

CE ESTE CONȘTIINȚA?

O abordare
din perspectiva neuroștiinței

Alberto Ferrús

CUPRINS

Introducere	7
Despre folosirea termenului de <i>conștiință</i>	9
Conflicte și dezbateri	11
Un punct de plecare	13
 Sediul conștiinței	 17
Cum se formează și funcționează creierul?	19
<i>Rafael Lorente de Nó</i>	22
Limbajul neuronilor	27
<i>Să gândești nu e ieftin</i>	33
<i>Nu sunt același</i>	34
Cum analizăm activitatea creierului	35
<i>Roger W. Sperry</i>	36
Oscilații. Ritmul orchestrei	45
 Starea funcțională conștientă	 49
„Qualia“, un castel inexpugnabil	52
Problema unicității (<i>binding problem</i>)	54
Patologii iluminatoare	57
Atenție, intenție și emoție	61
<i>Haine care deprimă</i>	61
Ce teorii oferă o explicație pentru conștiință?	63
<i>Wolf Singer</i>	65
<i>Rodolfo Llinás</i>	69
<i>Jean-Pierre Changeux</i>	76
Cine dirijează orchestra?	79
<i>Conștiință și religie</i>	80
<i>Diferențe între sexe în privința sensibilității</i>	82
 La limitele conștiinței	 85
Conștiința de-a lungul vieții	87
Nivelurile de conștiință	90

Fără creier, dar nu inconștienți	97
<i>Este conștiința de stânga?</i>	100
Suntem singurele animale conștiente?	102
 Conștiința artificială	 111
Cuvintele sunt lucrarea diavolului. Originea IA	115
Unicitate	118
De la proteze la cyborgi	120
Ce ne lipsește astăzi?	122
 Epilog	 125
 Bibliografie consultată	 133
 Bibliografie recomandată	 139

Tradiționalul dualism minte-corp care a caracterizat în mod istoric perspectiva asupra proprietăților și capacităților mentale a fost un obstacol în calea avansării în cunoașterea și înțelegerea acestor aspecte. Știința modernă a renunțat la dualism și, indiferent ce este conștiința, se pleacă de la supoziția că natura sa este biologică și că, prin urmare, explicația sa trebuie căutată în sistemul nervos în general și în creier în special. Din acest motiv, este esențial să facem câteva însemnări cu privire la părțile și mecanismele care susțin funcționarea activității noastre cerebrale.

Cum se formează și funcționează creierul?

Creierul ia naștere din proliferarea celulelor situate la capătul anterior al tubului neural embrionar, vezicula proencefalică sau creierul anterior (vezi figura 2A, p. 25). Datorită proliferării celulelor peretelui tubului, după 25 de zile, se pot distinge, dinspre anterior spre posterior, trei vezicule, care constituie creierul anterior (*forebrain*), creierul mijlociu (*midbrain*), respectiv creierul posterior (*hindbrain*). Restul tubului neural va da naștere măduvei spinării. Creierul uman continuă să crească, după naștere, până la vârsta de aproximativ 15–20 de ani. În tot acest timp, el își triplează greutatea, în principal

datorită creșterii densității ramificațiilor celulelor sale și ajustării numărului de contacte funcționale (sinapse). Cu toate acestea, numărul de celule nu variază substanțial de la naștere până la senectutea normală. Concomitent cu această perioadă de maturizare, oamenii dezvoltă noi abilități de vedere, calcul, limbaj, abilități sociale și așa mai departe. În legătură cu acest ultim aspect, merită amintit faptul că oamenii nu sunt singura specie care are nevoie să mențină o relație strânsă cu părinții săi după naștere. Marsupialele, precum cangurii, au și ele nevoie de o interacțiune materno-infantilă îndelungată pentru învățarea corectă a multor comportamente sociale și de supraviețuire.

Câțiva dintre nucleii implicați în formarea stării conștiente sunt prezentați în figura 2B, de la p. 26. Se poate observa că există nucleii formați în cele trei vezicule telencefalice, care ajung în măduva spinării. Această dispunere reflectă faptul că starea conștientă implică, de fapt, întregul creier și nucleii săi și, prin extensie, întregul corp. Așa cum vom vedea, starea conștientă necesită o stare de veghe, sau cel puțin nu una de somn profund, care implică reglarea tonusului muscular, a ritmului cardiac, a respirației și așa mai departe. Deși partea dreaptă și partea stângă a fiecărei vezicule telencefalice formează nucleii aparent identici, la scară microscopică, conectivitatea este diferită. De aici rezultă specializarea funcțională a fiecăreia dintre emisferile creierului, despre care vom discuta mai târziu. Structura tubulară a sistemului nervos forțează toate conexiunile dintre nucleii cerebrali să urmeze direcția longitudinală a celor trei vezicule în care își are originea fiecare centru, deși comunicarea încrucișată dintre emisfere, prin intermediul corpului calos, un fascicul dens de axoni bilaterali, este necesară pentru o funcționare globală normală. O secționare

transversală a corpului calos permite individului să ducă o viață normală, dar cu subtile modificări în ceea ce privește percepția stimulilor și executarea abilităților. Majoritatea fibrelor senzoriale care urcă spre cortex, precum și a fibrelor motorii care coboară din cortex trec dintr-o parte în alta, în apropierea trunchiului cerebral, în așa-numita „decusație piramidală”. Din acest motiv, partea dreaptă a corpului este reprezentată și controlată de emisfera stângă și invers.

Cortexul cerebral, fără îndoială nucleul cu cel mai mare număr de celule din întregul creier, prezintă, la nivel microscopic, o organizare modulară. Neuronii din această zonă sunt grupați în coloane, denumite mai exact „minicoloane corticale”. Descrise inițial de Lorente de Nó (vezi casetă „Lorente de Nó”, pp. 22–24), dar caracterizate pe larg de Vernon Mountcastle, minicoloanele corticale constituie unități morfologice și funcționale. Morfologice deoarece tipurile de celule care le formează se identifică repetitiv în tot cortexul, iar funcționale deoarece stimularea unei singure celule determină stimularea tuturor celorlalte celule constitutive ale unei coloane. În plus, extensiile colaterale conectează coloanele între ele, astfel că putem deduce că o coloană corticală constituie unitatea minimă de procesare și că există o ierarhie a nivelurilor de procesare în funcție de numărul, localizarea și extinderea modulelor implicate. Experimentele desfășurate pe coloanele corticale din cortexul frontal al primatelor non-umane arată faptul că activitatea acestora generează funcții executive [6]. Asemănările cu materialele utilizate în abordarea inteligenței artificiale (IA) devin evidente. Despre acest aspect vom discuta mai multe în ultimul capitol.

Rafael Lorente de Nó

Lorente de Nó s-a născut la 18 aprilie 1902, în Zaragoza, într-o familie înstărită. S-a înscris la Facultatea de Medicină a Universității din Zaragoza la vârsta de 15 ani, iar la 18 ani s-a transferat la Universitatea din Madrid, pe care a absolvit-o în 1923. A lucrat ca asistent la Institutul Cajal, din 1921 până în 1929. A urmat un stagiul postdoctoral la Universitatea din Uppsala, Suedia, din 1924 până în 1927, sub conducerea neurologului austriac Robert Bárány, apoi un scurt stagiul la Berlin, în 1925, sub îndrumarea neurologilor germani Oskar și Cecile Vogt. În 1927, s-a specializat în otorinolaringologie la Universitatea din Madrid și în diferite centre din Germania, iar din 1929 până în 1931 a practicat această specialitate la Santander, din cauza lipsei de resurse financiare pentru a-și continua activitatea de cercetare. În același an, s-a căsătorit cu Hede Birfeld, la Madrid. La scurt timp după aceea, a emigrat împreună cu soția în Statele Unite ale Americii, unde a fost angajat de Central Institute for the Deaf, din St. Louis, Missouri. În 1935 s-a mutat la Universitatea Washington ca lector, iar în 1936 la New York, la Institutul Rockefeller, unde, cinci ani mai târziu, a obținut un post permanent. În 1944 a devenit cetățean american. S-a pensionat în 1970, dar a fost numit profesor emerit în 1972, de către Brain Research Institute al Universității din Los Angeles, California, unde a activat până în 1980. A murit la 2 aprilie 1990, în Tucson, Arizona, din cauza unui cancer.



Lorente de Nó.

Unul dintre fondatorii neurofiziologiei

Spre prima jumătate a secolului XX, școala neurohistologică a lui Cajal reușise să descrie, destul de detaliat, structura sistemului nervos, tipurile de celule și principalele circuite ale acestuia. Însă mecanismele funcționale ale creierului erau încă, în mare măsură, necunoscute. Cajal și majoritatea discipolilor săi speculaseră asupra posibilei relații dintre structura creierului și comportament, dar, pentru a explica diferențele cognitive dintre specii, au postulat o teorie

columnară a neocortexului. Modul cum sunt transmiși stimulii în aceste circuite reverberante depinde de simultaneitatea activării neuronilor care le compun. La rândul său, mecanismul propus pentru această sincronie temporală se bazează pe facilitarea comunicării între neuroni prin punctele de contact sinaptice ale acestora. În esență, propunerea lui Lorente de Nó reprezintă o viziune nouă asupra structurii sistemului nervos, în care circuitele apar ca niște entități tranzitorii și localizate, nu ca niște conexiuni fixe și esențialmente egale între ele.

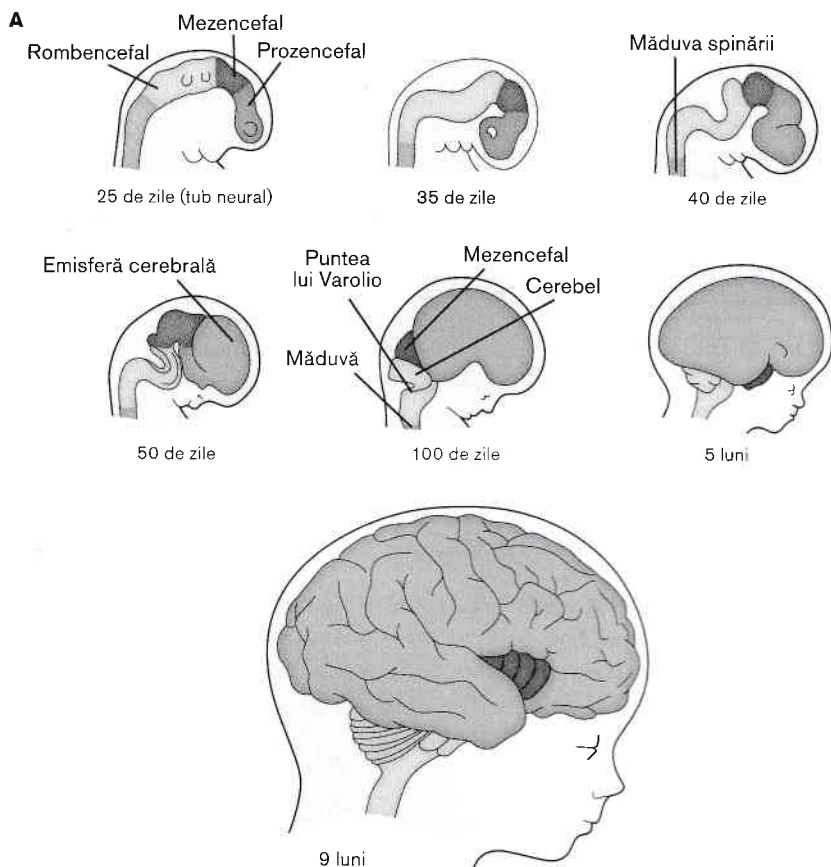
Conceptele propuse de Lorente de Nó au influențat, printre altele, ideile lui Donald Hebb, părintele biopsihologiei, despre întărirea sinaptică în urma convergenței repetate a stimulilor ca mecanism fundamental în formarea memoriilor. Interneuronii și circuitele reverberante au bio-inspirat și cibernetica actuală. De asemenea, natura modulară a organizării cortexului cerebral a servit și ca sprijin pentru mai multe ipoteze funcționale care au încercat să elaboreze o teorie generală a creierului. Ca în orice activitate de cercetare, au existat însă și erori. În cazul lui Lorente de Nó, care și-a susținut convingerile cu vehemență, a rămas ca o pată respingerea cu încăpățănare a explicației ionice a potențialului de acțiune propusă de fiziologii Alan Hodgkin și Andrew Huxley, explicație care le-a adus Premiul Nobel pentru Medicină în 1963. Ca să fim mai exacti, Lorente nu a negat existența fluxurilor ionice de sodiu și potasiu, ci s-a opus ideii potrivit căreia gradientul de concentrație prezent de o parte și de alta a membranei plasmatică ar fi fost forța motrice a acestui flux. De fapt, el a sintetizat un compus de tetraetilamoniu (TEA) care a constituit unul dintre instrumentele esențiale pentru inactivarea canalelor de potasiu.

Toți stimulii care ajung la cortex și sunt percepuți în mod conștient trec mai întâi printr-un alt nucleu, talamusul, care este situat central în fiecare emisferă (vezi figura 2B, p. 26). Între cortex și talamus se stabilesc circuite în buclă, a căror activitate coordonată este esențială pentru percepția conștientă. În cele din urmă, sistemul talamus-cortex se conectează cu alți nuclei din mezencefal (vezi figura 2B) și cu cei din trunchiul cerebral de la începutul măduvei spinării. Această din urmă regiune include formațiunea reticulară, care reglează

tranziția somn-veghe și coordonează activitatea fiziologică a numeroase organe din corp: plămâni, inimă, mușchi etc., în funcție de nivelul de conștiință.

Înainte de a trage concluzia că, în demersul nostru de a înțelege funcțiile globale, precum conștiința, singurele relevante sunt căile de conectare din creier, merită să cunoaștem câteva detalii despre modul în care comunică toate celulele

Dezvoltarea creierului uman



care alcătuiesc aceste căi. Vom vedea natura mecanicistă a conversațiilor neuronale, precum și caracterul lor dinamic și, prin urmare, probabilistic.

Limbajul neuronilor

În creier există doar celule, împărțite în trei mari categorii: neuroni, celule gliale și celule endoteliale. Neuronii comunică între ei prin intermediul unor contacte specializate numite sinapse, a căror activitate este modulată de celulele gliale (glia), prin mecanisme pe care le vom vedea mai târziu. Celulele endoteliale constituie vasele de sânge extinse care transportă oxigen și nutrienți către restul celulelor, eliminând în același timp CO_2 și alte deșeuri metabolice. La om, există aproximativ 86 de miliarde de neuroni, un număr echivalent de celule gliale și 7 miliarde de celule endoteliale. Mai mult de 99% din toate aceste celule sunt localizate în creier, iar restul în măduva spinării.

Toate celulele din organism mențin concentrații diferite de ioni (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , printre altele) la exteriorul celulei în raport cu interiorul acesteia. Acest lucru se datorează înzestrării cu transportatori și canale specifice pentru ioni care caracterizează fiecare tip de celulă, precum și impermeabilității membranei celulare la difuzia liberă a acestor ioni. Canalele sunt proteine încorporate în membrană care permit trecerea ionilor, motiv pentru care sunt denumite „canale ionice”. Structura lor moleculară le permite să se specializeze în trecerea unui ion sau altul; astfel, vorbim de canale Na^+ , canale Ca^{2+} , și așa mai departe. În mod normal, direcția fluxului de ioni este determinată de concentrațiile relative ale fiecărui ion de o parte și de alta a membranei. În schimb, transportatorii deplasează un anumit

ion împotriva gradientului, exterior–interior celulei, și, prin urmare, necesită energie. Ionii, fiind particule încărcate electric, generează o diferență de potențial de-a lungul membranei celulare, care se numește „potențial de repaus” (de exemplu, -60 mV). Această valoare depinde de valorile concentrațiilor absolute ale fiecărui tip de ioni din interiorul și exteriorul celulei. Unii ioni, cum ar fi Ca^{2+} și Na^+ , sunt mai abundenți în exteriorul celulei, în timp ce alții, cum ar fi K^+ , sunt mult mai abundenți în interior. Prin urmare, există un gradient de concentrație diferit pentru fiecare ion. Unele tipuri de celule, cum ar fi neuronii, au un număr mare de canale ionice, lucru care le face „excitabile”, spre deosebire de altele mai puțin excitabile, cum ar fi celulele epidermice. Atunci când un neuron deschide, din orice motiv, un tip de canal ionic (de exemplu, când o moleculă externă se leagă de un receptor cuplat la un canal sau dacă se transmite curent electric prin intermediul unui electrod), acesta suferă o modificare a potențialului său de repaus. Alterarea constă într-un flux de ioni care se deplasează în direcția favorabilă gradientului de concentrație al acestora de o parte și de alta a membranei celulare, ceea ce modifică pentru un timp valoarea potențialului de repaus, celula încercând apoi să îl restabilească prin deschiderea unor canale specifice pentru un alt ion care să se deplaseze în sens opus celui care tocmai a intrat. După restabilirea potențialului de repaus, a încetat „excitația”, care poate fi depolarizantă (valori pozitive mai mari decât -60 mV) sau hiperpolarizantă (valori negative mai mari decât -60 mV), în funcție de tipul de ion mobilizat în primul flux.

În ceea ce privește comunicarea dintre celulele din creier, ne putem concentra exclusiv pe primele două tipuri: neuroni și celulele gliale. Dacă ne referim la viteza de comunicare, cel mai rapid mecanism este executat de așa-numitele „sinapse

electrice“, unde transmiterea este instantanee (vezi figura 3A, p. 30). Se spune că doi neuroni sunt cuplați electric atunci când impulsul primit de un neuron este transmis fără întârziere partenerului său, ca și cum ar fi două fire conectate direct. Impulsul ajunge însă în celula cuplată cu o amplitudine mai mică, acesta sfârșind prin a se stinge după câteva transferuri între neuronii cuplați electric. Al doilea mecanism, în ordinea vitezei, este reprezentat de sinapsele chimice, unde întârzierea în transmisie este de obicei de o milisecundă (vezi figura 3B, p. 30). Aceste sinapse sunt numite „chimice“ deoarece utilizează o moleculă pentru a media transmiterea impulsului electric de la un neuron (presinaptic) la neuronul său conectat (postsinaptic); atunci când impulsul electric ajunge la capătul primului neuron, un neurotransmițător chimic este eliberat în spațiul intersinaptic și detectat de receptorii săi specifici de pe neuronul următor. În funcție de tipul de neurotransmițător/receptor, efectul asupra neuronului receptor poate fi excitator (de obicei depolarizant) sau inhibitor (de obicei hiperpolarizant). Deși numărul de sinapse chimice este mult mai mare decât cel al sinapselor electrice, viteza mai rapidă a acestora din urmă poate fi decisivă în anumite contexte, de exemplu, în recrutarea neuronilor pentru a amplifica soseala unui stimul relativ slab.

Glia îndeplinește mai multe funcții importante la nivelul sinapsei chimice, participând la: recaptarea excesului de neurotransmițători și K^+ (unii neurotransmițători, cum ar fi glutamatul, fiind foarte toxici pentru celule), reglarea volumului spațiului intersinaptic, eliberarea propriilor mesageri (gliotransmițători cum ar fi glutamatul, D-serina sau ATP) și informarea altor neuroni din mediul său cu privire la starea de excitație a sinapsei la care contribuie respectiva glie.

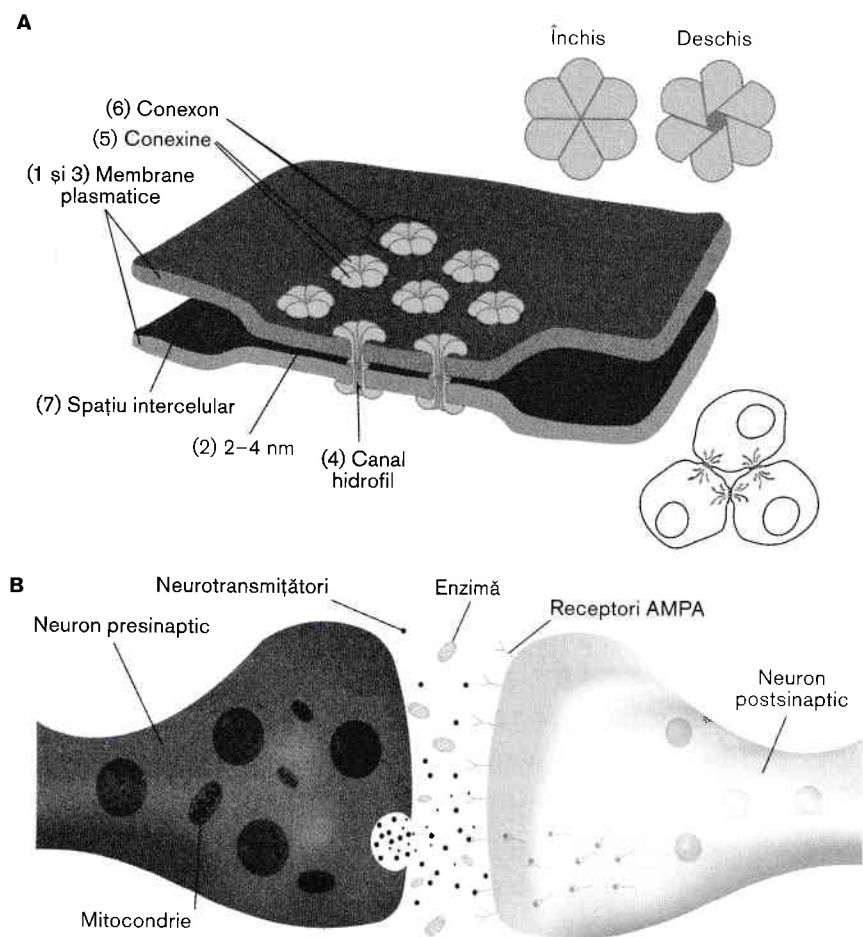


Figura 3: Două tipuri de sinapse. (A) În cazul sinapsei electrice, ambii neuroni (1, 3) formează grupuri de proteine identice (conexine) (4, 5, 6), de o parte și de alta a sinapsei. Transmiterea impulsului electric, atât depolarizator, cât și hiperpolarizator, este instantanee, deși amplitudinea semnalului este atenuată în neuronul receptor. Spațiul (2) dintre membranele celor două celule (7) este foarte mic (2 nm), din cauza cuplării strânse a conexinelor (5, 6), care formează canale identice (4) în fiecare neuron. (B) În cazul sinapsei chimice, elementul presinaptic eliberează unul sau mai mulți neurotransmițători prin exocitoză. Acest proces este dependent de Ca^{2+} și are loc în specializări (zone active) ale neuronului presinaptic. Viteza de transmisie este de o milisecundă, iar spațiul intercelular la aceste sinapse poate fi de 5–7 nm.