



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

GIZA ZIENTZIAK ETA ARTEA

**Elebidunen afasia simulatzeko
eredu konputazionalaren oinarriak**

*Ihintza Malharin eta
James S. Magnuson*

173-180 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.01.21>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Elebidunen afasia simulatzeko eredu konputazionalaren oinarriak

Ihintza Malharin^{1,2}, James S. Magnuson^{1,3,4}

¹ BCBL. Basque Center on Cognition, Brain & Language. 69 Mikeletegi 20009 Donostia-San Sebastián. Gipuzkoa, Spain

² UPV/EHU Euskal Herriko Unibertsitatea. Donostia, Gipuzkoa.

³ Ikerbasque. Basque Foundation for Science, Bilbao, Spain.

⁴ University of Connecticut. Storrs, CT, USA.

i.malharin@bcbl.eu

Laburpena

Garuna hauskorra da. Iktus edo garuneko erasanek desoreka iraunkorrak eragin ditzakete edozein maila kognitiboan, hizkuntzan esaterako. Bestalde, munduko biztanleriaren erdia baino gehiago elebiduna da. Hala ere, elebidunen hizkuntza-desorekak gutxitan aztertu dira, neurri batean paziente elebidunen ezaugarri kliniko eta linguistikoetan berezko den heterogeneotasunagatik. Eredu konputazionalak paziente elebidun simulatuen lagin homogeenak sortzeko erabil daitezke, eta horrek hizkuntzaren prozesamendu osasuntsua zein kaltetua hobeto ulertzea ekar dezake. Ikerketa honetan, ingelesa prozesatzeko EARSHOT hizketa-ereduaren hedapena aurkezten da, euskara-gaztelania prozesatzeko eredu elebidun batera. Bestalde, afasia hizkuntza-desoreka simulatzeko ereduak duen kaltetze-metodoa ere deskribatuko da.

Hitz gakoak: elebitasuna, afasia, eredu konputazionalak, elebidunen afasia

Abstract

The brain is fragile. A stroke or traumatic brain injury can lead to long-lasting damage in any cognitive domain, such as language for example. Besides, more than half of the world's population is bilingual. However, language impairments in bilingual populations have seldom been studied, in part due to the inherent heterogeneity present in the clinical and linguistic characteristics of bilingual patients. Computational models can be used to create homogeneous samples of simulated bilingual patients, which can lead to a better understanding of both healthy and impaired language processing. In this study, we present the expansion of an English speech processing model (EARSHOT) to a bilingual Basque-Spanish speech processing model. Additionally, the lesioning method used to simulate aphasia is described.

Keywords: bilingualism, aphasia, computational modeling, bilingual aphasia

1 Sarrera eta motibazioa

Munduaren erdia baino gehiagok bi hizkuntza edo gehiago erabiltzen ditu bere eguneroko bizian (Ansaldi *et al.*, 2008). Hala ere, elebidunek iktus baten ondotik bizi dituzten hizkuntza-desorekak gutxi ikertuak izan dira. Iktus bat gertatzerakoan, garunaren zati bat odolrik gabe gera daiteke eta funtzio kognitibo batzuk honda lirateke. Funtzio kognitibo batzuk garuneko toki zehatzetan atzematen dira. Hala nola, hizkuntza garuneko ezkerreko hemisferioan aurkitzen da elebazarrentzat eta 6 urteetatik gora bigarren hizkuntza ikasi duten elebidunentzat. Bi hizkuntzak 6 urteren ondoren bereganatu dituzten elebidunentzat, aldiz, hizkuntza funtzio kognitibo aldebikoa dela esaten da, garuneko bi hemisferioetan aurkitzen baita (Hull eta Vaid, 2007). Hau jakinda, iktus bat garunaren ezkerreko hemisferioan gertatzen bada, hizkuntza ia beti kaltetua izaten da eta afasia deitzen den hizkuntza-desoreka eragiten du. Afasia, hizkuntza-desoreka da, non pertsona batek hizkuntzaren ekoizpena edo ulermena kaltetua duen. Kaltearen larritasuna faktore desberdinen arabera da, lesio edo kaltearen kokapenarena eta tamainarena batez ere. Egun batetik bestera, pertsona honek zailtasunak izaten ditu bere hizkuntza erabiltzeko edota bere ingurukoak ulertzeko, hizketan zein idazketan.

Aipatu bezala, paziente afasiko ia guztiek iktus bat dute nahasmenduaren oinarri, baina paziente afasiko guztiak ez dira berdinak; haien kaltea ez da nahitaez toki berean eta tamaina berekoa, terapia ez dute nahitaez iktusaren

ondoren berehala hasi behar, eta ezaugarri pertsonal ezberdinak ere izan ditzakete (adina, ikasketa maila, iktusaren aurreko funtzionamendu kognitiboa, etab). Elebidunak diren paziente horientzat, gainera, ezaugarri linguistikoak ere kontuan hartu behar dira, hizkuntza gaitasunean eragina izan dezaketelako. Hau da, kontuan izan beharrekoa da hizkuntza bakoitza noiz ikasi duten, zenbateraino erabiltzen edota entzuten eta irakurtzen dituzten egunerokotasunean, zein motibazio- eta gaitasun-maila zuten hizkuntza bakoitzean iktusaren aurretik, etab. (Ansaldo *et al.*, 2008; Goral eta Hejazi, 2021). Ezaugarri bereizgarri horiek guztiak kontuan hartu behar dira pazienteari terapia ahalik eta pertsonalizatuena eskaintzeko, baina talde txiki eta heterogeneoek ikerketa zientifikoaren emaitzen orokortzea zailagoa egiten dute.

Honi aurre egiteko, eredu konputazionalak erabil daitezke. Eredu konputazionalak erabiltzeak beste ikerketaren metodoen osatzea ahalbideratu dezake, bi modu nagusitan. Lehenik, teoriaren zehaztea ahalbidetzen du. Eredu konputazional bat sortzeko, ikertzen dugun fenomeno guztiz zehaztu behar da, eta suposizioen argitzea maiz uste baino ariketa zailagoa da (ikus Magnuson *et al.* (2012), ikuspegi orokor bat lortzeko). Bestalde, eredu konputazionalak zehaztu dugun teoriaren barne diren simulazio guztiak sortzea ahalbidetzen dute. Horrek esan nahi duena da paziente ezberdinen profil guztiak simula ditzakegula, eta simulatutako paziente talde handiak sor ditzakegula gure ikerketen indar estatistikoa handitzeko. Eredu konputazional baten funtzionamendua probatzeko, egiazko jendearen agertzen diren fenomenoak ereduaren ere agertzen diren ikertzen da. Eredu konputazionalak giza-datu horiekin konparatu behar dira, hizkuntzan agertzen diren egiazko fenomenoak erakusten dituen ziurtatzeko.

Adibidez, EARSHOT eredu elebarkar konputazionala hizketa naturalaren prozesamendua simulatzen duen eredurik osoena da, hizketa prozesatzaren hainbat fenomeno simulatuko baititu (Magnuson *et al.*, 2020). Ahots batek esandako hitzen soinetik abiatuz, hitz horien esanahira iristen den eredu da, egiazko hizketaren denbora-mugak kontuan hartuz. Hizketa naturalak dituen denbora-mugek hitzen arteko lehiaketa sortzen du. Adibidez, “ka-“ lehen silaba entzuterakoan, “katu” batez edo “kazetaritza” arloaz mintzo garenez ez dakigu, beraz bi hitz horiek (eta “ka” silabatik hasten diren hitz guztiak ere) lehiaketan dira entzulearentzat, ondoko silaba agertu arte. EARSHOT ereduak fenomeno hau simulatzea lortu du, egiazko hizketa erabiliz. Hau garrantzitsua da orain arte egindako ereduak hitzen soinu edo fonema bakoitza hartzen zutelako sarrera gisa (Hannagan *et al.*, 2013). Honek erran nahi du fonema horiek guztiak ikertzailearen esku jarriak zirela, eredu fonema horietara mugatuz, eta hizkuntza zehatz batera ere bai.

Hizketa naturala ezagutzen duen teknologia *smartphone* guztietan erabilgarria da, baina honen oinarria osatzen duten eredu konputazionalak eredu sakonak dira. Horiek konplexuegiak direnez gizakien hizketa prozesamenduari buruzko informazioa biltzeko, sakontasun txikiko ereduaren beharra dago.

2 Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2.1 Arloko egoera

2.1.1 Elebitasunaren eredu konputazionalak

Azken hamarkadetan, elebitasunaren eredu konputazional desberdinak proposatuak izan dira elebitasunaren alde zehatz batzuk simulatzeko. Bakoitzaren ekarpenak eta mugak labur azalduko ditugu. Bilingual Activation Model (BIA) ereduak gaitasun-maila handiko heldu elebidunen emaitzak simulatzen zituen, baina tamaina txikiko hiztegia erabiltzen zuen (Dijkstra *et al.*, 1998; Dijkstra eta Van Heuven, 2002). Bilingual Simple Recurrent Network (BSRN) ereduak bi hizkuntza artifizialeko hitz segidak ikasi zituen, baina eredu ez zen inoiz neurri edota hizkuntza errealista batera zabalduta (French, 1999). Bestalde, Self-organizing maps (SOM) ereduak fonologia eta semantikaren arteko loturak erakusteko eraikiak izan ziren (Li *et al.*, 2004, 2007; Shook eta Marian, 2013). Shook eta Marian (2013) ikertzaileen ereduak hizketan agertzen diren denbora muga batzuk simulatzea lortu bazuten ere, haien lanaren kodea ez zuten argitaratu eta haien eredu ez zuten giza datuekin balioztatu.

Duela gutxi, Bide Bikoitzeko Eredu kognitibotik eredu konputazional elebiduna sortua izan da (‘Bilingual Dual-Path Model’, Khoe eta Frank (2024)) esaldi eta hitz elebidunen prozesatzea ikertzeko. Nahiz eta eredu honek emaitza onak izan ariketa horietan, hizketa prozesamenduan, hau da, hitz edo esaldi mintzatuen ulermenean, ez du berririk adierazten. Aurrerago aipatu bezala, hizketa naturalaren denbora-muga horiek simulatzea ariketa konplexua da, eta gaur egun, hizketaren denbora-mugak kontuan hartzen dituen elebitasunaren eredu konputazional osorik ez dago (osoa den eredu batek hitzegi tamaina handia eskatzen du, egiazko hizkuntza bat simulatu behar du eta giza-datuekin balioztatu behar da).

2.1.2 Afasia elebakarraren eredu konputazionalak

Aipatutako ereduarekin afasia simulatzeko lan oso gutxi agertzen dira. Miikkulainen (1997) ikertzaileak DISLEX eredu aurkeztu zuen dislexia eta afasiaren fenomeno berezi batzuk simulatzeko, aipatutako Self-organizing maps metodoa erabiliz. Talde batzuek TRACE eredu elebakarra (McClelland eta Elman, 1986), hitz mintzatuen ezagutzearen eredurik ezagunena, erabili izan dute hizkuntza gaitasun apaleko helduen emaitzak simulatzeko (Magnuson *et al.*, 2012) edota hitz mintzatuen ezagutza simulatzeko afasiadunetan (Mirman *et al.*, 2011).

Bestalde, lehenago aipaturiko Bide Bikoitzeko Eredu kognitibo hartatik abiatuz, Chang (2002) ikertzaileak eredu konputazional elebakarra sortu eta “kaltetu” zuen, eta afasian agertzen diren ekoizpen-desgaitasunak simulatzea lortu zuen. Beraz, afasia elebakarraren aspektu batzuk simulatuak izan badira ere, afasiaren hizketaren prozesatze-desgaitasunak simulatzen dituen eredurik ez da oraindik agertzen, hau da, hitzetatik haratago, esaldiak eta hizketa naturalean agertzen diren emaitzak beharrezkoak dira.

2.1.3 Afasia elebidunaren eredu konputazionalak

Azkenik, afasia elebiduna simulatzen duten eredu konputazional gutxi dira ere. Aipagarriena, DISLEX ereduaren ingelese-gaztelania BiLEX eredu da (Kiran *et al.*, 2013a,b; Peñaloza *et al.*, 2020; Grasemann *et al.*, 2021), afasia duten paziente elebidunen errepresentazio semantiko eta fonologikoak simulatzen dituen, Self-organizing maps metodoa erabiliz. Paziente afasiko elebidunei buruzko erantzun argirik gabeko galdera bat orokortze efektuari buruzkoa da. Paziente elebidun batek terapia hizkuntza batean egiten duenean, terapiaren onurak bigarren hizkuntzan ager daitezke, nahiz eta ez den zuzenean landu. Honen ondorioz, garunean bi hizkuntzak lotuak direla teorizatu da. Baina, orokortze fenomenoak ez da beti gertatzen, eta batzuetan, landua ez den hizkuntza okertu egiten da (ikus Fabbro (2001); Ansaldi *et al.* (2008) paziente elebidunak terapia elebakarrak segi ez ditzaen argudioentzat).

Fenomeno hau ikertzeko zailtasun handiena, hasieran deskribatu bezala, taldeen heterogeneotasun handia da, eta orain arte egindako ikerketek aurkako emaitzak adierazi dituzte (ikus Ansaldi *et al.* (2008), emaitza horien azalpen batentzat). Fenomeno hau eragiten duen faktoreak bilatzeko, Grasemann *et al.* (2021) ikertzaileek terapia elebakarra jaso zuten paziente elebidun desberdin bakoitzaren BiLEX eredu konputazional pareak sortu dute; alde batetik, pazienteak jarraitu zuen terapia elebakarra simulatuz, eta bestetik, pazienteak jarraitu ez zuen terapia elebakarra simulatuz. Afasia agertu aurretik pazienteek gehien erabiltzen zuten hizkuntza terapian lantzen zenean orokortze fenomenoak gehiago gertatzen zela ondorioztatu zuten (Grasemann *et al.*, 2021).

Afasia elebidunaren eredu konputazional honen emaitzak onak baldin badira ere, afasiaren alderdi zehatz bat bakarrik ikertua izan zela ikusi dugu, terapiaren orokortzearena.

2.2 Ikerketaren helburuak

Ikerketa honen helburuak hiru dira. Lehenik, euskara-gaztelaniaren eredu elebiduna sortu nahi dugu EARSHOT ingelesezko eredu elebakarretik abiatuz, gaur egun hizketaren prozesamendua hoberen simulatzen duen eredu konputazionala baita. Bigarrenik, Ingelesezko, Euskarazko eta Gaztelaniazko EARSHOT eredu elebakarrak kaltetzea dugu helburu, afasia hizkuntza-desoreka simulatzeko hizkuntza bakoitzean. Gaur egun, ingelesezko EARSHOT eredu elebakarra baizik ez da existitzen. Euskarazko eta gaztelaniazko eredu elebakarrak oraindik sortu behar ditugu. Azkenik, euskara-gaztelania EARSHOT eredu elebiduna kaltetu nahi dugu afasia duten paziente elebidunen emaitzak simulatzeko.

3 Ikerketaren muina

3.1 Afasia hizkuntza-desoreka

Broca eta Wernicke ikertzaileek afasia XIX. mendean deskribatu zuten. Hizkuntza-desoreka honen bi mota nagusiei, ekoizpen- eta ulermen-desgaitasuna hurrenez hurren adierazten dutenei, haien izena ipini zieten. Bi afasia mota nagusienak baldin badira ere, beste afasia mota ezberdinak daude, pazienteek ariketa ezberdinetan (irudiak izendatzean, hitzen edo esaldien errepikatzean, irudien deskribatzean, etab) dituzten emaitzen arabera sailkatzen direnak.

Haatik, ikertzaile batzuek afasia mota horietan baino pazienteen desgaitasunetan oinarritua den beste sailkapen bat proposatzen dute (Halai *et al.*, 2017; Landrigan *et al.*, 2021). Sailkapen hau sortzeko, Landrigan *et al.* (2021) ikertzaileek hainbat afasia mota zituzten pazienteen emaitzak hartu eta ebaluatu dituzte adimen artifizialeko sailkatzaileak erabiliz. Emaitza horiek hizketaren ekoizpena eta ulermena eta beste hainbat ezaugarri kognitibo ere

biltzen zituzten datuak ziren. Ikerketa horietan hiru afasia talde nagusi agertu ziren, desgaitasun semantiko, fonologiko edo arinagoak biltzen zituztenak (Landrigan *et al.* (2021) ikertzaileek pazienteen hitz egiteko erraztasunari buruzko daturik ez zutenez, Halai *et al.* (2017) ikertzaileek aurkitu zuten laugarren erraztasun-desgaitasunen taldea ez zuten aurkitu). Paziente horien diagnostikoa, hau da, Broca edo Wernicke bezalako afasia mota, sailkapen berri honekin konparatuz, hiru desgaitasun taldeek diagnostiko guztiak biltzen zituztela ohartu ziren. Beste era batera esanda, desgaitasun semantikoen taldeak Broca eta Wernicke afasia motak biltzen zituen, desgaitasun fonologikoek bezala.

Ikerketa honetan, desgaitasun semantikoak, fonologikoak eta arinagoak proposatzen dituen sailkapena jarraituko da, diagnostikoak baino pazienteak talde homogeneoetan hobeki bereizten dituelako.

3.2 EARSHOT eredua

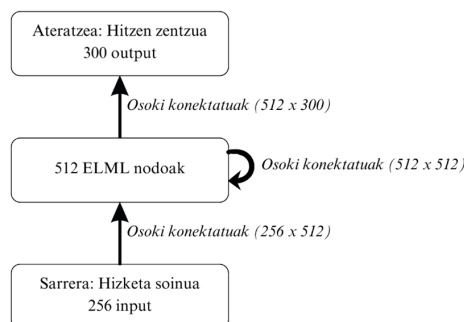
Aurrerago deskribatu bezala, EARSHOT ereduaren egiazko hizketa (edo hizketa naturala) prozesatzen duen eredu konputazionala da (Magnuson *et al.*, 2020). Hau da, hizketaren soinuak hitzen zentzura doan eredu da, hizketa prozesamenduaren denbora mugak kontuan hartuz. Jarraian EARSHOT ereduaren arkitektura eta trebakuntza metodoa azalduko da.

3.2.1 Arkitektura

Halako eredu konputazional baten funtzionamendua ulertzeko, arkitektura hau bi elementu nagusik osatzen dutela jakin behar da: nodoak, informazioaren atxikitze guneak, eta loturak, nodo batetik bestera informazioa igortzen duten loturak. Informazioa sarrera nodoetatik sartzen da, eta lotura geruza desberdinei esker, ateratze nodoetara doa. Nodoak mota ezberdinekoak izan daitezke, baina hemen Epe Laburreko Memoria Luzeko (ELML, LSTM ingelesez) nodoak baizik ez dira aipatuko. ELML nodo horiek ereduaren memoriaren hobetzea ahalbidetzen dute denbora tarte luzeagoetan (Hochreiter eta Schmidhuber, 1997). Nodo horiek erabiltzeak hizketaren prozesamenduaren denbora mugak kontuan hartzea ahalbidetzen diote EARSHOT ereduari. Era berean, baliteke nodo horiek luzera desberdineko denbora-tarteekiko sentikor bihurtzea, hau da, ELML nodo batzuek fonema mota batzuk adieraz ditzakete lehenetasunez.

Lehen irudian agertzen den bezala, eredu hau hiru lotura-geruzaz osatzen da. Irudia azpitik-gora ikusi behar da, sarrera azpitik eta ateratzea gainetik egiten da eta. Lehen lotura-geruzak sarrerako nodoak, hizketaren soinua irudikatzen dutenak, Epe Laburreko Memoria Luze (ELML) nodoei lotzen ditu. Bigarren lotura-geruza ELML nodoetatik ELML nodoetara doa. Horrek esan nahi du ELML nodo bakoitza beste ELML nodo guztiei lotzen dela (ikus Magnuson *et al.* (2020), ereduaren arkitekturari buruzko zehaztasun teknikoak lortzeko). Azken geruzak ELML nodoetatik hitzen semantikara edo zentzura doa. Kasu honetan, hitz bakoitzaren zentzua 300 unitateko bektore eskusibo batekin erakusten da, beste hitzen bektorearekiko ezberdina dena. Bektore semantiko horiek arbitrario edo bidegabekoak dira, hitzen soinua eta zentzuaren artean lotura gutxi baita (ikus Laszlo eta Plaut (2012), bektore horien sorrerari buruzko informazioa lortzeko).

1. Irudia: EARSHOT ereduaren arkitektura (Magnuson et al., 2020, euskaratua)



3.2.2 Materiala eta trebakuntza metodoa

EARSHOT eredu en trebakuntzarako hiru hizkuntzetan ditugun 1000 hitz bakanak erabiliko dira. Hitz horiek Magnuson *et al.* (2020) materialetik hartu eta gaztelania eta euskara batura itzuli ditugu. Ingelesa, euskara eta

gaztelania dakizkien hiztun batek 1000 hitz hirukote horiek grabatu ditu. Beste lau hiztunen ahots sintetikoak grabaketak biltzen ari gara, eta orotara, bi gizonen eta hiru emakumeren ahotsak ditugu, hiru hizkuntzetan. Eredu elebakar bakoitzarentzat bost eredu sortuko dira, trebakuntza-material ezberdinarekin. Eredu bakoitza lau hiztunen 900 hitzekin trebatuko da, hau da, orotara, eredu bakoitzak 3600 sarrera-ateratze pararekin trebatua izango da (4 hiztun x 900 hitz). Eredu bakoitzetik hiztun bat kentzeak eredu honen hiztun berri baten orokortzeko gaitasuna ebaluatzea ahalbidetuko du. Modu berean, hiztun bakoitzetik ausazko 100 hitz ezberdinen kentzeak ereduaren hitzen orokortzeko gaitasuna ematen du.

Magnuson *et al.* (2020) ikertzaileek egin zuten trebakuntza metodoa jarraituko da. Hau da, atzerakako-zabaltzea (ingelesez backpropagation) metodoa erabiliko da 8000 denbora-tartetan (ingelesez epoch). Metodo honek denboran zehar ereduari emandako hitza, sarrerako hitz-itua, eta ereduak proposatutako hitzaren bektoreen arteko distantzia murriztea du helburu. Hitz-itu bakoitzarentzat, ereduak hitz honen bektore semantikoa eman behar du ateratzean. Hitz guztiak behin sartu eta atera direnean, denbora-tarte bat betetzen da. Denbora-tarte bakoitzaren bukaeran, ereduak egin duen parekatze honen berri izango du eta bien arteko distantzia aztertuko du. Distantzia handia denean, ereduak bere loturen balioa aldatuko du, ateratzetik hurbilen diren loturetatik hasiz eta sarreratik hurbilen diren loturekin bukatuz. Horregatik atzerakako-zabaltze metodoa deitzen zaio. Prozesu hau 8000 aldiz egin da, Magnuson *et al.* (2020) ikertzaileen lanean EARSHOT ereduak zehaztasun handia lortu zuelako denbora-tarte kopuru honekin.

3.3 EARSHOT ereduaren kaltetzeko metodoa

Eredu baten kaltetzeko hainbat metodo badira ere (ikus Guest *et al.* (2020) metodo horien deskribapena eta konparaketaren berri izateko), guk loturak kaltetzeko asmoa dugu, beraz, lotura batzuen balioa 0ra pasako dugu. Seinalea guztiz blokeatu nahi ez dugulako, lotura guztien proportzio bat kaltetuko dugu aldi guztietan, % 10eko kaltetik % 80ko kaltera pasatzeko, % 10eko urratsak eginez (% 10, % 20, % 30. . .). Kalte-proportzioa handitzerakoan, paziente simulatuaren emaitzak txarragoak bihurtuko dira.

Lehenago aipatu bezala, afasia klasifikatzeko bi modu ezberdin daude: pazienteen diagnostikoa eta haien desgaitasuna. Kaltetutako eredu baten desgaitasunak ikertu nahi ditugunez, azken klasifikazio hau erabiliko dugu. EARSHOT ereduak bi tokitan kaltetzeak bi desgaitasun-profil agerraraziko dituela pentsatzen dugu, hau da, desgaitasun fonologiko eta semantikoak, baina kopuru ezberdinetan. Horregatik, sarrera eta ELML nodoen arteko lotura-geruza kaltetuko dugu, baita ELML nodoen eta ateratzearen arteko lotura-geruza ere. Lehen kalte honek desgaitasun fonologiko gehiago ekarriko dituela pentsatzen dugu, bigarren kalte honek, berriz, kalte semantiko gehiago ekarriko dituela. Eredu konputazionalak sortzeko beste motibazio bat antzeko kalteetatik profil desberdina nola sor daitezkeen aztertzea da. Jarraian desgaitasun horien eta ereduaren emaitzen ebaluatzeko metodoak aurkeztuko dira.

3.4 EARSHOT ereduaren ebaluatzeko metodoa

3.4.1 Zehaztasuna

Lehenik, ereduaren zehaztasuna ebaluatuko da, hau da, sarrerako hitza eta ateratako hitza berdina edo ahalik eta hurbilenak diren ebaluatuko da. Hau egiteko, hitz guztien bektoreen arteko kosinu distantzia kalkulatu da. Bi bektoreen arteko distantzia handiagoak bi hitzen arteko ezberdintasun handiagozat estimatu da. Aldiz, kosinu distantzia txikiak bi hitzen arteko antzekotasuna erakusten duela estimatzen da. Metodo honek sarrerako hitz bakoitzarentzat ateratzeko hitza beste hitz guztien artean hurbilena den ikustea ahalbidetuko du. Hala bada, ereduak emaitza zuzena duela estimatu da. Aldiz, sarrerako hitza ez den hitz bat agertzen bada ateratzean, beste hitz guztien arteko kosinu distantzia txikienarekin, emaitza txarra dela estimatu da.

Esan bezala, kosinu distantziari esker emaitza ona edo txarra den jakingo dugunez, zehaztasun-ehunekoa kalkulatu ahaliko dugu. Magnuson *et al.* (2020) ikertzaileen lanean oinarrituz, kaltetu gabeko eredu batek % 85eko zehaztasuna inguru lortu beharko luke trebaketan erabilitako hitzentzat, % 65 inguru trebaketan erabili ez diren hitzentzat, eta % 30 inguru trebaketan erabili ez diren hiztunentzat (ehunekoa behera borobilduak izan dira hiztun kopuru ezberdina kontutan hartzeko). Bestalde, EARSHOT ereduak % 10eko urratsez kaltetuko dugunez, kalte-proportzio handiagoak zehaztasun apalagoari eragin beharko lioke.

3.4.2 Aktibazio fonologikoaren garapena

Ereduaren ebaluatzeke beste metodo bat denboran zehar duen aktibazio fonologikoaren garapenaren aztertzea izango da. Hau da, proba on batean, hots, ereduak sarrerako hitz bati ateratze ona eman dionean, aktibatutako hitz guztien garapena begiratzeko dugu, hitzaren esateko denbora tartean. Adibidez, 'katu' hitzarentzat, lehiaketa fenomeno bat ikusi beharko genuke hitzaren hasieran 'kate' hitzarekin, eta 'batu' hitzarekin 'katu' hitzaren bukaeran. Beste hitzez, 'katu' hitzaren auzoak, lehen fonemak amankomunean dituzten hitzak, gehiago aktibatuko dira 'katu' hitzaren hasieran bukaeran baino. Alderantziz, 'katu' hitzaren errimak, 'batu' bezala, gehiago aktibatuko dira 'katu' hitzaren bukaeran hasieran baino. Loturarik gabeko hitzek, aldiz, ez lukete aktibaziorik erakutsiko denboran zehar. Ikus Allopenna *et al.* (1998) lehiaketa fenomeno honen berri hartzeko gizakietan, eta Magnuson *et al.* (2020), ordea, EARSHOT ereduaren.

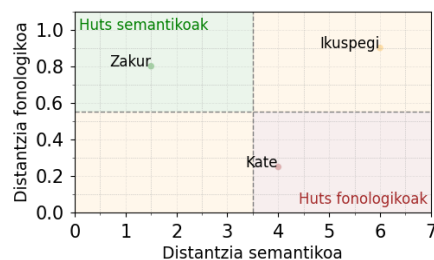
3.4.3 Huts motak

Ereduaren ebaluatzeke azken metodoa huts moten aztertzea izanen da. Hizkuntza-desoreka duten pazienteak ebaluatzeke, objektuen izendatzea galdegiten zaie. Erantzun txarra ematen denean, huts mota ezberdinak direla ikusten da. Katu baten marrazkiari begira, paziente batek zakur esan dezake, bi hitzen kontzeptuak lotuak direlako. Hau huts semantikoa dela diogu. Katuaren marrazkiaren aurrean, aldiz, beste paziente batek kate esan dezake. Hau huts fonologikoa dela diogu, bi hitzen fonologia edo soinua hurbilak baitira. Huts mota ezberdin horien aztertzeak pazientearen desgaitasun motari buruzko informazioak ekar ditzake.

Gure ereduaren ere halako hutsak aztertu ditzakegu. Hori egiteko, hitzen arteko distantzia semantikoa eta fonologikoa kalkulatu behar dugu. Distantzia semantikoa, esan bezala, bi hitzen kontzeptuen arteko distantzia da. Gure ereduaren, lehenago aipatutako kosinu distantzia izan daiteke, bi hitzen arteko bektoreen arteko kenketa dena. Distantzia semantikoa apala bada, bi hitzek zentzu hurbila dute. Distantzia fonologikoa kalkulatzeko, hitz pare (sarrera eta ateratzekoa) bakoitzaren arteko letra amankomunen proportzioa kalkulatu da, eta bati kenduko da. Adibidez, 'katu' eta 'kate' hitzek 3 letra amankomun dituzte 4en artean, beraz 0.25eko distantzia dute. Distantzia fonologikoa lekoa bada, bi hitzek ez dute letrarik amankomunean (adibidez 'katu' eta 'izei').

Huts egindako hitz pare bakoitzarentzat bi distantzia horiek kalkula ditzakegu eta atari bati konparatu. Atari bakoitza distantziaren batzbestekoa da. Hutsa atari semantikotik gora baina atari fonologikotik behera bada, distantzia semantiko handia baina distantzia fonologiko txikia duen hutsa dela esan nahi du, hau da, huts fonologikoa. Aurkako egoeran, huts bat atari semantikotik behera baina atari fonologikotik gora bada, distantzia semantiko txikia eta distantzia fonologiko handia duen hitz pare dela esan nahi du, hau da, huts semantikoa. Azkenik, bi atarietatik gora edo behera bada, huts zehaztugabea dela esan nahi du. Bigarren irudian huts adibide horiek ageri dira: huts fonologikoak gorri, semantikoak berdez eta zehaztugabeak horiz.

2. Irudia: 'Katu' hitzaren sarreran ageri ditzakeen huts mota ezberdinak. Datuak asmatuak dira.



4 Ondorioak

Hizketa naturala sarrera bezala hartzen duen eredu konputazional batek ulermen desgaitasunen ikertzea ahalbidetzen ahal digu, metodo ekologikotik hurbiltzen den manera batean. Eredu sinple honen erabiltzeak, eredu sakonen aurrean, ikusiko ditugun fenomenoaren hobeki ulertzeko aukera emanen dizkigu.

Lehen helburua, euskara-gaztelaniaren EARSHOT eredu elebidun bat sortzea da. Helburu hau lortzeko, EARSHOT ereduaren arkitektura berdina erabiliko dugu, baina ereduari euskarazko eta gaztelaniazko hitzak sartuko dizkiogu. Hitz horiek 5 hiztunek emandako 1000 hitz pare izango dira, ingelesezko ereduak hitzak berdinak

direnak. Gure EARSHOT eredu elebiduna ebaluatzeko, EARSHOT eredu elebakarrekin konparatuko dugu 3.4.1 eta 3.4.2. ataletan aipatutako metodoekin. Pertsona elebidunentzat, eredu elebiduna eredu elebakarra baino hobea izango dela aurreikusten dugu, testuinguru elebidun zein elebakarretan.

Bigarren helburua, euskara eta gaztelaniazko EARSHOT eredu elebakarren kaltetzea da, 3.3. atalean aipatutako metodoarekin. Helburu honen lorpena giza-datuekin egingo den konparaketa baten arabera ebaluatuko da, 3.4. ataleko zehaztasuna eta huts motak metodoak erabiliz. Pazienteen aktibazio fonologikoaren garapena ikertua ez denez paziente-ikerketetan, metodo hau ez dugu konparaketa honetan erabiliko. Hain zuzen, pazienteen emaitzak kaltetutako eredu elebakarrak simulatuko dituela aurreikusten dugu. Paziente-datu horiek BCBL ikerketa zentroak Gipuzkoako osasun-zentro batzuekin egindako proiektu amankomunekoak izango dira.

Azken helburua ebaluatzeko, kaltetutako eredu elebakarra eta elebiduna konparatuko ditugu, 3.4. atalean deskribatutako hiru metodoen bitartez. Hala nola, paziente elebidunen emaitzak kaltetutako eredu elebidunak kaltetutako eredu elebakardunak baino hobeto simulatuko dituela aurreikusten dugu.

5 Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Hizkuntza-desorekak ikertzen dituzten eredu konputazionalen sortzeak hizketaren prozesamendu sanoari eta kaltetuari buruzko ezagutzak handitzea ahalbidetzen du, kalterik gabeko eta kaltetutako ereduak ikertuz. Heterogeneotasun handia kontuan har daitekeen ikerketa metodo bat denez, elebitasuna eta hizkuntza-desoreka elebiduna ikertzeko metodo interesgarria dela uste dugu. Bestalde, paziente talde homogeneousak sortzeaz gain, eredu konputazionalak paziente profil guztiak simula ditzaketenez, hizkuntza-desorekaren jarraitasuna simulatzea ahalbidetzen du, baita elebitasunaren dibertsitate handiaren simulatzea ere. Era berean, erabilitako materiala moldatuz, euskalkien eta beste hizkuntzen ereduak ere sor ditzakegu, elebitasun mota ezberdinak ikertzeko baita halako elebidunetan agertzen diren hizkuntza-desorekak ere. Bestalde, etorkizuneko helburu bat izango da eredu horiek etengabeko hizketaren gainean trebatzea, hitz bakanetatik harat gertatzen diren fenomeno eta kalteak ikertzeko.

Sortutako ereduaren balioztatzea lortzen badugu, bestalde, eredu horiek terapia ezberdinen simulatzeko erabil ditzakegu ere. Terapien simulatzeko, gehien huts egindako hitzak biltzen dira eta ereduari berriz sartzen, haien berriz trebatzeko (ikus Peñaloza *et al.* (2020) halako terapien adibideen berri hartzeko).

Hala ere, ikerketa oso bat ziurtatzeko eta informazio garrantzitsu guztiak kontuan hartzen direla segurtatzeko, beste ikerketa metodoekin osatzea beharrezkoa dela iruditzen zaigu. Bereziki, klinika arloan ari diren profesionalen eguneroko lana hartu behar da kontuan. Pazienteek egiten dituzten huts motak lan klinikoetan aipatuak badira ere, ez dira manera sistematikoan bildurik, baizik eta manera anekdotikoan aipatuak. Huts horien bilketa sistematikoak desgaitasun profilak zehaztea ahalbidetuko luke, baita eredu konputazionalak baieztatzeke segurtasun handiagoa ere.

Erreferentziak

- Allopenna, Paul D, James S Magnuson, eta Michael K Tanenhaus. 1998. Tracking the time course of spoken word recognition using eye movements: Evidence for continuous mapping models. *Journal of memory and language* 38.419–439.
- Ansaldi, Ana Inés, Karine Marcotte, Lilian Scherer, eta Gaelle Raboyeau. 2008. Language therapy and bilingual aphasia: Clinical implications of psycholinguistic and neuroimaging research. *Journal of Neurolinguistics* 21.539–557.
- Chang, Franklin. 2002. Symbolically speaking: A connectionist model of sentence production. *Cognitive science* 26.609–651.
- Dijkstra, Ton, eta Walter JB Van Heuven. 2002. The architecture of the bilingual word recognition system: From identification to decision. *Bilingualism: Language and cognition* 5.175–197.
- , —, eta Jonathan Grainger. 1998. Simulating cross-language competition with the bilingual interactive activation model. *Psychologica Belgica* 38.
- Fabbro, Franco. 2001. The bilingual brain: Bilingual aphasia. *Brain and language* 79.201–210.
- French, Robert M. 1999. A simple recurrent network model of bilingual memory. In *Proceedings of the twentieth annual conference of the cognitive science society*, 368–373. Routledge.
- Goral, Mira, eta Zahra Hejazi. 2021. Aphasia in multilingual patients. *Current Neurology and Neuroscience Reports* 21.1–8.

- Grasemann, Uli, Claudia Peñaloza, Maria Dekhtyar, Risto Miikkulainen, eta Swathi Kiran. 2021. Predicting language treatment response in bilingual aphasia using neural network-based patient models. *Scientific Reports* 11.10497.
- Guest, Olivia, Andrea Caso, eta Richard P Cooper. 2020. On simulating neural damage in connectionist networks. *Computational brain & behavior* 3.289–321.
- Halai, Ajay D, Anna M Woollams, eta Matthew A Lambon Ralph. 2017. Using principal component analysis to capture individual differences within a unified neuropsychological model of chronic post-stroke aphasia: Revealing the unique neural correlates of speech fluency, phonology and semantics. *Cortex* 86.275–289.
- Hannagan, Thomas, James S Magnuson, eta Jonathan Grainger. 2013. Spoken word recognition without a trace. *Frontiers in psychology* 4.563.
- Hochreiter, Sepp, eta Jürgen Schmidhuber. 1997. Long short-term memory. *Neural computation* 9.1735–1780.
- Hull, Rachel, eta Jyotsna Vaid. 2007. Bilingual language lateralization: A meta-analytic tale of two hemispheres. *Neuropsychologia* 45.1987–2008.
- Khoe, Yung Han, eta Stefan L Frank. 2024. The bilingual dual-path model: Simulating bilingual production, processing, and development. *Linguistic Approaches to Bilingualism*.
- Kiran, Swathi, Uli Grasemann, Chaleece Sandberg, eta Risto Miikkulainen. 2013a. A computational account of bilingual aphasia rehabilitation. *Bilingualism: Language and Cognition* 16.325–342.
- , Chaleece Sandberg, Teresa Gray, Elsa Ascenso, eta Ellen Kester. 2013b. Rehabilitation in bilingual aphasia: evidence for within-and between-language generalization. *Rehabilitation*.
- Landrigan, Jon-Frederick, Fengqing Zhang, eta Daniel Mirman. 2021. A data-driven approach to post-stroke aphasia classification and lesion-based prediction. *Brain* 144.1372–1383.
- Laszlo, Sarah, eta David C Plaut. 2012. A neurally plausible parallel distributed processing model of event-related potential word reading data. *Brain and language* 120.271–281.
- Li, Ping, Igor Farkas, eta Brian MacWhinney. 2004. Early lexical development in a self-organizing neural network. *Neural networks* 17.1345–1362.
- , Xiaowei Zhao, eta Brian Mac Whinney. 2007. Dynamic self-organization and early lexical development in children. *Cognitive science* 31.581–612.
- Magnuson, James S, Daniel Mirman, eta Harlan D Harris. 2012. Computational models of spoken word recognition. *The Cambridge handbook of psycholinguistics* 76–103.
- , Heejo You, Sahil Luthra, Monica Li, Hosung Nam, Monty Escabi, Kevin Brown, Paul D Allopenna, Rachel M Theodore, Nicholas Monto, eta others. 2020. Earshot: A minimal neural network model of incremental human speech recognition. *Cognitive science* 44.e12823.
- McClelland, James L, eta Jeffrey L Elman. 1986. The trace model of speech perception. *Cognitive psychology* 18.1–86.
- Miikkulainen, Risto. 1997. Dyslexic and category-specific aphasic impairments in a self-organizing feature map model of the lexicon. *Brain and language* 59.334–366.
- Mirman, Daniel, Eiling Yee, Sheila E Blumstein, eta James S Magnuson. 2011. Theories of spoken word recognition deficits in aphasia: Evidence from eye-tracking and computational modeling. *Brain and language* 117.53–68.
- Peñaloza, Claudia, Katherine Barrett, eta Swathi Kiran. 2020. The influence of prestroke proficiency on poststroke lexical-semantic performance in bilingual aphasia. *Aphasiology* 34.1223–1240.
- Shook, Anthony, eta Viorica Marian. 2013. The bilingual language interaction network for comprehension of speech. *Bilingualism: Language and Cognition* 16.304–324.

6 Eskerrak eta oharrak

Ikerketa hau PRE2021-097232 erreferentziako, CEX2020 001010-S-21-1 proiektuko bekari esker gaututzen ari da, MCIN/AEI/10.13039/501100011033 eta FSE+-ek finantzaturik, baita ere, neurri batean PAC 2043903 (PI JSM) bekatik National Science Foundation-ek finantzaturik, eta PID2020-119131GB-I00 (PI JSM) proiektutik ere. Eskertu nahi nituzke James Magnuson, proiektu guztian zehar laguntzeagatik, Amaia Carrión-Castillo, artikulua irakurtzeagatik eta aholkuak emateagatik, eta Olatz Andonegui artikulua zuzentzeagatik.