

TREBALL BIOINFORMÀTICA
BIOLOGIA DEL CERVELL HUMÀ

Terrassa, Maig de 2010

Índex

1	Motivacions i introducció	1
2	Sistemes sensorials	3
2.1	Oïda	3
2.2	Vista	5
2.3	Gust	9
2.4	Olfacte	10
2.5	Tacte	11
3	Processos i funcions mentals	14
3.1	Memòria	14
3.2	Raonament	16
4	Aprenentatge	20
4.1	Aprenentatge simple	21
4.2	Aprenentatge associatiu	23
4.3	Aprenentatge complex	26
5	Neurones	29
5.1	Neurones	29
5.2	Sinapsi	31
5.3	Potencial d'acció	33
6	Conclusions	35
	Bibliografia	36

Capítol 1

Motivacions i introducció

Es pot definir la bioinformàtica com l'aplicació de les ciències de la computació per a la resolució, gestió i anàlisi de dades biològiques. Recentment els biòlegs necessiten, cada cop més, computadors més potents per tal de trobar respostes a les seves recerques, les noves eines tecnològiques poden ser de gran ajuda per aquests investigadors. D'altra banda però, també hi ha una altra vessant de la bioinformàtica, aquella que utilitza els coneixements biològics, la inspiració natural, com a mitjans per tal de dissenyar algorismes capaços de computar dades de qualsevol tipus.

Els símls biològics que s'utilitzen per tal de dissenyar algorismes es coneixen amb el nom de **sistemes bioinspirats**. En són un exemple les xarxes neurals, que imiten l'organització de les neurones i les seves connexions per tal de crear xarxes, virtuals, que facilitin el còmput de dades. Hi ha d'altres exemples, el sistemes d'eixams o els agents intel·ligents, que també són utilitzats sovint per tasques similars.

La inspiració natural d'altres estructures, com ara les teranyines, els antibiòtics naturals produïts per fongs, etc. també s'apliquen en altres àrees de coneixement, no només en la informàtica. El motiu rau en que sovint és més òptim observar com la natura ha sol·lucionat certs aspectes i intentar traduir-los a les nostres necessitats, per exemple, en algorismes informàtics, en la visió per computador, la intel·ligència artificial, la biomedicina i les comunicacions. Tots aquests són exemples que es basen en la observació de fenòmens naturals per tal de facilitar la resolució de certs problemes.

En el transcurs de l'assignatura s'han vist alguns dels sistemes bioinspirats més utilitzats. S'han estudiat els fonaments de les xarxes neurals, amb els models més utilitzats, així com els primers models creats. També s'han estudiat els algorismes d'aprenentatge més coneguts, el de Hebb, el del Perceptron, l'Adaline... S'ha aprofundit en l'algorisme del **backpropagation**, el seu funcionament i les seves característiques més importants. Finalment també s'han donat els conceptes de les xarxes competitives, com les de Kohonen, les associatives, les de Hopfield i també les RBF.

En aquest treball es pretén donar un repàs al vessant més biològic de les neurones i per extensió a la biologia del cervell humà. D'aquesta manera es poden comple-

mentar els coneixements més tècnics amb els de caire més “natural”. Així doncs es deixa de banda l’aspecte més informàtic del tema. El treball està dividit en diversos capítols on es tractaran diferents temes. A continuació es detalla l’estructura del treball.

D’una banda hi haurà un capítol dedicat als **sistemes sensorials**. En aquest apartat es farà un repàs a com funcionen els diversos sentits de l’ésser humà, concretament, la oïda, la vista, el gust i el tacte.

El capítol següent s’endinsarà en el tema dels **processos i funcions mentals**. Dins d’aquest apartat s’explicaran aspectes relacionats amb la memòria dels humans, com funciona i el raonament.

També hi haurà un capítol dedicat a l’**aprenentatge**. Dins d’aquest capítol es fa un repàs a diferents tipus d’aprenentatge com per exemple el simple, l’associatiu i el comple.

Finalment a l’últim capítol, **neurones**, es veurà com són les neurones i la seva estructura interna. A més es parlarà del potencial d’acció i de la propagació del senyal entre les diverses neurones. Per completar-ho s’explicaran alguns conceptes sobre la sinapsis química.

Hi ha un parell de capítols més que completen aquest treball. El present on s’introdueix el tema a tractar i l’organització del treball. Al final hi ha un capítol dedicat a algunes conclusions a partir de tot el que s’ha explicat.

Capítol 2

Sistemes sensorials

El sistema sensorial és la part del *sistema nerviós*, responsable de processar la informació sensorial. Aquest sistema està format per diversos sentits, com ara l'oïda, la vista, el gust, el tacte i l'olfacte. D'altra banda però, també es poden considerar sentits d'altres sistemes com el de l'equilibri, la propiocepció, etc. En aquesta secció es veuran alguns d'aquests sentits i es veurà com es relacionen amb el cervell.

2.1 Oïda

Definicions

Què entenem per oïda? Una possible definició per aquest sentit podria ser:

Definició 1 *És l'habilitat de percebre sons detectant vibracions per mitjà d'òrgans com l'orella.*

Una altra definició, una mica més elaborada, podria ser:

Definició 2 *És un procés psico-fisiològic que proporciona a alguns animals, sobretot vertebrats, la capacitat d'escoltar i és el resultat d'un mecanisme proporcionat per les dues orelles, uns centres nerviosos que transformen els estímuls mecànics de les ones en sons i la col·laboració, en tot moment, del cervell.*

Estructura de l'oïda

El sentit de l'oïda és un sentit molt desenvolupat tant en mamífers com en ocells, es pot considerar com un dels sentits més complexos dels que existeixen. L'orella és l'òrgan per mitjà del qual es capten els sons i una part n'és visible externament. L'orella està formada per tres parts (figura 2.1):

- 1.- **Orella externa:** És la part encarregada de captar els sons i conduir-los cap a la part més interna, el timpà.
- 2.- **Orella mitjana:** Està formada per un conjunt de petits ossos: martell, enclusa i estrep. Tots ells són els encarregats de transmetre les vibracions mecàniques cap a l'orella interna.

- 3.- **Orella interna:** Hi trobem un important òrgan, la còclea, que es troba dins de l'os temporal, té forma espiral i conté un fluid. A través de la còclea s'estén la *membrana basilar*, que conté les cèl·lules ciliades que són els receptors sensorials auditius.

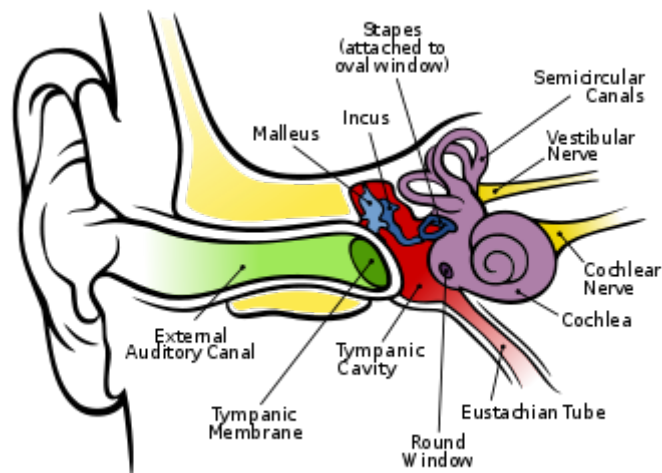


Figura 2.1: Oïda

La membrana basilar varia en massa i rigidesa en tota la seva longitud. D'aquesta manera es pot aconseguir captar una ampla varietat de freqüències, en els humans des de 20Hz fins a 20KHz, en funció de l'edat. Així doncs, la membrana basilar rep les vibracions mecàniques que generen els sons captats pel pavelló auditiu, a l'orella externa.

Mecanisme transductor de les cèl·lules ciliades

Ara cal pensar com les vibracions captades per la membrana basilar són transformades en estímuls elèctrics de les cèl·lules ciliades. Se'n poden distingir de dos tipus:

- **Cèl·lules ciliades externes:** Són les més nombroses, unes 20000 distribuïdes en tres files. Aquestes cèl·lules tenen forma de pèl en V.
- **Cèl·lules ciliades internes:** N'hi ha unes 3500 i estan alineades en una sola fila.

Les cèl·lules ciliades transmeten la seva resposta sensorial en forma de sinapsis als terminals dendrítics, les neurones sensorials, les quals transmeten la resposta com un impuls nerviós al sistema nerviós central. La generació dels potencials receptors involucren un procés de transducció mecanoelèctric que té lloc a les cèl·lules ciliades.

Fibres del nervi auditiu

Donada l'absència d'axons a les cèl·lules ciliades dels vertebrats, els senyals auditius són transmesos cap al sistema nerviós central, per mitjà de neurones de segon

ordre. Aquestes són unes fibres nervioses auditives que proveeixen informació sobre la codificació dels senyals auditius.

Així doncs, la freqüència auditiva no es pot codificar només pels impulsos d'activació. Més aviat, la freqüència és codificada bàsicament per posició al llarg de la membrana basilar. L'impuls de freqüència pot contribuir a codificar a baixes freqüències, però generalment, està lligat a la codificació de la intensitat dels estímuls. Davant d'una absència d'estímuls, les fibres auditives mostren una considerable activitat de manera espontània. Això vol dir que les cèl·lules ciliades, les sinàpsis i les fibres auditives estan preparades per respondre a un llistat d'estímuls i a petits canvis en aquests estímuls, tal i com passa en la majoria de sistemes sensorials.

Nucli coclear

Hi ha un parell d'especialitzacions que asseguren la capacitat auditiva malgrat el petit nombre de canals d'entrada. D'una banda, cada una de les fibres del nervi auditiu, quan entren al tronc cerebral i arriben al conjunt de cèl·lules conegudes com *nucli coclear*, es divideixen en un gran nombre de terminacions nervioses. D'aquesta manera cada fibra projecta cap a moltes regions terminals de manera ordenada tota la informació. D'altra banda, cal tenir en compte els tipus de sinapsis i cèl·lules a les diferents parts del nucli. Les parts principals tenen neurones de transmissió grans i diferenciades, cadascuna de les quals reben un tipus diferent de terminació sinàptica.

2.2 Vista

Definicions

El concepte de visió pot ser definit de diverses maneres segons l'autor. Podem trobar per exemple una definició, en sentit ampli, de Skeffington l'any 1928:

Definició 3 *És un procés multisensorial, perceptiu, cognoscitiu i cinestèsic.*

Una altra definició més conceptual podria ser:

Definició 4 *Capacitat per processar informació de l'entorn, obtenir un significat i comprendre el que es veu mitjançant el sistema visual.*

Una altra de més descriptiva:

Definició 5 *És el sentit especial per mitjà del qual es perceben els objectes de l'entorn i que incideix sobre la retina.*

Segons [Mar85] diu:

Definició 6 *En primer lloc i fonamentalment, la visió és una tasca de processament d'informació.*

Posteriorment recorda que no només és un procés sinó que cal que el cervell representi aquesta informació visual.

Sistema visual

Aquesta informació proporcionada pel sistema visual és molt diversa i es presenta de diverses formes. En són un exemple els següents ítems:

- Llum i foscor
- Intensitat lluminosa (brillantor).
- Contrast (clar-fosc).
- Imatge (reproducció de la forma d'allò que es veu).
- Agudesesa visual (resolució de la imatge).
- Sentit espacial o de profunditat (percepció del relleu).
- Percepció del moviment o resolució de la imatge en el temps.
- Reconeixement i comparació d'imatges amb relació a experiències prèvies.
- Percepció cromàtica.

Però, com s'obté tota aquesta informació? D'on ve i a on es genera? Com flueix aquesta informació entre l'ull i el cervell?

Tots els objectes reflexen la llum que els hi arriba, d'una o altra manera, és d'aquesta manera que nosaltres podem percebre'n els colors. Aquesta energia reflexada és la que incideix a l'ull. En aquest punt és on comença el *procés visual*. Aquest procés es pot dividir en sis fases:

- 1.- **Organització de l'estímul lluminós:** És la refracció dels raigs lluminosos que arriben a l'ull i enfoc de les imatges sobre la retina. L'enfoc fa possible que veiem les imatges de manera nítida, tal com passa a una camera de fotos.
- 2.- **Fototransducció:** És la transformació dels fotons en senyals nerviosos per mitjà de l'activitat fotoquímica. Aquest procés es produeix als fotoreceptors de la retina.
- 3.- **Codificació del senyal visual a la retina:** És el processament de l'activitat neuronal a la retina i la transmissió dels impulsos codificats anteriorment per mitjà del nervi òptic.
- 4.- **Codificació del senyal visual al tàlam:** En aquest punt es produeix una ampliació del senyal visual de la retina y també es suprimeix informació que no aporta informació útil.
- 5.- **Descodificació del senyal visual al còrtex:** Un cop feta la transmissió cal descodificar aquesta informació. Aquest procés primer té lloc al còrtex visual, més tard a les àrees d'associació i, finalment, a l'àrea interpretativa general, del nostre cervell. Ja tenim la percepció visual.

- 6.- **Retroalimentació al sistema visual:** Arribats a aquest punt, hi ha reflexos associats amb el sistema visual, per exemple, l'acomodació, la graduació de l'obertura pupilar i el control dels moviments oculars, que permeten seguir un objecte i adaptar l'ull a les condicions lluminoses de l'entorn.

Organització de la retina

En quan a la morfologia de la retina, aquesta es pot considerar com una porció mòbil del nostre cervell, ja que és una estructura del sistema nerviós que es mou amb l'ull. Aquesta estructura neix al tub neural i està formada per dues capes que reben el nom de *copa òptica*. La més externa origina l'epiteli¹ i la capa interna origina la resta de la retina. La zona que queda entre ambdues capes es coneix amb el nom de *ventricle òptic*.

La retina constitueix una extensió del cervell anterior que avança amb el nervi òptic fins penetrar amb l'ull. A la figura 2.2 en podem distingir les següents parts:

- **Neurorretina:** Té una superfície aproximada de 5 cm² i uns 0.56 mm de gruix a la zona més espessa. A l'equador és molt més prima i tan sols arriba als 0.18 mm de gruix.
- **Retina ciliar:** A la capa posterior del cos ciliar.
- **Retina iridiana:** A la capa posterior de l'iris.

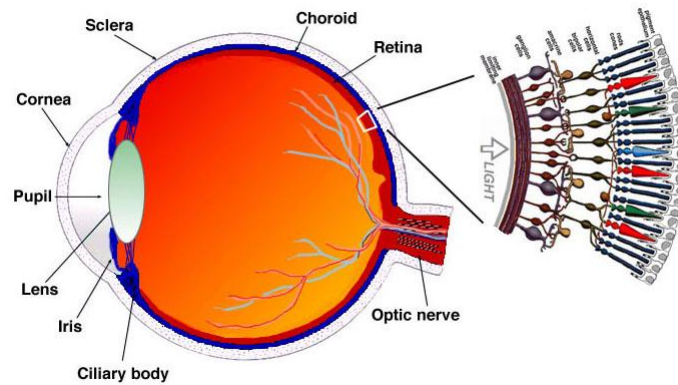


Figura 2.2: Ull

Des del punt de vista espacial la retina conté, principalment dos fotorreceptors importants. D'una banda els *cons* que s'exciten amb nivells elevats de llum i, per tant, ens permeten la visió diürna en color (sensibles al blau, vermell o verd). D'altra banda, trobem els *bastons* que s'exciten de manera inversa, és a dir, amb absència de llum, aquets doncs ens permeten una visió nocturna, sense color ni detall. Quants aquests reben un estímul lluminós transmeten el senyal a través de diverses neurones cap al tàlam i més tard a l'escorça cerebral.

¹Teixit que recobreix les superfícies internes i externes del cos

Podem trobar diverses sinapsis que connecten els fotorreceptors amb les cèl·lules bipolars i les cèl·lules horitzontals i viceversa. També hi ha sinapsis elèctriques entre els cossos sinàptics d'alguns fotorreceptors. En general les connexions sinàptiques són molt abundants i s'han vist entre diversos elements i cèl·lules.

Tipus neurals a la retina

Se'n poden distingir els tipus següents:

- **Fotorreceptors:** Són els *cons* i els *bastons*. S'encarreguen de la fototransducció de l'estímul lluminós en senyal nerviós.
- **Cèl·lules horitzontals:** Transmeten senyals de retroalimentació. En els vertebrats sembla que hi ha dos tipus d'aquesta cèl·lula [KMG80] i [BHS87].
 - *Cèl·lules horitzontals H1.* Connecten cons amb bastons.
 - *Cèl·lules horitzontals H2.* Connecten només cons amb cons.
- **Cèl·lules bipolars:** Transmeten senyals des dels bastons, els cons i les cèl·lules horitzontals a la capa plexiforme interna. Se'n poden distingir de diversos tipus:
 - *Polisinàptiques o difuses de bastons:* Contacten amb diversos bastons.
 - *Polisinàptiques o difuses de cons:* Contacten amb diversos cons.
 - *Monosinàptiques de cons o bipolars nanes:* Contacten cadascun, només, amb un sol con.
- **Cèl·lules amacrines:** Transmeten senyals en dos direccions. Des de cèl·lules bipolars a cèl·lules ganglionars o des dels axons de les cèl·lules bipolars, les dendrites de les cèl·lules ganglionars a les amacrines o entre aquestes i les interplexiformes. Segons [BD69] es poden classificar en:
 - 1.- *Estratificades:*
 - *Cèl·lules amacrines uniestratificades:* Amb ramificacions en un sol pla.
 - *Cèl·lules amacrines biestratificades:* Amb ramificacions en dos plans.
 - 2.- *Difuses:*
 - *Cèl·lules amacrines difuses de camp estret:* Processos poc estesos.
 - *Cèl·lules amacrines difuses de camp ample:* Processos molt estesos.
- **Cèl·lules ganglionars:** Reben impulsos de les bipolars i amacrines i transmeten senyals de sortida des de la retina. Segons [DB68] i basant-se en [RyC11] i [Pol41], els dos tipus més importants en espècies de vertebrats són:
 - *Cèl·lules ganglionars nanes o monosinàptiques:* Efectuen diversos contactes sinàptics amb una cèl·lula bipolar nana i amb cèl·lules amacrines.
 - *Cèl·lules ganglionars difuses o polisinàptiques:* Efectuen sinapsis amb moltes cèl·lules de tots els tipus bipolars i amb cèl·lules amacrines.

- **Cèl·lules interplexiformes:** Transmeten senyals en direcció retrogada, és a dir, des de la capa plexiforme interna fins a l'externa.

2.3 Gust

El gust es distingeix dels altres sentits per ser considerat com un sentit químic.

Definició

Es pot entendre el gust com:

Definició 7 *El sentit amb el que es perceben determinades substàncies, que es poden disoldre en saliva, per mitjà de les seves qualitats químiques i que dóna la sensació de gust.*

Receptors del gust

En la majoria dels vertebrats, els receptors del gust es troben a la llengua, a la part posterior de la boca, faringe, epiglòtis, i a la part superior de l'esòfag. A nivell cel·lular, els receptors dels sabors estan agrupats en papiles gustatives, localitzades a la llengua. A la figura 2.3 podem veure el detall de les papil·les gustatives.

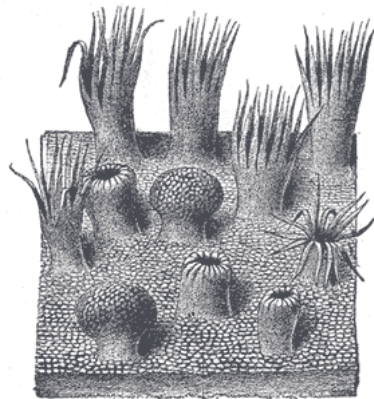


Figura 2.3: Papil·les gustatives

Les papil·les gustatives contenen diversos tipus de cèl·lules. Els tipus 1 i 2 són cèl·lules de suport, tenen microvellositats als extrems i segreguen substàncies a les papil·les gustatives. El tipus 3 són les cèl·lules sensorials receptores, que serien les encarregades de la transmissió sensorial.

Procesament sensorial

Les cèl·lules sensorials del gust no tenen axons, per tant, la informació s'ha de transmetre a través de les sinapsis localitzades a les terminacions de les fibres sensorials de les papil·les gustatives. Les fibres sorgeixen de les cèl·lules ganglionars dels nervis cranials. Les fibres que porten informació sobre el gust fan les seves connexions a la medul·la en una prima línia de cèl·lules que s'anomenen nucli del tracte solitari.

Aquestes cèl·lules donen lloc a les vies ascendents que tenen variacions en funció de l'espècie animal.

Sembla ser que aquests vies són importants en la percepció dels diferents gustos que podem trobar-nos. Tot i així, sembla que també juguen un paper important en altres àrees com ara, protuberàncies a la llengua, salivació, alliberament d'insulina, empassar, apnea, etc. També existeix una relació amb un conjunt de reflexos relacionats amb la ingesta de substàncies desagradables per l'organisme. Aquests reflexos són crítics per la supervivència de l'organisme i ja des d'un desenvolupament primerenc estan presents en el tronc cerebral del circuit neural.

2.4 Olfacte

L'olfacte, d'igual manera que el gust, és un sentit considerat químic i el seu funcionament és força similar.

Definicions

Vegem-ne una possible definició:

Definició 8 *És el sentit encarregat de detectar i processar les olors.*

Una altra més tècnica:

Definició 9 *És un sentit químic, en el que actuen com a estimulant les partícules aromàtiques o odoríferes despreses dels cossos volàtils.*

Morfologia de l'olfacte

Amb el nas passa una cosa similar a les orelles. Tot i que sembla que olorem amb el nas, això no és cert. El nas es podria comparar a l'orella en tant que només és la part visible de l'aparell. El nas només serveix per captar l'aire, que conté molècules d'olor i conduir aquest aire cap a la part més interna on trobarem l'òrgan sensorial. A la figura 2.4 hi podem veure el nas i les parts internes de l'olfacte.

En els mamífers el nas és molt evolucionat que en altres vertebrats. En conills i gossos per exemple, existeixen un seguit de conductes i cornets alineats amb les neurones receptores de l'olfacte. En humans en canvi, aquests cornets són força més simples i les neurones receptores de l'olfacte es troben localitzades a un tros de membrana en la part més dorsal de la cavitat nasal.

Cèl·lules receptores de l'olfacte

Aquestes cèl·lules tenen una llarga i prima dendrita² que culminen en una petita protuberància a la superfície. Aquestes protuberàncies donen lloc a diversos cilis³

²Prolongació curta ramificada, única o múltiple, del soma cel·lular d'una neurona, a través de la qual la cèl·lula rep els estímuls procedents del medi o de neurones veïnes, amb les quals estableix una sinapsi.

³Prolongació citoplasmàtica filiforme que emergeix de la superfície de moltes cèl·lules i que es mou rítmicament per permetre la locomoció o per crear un corrent de fluid sobre la superfície

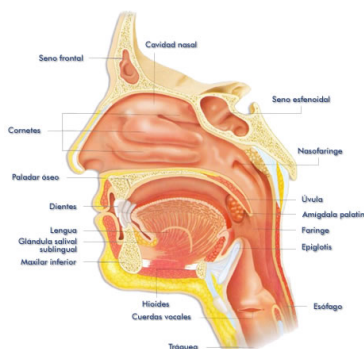


Figura 2.4: Olfacte

Si s'observen amb un microscopi podem veure que aquests cilis es mouen de manera asíncrona amb els cilis respiratoris.

Còrtex olfactiu

El lòbul olfactiu és una regió del cervell dels vertebrats on es reben i s'interpreten les diferents olors. Des d'aquest punt les cèl·lules mitrals envien la seva informació cap al còrtex olfactiu. El còrtex olfactiu està dividit en cinc àrees:

- 1.- **Nucli olfactori anterior:** És un centre integrat que connecta els dos lòbuls olfactius a través de la comisura anterior.
- 2.- **Còrtex piriforme:** És l'àrea principal involucrada en la distinció d'olors.
- 3.- **Tubercle olfactiu:** Està implicat en diverses funcions del sistema límbic⁴.
- 4.- **Parts de l'amígdala:** Que reben entrades del lòbul olfactiu.
- 5.- **Àrea entorínica:** Rep entrades de l'olfacte i les projecta cap a l'hipocamp.

2.5 Tacte

El tacte està considerat com un dels cinc sentits bàsics de l'ésser humà.

Definició

Com en els casos anteriors, busquem una definició per aquest sentit:

Definició 10 *El tacte o mecanorrecepció és el sentit que permet als organismes percebre qualitats dels objectes i medis com la pressió, la temperatura, l'aspresa o suavitat, entre d'altres.*

cel·lular.

⁴Sistema format pel conjunt d'estructures nervioses situades a la zona profunda dels lòbuls temporals, que formen un cercle al voltant dels ganglis de la base del cervell i del tronc encefàlic, corresponent a la part més primitiva del cervell, que regula l'estat emocional, l'aprenentatge i la memòria.

Terminacions nervioses

El sentit del tacte es troba distribuït, en major o menor densitat, per tota la pell del cos humà. El tipus més senzill de receptors sensorials localitzats a la pell són les terminacions nervioses. Vegeu la figura 2.5. Aquestes terminacions nervioses són fibres nervioses que es divideixen en diverses branques i finalitzen a la dermis o a les capes més profundes de l'epidermis.

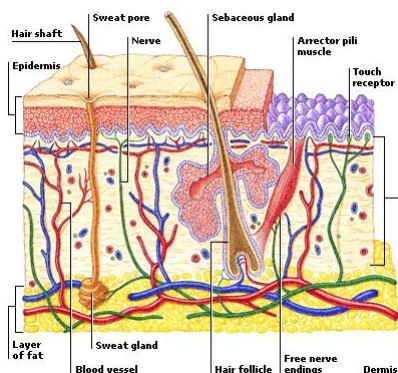


Figura 2.5: Terminacions nervioses a la pell

Els tipus de terminacions són similars tant a la pell amb pèls com a les parts on no n'hi ha. Les terminacions nervioses responen a estímuls mecànics, temperatura o altre mena d'estímuls. Algunes terminacions només responen a un tipus d'estímul i en canvi, d'altres, a un parell o més d'estímuls. Aquestes últimes són anomenades *receptors polimodals*. Un seguit d'axons estan connectats a aquestes fibres i responen de determinades maneres en funció de l'estímul al qual estan sotmesos.

Les terminacions nervioses proveeixen un impuls tan llarg com sigui l'estímul presentat. D'aquesta manera es pot assenyalar petits canvis, per exemple, en la temperatura, notarem si una cosa està més calenta o més freda que abans. També servirà per marcar el dolor, arribada a certa temperatura experimentarem una sensació de dolor que ens obligarà a deixar anar l'objecte que ens està fent mal. En cas de no fer-ho el senyal de dolor seguirà estant present. Finalment, amb la sensació de temperatura, l'organisme també podrà determinar si cal ajustar la temperatura interna o no.

Transmissió i modulació del dolor

Un aspecte interessant d'aquest sentit és com el dolor es transmès des de la pell al cervell. Hi ha diverses vies per on el dolor viatja i diversos tipus de modulació del mateix. Vegem-ne, a tall d'exemple, alguns tipus:

- **Teoria del dolor:** La suma de diverses entrades a l'espina dorsal serveix per modular la transmissió del dolor originada a les cèl·lules de la pell.

- **Intensitat de dolor i hiperalgèsia:** Quan la pell rep un estímul nociu, les fibres de dolor s'activen. Aquestes tenen un llindar a partir del qual s'activen i propaguen la sensació de dolor.
- **Sensibilitat al voltant de lesions locals:** És similar a l'anterior. D'aquesta manera però podem localitzar on és el dolor exactament. Així el cervell sabrà en quina part de la pell s'està rebent l'estímul de dolor.

Capítol 3

Processos i funcions mentals

En aquest capítol es parlarà sobre els processos i funcions mentals com poden ser la memòria i l'aprenentatge. Tots ells són presents en els humans i prenen una part molt important en el desenvolupament de l'organisme.

3.1 Memòria

Definició

Una definició per a memòria podria ser la següent:

Definició 11 *És la capacitat d'emmagatzemar, retenir i recordar informació, mitjançant les connexions sinàptiques entre les neurones.*

Si no es té en compte la part de les connexions sinàptiques aquesta definició és aplicable tant als ordinadors com als humans. La memòria és necessària per a l'aprenentatge, que es veurà amb més deteniment a la següent secció. És el mecanisme pel qual una experiència és incorporada a l'organisme, de tal forma que pugui ser utilitzada més tard portant així canvis adaptatius en el comportament. En els vertebrats superiors, el cas dels humans, habitualment pensem en la memòria com aquelles experiències que són subjectes al record conscient.

Sinapsis i conjunts de cèl·lules

El marc conceptual sobre l'estudi modern dels mecanismes neuronals es basa en la feina realitzada, a la dècada dels 40, per dos psicòlegs, d'una banda Donald Hebb i Jerzy Konorski de Montreal i Polònia respectivament. Ambdós ja influenciats per la feina realitzada per Ramón y Cajal qui assegurava que la memòria havia d'involucrar canvis en els **circuits neuronals**. Hebb, al seu llibre *The Organization of Behavior*, de l'any 1949, ja hipotetitzava sobre el fet de que la memòria era deguda a l'activitat de les cèl·lules que s'organitzaven formant circuits específics. Ell suggeria que quan una cèl·lula és activa les seves connexions sinàptiques esdevenen més efectives. Aquesta efectivitat podia ser de curta durada per a la memòria també de curta durada o amb una estructura més duradora per aquella memòria que ha de romandre més temps. Els estudis realitzats per Konorski també seguien la mateixa línia.

Hipocamp: Anatomia i organització sinàptica

Per tal d'estudiar els mecanismes de la memòria, cal identificar una regió del cervell que ha demostrat ser crítica per a la memòria. Aquesta regió és la que s'anomena **hipocamp** (Figura 3.1). Aquest descobriment va ser degut a una operació que va tenir lloc als anys 50 i va ser fruit d'un error. Quan els metges van extirpar aquesta part del cervell van poder observar com el pacient havia perdut tota la memòria recent. Posteriorment els estudis van seguir analitzant l'hipocamp amb estímuls elèctrics.

Aquesta part és una de les més antigues del cervell en tant que és una de les primeres àrees de la paret del cervell anterior en diferenciar-se en els vertebrats més primitius, és l'anomenat **archicòrtex**. Les seves funcions semblen dependre de les àrees del voltant a les quals està estretament vinculat.

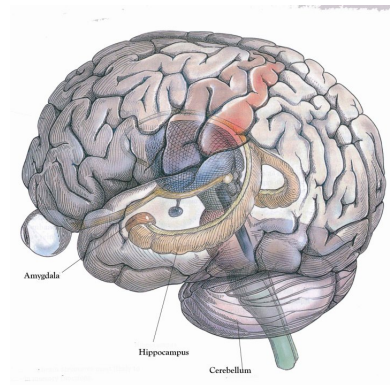


Figura 3.1: Hipocamp

L'hipocamp és una regió, tal com el cerebel i el bulb olfactori, les connexions dels quals estan organitzades de diferent manera a la resta del cervell. Microcircuitos estereotipats i circuits locals són utilitzats no només per processar informació sensorial, sinó també per processar informació de les funcions superiors del cervell. Les principals entrades de l'hipocamp són excitadores i hi ha dues vies per a la transferència d'informació. No obstant això, el control de les neurones de sortida són inhibidores. Hi ha d'haver doncs un bon control d'aquesta excitació i de la inhibició, ja que desajustos en aquest aspecte poden provocar atacs d'epilèpsia.

3.2 Raonament

Definició

Entenem per raonament:

Definició 12 *La capacitat dels éssers humans per resoldre problemes. Més concretament, el procés mental que usa una inferència d'una conclusió a partir d'un conjunt de premisses.*

Introducció

La teoria de models mentals assumeix que el raonament condicional es tracta principalment per restriccions en el nombre de models individuals que es poden sostenir i processar en la memòria i en l'accessibilitat al coneixement usat per construir aquests models. Ambdós restriccions resulten de la limitació dels recursos cognitius disponibles per activar el coneixement de la memòria de llarg termini i mantenir-la activa pel processat.

Donat que el nombre de recursos cognitius augmenten amb l'edat, la teoria de models mentals permet prediccions precises sobre la manera en que nens i nenes, adolescents i adults interpreten les oracions condicionals i raonen a partir d'elles i també sobre com els continguts afecten el raonament en diverses edats.

Aquestes prediccions han estat provades en diversos experiments amb diversos adolescents i adults als quals se'ls hi va demanar que raonessin a partir d'oracions condicionals que involucraven relacions tant familiars com no familiars entre l'antecedent i el conseqüent.

Els resultats confirmen que el desenvolupament principal de les prediccions de la teoria de models mentals té relació amb la memòria a llarg termini.

Models mentals i desenvolupament del raonament condicional

La teoria de models mentals del raonament és molt adequada per poder explicar els fenòmens del desenvolupament. De fet, si el raonament és una qüestió de la construcció i manipulació de models mentals, aleshores la complexitat dels individus pot construir representacions i el procés ha d'evolucionar amb el desenvolupament.

La primera representació disponible correspon el model inicial postulat per Johnson-Laird and Byrne, aquesta representació hauria d'incrementar en complexitat tal i com el recursos cognitius de l'ésser evolucionen amb l'edat.

De manera similar, es pot observar que la interpretació de les oracions condicionals i dels patrons resultants de les inferències evolucionen amb l'edat des d'una representació conjuntiva a una bicondicional (si i només si) i després a interpretacions condicionals, les quals són sustentades per la construcció d'un, dos o tres models respectivament.

Aquest fenomen presta un clar suport al marc de models mentals. De fet, s'ha afirmat que els adults superen els nens, nenes i adolescents en el laboratori en tasques de raonament perquè són més capaços de deixar de banda els principis de conversa que porten a una interpretació bicondicional.

En aquest sentit també s'argumenta que la teoria de models mentals no pot donar compte per al desenvolupament, ja que prediu les respostes conjuntives que mai es produiràn, mentre que la lògica mental prediu un nivell inicial de desenvolupament bicondicional que sovint s'ha observat.

Qualsevol que sigui l'origen de les premisses de les relacions condicionals que s'impliquen, l'estructura del coneixement disponible també té un fort impacte en el procés de raonament. Quan els individus han de raonar a partir de relacions que no els hi són familiars, l'estructura semàntica dels conceptes involucrats en l'antecedent apareix.

Model teòric del raonament

D'acord amb el model de la teoria condicional el raonament procedeix per la construcció de models corresponents als possibles estats dels afers que descriuen les premisses. En deducció, la raó habitualment construeix models de premisses dels arguments que corresponen a la concepció de la manera que hauria de ser el món si les premisses fóssin certes i representessin tan poca informació com fos possible explícitament per reduir les demandes de la memòria. D'acord amb això, una premissa condicional podria ser:

Si el Jaume va a pescar, aleshores tindrà peix per sopar

Representat inicialment pel model:

$[P] PxS$

on P correspon a Jaume que va a pescar i PxS correspon a Jaume tenint peix per sopar. En cas d'haver més línies cadascuna representaria un model per separat. Així, el model de la primera línia correspon a la situació en la qual en Jaume va a pescar i té peix per sopar.

No obstant, hi ha dos altres característiques de la representació que reflexen la condició -més aviat que la conjunció- de la natura de la proposició:

- **Primer**, els parèntesi quadrats de F constitueixen una nota mental per fer efecte en que en qualsevol model en que Jaume vagi a pescar és un model en que Jaume tindrà peix per sopar.
- **Segon**, la presència del model implícit, representat per elipsis significa que la oració és consistent amb altres encara que siguin estats inespecificats d'afers en els quals Jaume no vagi a pescar.

No obstant, inicialment aquestes alternatives no estan concretades. El conjunt sencer de models corresponents als tres estats és el següent:

$$\begin{array}{ll} P & PxS \\ \neg P & PxS \\ \neg P & \neg PxS \end{array}$$

on el model inicial és augmentat per dos models addicionals en els quals Jaume no va a pescar però pot o no tenir peix per sopar.

L'estudi del raonament condicional inclou normalment la presentació d'una premisa condicional, del tipus vist anteriorment, amb una segona premisa que afirma o nega el seu antecedent o clàusula conseqüent. Això dóna lloc a quatre arguments condicionals:

- Modus Ponens (MP):
si p aleshores q
 p
per tant q
Si en Jaume va pescar aleshores tindrà peix per sopar.
- Modus Tollens (MT):
si p aleshores q
no- q
per tant no- p
Si en Jaume no té peix per sopar aleshores no haurà anat a pescar.
- Afirmació del conseqüent (AC):
si p aleshores q
 q
per tant p
Si en Jaume té peix per sopar aleshores haurà anat a pescar.
- Denegació de l'antecedent (DA):
si p aleshores q
no- p
per tant no- q
Si en Jaume no va a pescar aleshores no tindrà peix per sopar.

Aquí es pot veure que el Modus Ponens i el Modus Tollens són inferències vàlides mentre que l'Afirmació del conseqüent i la Denegació de l'antecedent són fal·làcies. Les freqüències en que aquestes quatre inferències apareixen entre la gent varien força. MP és gairebé universalment fet servir mentre que MT és menys usat. Quant

a les fal·làcies, AC també és més usat que no pas DA.

D'acord amb el model teòric la inferència Modus Ponens pot ser generada per la combinació d'un model de premises categòriques. Per tant, si a la gent se li diu que en Jaume va a pescar s'infereix que tindrà peix per sopar. En canvi, si se'ls hi diu que en Jaume no va a pescar són incapaços de combinar aquesta informació amb el model inicial condicional.

En aquest cas el conjunt complet de models ha de ser concretat; aquests models en els quals en Jaume té peix per sopar són eliminats deixant un model únic en què en Jaume no va anar a pescar. D'acord amb la teoria de models, la concretització de sortida dels models és propensa a errors i per això els individus són menys propensos a usar Modus Tollens, que implica la consideració de múltiples models, més que Modus Ponens que pot extreure's d'un model únic.

Amb l'Afirmació del conseqüent i la Denegació de l'antecedent passa un fenòmen similar al ja descrit amb Modus Tollens i Modus Ponens. Així, les fal·làcies són aprovades perquè els individus adopten representacion bicondicionals (si i només si) de les regles, representant només dos possibles estats dels afers, que serien:

$$\begin{array}{ll} P & PxS \\ \neg P & \neg PxS \end{array}$$

D'on es pot veure que si en Jaume va a pescar tindrà peix per sopar. En canvi si en Jaume no va a pescar no tindrà peix per sopar.

Capítol 4

Aprentatge

Com ja s'ha dit anteriorment, la memòria i l'aprenentatge van força lligats i existeixen lligams entre els dos conceptes.

Definició

Podem entendre l'aprenentatge com:

Definició 13 *Els canvis adaptatius que tenen lloc en el comportament causats per l'experiència de l'individu.*

Per als neurobiòlegs la utilitat d'aquesta definició rau en una aclaració acurada de cadascun dels termes usats. Així:

- 1.- **Adaptatiu:** Indica que el canvi ha de tenir algun significat des del punt de vista del comportament de l'animal i de la supervivència de l'espècie.
- 2.- **Canvi:** S'entén que hi ha d'haver una diferència mesurable entre l'abans i el després d'aquest canvi. El canvi ha de ser selectiu per les parts del sistema nerviós que controlen el comportament i no pas per canvis generals a l'animal, com poden ser un major creixement o un metabolisme diferent. De la mateixa manera ha de ser independent del progressiu desenvolupament o maduració. No ha de ser simplement un reflex de la fatiga, la lesió o la ferida, o de les propietats d'adaptació normals dels receptors i nervis.
- 3.- **Comportament:** Ha d'involucrar un control pels sistemes centrals de tot l'organisme. No ha d'estar confinat a una part del sistema nerviós perifèric, o a un punt en una via sensorial o motora.

Tot i que aquestes característiques poden semblar excessivament difícils d'aplicar, es pot veure que cadascuna té un significat.

En els apartats següents es farà un repàs als diferents tipus d'aprenentatge, en concret:

- Aprenentatge simple
 - Habitució
 - Sensibilització
- Aprenentatge associatiu
 - Clàssic
 - Instrumental
 - Adversió
- Aprenentatge complex
 - Empremta
 - Latent
 - Observacional

4.1 Aprenentatge simple

Les cèl·lules nervioses tenen unes propietats que canvien durant o després de l'estimulació. Els sensors receptius, per exemple, adapten la seva resposta en funció d'estímuls continuats o repetits. De la mateixa forma això pot passar amb els músculs que davant de repetides estimulacions poden esdevenir més forts. Aquests canvis són deguts a diferències en la mobilització i relaxament dels neurotransmissors a les unions neuromusculars.

A partir d'aquest punt ens podem preguntar si s'ha de dir que la unió neuromuscular "aprèn" o té "memòria"? La resposta depèn de les limitacions de les definicions anteriors. Així els canvis plàstics poden produir-se en molts llocs del sistema nerviós; aquests canvis poden contribuir a l'aprenentatge i a la memòria, podent ser usats com models vàlids pels seus mecanismes. No obstant, l'aprenentatge i la memòria són bàsicament propietats dels sistemes centrals que controlen tot el comportament de l'organisme.

Vegem a continuació un parell de propietats com són l'habitució i la sensibilització.

HABITUACIÓ

L'**habitució** es defineix de la següent manera:

Definició 14 *Decreixement en la resposta del comportament que succeeix durant una presentació repetida d'un estímul.*

L'habitució és un fenomen universal i el terme s'aplica a molts componenets aïllats del comportament, així doncs es poden solapar les propietats que abans s'han descrit. A més, l'habitució implica només un canvi en la intensitat de la resposta,

no en la natura de la pròpia resposta, hi ha científics, que per aquest motiu no ho consideren un aprenentatge real.



Figura 4.1: Aplysia

L'habitució es contemplada sovint com un canvi en la força d'una resposta reflexa. Els reflexos poden ser fàcilment sotmesos a un anàlisi experimental. Vegem-ne un exemple amb l'Aplysia, un tipus de molusc.

Es va estudiar el reflex defensiu del sífo i de la brànquia de l'animal. L'estímul és un raig d'aigua que activa els receptors tàctils en el sífo i la brànquia i causa un reflex de retirada. Amb una estimulació repetida hi ha menys retirada de l'animal i amb una estimulació suficient aquesta depressió pot durar diverses setmanes. Així sembla que hi ha una habitució a curt termini i també a llarg termini.

En aquest experiment també s'han trobat canvis addicionals relacionats amb l'habitució a llarg termini. En aquest cas es va trobar que una gran proporció de neurones sensorials produeixen potencials excitants postsinàptics (EPSPs) no detectables en les motoneurones, com si s'hagués produït una desconnexió funcional.

En estudis amb microscopis electrònics s'ha trobat que després d'una estimulació repetida l'estructura de les sinàpsis difereix de les sinàpsis normals. Això pot ser produït per fusió de vesícules amb la membrana terminal, o per l'acció de proteïnes contràctils; en ambdós casos, els mecanismes depenen de Ca^{2+} . Actualment s'estan estudiant aquestes hipòtesis.

SENSIBILITZACIÓ

Es pot definir la **sensibilització** com:

Definició 15 *La millora de la resposta reflexa per la introducció d'estímuls nocius o forts.*

Tot i que pot semblar oposat al fenomen de l'habitució, difereixen en diversos aspectes. Depen d'un estímul diferent del que desencadena el reflex en qüestió. Qualsevol

estímul fort activa els mecanismes generals d'excitació, d'igual manera que passa amb els estímuls nocius. Així doncs, la sensibilització involucra a l'activació dels sistemes d'excitació generals, que afecten a la intensitat de la resposta reflexa.

Per exemple, si un s'exalta davant d'un soroll intens, es tornarà més sensible a un posterior soroll més suau. És un fenomen molt generalitzat; alerta als animals dels depredadors i d'altres estímuls potencialment maliciosos, d'aquesta manera es pot considerar que aquest aprenentatge té un important valor adaptatiu.

Seguim amb l'exemple de l'*Aplysia* per veure'n l'estudi relacionat. L'estimulació nociva es pot produir aplicant tot un seguit de fortes descàrregues elèctriques a la pell de l'animal. L'efecte d'aquesta estimulació es restablir parcialment l'amplitud original d'una habituada resposta reflexa de retirada de la brànquia.

En l'anàlisi quàntic dels EPSPs es mostra que la restauració resulta d'un augment en el nombre de quants de transmissors alliberats en cada impuls a la terminal sensorial. Els nociceptors activats per aquestes descàrregues estableixen connexions amb les terminacions presinàptiques de les neurones sensorials a la via del reflex de la branquia.

Així doncs, la sensibilització es comporta d'una manera que és l'oposada a la de l'habitució, és a dir, augmenta la quantitat de neurotransmissors alliberats per cada impuls en el circuit. Agrupant aquests estudis s'obté un dels exemples més il·lustratius de canals excitables que estan controlats per factors múltiples.

La sensibilització també es produeix en els circuits nerviosos que controlen l'alimentació i la freqüència cardíaca a l'*Aplysia*. Els tres sistemes són similars quant a que la sensibilització sembla estar mesurada per fibres. No obstant, els punts en que es produeix la sensibilització són diferents en els tres sistemes.

4.2 Aprenentatge associatiu

En l'aprenentatge associatiu, l'animal estableix una connexió a través de la seva resposta entre un estímul neutre i un segon estímul que és una recompensa o un càstig. L'exemple més conegut és la forma en que el gos, que normalment saliva quan se li presenta una peça de carn, salivarà en cas d'un so d'un estímul neutre com una campana, després que el so de la campana s'hagi aparellat amb la presència de carn. Això s'anomena reflex condicionat.

Aquest reflex fou àmpliament descrit i estudiat per Ivan Pavlov cap a l'any 1900. També se'l sol anomenar condicionament clàssic.

En el condicionament clàssic l'animal és un participant passiu. Al contrari, es pot induir a un animal a aprendre una tasca o a resoldre un problema, com per exemple escapar d'una caixa, apretar una palanca o recórrer un laberint. Com que l'animal aprèn a resoldre el problema i obté la seva recompensa (o càstig) a l'operar en un ambient, és anomenat condicionament operant o condicionament instrumental. Donat

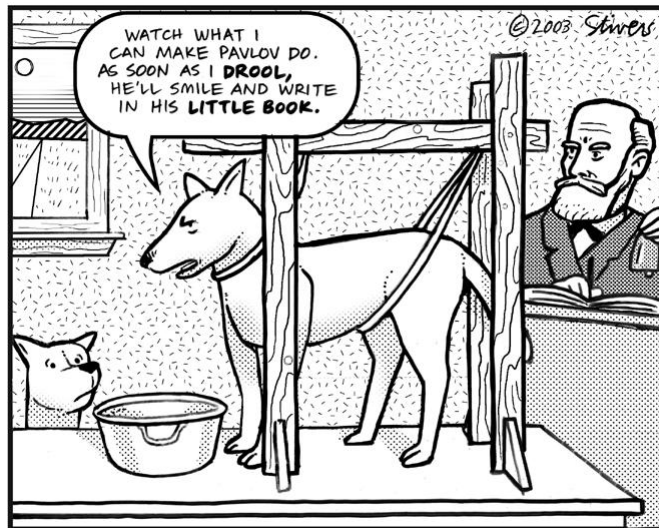


Figura 4.2: Pavlov

que l'animal generalment comet errors abans d'aprendre la tasca, també s'anomena aprenentatge d'assaig i error.

Tant en el condicionament clàssic com en l'instrumental, la intensitat de la resposta depèn de la quantitat de recompensa o càstig. En particular en el cas del condicionament instrumental, la intensitat de la resposta pot ser usada com mesura de l'“impuls” a l'animal per obtenir la recompensa o escapar del càstig.

Un altre experiment interessant ha estat dut a terme amb el molusc *Hermisenda*. Investigadors han trobat que els moviments d'aquest animal cap a una font de llum estan considerablement reduïts després d'un repetit emparellament de la llum amb la rotació de l'animal. Aquest comportament, satisfà alguns dels principals criteris de l'aprenentatge associatiu, quant a que implica una resposta implícita (fototaxi¹) modificada al emparellar dos estímuls sensorials diferents, la llum i la rotació.

Els registres intracel·lulars han demostrat que els fotorreceptors de tipus B son despolaritzats per la llum, i les cèl·lules piloses dels estatòlits² son despolaritzades per la rotació, augmentant-ne la resposta dels fotorreceptors quan aquests estímuls es produeixen simultàniament. Es creu que aquesta despolarització augmentada i duradora pot estar feta per canvis en el Ca^{2+} i en la fosforilació³ proteica. La cèl·lula de tipus B inhibeix al fotorreceptor de tipus A, reduint la resposta fototàxica global de l'animal.

¹Resposta cel·lular activa i de moviment provocada per un estímulo lluminós.

²Concreció calcària localitzada a l'interior dels estatocists dels invertebrats, sensible als diferents estats d'equilibri de l'organisme.

³Incorporació d'un grup fosfat a una molècula.

APRENTATGE D'ADVERSIÓ

L'any 1960 diversos científics estaven interessats en com les rates aprenien a associar gustos amb malaltia. Es van basar en el fet que una forta irradiació de tipus X en un animal afecta el tracte gastrointestinal i produeix un mareig després d'un període de diverses hores. A les rates se'ls hi va donar solucions apetitoses d'aigua per beure junt amb irradiació de tipus X. Després de marejar-se els ratolins fan refusar beure l'aigua que se'ls hi proporcionava.

Aquest és un experiment de laboratori que coincideix amb el que ens passa als humans. Quan sospitem que un aliment ens senta malament, no el volem tornar a tastar per tal que no ens torni a afectar.

En estudis de camp amb animals s'anomena tímida al cep. Com que cal que la malaltia només es doni un cop també s'anomena aprenentatge d'una prova.

Tot i que l'aparellament d'un estímul indicat (malaltia) amb un estímul condicionat (gust) satisfà el criteri per a l'aprenentatge associatiu, hi ha varies diferències respecte a la situació en el condicionament clàssic. En el condicionament clàssic es necessiten moltes proves per transferir a resposta incondicionada a la condicionada, i els estímuls incondicionats i condicionats han d'aplicar-se molt pròxims l'un de l'altre, normalment entre un o dos segons, d'altra manera l'animal no pot establir la relació entre els dos fets.

En canvi, en l'aprenentatge d'adversió només ens cal una prova i la relació entre el gust i la malaltia s'estableix al cap d'unes poques hores.

Quines són les vies nervioses per a l'aprenentatge d'adversió? D'una banda el gust pot estar-hi relacionat i d'altra banda les fibres aferents viscerales. Aquestes fibres porten estímuls sensorials des dels intestins i altres òrgans interns fins al tronc encefàlic a través del nervi cranial. L'explicació de l'aprenentatge d'adversió requereix un lloc o diversos on les vies del gust i de l'adversió es trobin, aquest lloc semblaria ser el tracte solitari. A la figura 4.3 es pot situar el tracte solitari.

En diversos experiments també s'ha trobat una varietat de regions cerebrals diferents que tenen una influència sobre l'aprenentatge d'adversió. Cada regió és un centre integrador que estableix la seva contribució especial a aquestes diferents funcions. Així, el nucli del tracte solitari és en si mateix important, no només com el punt convergent per els estímuls del gust i viscerales, sinó també com la regió implicada en el despertar.

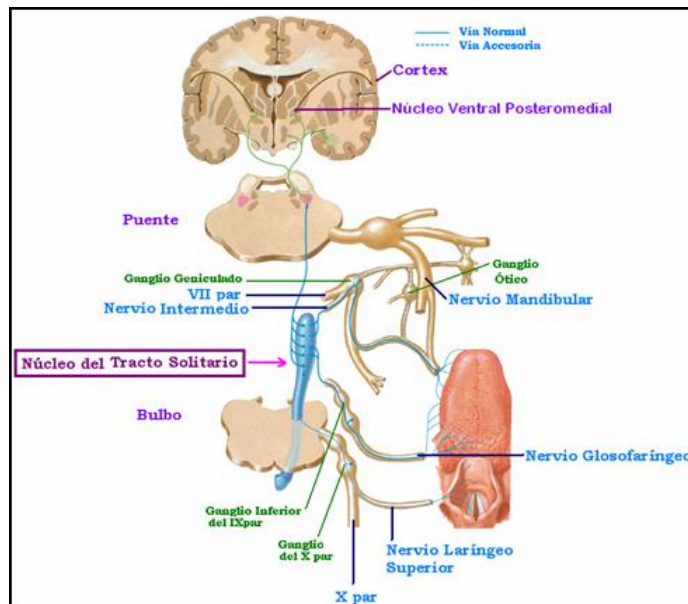


Figura 4.3: Tracte solitari

4.3 Aprenentatge complex

Els tipus d'aprenentatge presentats fins al moment en el treball són els que han rebut una major atenció per part dels investigadors i neurobiòlegs. Tot i així n'existeixen uns quants més agrupats sota el concepte **aprenentatge complex**.

Repasem breument tres exemples d'aprenentatge complex, l'empremta, l'aprenentatge latent i l'aprenentatge observacional.

EMPREMTA

L'empremta és el procés mitjançant el qual els animals joves, i també els humans, formen un comportament similar al dels pares. Va ser descobert per etòlegs, que van trobar que aquesta similitud depenia, normalment, d'estímul especials tal i com la forma del cos dels seus pares o un color particular al pelatge.

Freqüentment un animal jove pot ser induït a formar aquest lligam amb un individu o objecte que s'assembli suficientment a l'estímul específic. L'empremta normalment es produeix durant cert període crític aviat en la vida de l'animal, i si no es produeix, el posterior desenvolupament normal del comportament es perd irremissiblement. D'aquesta manera els ocells que canten deixen d'aprendre el seu cant, i els animals deixen de desenvolupar els seus comportaments social i sexual en la vida adulta.

Així doncs, l'empremta és un tipus essencial d'aprenentatge en moltes espècies.

Alguns investigadors han experimentat aquest aprenentatge en pollastres joves, en els que es desenvolupa un lligam amb un objecte visual (generalment la gallina mare) en una època primerenca de la seva vida. Experimentalment en els pollastres

s'ha desenvolupat un lligam amb un disc rotatori. En animals entrenats d'aquesta manera, es va trobar que la incorporació d'uracili radioactiu a l'ARN s'augmentava selectivament en una part de la part anterior de l'encèfal anomenada part mitja del hiperestriat ventral (MHV).



Figura 4.4: Empremta

Això podria reflexar un creixement dels botons sinàptics en aquesta regió, el que requeriria síntesi de proteïnes i un ARN augmentat. S'ha comprovat un augment de l'àrea de contacte d'aproximadament un 20%.

APRENETATGE LATENT

Aquest tipus d'aprenentatge succeeix quan un animal s'introdueix en un ambient d'experimentació, com ara un laberint. A l'animal se li permet córrer per dins sense ser entrenat ni recompensat. Tot i que pugui semblar que no hi ha aprenentatge, l'animal aprèn, més tard, com fer una determinada tasca dins del laberint amb més velocitat que un animal que no hagi estat mai en el laberint.

Tot i que a nivell de laboratori no s'han realitzat experiments dirigits expressament als mecanismes nerviosos d'aquest fenomen, hi ha evidències de que experiències tals com el recórrer el laberint o les interaccions socials amb altres animals porten a cervells de major mida i a augments en el nombre de ramificacions dendrítiques corticals.

Aquestes troballes recorden les observacions de Darwin en relació al major tamany dels cervells dels animals salvatges comparats amb els animals domèstics.

Tenint en compte les perspectives contemplades anteriorment respecte l'aprenentatge d'aversió, la familiaritat amb l'objecte d'entrenament pot facilitar l'aprenentatge de diverses maneres, en les que s'inclouen la mitigació de l'estrès, la disminució de la por a fer una determinada cosa i la millora en els mecanismes d'atenció i d'orientació de l'individu. Dit en altres paraules, s'apren millor en un entorn confortable, això

és quelcom que podem observar en nosaltres mateixos.

APRENTATGE OBSERVACIONAL

Finalment, l'aprenentatge observacional succeeix quan un animal, o l'humà, observa a un altre animal, o humà, fent una determinada tasca, després pot aprendre la tasca amb més velocitat i facilitat. Aquest tipus d'aprenentatge és molt important en els humans, és el típic aprenentatge que esdevé a l'escola quan el mestre ensenya com fer una determinada tasca als seus alumnes o quan ens fixem en com algú realitza una feina per després imitar-la i poder-la fer nosaltres també.

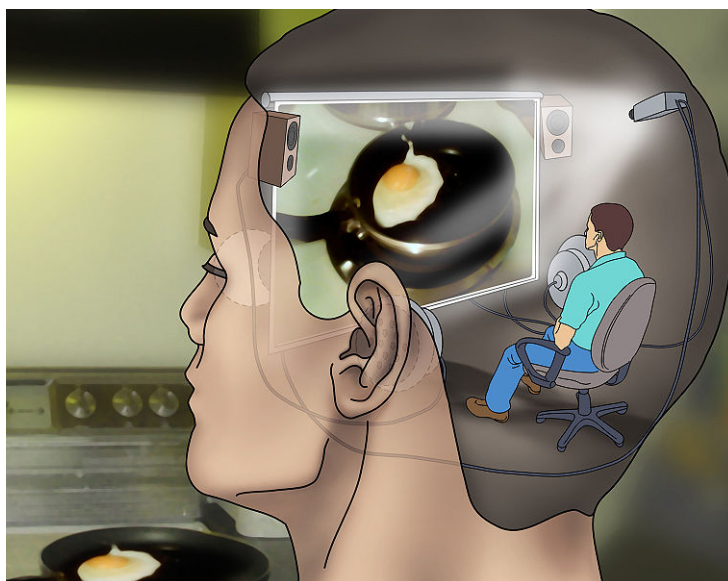


Figura 4.5: Aprenentatge observacional

És més difícil de demostrar aquest aprenentatge en altres mamífers, de fet, durant molts anys, els investigadors en aquest camp negaven que l'aprenentatge observacional es produís en no humans.

No hi ha proves de que l'aprenentatge observacional es doni en vertebrats inferiors ni en invertebrats. Molts investigadors creuen que l'aprenentatge observacional va més enllà del condicionament associatiu, i que implica processos cognoscitius com per exemple, la atenció, la retenció i el pensament.

Actualment s'està començant a formar una idea coherent d'aquests processos, i s'espera que els neurobiòlegs siguin capaços de contribuir amb els seus coneixements i informacions de les seves investigacions sobre aquestes mecanismes neurals, que tot just es comencen a entendre.

Capítol 5

Neurones

En aquest capítol es veurà què són les neurones i com s'organitzen mitjançant xarxes. També s'explicaran conceptes com el potencial d'acció i la propagació dels estímuls elèctrics arreu del sistema nerviós i pel cervell.

5.1 Neurones

Les **neurones** estan involucrades en els processos d'informació del cervell, reben senyals dels òrgans sensitius i d'altres neurones. Posteriorment de rebre aquesta informació, les neurones integren tota la informació i posteriorment la transmeten. Sintetitzant es podria dir que les neurones són les responsables dels aspectes més interessants de les funcions neuronals.

Les neurones difereixen d'altres cèl·lules de l'organisme almenys de dues maneres prou importants. D'una banda cal tenir clar que un cop una cèl·lula esdevé neurona, és a dir, s'ha diferenciat, ja no divideix mai més. A més, les noves neurones no es produeixen a partir de lesions en el cervell. En la majoria d'òrgans, en canvi, les cèl·lules es recuperen després d'un accident. En canvi, per recuperar les funcions cerebrals només es poden fer servir les cèl·lules ja existents. De fet, el cervell d'un nadó conté, el màxim nombre de neurones que tindrà mai. Les neurones es van perdent constantment, segons alguns estudis es perden unes 200.000 neurones cada dia. Tot i així el gran nombre de neurones fa que això no suposi grans problemes, tret de pèrdua de memòria en edats elevades. D'altra banda però donat aquest fenomen existeix l'Alzheimer que produeix una pèrdua excessiva de neurones en el malalt.

Les neurones també difereixen de les altres cèl·lules per les seves necessitats pel que fa a l'**oxigen**. Quan les neurones són privades d'oxigen, aquestes moren en pocs minuts, dit d'altra manera, les neurones no poden sobreviure anaeròbicament. Això té implicacions molt severes, per exemple, quan l'oxigen no circula pels teixits com a conseqüència d'un atac de cor, el primer en rebre danys és el cervell, que sol morir primer. No obstant si és capaç de recuperar-lo en pocs instants es pot salvar el cervell.

Estructura neuronal

Les neurones varien enormement en la seva **forma**. La majoria tenen nombrosos i llargs processos que els hi permeten connectar amb altres neurones i cèl·lules. Cada part del cervell té neurones amb una forma determinada, això és així, segurament, relacionat amb la funció que han de dur a terme aquestes neurones. Per exemple, neurones situades al còrtex i al cerebel tenen formes molt diferents. Tot i aquesta gran variabilitat es poden classificar en dos grans grups, seguint la classificació donada per Ramón y Cajal:

- Cèl·lules tipus Golgi I
- Cèl·lules tipus Golgi II

A partir d'aquesta classificació se'n poden generar més en funció de l'àrea del cervell on ens trobem. Cadascuna d'elles s'assembla a les del mateix grup en tant que poden tenir la mateixa funció.

Cèl·lules tipus Golgi I

Són les que tenen axons molt llargs. La funció d'aquestes neurones es portar la informació d'una part a l'altra del cervell o des del cervell a l'espina dorsal per donar informació als músculs i òrgans.

A la figura 5.1 se'n pot veure el detall. Dibuix de Ramón y Cajal.

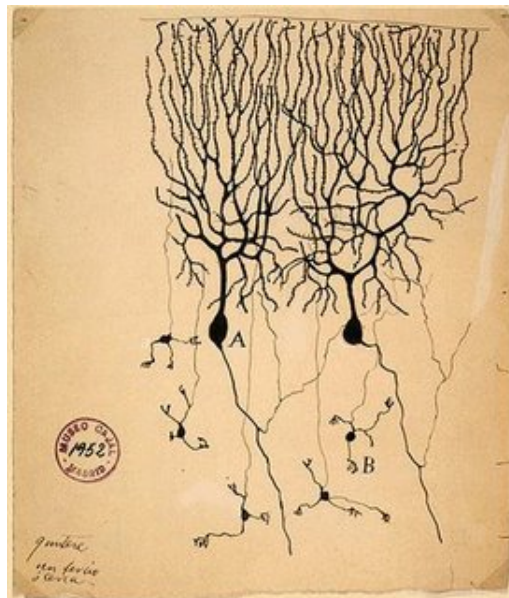


Figura 5.1: Cèl·lules tipus Golgi I

Cèl·lules tipus Golgi II

Les neurones d'aquest tipus es caracteritzen per tenir axons curts o fins i tot no tenir-ne. Tenen el cos cel·lular més petit que l'anterior grps i no van d'una banda a l'altre del cervell. La seva funció es concentra en un sol punt del cervell i se centra en l'interacció local entre cèl·lules nervioses.

A la figura 5.2 se'n pot veure el detall. Dibuix de Ramón y Cajal.

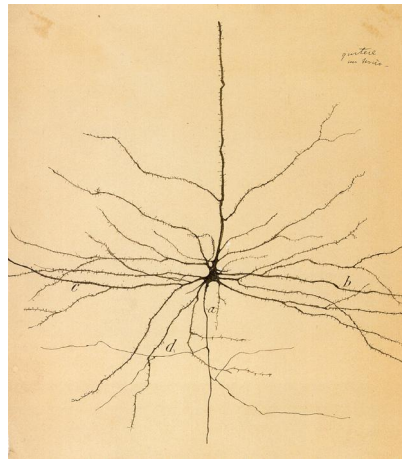


Figura 5.2: Cèl·lules tipus Golgi II

5.2 Sinapsi

Les sinapsis entre neurones, és a dir, les **connexions**, tenen una importància molt gran al sistema nerviós en general. Aquest fet fa que les neurones s'excitin, s'inhibeixin o es modulin. Les sinapsis es poden comptar per centenars en cada cèl·lula que es tingui en compte. Així doncs, la majoria de contactes entre neurones són de tipus químic. A grans trets, una substància és alliberada de la part presinàptica i arriba a l'espai extracel·lular, aquesta interacciona amb els receptors contigus a la banda postsinàptica del contacte. Figura 5.3.

D'altra banda es poden trobar també sinapsis elèctriques, tot i que són menys comuns que les primeres. En aquest cas dos elements interaccionen en una aposició molt propera permetent així que els canals de la membrana s'enllacin entre les dues cèl·lules i els ions puguin passar d'una cèl·lula a l'altre.

Vegem amb una mica més detall els dos tipus de sinapsi.

Sinapsi química

A la banda presinàptica de la unió, les **vesícules sinàptiques** emmagatzemen substàncies neuroactives per ser alliberades pels terminals. Molt aprop del lloc on s'allibera la substància, les vesícules sinàptiques estan situades totes juntes a la

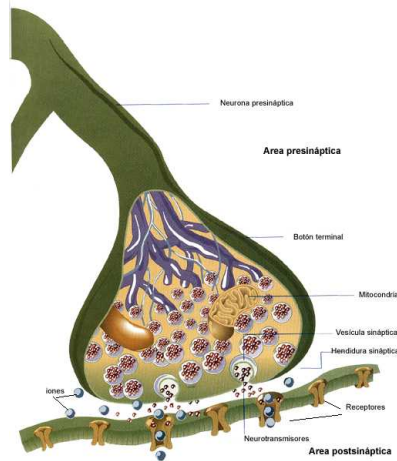


Figura 5.3: Sinapsi

membrana presinàptica. El material d'alta densitat d'electrons associat a la membrana presinàptica indica la presència d'estructures involucrades en la unió de les vesícules sinàptiques amb la membrana. A l'espai extracel·lular entre la membrana pre i postsinàptica s'hi poden observar filaments dels quals encara avui en dia se'n desconeix la seva funció. A la banda postsinàptica el material d'alta densitat d'electrons també està associat a la membrana.

A la major part del cervell s'hi poden distingir dos tipus de sinapsi química:

- **Tipus I:** Són un tipus de sinapsi que es consideren excitadores. Es troben, sobretot, a les dendrites. Caracteritzades per tenir unes vesícules esfèriques d'uns 40 nm de diàmetre.
- **Tipus II:** Contràriament a les anteriors, aquestes estan considerades com sinapsis inhibidores. Es troben al cos cel·lular. Les vesícules tenen formes molt variades però generalment més primes que les del tipus I.

Sinapsi elèctrica

Aquest tipus de sinapsi es pot considerar com la continuïtat entre les parts internes de les cèl·lules cap a l'exterior d'aquestes. Ions i petites molècules passen d'una cèl·lula a l'altra mitjançant els canals que s'hi creen. Els canvis elèctrics que es generen en una cèl·lula són transmesos instantàniament cap a les altres cèl·lules.

A la majoria de les sinapsis elèctriques els ions poden passar en qualsevol direcció, és a dir, tant d'“anada” com de “tornada”. Tot i així també se'n poden trobar que només accepten el pas dels ions cap a una de les dues bandes.

Anatòmicament pot semblar que les dues parts de la connexió estan en contacte però si s'observa amb un microscopi prou potent es pot advertir que hi ha una **separació** entre les dues cèl·lules d'entre 1 i 1.5 nm.

5.3 Potencial d'acció

En aquest apartat veurem com es generen els potencials d'acció, quins fenòmens hi contribueixen i també com es propaguen a través de les cèl·lules.

Generació

Quan una petita quantitat de senyal elèctric passa cap a un axó, el voltatge que hi ha a la membrana canvia d'acord amb la polaritat del corrent (positiva o negativa) i amb la força i resistència i capacitat de la membrana. Mentre la diferència de voltatge induït a la membrana estigui per sota d'una 15 mV, la resposta és passiva, és a dir, que el voltatge només reflexa la resistivitat i la capacitat de la membrana. No obstant, si el voltatge de la membrana canvia per sobre dels 15 mV en direcció positiva (despolarització), es pot observar un canvi de potencial addicional a través de la membrana. D'altra banda, la recuperació després del pas de corrent positiu minva molt més lentament del que es podria esperar per les propietats de la membrana. El corrent negatiu (hiperpolarització) no reflexa respostes actives. En aquest cas, no importa com de gran sigui el corrent, ja que la resposta sempre roman en estat passiu, depenent estrictament de la resistència de la membrana i de la capacitat de la mateixa.

Quan la suma de corrent despolaritzador injectat a l'axó és major a 15 mV (en altres paraules, quan es passa del potencial de repòs a -70 mV i s'arriba als -55 mV) el potencial de membrana és sotmès a un gran canvi. En aquest moment el voltatge s'inverteix ràpidament a través de la membrana cel·lular i l'interior de la cèl·lula esdevé amb càrrega positiva en comparació amb l'exterior. En el següent milisegon, el voltatge a través de la membrana arriba als 50 mV positius per tot seguit caure ràpidament. En el següent milisegon la tensió es desploma i cau fins assolir els -90 mV. Tot seguit es recuperen els -70 mV inicials. Tot aquest procés és el que es coneix amb el nom de **potencial d'acció**.

Tot aquest procés es pot veure resumit en el gràfic de la figura 5.4:

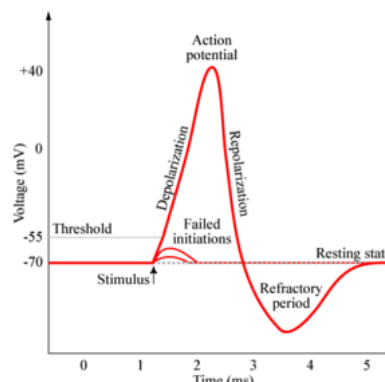


Figura 5.4: Potencial d'acció

Propagació

Una de les característiques més importants del potencial d'acció és que són potencials **propagats** i **no decrementals**. Això vol dir que un cop s'arriba al valor del potencial llindar, en el punt de la fibra nerviosa on s'ha produït l'estimulació, s'origina el potencial d'acció que es propaga per tota la fibra nerviosa amb la mateixa intensitat inicial, sense pèrdua. Aquestes són les diferències que existeixen si es compara el potencial d'acció amb els potencials electrotònics¹.

Aquest fenomen ha estat estudiat de la següent manera. Es mesura, a una fibra nerviosa, el potencial d'acció en dos punts diferents i relativament allunyats. Si s'estimula la fibra nerviosa es pot mesurar el primer potencial d'acció en el primer punt de medició i posteriorment, passat un temps, també es detecta el mateix valor del potencial d'acció, sense cap pèrdua, en el segon punt on es realitza la mesura.

En canvi, en la transmissió electrotònica els valors dels potencials es fan cada cop més petits com més allunyats estiguin el punt de mesura del punt d'estimulació. No obstant, la transmissió electrotònica actua en la conducció del potencial d'acció.

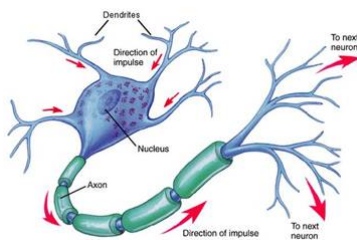


Figura 5.5: Propagació del potencial d'acció

Des d'un punt ja excitat de la membrana, les càrregues positives flueixen cap a les àrees immediatament adjacents carregades en forma negativa. Els gradients del potencial fan que el corrent viatgi longitudinalment tant per l'interior com per l'exterior de la membrana i que es formi un circuit circular de corrent quan aquesta atravesa la membrana (vegeu figura 5.5). Precisament és aquest, el corrent de sortida, el que despolaritza la regió adjacent en repòs i genera en aquest punt un potencial electrotònic.

Quan aquest potencial assoleix el valor llindar inicia el seu propi corrent de ions de Na^+ que produeixen un potencial d'acció que a la seva vegada subministra corrent de càrregues per despolaritzar de forma electrotònica les zones immediatament adjacents. Aquesta sèrie de fets es succeeixen regularment al llarg de tota la fibra nerviosa. Un cop iniciat, l'impuls propagat no despolaritza l'àrea que queda darrera d'ell ja que es troba en el període refractari.

¹Són potencials de caire local i no propagats.

Capítol 6

Conclusions

Tot i que el treball pot no semblar afí als estudis d'enginyeria informàtica m'ha resultat força interessant, sobretot en alguns aspectes explicats durant el treball. Respecte al primer capítol, he après com funcionen els sentits dels humans, tot i que d'alguns ja en coneixia alguns detalls, la major part de les coses explicades m'han resultat novetats. En tot cas, en alguns dels sentits es pot veure una relació amb l'informàtica o la física, en tant que aquesta ciència o enginyeria s'inspira sovint en com la natura ha resolt alguns problemes. Per exemple en el cas de la visió, les nostres càmeres de fotos s'assemblen, en certa mesura, als nostres ulls.

Pel que fa al segon tema, els processos i funcions mentals tenen una complexitat molt gran, de la qual sovint no ens aturem a pensar. Tot el procés que fa que algú sigui capaç d'entendre quelcom i de posteriorment recordar-ho en un futur és realment increïble. No és sorprenent doncs que algunes malalties tinguin efectes tant nocius sobre l'organisme, com és el cas de l'Alzheimer, que fa perdre la memòria als éssers humans. Cal seguir estudiant tots aquests processos mentals i comprendre'ls de la millor manera que es pugui, d'aquesta manera es podran afrontar amb més garanties totes les malalties relacionades que fan estralls en la societat.

Finalment, l'últim capítol, que parla de les neurones, m'ha servit per comprobar com un simple impuls nerviós es propaga per tot el cervell o per tot el sistema nerviós fins a arribar a un òrgan determinat i produir així un moviment, una connexió neuronal o qualsevol cosa que en aquell moment l'organisme precisi. En aquest cas, també es pot veure una clara relació del funcionament de les neurones i de les seves connexions amb les connexions que tots fem servir cada dia quan truquem per telèfon o ens connectem a Internet. Tot i així m'ha resultat curiós que la propagació del senyal a través dels axons es fagi sense pèrdua, això implica un molt millor disseny que els nostres cables elèctrics que sempre tenen pèrdues.

Així doncs, si els investigadors de les diverses ciències implicades, tan biòlegs, neurobiòlegs, físics i informàtics segueixen estudiant els processos mentals i el funcionament del cervell, serem capaços cada cop més, d'inspirar-nos en el disseny natural per tal de poder solucionar problemes que fins ara poden ser innaccessibles o d'una complexitat enorme.

Bibliografia

- [BD69] B.B. Boycott i J.E. Dowling. *Organisation of the primate retina: Light microscopy*. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 1969.
- [BHS87] B.B. Boycott, J.M. Hopkins i H.G. Sperling. *Cone connections of the horizontal cells of the rhesus monkey's retina*. Proc. R. Soc. Lond., 1987.
- [DB68] J.E. Dowling i B.B. Boycott. *Organization of the primate retina: electron microscopy*. Proc. R. Soc. Lond., 1968.
- [Dow92] John E. Dowling. *Neurons and Networks. An introduction to Neuroscience*. A, 1992.
- [KMG80] H. Kolb, A. Mariani i A. Gallego. *A second type of horizontal cell in the monkey retina*. J. Comp. Neurol., 1980.
- [Mar85] David Marr. *Introducción general en la visión*. Alianza Editorial, Madrid, 1985.
- [Pol41] S.L. Poliak. *The Retina*. University Press, Chicago, 1941.
- [RyC11] Santiago Ramón y Cajal. *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1911.
- [RyC90] Santiago Ramón y Cajal. *Les nouvelles idées sur la structure des centres nerveux chez l'homme et chez es vertèbres (traducció)*. MIT Press, Massachusetts, 1990.
- [She94] Gordon M. Shepherd. *Neurobiology*. A, 1994.
- [SVSd07] Walter Schaeken, André Vandierendonck, Walter Schroyens i Géry d'Ydewalle. *The menral models theory of reasoning*. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey - London, 2007.
- [Vic97] César Urtubia Vicario. *Neurobiología de la visión*. A, 1997.