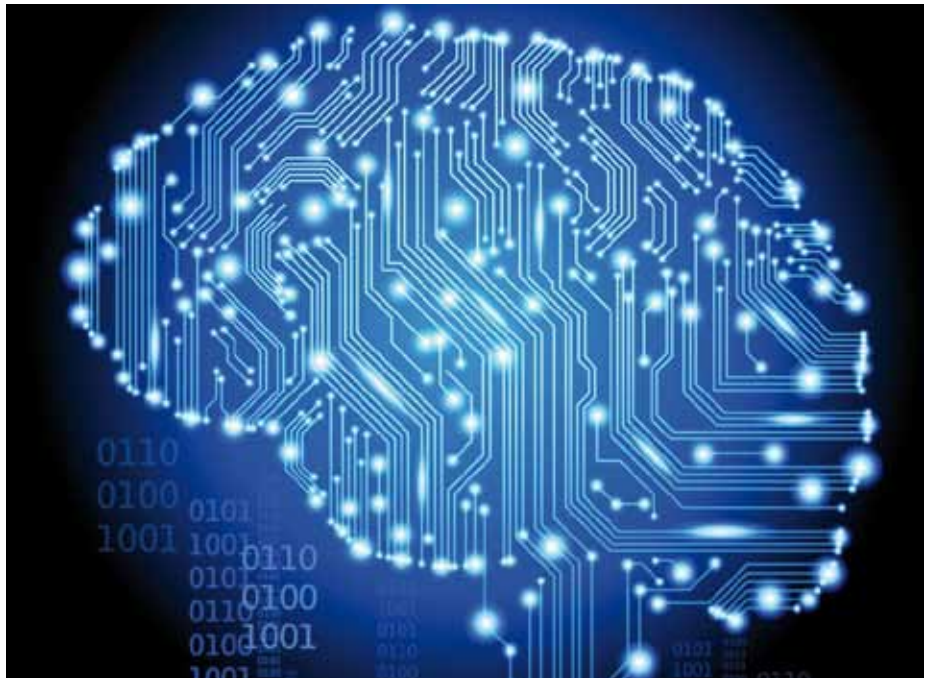




GORKA AZKUNE GALPARSORO

(Azpeitia, 1982). EHU*n* ikasi zuen Informatika Ingeniaritza. Karrera amaierako proiektua Optika Kuantikoko Max Planck Institutuan egin zuen, Ignacio Ciracen zuzendaritzapean. Tecnalian aritu da lanean robotika eta adimen artifizialaren arloetan, eta gaur egun DeustoTech-en ari da ikertzaile, sistema adimentsuen esparruko ikerketatan sakontzen, doktore-tesia burutzeko helburuarekin.

GARUN TXIKI BIRTUALAK



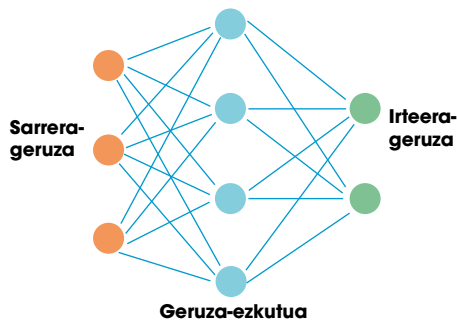
Gure gorputza organo askoz osatuta dago; haien artean, bada bat misteriozua bezain harrigarria: garuna. Hari esker, hain zuzen ere, inguratzen gaituen mundua ulertzen dugu, eta meritu handiko lorpenak erdietsi ditugu. Hain ongi funtzionatzen du, hain emaitza onak eman ditu, ezen haren egitura eta jokaera ulertu eta imitatu nahi izan ditugun. Garun berriak sortzea geurea ulertzeko bide bat da, besteak beste. Baina askoz gehiagorako ere balio dezake.

PROIEKTU HANDIAK MARTXAN

Munduko potentzia handienek ekin diote jada garunaren azterketari, proiektu handiak abiaraziz. Alde batetik, diru publikoa jasotzen duten bi proiektu nabarmendu daitezke: AEBko *BRAIN Initiative* eta Europako *Human Brain Project*. Ikuspegi ezberdinak dituzte bi proiektuok: amerikarrek, garunaren mapa zehatz bat lortu nahi dute, neurona bakoitzaren funtzionamendua

ongi aztertuz; europarrek, berriz, ikuspegi *informatiko*agoa dute, zeinak gure garunaren eredu konputazional zehatz bat lortzea duen helburu, garun birtualak garatzeko betiere.

Diru pribaturik ere bada tartean. Helburu askoz praktikoagoak tarteko direla, Google, Microsoft, Baidu (Txinako Google), Facebook eta beste zenbait enpresa erraldoik beren ikerkuntza-



1. irudia. Neurona-sare artifizial bat.
GORKA AZKUNE (MOLDATUA)

proiektu propioak sortu dituzte. Enpresa horien izaera ikusirik, berehala atzematzen da ikuspegia oso "informatikoa" dela: giza garuna hartzen dute oinarritzat, gure adimena artifizialki imitatu eta, hartara, zerbitzu askoz adimentsuagoak eskaintzeko.

Enpresa handi horien proiektuen muinean dagoen kontzeptu berritzailea azaltzea du xede artikulu honek: *deep learning*, alegia (ikasketa sakona). Aurreko mendeko 60ko eta 70eko hamarkadetan asmatu ziren neurona-sare artifizialak beste maila batera eramaten ditu kontzeptu horrek. 2006. urtean argitaratu zituen Geoffrey Hinton ikerlariak *deep learning*aren oinarriak. Googlen ari da lanean Hinton gaur egun.

NEURONA-SARE ARTIFIZIALAK

Bidaia honen lehen geldialdia neurona-sare artifizialean egin behar dugu. Giza garunak bezalatsu, sare artifizial horiek ere neuronak dituzte oinarri. Neurona bakoitzak sarrera batzuk ditu, eta irteera bat. Bai sarrerak, bai irteerak zenbakiak besterik ez dira. Beraz, sarrerak hartu eta irteera bat kalkulatzeko da neurona baten lana, horretarako funtzio matematiko sinple batzuk erabiliz. Saretan antolatzen dira neuronak, geruzak osa-

tuz. Eskuarki, sarrera-geruza bat egon ohi da. Gure garunarekin konparazio bat egingo bage-nu, sarrera-geruza zentzumenen bidezko informazioa jasotzeko erabiliko litzateke. Ondoren, geruza ezkatuak jarri ohi dira; azkenik, irteera-geruza (adibidez, gure muskuletara seinaleak bidaltzen dituzten neuronak). 1. irudian ikusten da horren egitura sinple bat.

Arrakasta handia izan dute neurona-sareek adimen artifizialaren esparruan. **Hurbilketa uni-bertsalaren teorema** dago horren gako. Matematikari batzuek frogatu zuten, geruza ezkatu bakarria duen neurona-sare bat edozein funtzio ez-linealetara hurbil daiteke. Beste hitz batzuetan esanda, sarrera- eta irteera-zenbakien arteko edozein erlazio posible ikas dezake neurona-sare batek. Gizaki baten kasuan, zentzumek jasotzen duten informazioari dagokion edozein erreakzio ikas dezake. Hortxe dago, hain juxtu ere, sare horien potentziala.

NAHIKOA OTE GERUZA BAKAR BAT?

Teorikoki, geruza ezkatu batekiko edozein erlazio ikas daiteke, baina, praktikan, sare hain sinpleak ez dira oso erabilgarriak ataza konplexuetarako. Demagun, adibidez, irudi-pilo bateko aurpegiak bereizi nahi ditugula. Sarearen sarrera irudi bat litzateke, eta irteera, berriz, irudi horretan aurpegi bat egotea edo ez egotea. Sarre-rako informazioaren konplexutasuna dela eta (azken batean, irudi bat zenbaki-pilo bat da), geruza bateko sareek ez dituzte oso emaitza onak lortzen. Irudietan lan handia egin behar izaten dute ikerlariek, prozesamendu batzuk eginez eta ezaugarri geometriko batzuk kalkulatu, sareari informazio gutxiago eta esanguratsuagoa emateko (2. irudia). Horrela, neurona-sareek *ongi* bereizten dituzte aurpegiak.

Neurona-sarean bertan egiten ditu gure garunak edozein atazari dagozkion kalkulu guztiak, hots,

ez dago kanpoko ikerlaririk 2. irudiko prozesamendurik egiteko. Horretarako, neurona-geruza pilo batean antolatzen da gure garuna. Hori dela eta, ikerlari batzuek pentsatu zuten geruza ezkatu bakarria erabili beharrean, agian geruza asko erabili beharko liratekeela ataza konplexuei aurre egiteko. "Sare sakonak" deitzen zaie geruza asko dituzten neurona-sareei.

ENTRENAMENDU-ARAZOAK SARE SAKONETAN

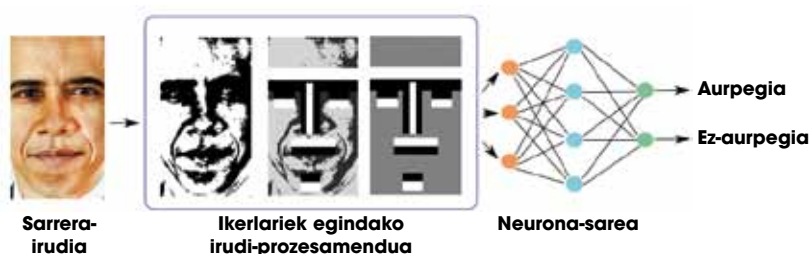
Neurona-sare batek behar bezala funtziona dezan, entrenatu egin behar da. Ikusi berri dugun 2. irudiaren kasuan, sareari aurpegiak bereizteko eskatu aurretik, irudi-pilo bat erakutsi behar zaizkio, zein diren aurpegiak eta zein ez adieraziz. Hartara, sareak bere neurona bakoitzaren parametroak ikasten ditu, ataza jakin hori behar bezala egiteko; hau da, hasieran esaten genuen funtzio ez-lineal hori entrenamendu fasean zehazten da, sarrera-datuak irteerarekin erlazionatzeko.

Geruza bakarreko sareetan erabiltzen ziren entrenamendu-teknikak aplikatu gero sare sakonetan, oso txarrak izaten ziren emaitzak: sare sakonek ez zuten ezer ikasten. Azkar ohar-tu ziren ikerlariak gabezia handiak zeudela entrenamendu-tekniketan. Ezin zuten ulertu sare sakon bat nola entrena zitekeen. Hori dela eta, 2006. urtera arte bi geruza ezkatu baino gehiagoko sareak ez ziren erabili ere egiten, ezin baitziren entrenatu.

Zer gertatu zen, bada, 2006. urtean? Geoffrey Hintonek sare sakonak entrenatzeko teknika iraultzaile bat sortu zuen, bere taldearekin batera. Ikasketa sakona, *deep learning*, jaio berria zen.

GOOGLE BRAIN HARRIGARRIA

*Deep learning*aren erabileraren adibide harrigarrietako bat Google Brain dugu. Laugarren irudian ongi ikusten den bezala, 1.000 ordena-



2. irudia. Argazkietan aurpegiak bereizteko erabili ohi den prozesua, irudi-prozesamendua eta neurona-sareak konbinatuz. GORKA AZKUNE (MOLDATUA)



3. irudia. Geoffrey Hinton, hitzaldi batean. MCGILL RESEARCH AND INTERNATIONAL RELATIONS

gailu erabiltzen ditu sare sakon bat martxan mantentzeko. 2013. urtean argitaratu zen artikuluko batean, Googleko ikerlari-talde batek aurrerapauso handi baten berri eman zuen. Google Brainen gaitasunaz baliatuz, sare sakon bat entrenatu zuten hiru egunez, eta emaitza txundigarriak bezain bitxiak lortu.

Lehen esan dugun bezala, aurpegi bat bereizten ikasteko entrenamendu-fase bat pasatu behar da, non irudi-pilo bat ematen zaion sareari eta esaten zaion zein iruditan agertzen diren aurpegiak eta zein iruditan ez. Prozesu horri "ikasketa gainbegiratu" deritzo. Neurozientzialari batzuen arabera, gizakiok ez dugu ikasten horrela aurpegiak bereizten, honela baizik: aurpegiak askotan ikusten ditugunez, gure garunak aurpegi-eredu bat ikasten du, inork esan gabe eredu hori aurpegi bat dela. Hots, ikasketa ez da gainbegiratu.

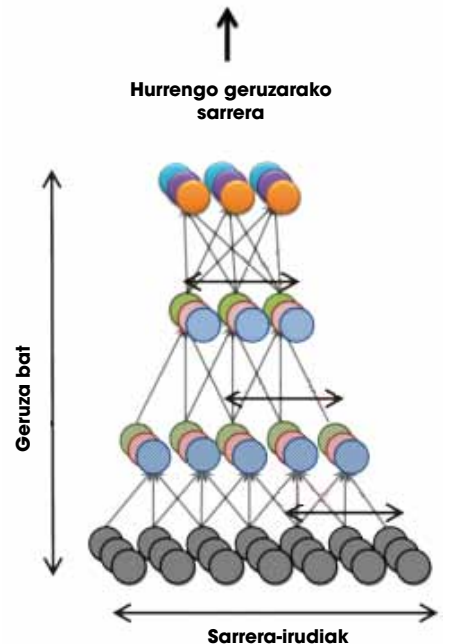
Googleko ikerlariak teoria horiekin bat egin zuten, eta galdera hau luzatu: "Posible al da sare sakon batek aurpegi bat zer den ikastea modu ez-gainbegiratu?" Galderari erantzuteko, giza garunaren egituraren oinarritzen den sare sakon bat eratu zuten. Mila milioi parametro ditu sareak, entrenatzeko. Ikaragarria bada ere, gizaki baten ikusmen-kortexak bakarrik hori baino 100 aldiz neurona eta sinapsi gehiago ditu! Bostgarren irudian duzue sarearen irudikapen bat.

Ikerlariak arrazoitu zuten Youtuben dauden bideoetan gizakien aurpegi-pilo bat agertzen direla. Beraz, ausaz bideo-pilo bat aukeratu eta irudiak sarea entrenatzeko erabiliz gero, sareak aurpegi baten eredu ikasi beharko luke. Esan eta egin. Hiru egun entrenamendu-prozesuan jardun eta gero, aurpegiak zituzten irudiak era-

GOOGLE BRAIN
 1.000 CPU Zerbitzari **600 kWatt**
 2.000 CPU - 16.000 nukleo **\$ 5.000.000**



4. irudia. Google Brain osatzen duten zerbitzariak. GOOGLE.



5. irudia. Sare sakonaren geruza baten egitura. Horrelako hiru kateatzen dira sare osoan. GORKA AZKUNE (MOLDATUA)



6. irudia. Sare sakonak ikasi egin zuen aurpegiaren eredu, aktibatzen ziren neuronen ezaugarri geometrikoak bistaratuz. GOOGLE

kutsi zizkieten sareari. Portzentaje oso altuetan (% 81,7), sareak aktibazio-patroi berarekin erantzuten zuen irudi horien aurrean. Aurpegiak agertzen ez ziren irudietan, berriz, ez zuen horrelako aktibaziorik erakusten. Hona zer esan nahi zuen: sareak bazekiela aurpegi bat zer zen.

Irudikapen-teknika aurreratu batzuk erabilia, aktibazio-patroiak ezaugarri geometriko ikusgarri bilaka daitezke. Ikerlariak teknika horiek erabili zituzten sareak "gordeta" zuen aurpegiaren eredu irudikatzen. Seigarren irudian duzue itxura beldurgarriko emaitza.

Dakizuen, Youtuben gizakiez gain katuak ere agertzen dira askotan. Pentsatzekoa da, beraz, agian katu bat zer den ere ikasiko zuela sareak. Zalantza argitzeko, katu irudiak bildu zituzten ikerlariak, eta sareari pasatu zizkieten. Eta bai: aktibazio-patroi bertsuak ageri zituen sareak, aurpegiarekin gertatzen zen antzera. Hemen duzue sareak ikasi zuen katuaren eredu (7. irudia).

Zergatik funtzionatzen duten sare sakonek hain ondo? Badirudi arrazoia haien egitura hierarkikoa dela. Geruza bakoitzeko, azpiko geruzako informazioaren eredu abstraktuak gordetzeko gaitasuna dute neuronek, irudi bateko pixelen arteko kolore-ezberdintasunetik hasi (lehen geruza) eta ezaugarri geometrikoetaraino (azken geruzak). Gainera, ezaugarri eta eredu horiek guztiak, beren kasara ikasi ditzakete ematen zaizkien datuen arabera.

ETA ORAIN ZER?

2013an argitaratu zen azaldu berria dugun lan hori; hots, "atzo". *Deep learning*a oso eremu "gaztea" da oraindik eta, beraz, etorkizun oparoa du. Adibidez, bada irudi-pilo bat biltzen dituen datu-base ezagun bat, ImageNet, non



7. irudia. Sareak ikasi zuen katu-ereduaren irudikapen bat. GOOGLE

irudietan objektuak bereizteko lehiaketak antolatzen diren. Google izan zen azken garailea. Esperimentuen bidez, gizakiok % 5,1eko erroretasa dugula kalkulatu du datu-base horrek. Bada, *deep learning*az baliatuz % 5,98ko erroretasa lortu duela argitaratu berri du Baidu enpresa txinatarrak, oraindik ofizialki frogatu ez bada ere.

Oso emaitza onak ari da izaten *deep learning*a lengoaia naturalen ulermenean eta ikusmen-atazetan, gizakiok ditugun bi gaitasun garrantzitsuenetakoetan, alegia. Neurozientzietan oinarritutako lanak egin dira, nahiz eta erabiltzen diren ereduak ez izan, oraindik, guztiz zehatzak. Seguru aski, *Human Brain Project* eta *BRAIN Initiative* proiektuen ekarpenek bide berriak erakutsiko dizkigute. Momenturen batean, neurozientziaren aurrerapenak eta adimen artifizialarenak elkarrekin topo egin eta garun birtual botere-tsua goak sortuko dituzte. Nork jakin...

BIBLIOGRAFIA

LE, Q. V.; RANZATO, M. ET AL.: "Building high-level features using large scale unsupervised learning". In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 8595-8598). IEEE.

HINTON, G.; OSINDERO, S. ETA TEH, Y. W.: "A fast learning algorithm for deep belief nets". *Neural computation*, 18(7), 1527-1554 (2006).

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P.; CANNY, J. F.; MALIK, J. M. ETA EDWARDS, D. D.: *Artificial intelligence: a modern approach* (Vol. 74). Englewood Cliffs: Prentice hall (1995).

BISHOP, C. M.: *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press (1995).

QUIROGA, R. Q.; REDDY, L.; KREIMAN, G.; KOCH, C. ETA FRIED, I.: "Invariant visual representation by single neurons in the human brain". *Nature*, 2005.

Human Brain Project. <https://www.humanbrainproject.eu> (azken bisita: 2015/01/29)

Brain Initiative: http://en.wikipedia.org/wiki/BRAIN_Initiative (azken bisita: 2015/01/29)