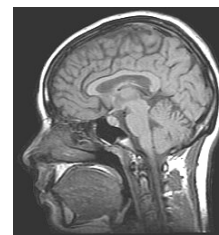


Pentsamendu matematikoaren oinarri fisiologikoak

Sarrera

Egun, pentsamendu matematikoaren sorrera eta garapena ulertu asmoz, eremu zientifiko ezberdinetatik jarduten da. Psikologia eta pedagogiaren ekarpenak ohikoak diren arren, azken hamarkadetan neurozientziek⁽¹⁾ izan duten bilakaera apartekoari esker, datu berriak fisiologiaren eskutik aurkitzen ari dira.



Pentsamendu matematikoa jaiotzetikoa datorkigu ala testuinguruak sorturikoa da? Zer gertatzen ote da gure garunean aljebra ala geometria problemak ebazten ditugunean? Ba ote dago aritmetika jarduerekin erlaziorik duen garuneko zonalde konkreturik? Hauexek dira, besteak beste, zerebroaren ikerkuntza alorreko esparru zientifiko berri honetan erabiltzen diren ikertze-galderak.

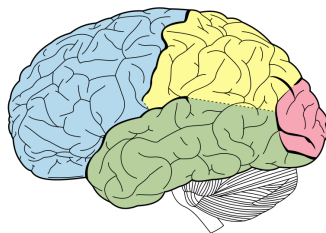
Iturria: [Wikipedia](#)

Erronka hauei aurre egiteko aurrerakuntza teknologikoa ezinbestekoa da eta, bereziki, erabiltzen diren teknikak ondoko hauek izaten dira:

- Garunak funtzionatzen duen bitarteko irudiak sortzeko teknikak: positroien bidezko tomografia⁽²⁾ eta erresonantzia magnetiko funtzionala⁽³⁾.
- Garuneko traumatismoak nozitu dituzten pazienteen gaineko ikerketak
- Esperimentu kognitibo-konduktualak⁽⁴⁾.

Zenbaki-zentzu goiztiarra

Nondik datorkigu zenbakiez pentsatzeko ahalmena? Jean Piageten⁽⁵⁾ ustez beharrezkoak dira arrazonamendu logikoarekin loturiko aurre-egitura matematikoak izatea zenbakien bidez pentsatu ahal izateko. Hauen artean propietate trantsitiboa (hau da, $A > B$ eta $B > C$; orduan, jakin behar da $A > C$) eta zenbakiaren iraunkortasuna (hots, multzoen arteko korrespondentzi biunibokoak egiteko ahalmena). Piageten teoriaren arabera, abilezia hauek 4-5 urte bitartean eskuratzen dira.



Iturria: [Wikipedia](#)

Alabaina egungo ikerkuntzak adierazten du:

- Urte beteko haurretan zenbaki-zentzu oinarri-oinarrizkoa atzeman daitekeela
- Zenbaki zentzu hori mintzamenetik berezita dagoela.
- Koloreekin gertatzen den bezala, gizakiok jaiotzen gara zenbaki txikiak identifikatzeko garun-zirkuitu espezializatuekin.

Neurona modulu espezializatu hauen bidez zera ahalbideratuko litzateke: alde batetik, kantitate kontzeptuaren ulerkuntza eta, bestaldetik, geroko ahalmen matematiko konplexuagoen garapena.

Zenbaki-zentzua kontrolatzen duen modulu espezializatu hauek erabat lokalizatuta egon gabe ere, egungo datu gehienak garuneko ezker-lobulu parietaleko behealdera begira daude (alboko irudian zonalde horia⁶).

Burmuineko zenbaki-zentzuaren irudikapena

Aurreko mendeko bigarren hamarkadatik susmatzen da arestian aipaturiko zonalde parietal hori lau azpi-zonaldeetan berezitura dagoela.

Garia hartan Josef Gerstmann⁽⁸⁾ izeneko neurologoak aurkitu zuen garuneko ezker-lobulu parietaleko behealdeko lesioak sufritzen dituzten gaixoez azaltzen zituztela ondoko sintoma hauek: *akalkulia* (zenbakiak erabiltzeko ezintasuna), *agnosia digital* (atzamarrek izendatzeko eta seinatzeko ahalmen falta), ezker eta eskuina orientatzeko ezintasuna eta *agrafia* (ideiak idatziz adierazteko zailtasuna).

Egungo datuek konfirmatzen dute behaketa hori eta, haratago joz, nabarmentzen dute erlazionatuta daudela honako neurona-zirkuitu hauek: zenbaki-zentzuarena, informazio espazialarena (hau da, inguruko objektuen posizioaren gaineko errepresentazio abstraktua) eta atzamarren erabilpenarena.

Lehenengo erlazioari dagokionez (hots, zenbaki-zentzua eta adimen espazialaren artekoa) ikusi da burmuinak ez dituela zenbakiak erabiltzen sinbolo hutsak balira bezala. Aitzitik, egungo neurologia arloko ikerkuntzak pentsatzera garamatza garunak espazialki ordenatzen dituela zenbakiak, digitu bakoitzari egokiarazten dion balio kuantitatibo baten arabera eta orden hau adieraz daitekeela, figuratiboki, eskerretik eskuinera doan zuzena izango balitz bezala. Zuzen horretan zenbakiak kokatuko lirarteke, zein bere balore kuantitatiboaren arabera.

Zenbakien intuizioan irudimenduzko zuzen jarraitu honek jokatzeko duen rol garrantzitsua ondoko frogak hauek oinarritzen dira:

- Adimen espaziala eta zenbaitetarako abileziaren artean erlazio estatistikan.
- Distantzia efektuan. Efektu honen arabera bi zenbakiak konparatzean (zein den handiena ala txikiena adibidez) eragina du zenbakien arteko distantzia: zenbakien artean zenbat eta distantzia *luzeagoa* izan orduan eta denbora gutxiago ematen da erabakitzeko. Aitzitik, zenbakien arteko distantzia murriztean, konprobatzen da denbora gehiago ematen dela zirt edo zart egiten.
- Tamaina-efektuan. Honen arabera eta "distantzia" faktorearekin gertatu bezala, zenbakien *tamainak* ere zailtzen du zenbakien arteko diskriminazioa; hau da, zenbakien arteko distantzia berbera izanik, zenbat eta handiagoak izan orduan eta denbora gehiago ematen da konparatzen. Esate-baterako une laburxeagoa behar dugu jakiteko zein den handiena 3-2 zenbaki bikotean, 9-8 bikotearekin baino.
- SNARC efektuan (akronimoa da: Spatial-Numerical Association of Response Codes⁷). Efektu honen arabera eginkizun sinpleetan, adibidez zenbaki bat bakoiti ala bikoitia ote den erabakitzeko, zenbaki handien kasuan erantzun arinagoak adierazten dira eskuin-eskuaz, ezker-eskuaz baino. Aitzitik, zenbaki txikiekin erantzun azkarrenak ezker-eskuaz ematen dira. Efektu hau ezkertietan ere agertzen da baita beso gurutzatuta duten eskuinekin ere.

Hala ere efektu zenbaki-espazioaren arteko erlazio hau kulturaliki eraginda dago; izan ere, ikusi da ikasle iraniarrekin alderantzizko fenomeno agertzen dela (Iran eskuinetatik ezkerretara irakurtzen da).

Laburbilduz, aurkikuntza hauek iradokitzen dute zein den burmuinak zenbaki arruntak irudikatze erabiltzen duen kode-sistematik oinarritzekoena: zuzen jarraituarena. Honen arabera, zuzen hau ezkerretatik eskuinetara modukoa litzateke eta zenbakiak, zuzen jarraitu horren banaketa-puntuak izango lirarteke, euren magnitude-zentzuaren arabera atonduta. Funtsean garunarentzat ez bide dago magnitude (pisu, luzera ala bolumena) eta zenbakien arteko alde nabarmenik zeren biak erabiltzen baitu modu kuantitatiboa (kantitateak baira bezala).

Amaitzeko ezin da oharkabea pasatzen utzi atzamarren erabilpen kontrolatzen duten neurona-zirkuituek eta zenbaki-zentzuaren arteko erlazioa ere. Aintzat hartu behar da kultura guztietan kontatzen ikasten dela atzamarrek erabiliz eta zenbatzeko sistemak eraginkorrenak hamartarra ala honen multiplokoak direla.

Zenbakien prozesamenduko neurona-zirkuituen gaineko modeloak

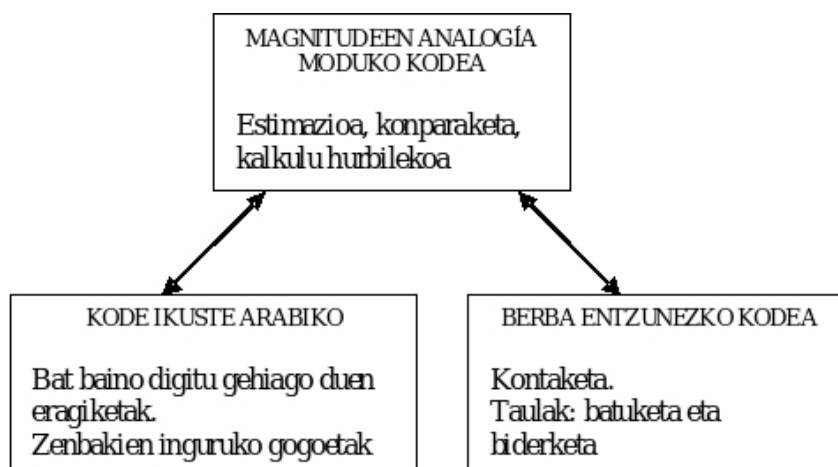
Ikerkuntza neuropsikologikoek zenbakizko informazioa burmuinak nola prozesatzen duen ezagutzeko gero eta datu gehiago ematen dute, bereziki, zein zonaldek duten zerikusirik prozesamendu horrekin eta bakoitzaren zeregina.

Topografia zerebral honek bukatu gabe dago baina honen arabera bai azpimarratzen dela ezker-lobulu parietalak duen parte-hartzea aritmetikaren burmuinezko prozesamenduan. Hala ere, eginkizun honetan beste zonalde batzuek ere esku-hartzen dutela aipatu behar da, batez ere, ikuste gaitasunarekin erlazioa dutenak.

Egun dauden datu guztiak integratu guran zenbait modelo proposatu dira ulertzeko zein zonalde dauden konprometituta zenbakien zentzua lortzearekin. Modelo hauen artean *kode hirukoitzarena* izan daiteke nabarmenduenetakoa. Modelo hau ondoko postulatu hauetan oinarrituriko litzateke:

Lehenengoa: zenbakizko informazioa hiru kode motarekin lot daiteke:

- Kode kuantitatiboa. Honen bidez, zenbakizko informazioa magnitudeena izango balitz bezala erabiltzen da eta zenbakiak bakoitzari bere balio kuantitatiboagatik esleituko litzaiok e posizio bat zuzen jarraituan
- Kode berba-entzunezkoa. Zenbakizko informazioa identifikatuko litzateke hitz-kate batekin.
- Kode ikuste-arabikoa. Zenbakizko informazioa lotuko litzateke zeinu edo ikur-bilduma batekin.



Bigarrena: Kodigo mota bat ala bestea hautatzea unean-uneko eginkizunaren menpe dago. Hala, digitu bat baino gehiago izan behar dituzten eragiketa matematikoen ala zenbakien inguruko gogoetek (bikoiti ala bakoitia, lehena ala konposatua,...) suspertuko lukete kode ikuste-arabikoa baina kontaketa eta biderketa-aula inplikaturik dauden eginkizunek berba entzunezko kodea sustatuko lukete. Azkenik, zenbakien arteko konparazioak, estimazioak eta kalkulu hurbilak egiteko estimulatuko litzateke zenbakien zentzu kuantitatiboa.

Hirugarrena: Zenbakizko informazioa zerebroko zonalde batetik bestera igorri daiteke eta, ondorioz, kode batetik bestera informazioa transkodifikatzeko prozesu neuronalak daude.

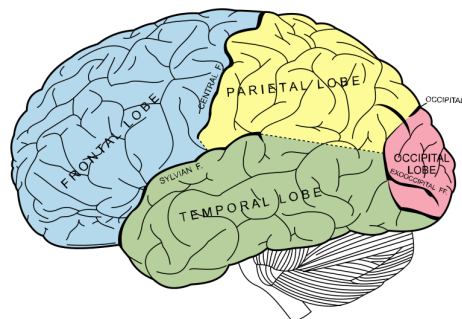
Amaitzeko, zenbait nabardurak:

a.) Burmuinean hemisferioen arteko espezializazioa bide dago. Ezker hemisferioko lobulu parietalak erlaziorik du zenbakizko

informazioa magnitude moduko erabilpena eta hemisferio honetako ikuste-sistema (hau da, kortex okzipi-temporala) erlazionatuta legoke zifra arabikoen errekonozimenduarekin baita kalkulu doiak egitearekin ere. Aitzitik, eskuin-hemisferioak berba entzunezko errekonozimendua prozesatzeko ardura leukake.

b.) Zenbakien zentzua ahalbideratzen dituen neurona-zirkuituek erlazio estua adierazten dute espazioaren errepresentaziokoekin.

c.) Zenbakien zentzua ahalbideratzen dituen neurona-zirkuituek, ordea, banatuta dirudite lengoaia, memoria eta arrazonamendu orokorra kontrolatzen duten neurona-zirkuituetatik. Azken puntu hau Piageten teoriaren kontra doa. Autore honen arabera arrazonatze-gaitasunaren garapenak dakar zenbakien zentzua baina ikerketa neuropsikologikoei adierazten dute ahalmen bi hauen banaketa.



Iturria: [Wikipedia](#)

Bibliografia gehigarria

- (1) <http://es.wikipedia.org/wiki/Neurociencia>
- (2) http://es.wikipedia.org/wiki/Tomograf%C3%ADa_axial_computarizada
- (3) http://es.wikipedia.org/wiki/Resonancia_magn%C3%A9tica_nuclear
- (4) http://es.wikipedia.org/wiki/Terapia_cognitiva
- (5) http://es.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget
- (6) <http://es.wikipedia.org/wiki/Cerebro>
- (7) http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VRT-4CV84SX-F-5&_cdi=6243&_user=10&_orig=search&_coverDate=07%2F13%2F2004&_sk=999859986&_view=c&_wchp=dGLzVlz-zSkWz&_md5=361531b7e70f6a5d631439f29c22c73f&_ie=/sdarticle.pdf
<http://www.unicen.edu.ar/crecic/analesafa/vol17/l5.pdf>
- (8) http://iier.isciii.es/er/prg/er_bus2.asp?cod_enf=1102