

TEMA 5.

CÈL·LULES DEL SISTEMA NERVIÓS

Dra. Noemí San Miguel Segura

Índex

1. Estructura de la neurona
2. Tipus de neurones
3. Característiques i tipus de glia
4. Tècniques histològiques aplicades a l'estudi del SNC

Dra. N. San Miguel

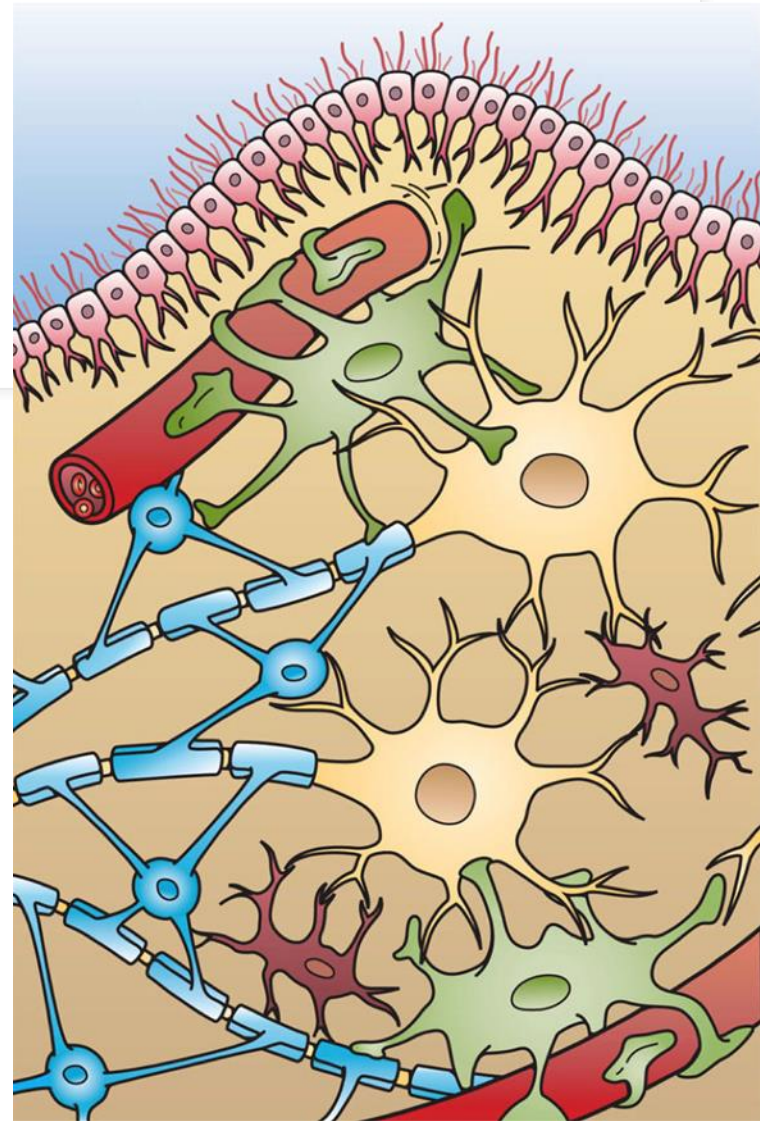
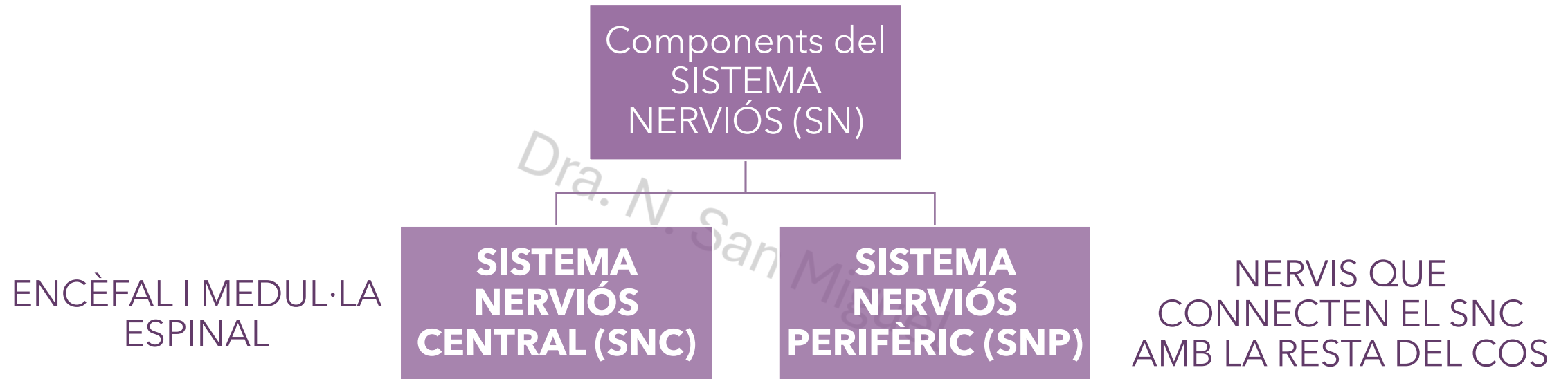
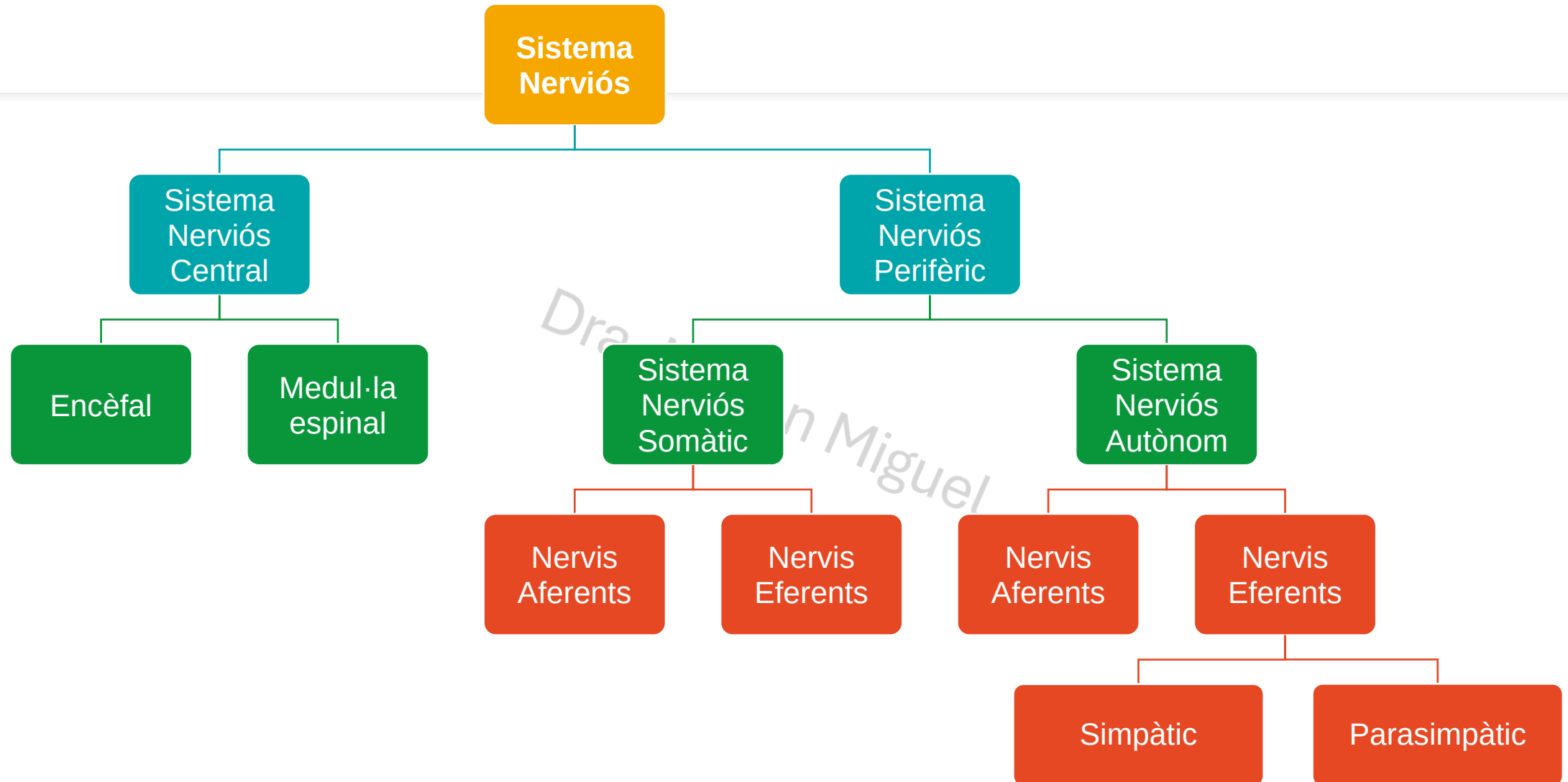


Fig. 1. Cèl·lules glials. Astròcits (verd), oligodendròcits (blau) i cèl·lules microgials (roig).

GENERALITATS DEL SN



GENERALITATS DEL SN



1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Introducció

La **doctrina de la neurona** establerta per Santiago Ramon i Cajal estableix que el SN està format per cèl·lules individuals i independents, denominades neurones.

La neurona és la cèl·lula fonamental del teixit neural i el comportament humà dependrà de la comunicació que s'establisca entre diferents circuits neuronals.

Aquest model consisteix a acceptar que la base de la funció neurològica es troba en les neurones com a entitats discretes, la interacció de les quals, mitjançada per sinapsis, genera respostes complexes. Cajal no només va postular aquest principi, sinó que el va ampliar cap a una «lleï de la polarització dinàmica», que defensa la transmissió unidireccional de la informació (és a dir, en un únic sentit, de les dendrites cap als axons).

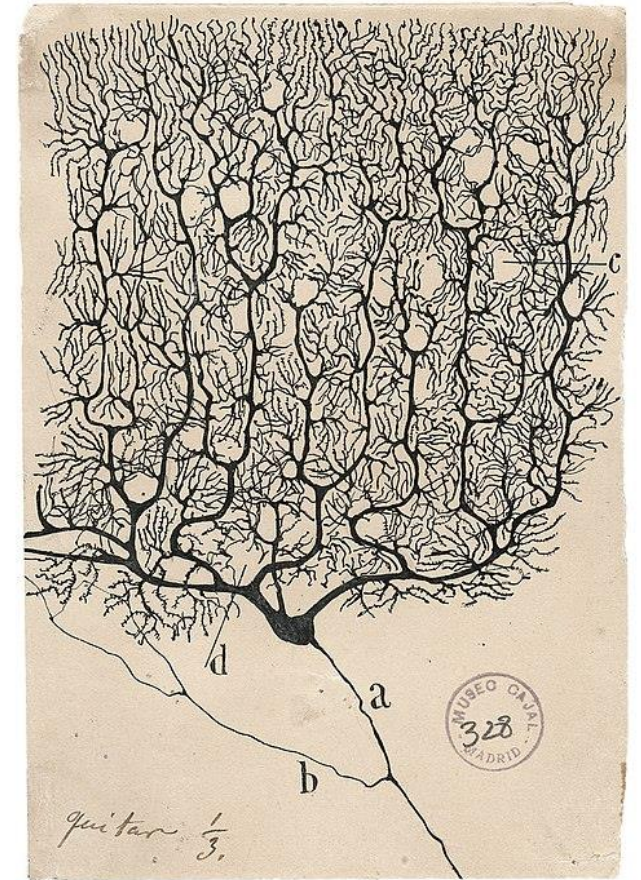


Fig. 2. Cèl·lula de Purkinje.
Santiago Ramón y Cajal

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Introducció

La neurona és la unitat estructural i funcional elemental de processament i transmissió de la informació en el sistema nerviós.

Les neurones són cèl·lules amb cinc característiques diferencials:

1. **Excitabilitat:** són cèl·lules capaces de respondre a estímuls (químics, mecànics, etc.) que generen canvis elèctrics locals en el potencial de membrana en repòs.
2. **Conductivitat:** les neurones presenten canvis elèctrics que es propaguen de manera ràpida al llarg de la membrana plasmàtica com, per exemple, els canals dependents de voltatge que s'obrin de manera seqüencial durant el potencial d'acció.
3. **Secreció:** les neurones alliberen neurotransmissors en resposta a l'activitat conductiva.
4. **Post-mitòtiques:** una vegada s'han diferenciat, no segueixen processos de replicació mitòtica.
5. **Longevitat:** moltes de les neurones formades durant el desenvolupament fetal encara són funcionals en la vellesa.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Introducció

Theodor Schwann, històleg i fisiòleg, i Matthias Jakob Schleiden, botànic, van establir el primer principi de **la teoria cel·lular**, que afirma que tots els éssers vius estan formats per cèl·lules o per productes que aquestes secreten.

El descobriment del món microscòpic va tenir lloc al segle XVIII, quan Antonie van Leeuwenhoek, va observar en una gota d'aigua una gran quantitat d'éssers minúsculs que es movien a gran velocitat.

Més endavant, Rudolf Virchow va formular el segon principi de la teoria cel·lular: tota cèl·lula prové de la divisió d'una altra cèl·lula. Aquest concepte va establir la divisió binària com a mecanisme universal.

Al llarg del segle XIX, la teoria cel·lular va ser objecte de debat fins que Louis Pasteur, amb els seus experiments sobre la reproducció de microorganismes unicel·lulars, va demostrar que no es generaven de forma espontània. Els resultats de Pasteur van portar a l'acceptació definitiva de la teoria cel·lular i va establir una base sòlida per a la biologia moderna.

1. BASES CEL·LULARS I BASES MOLECULARS DE L'HERÈNCIA

Introducció: la cèl·lula

LA CÈL·LULA ÉS LA UNITAT ESTRUCTURAL I FUNCIONAL DELS ÉSSERS VIUS

Teoria cel·lular de Schleiden i Schwann (...)

Tots el teixits del cos dels éssers vius estan formats per cèl·lules

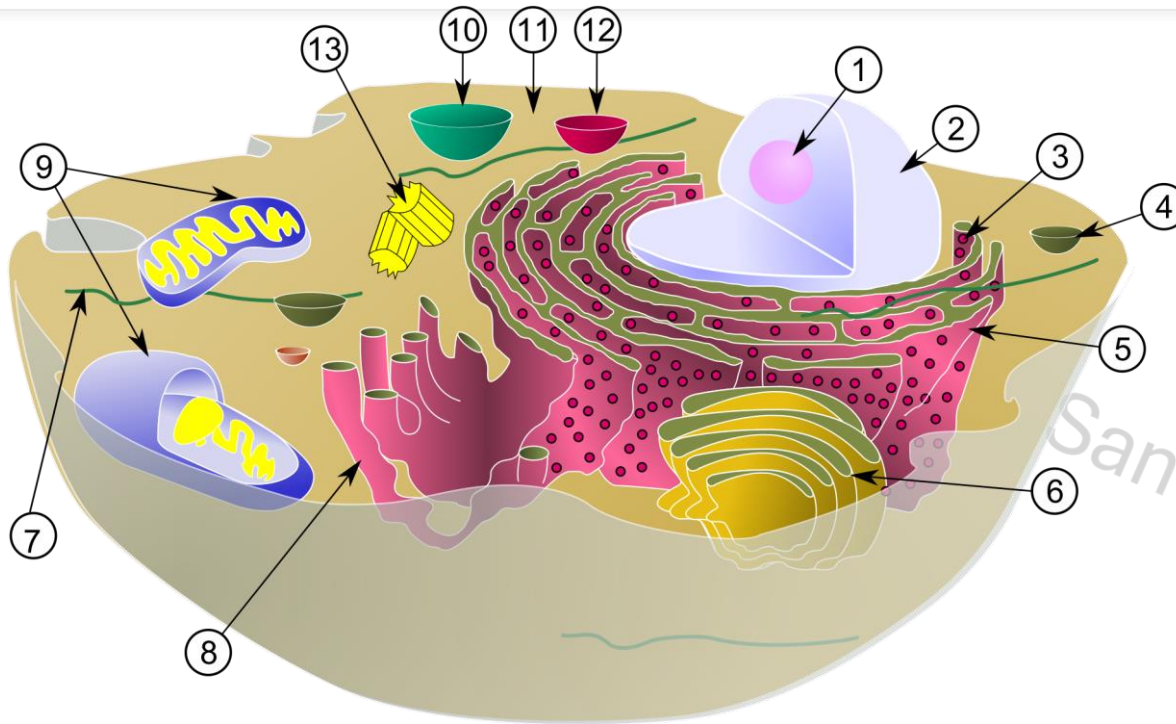
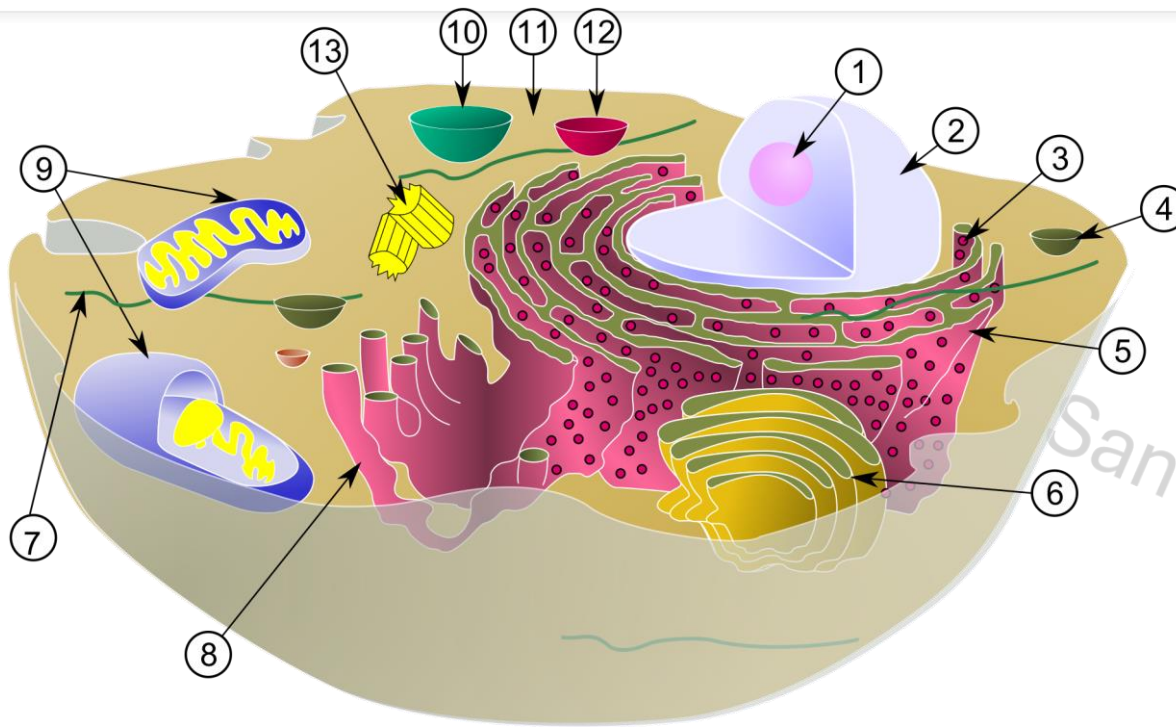


Fig. 3. Cèl·lula. 1. Nuclèol, 2. Nucli cel·lular, 3. Ribosoma, 4. Vesícules de secreció, 5. Reticle endoplasmàtic rugós, 6. Aparell de Golgi, 7. Citoesquelet, 8. Reticle endoplasmàtic llis, 9. Mitocòndria, 10. Vacuola, 11. Citosol, 12. Lisosoma, 13. Centríol.

1. BASES CEL·LULARS I BASES MOLECULARS DE L'HERÈNCIA

Introducció: la cèl·lula. Citoplasma



- **Nucli:** cromosomes
- Nuclèol: transcripció de l'ARN
- **Membrana**
- **Citoplasma**
- Mitochondries (obtenció d'energia mitjançant ATP)
- Reticle endoplasmàtic rugós (síntesi de proteïnes)
- Reticle endoplasmàtic llis
- Aparell de Golgi
- Centríols
- Peroxisomes
- Vacuoles

Fig. 3. Cèl·lula. 1. Nuclèol, 2. Nucli cel·lular, 3. Ribosoma, 4. Vesícules de secreció, 5. Reticle endoplasmàtic rugós, 6. Aparell de Golgi, 7. Citoesquelet, 8. Reticle endoplasmàtic llis, 9. Mitochondria, 10. Vacuola, 11. Citosol, 12. Lisosoma, 13. Centríol.

1. BASES CEL·LULARS I BASES MOLECULARS DE L'HERÈNCIA

Introducció: la cèl·lula. Membrana cel·lular

Estructura cel·lular que delimita la cèl·lula i la separa del seu entorn.

BICAPA FOSFOLIPÍDICA

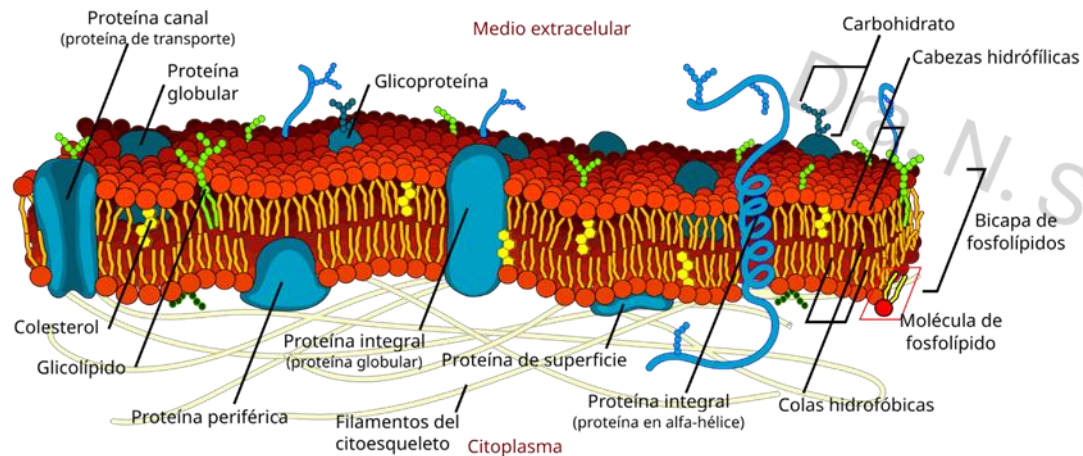


Fig. 4. Membrana plasmàtica.

Característiques:

- Delimitació i protecció de les cèl·lules.
- Regulació selectiva de l'intercanvi de substàncies entre el medi extracel·lular i intracel·lular seguint un gradient de concentració.
- Localització de receptors químics que permeten a la membrana rebre senyals i respondre de manera específica.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

Les neurones tenen quatre estructures o regions:

1. Soma.
2. Dendrites.
3. Axó.
4. Botons terminals.

El potencial d'acció condueix el missatge bàsic

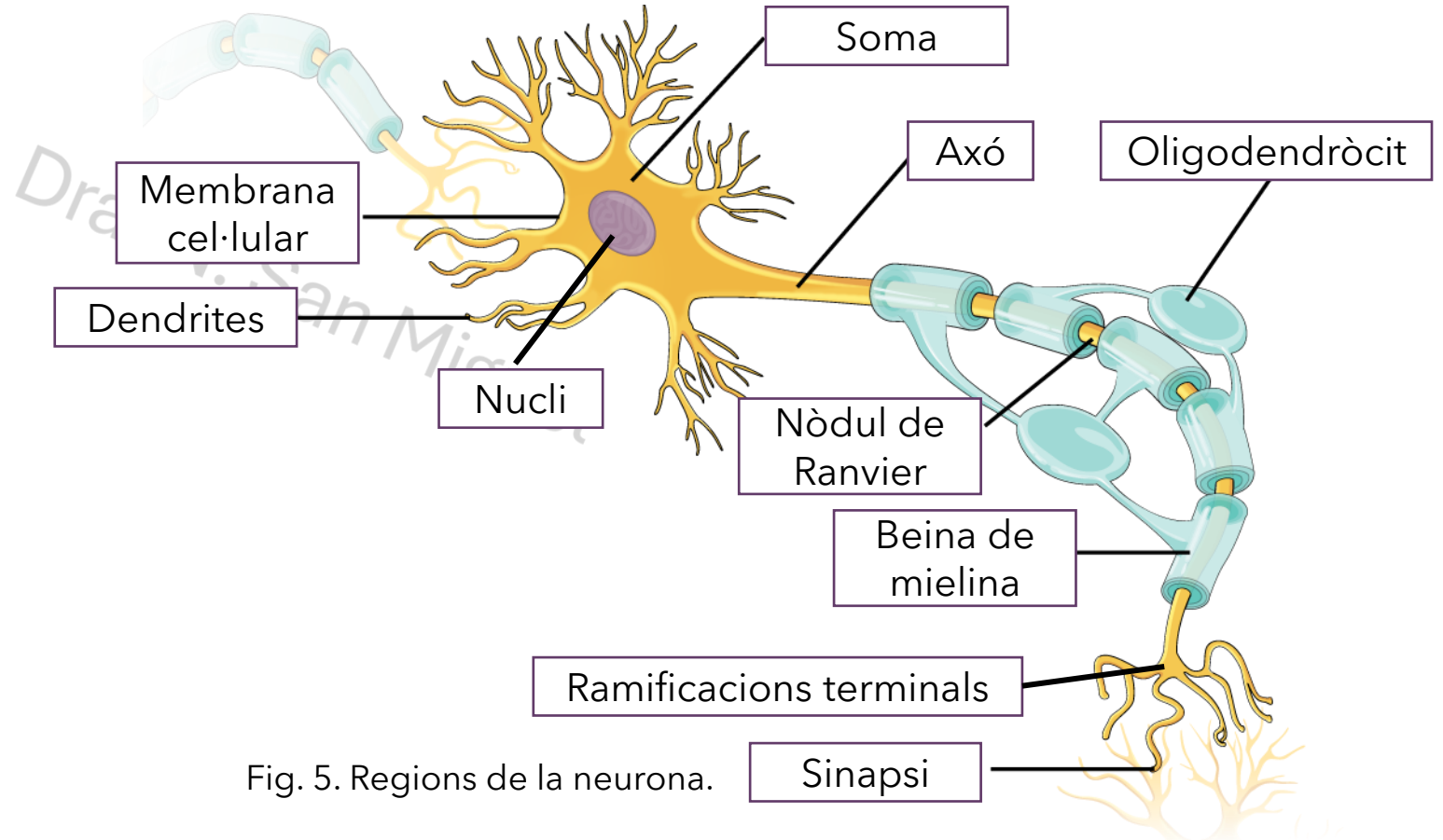


Fig. 5. Regions de la neurona.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

Les neurones tenen quatre estructures o regions:

1. **Soma:** conté el nucli i elements que mantenen els processos vitals de la cèl·lula. Destaca el nuclèol de molta grandària. La cromatina està menys compacta que en altres cèl·lules, ja que presenta una elevada activitat pel que fa a l'expressió gènica i síntesi proteica.

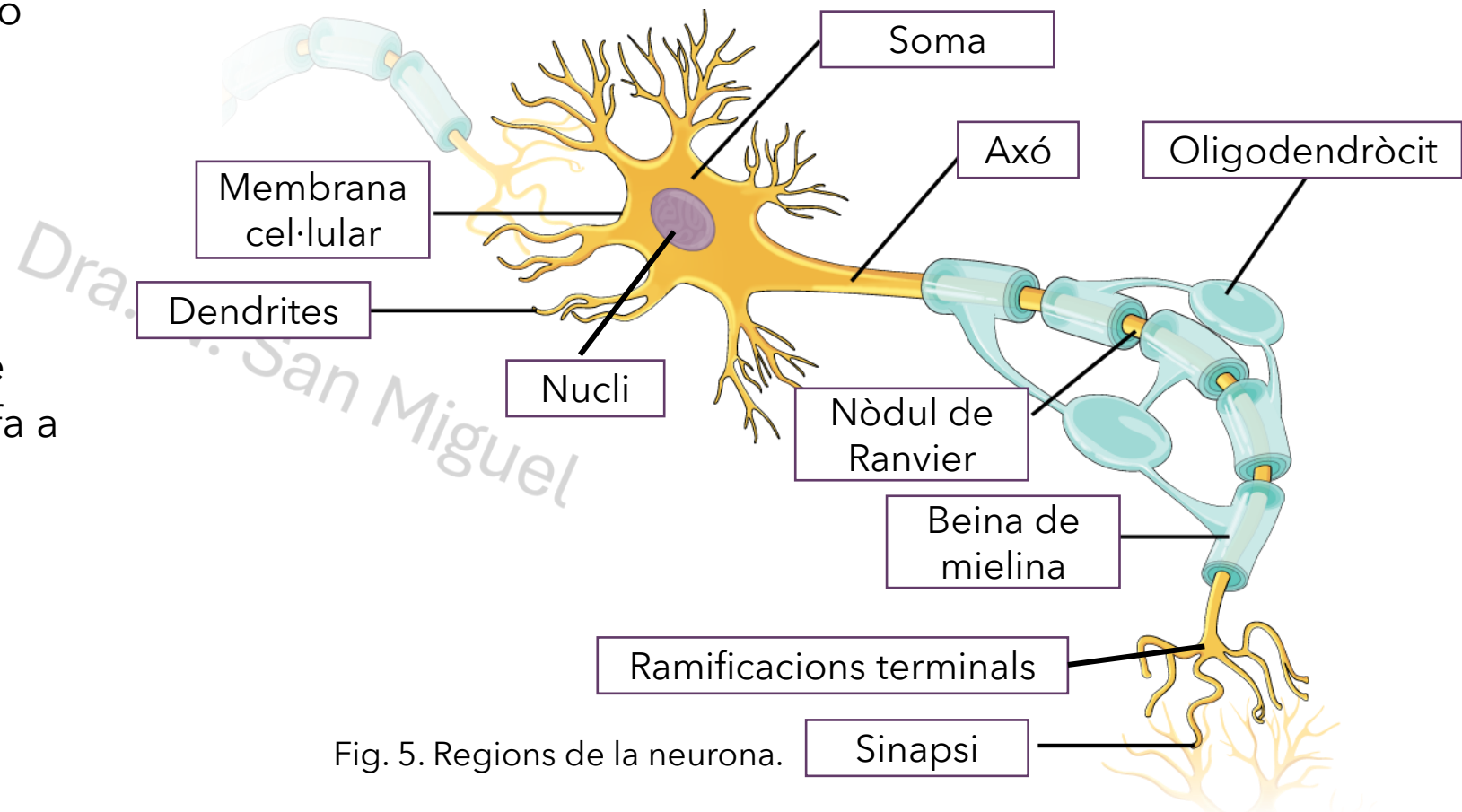


Fig. 5. Regions de la neurona.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

Les neurones tenen quatre estructures o regions:

2. **Dendrites:** participen en les sinapsis com a receptors dels missatges neuronals, són les projeccions aferents. Presenten un aspecte ramificat amb protuberàncies xicotetes anomenades **espines dendrítiques**.

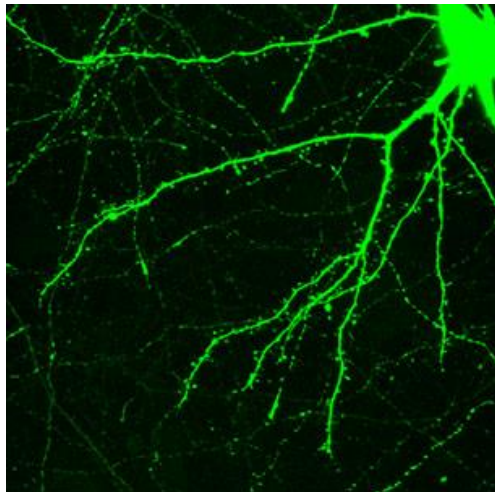


Fig. 6. Espines dendrítiques.

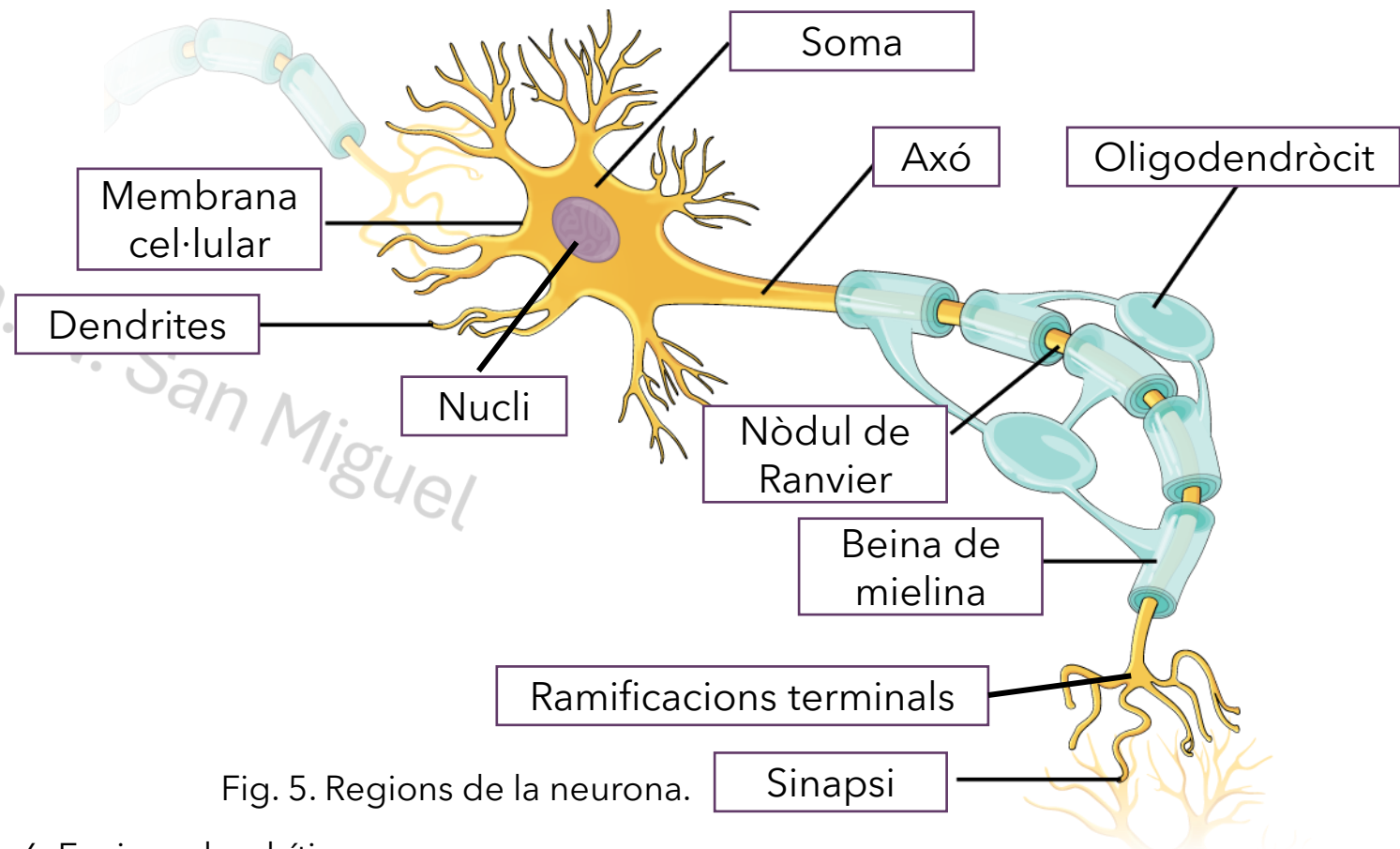


Fig. 5. Regions de la neurona.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

Les neurones tenen quatre estructures o regions:

3. **Axó:** projecció eferent. És un tub llarg i prim, freqüentment recobert per una beina de mielina. Porta informació des del cos cel·lular fins als botons terminals.

- L'estructura de l'axó comença al con axònic, que és la prolongació del soma cel·lular.
- En l'extrem oposat, l'axó es pot dividir en una sèrie de ramificacions més menudes que presenten un engrossiment al final de cadascuna d'elles, denominat **botó terminal**.

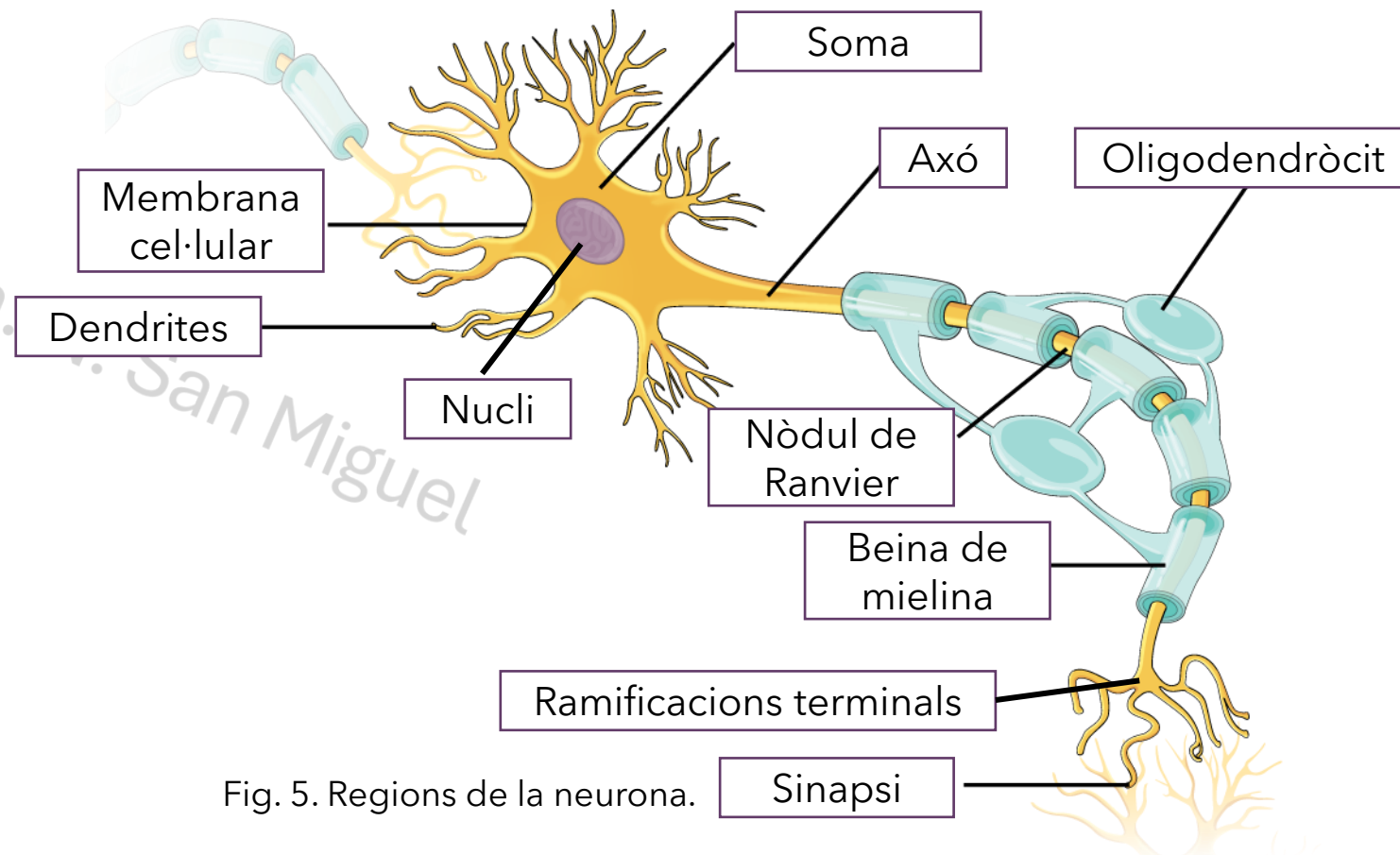


Fig. 5. Regions de la neurona.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

Les neurones tenen quatre estructures o regions:

4. **Botons terminals:** poden formar sinapsi amb la membrana de les dendrites o del soma. Quan el potencial d'acció arriba als botons terminals se secreta una substància química (neurotransmissor) al botó terminal que inhibeix o excita la neurona següent.

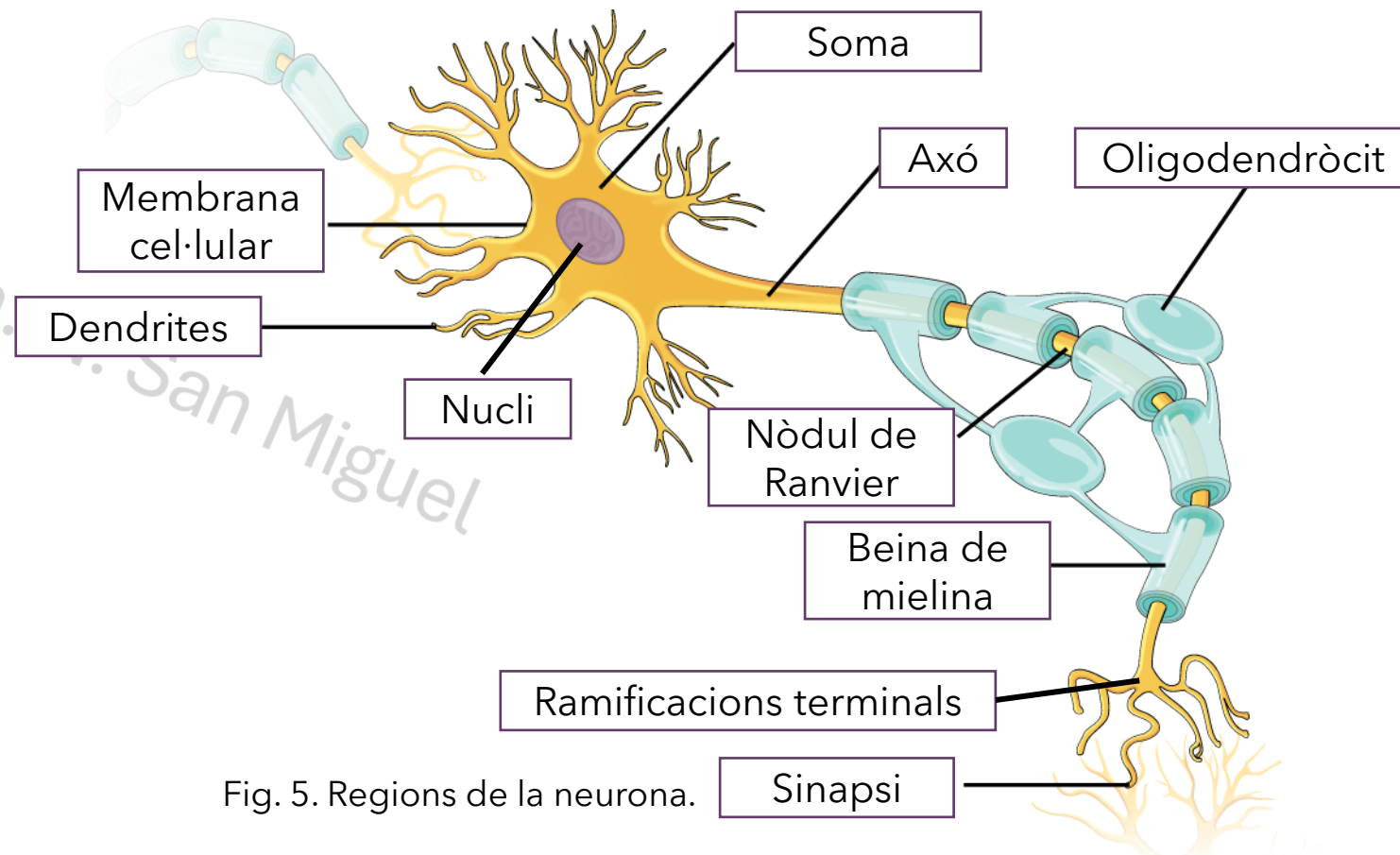


Fig. 5. Regions de la neurona.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

El transport axonal, també anomenat **transport axoplàsmic**, és un procés cel·lular responsable del moviment de mitocondries, lípids, vesícules sinàptiques, proteïnes i altres orgànuls cap a i des del cos cel·lular d'una neurona, a través del citoplasma de l'axó, anomenat axoplasma.

Com que alguns axons poden arribar a tenir metres de llarg, les neurones no poden dependre de la difusió per portar els productes del nucli i dels orgànuls fins al final dels seus axons.

El transport axonal també és responsable de moure les molècules destinades a la degradació des de l'axó fins al cos cel·lular, on les descomponen els lisosomes.

- El moviment cap al cos cel·lular s'anomena transport retrògrad, i el moviment cap a la sinapsi s'anomena transport anterògrad.
- El transport axonal pot ser ràpid o lent, i anterògrad o centrífug (quan s'allunya del cos cel·lular) o bé retrògrad centrípet (quan transporta materials de l'axó cap al cos cel·lular).

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

FUNCIÓ DELS MICROTÚBULS: TRANSPORT AXOPLÀSMIC

- Anterògrad: des del soma fins als botons terminals mitjançant la proteïna cinesina.
- Retrògrad: moviment des del botó terminal fins al soma mitjançant la proteïna dineïna.

El transport anterògrad és el doble de ràpid que el retrògrad.

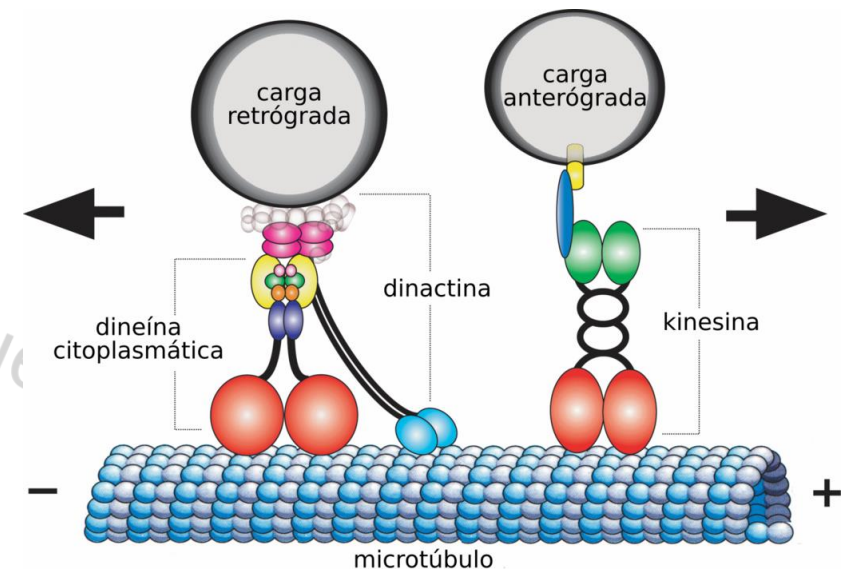


Fig. 7. Exemple de transport axoplàsmic anterògrad i retrògrad.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

La informació passa d'una neurona a l'altra mitjançant les sinapsis

SINAPSI: unió entre els botons terminals de la neurona emissora i una porció de la membrana somàtica o dendrítica de la neurona receptora.

La comunicació és unidireccional: des del botó terminal fins a la membrana de la següent neurona.

**LES NEURONES SÓN EXCITABLES
QUÍMICAMENT I ELÈCTRICA**

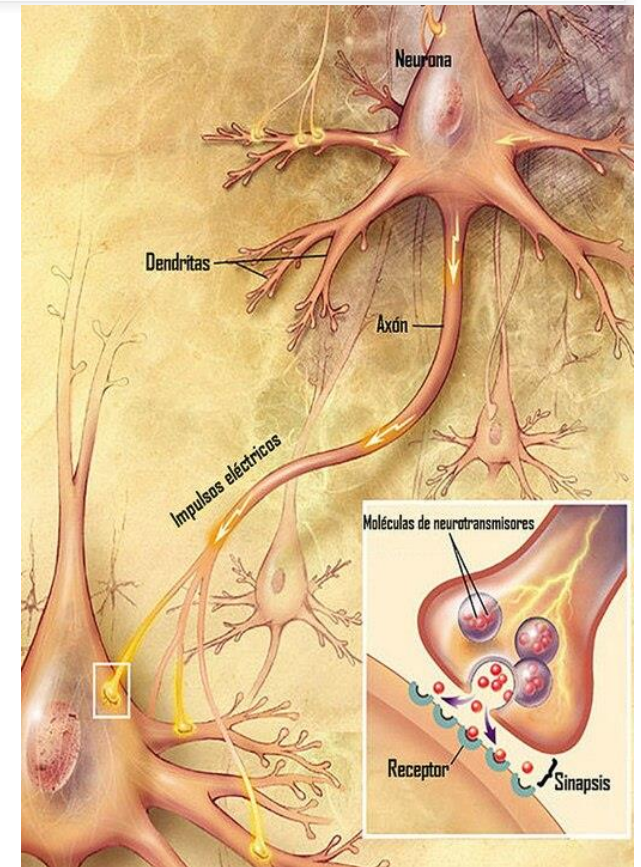


Fig. 8. Representació d'una sinapsi.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Estructura bàsica de la neurona

POTENCIAL D'ACCIÓ

Breu esdeveniment elèctric-químic que comença al con axònic (extrem axònic pròxim al cos cel·lular) i viatja fins als botons terminals.

Impuls elèctric que sempre té la mateixa mida i duració al llarg de l'axó.

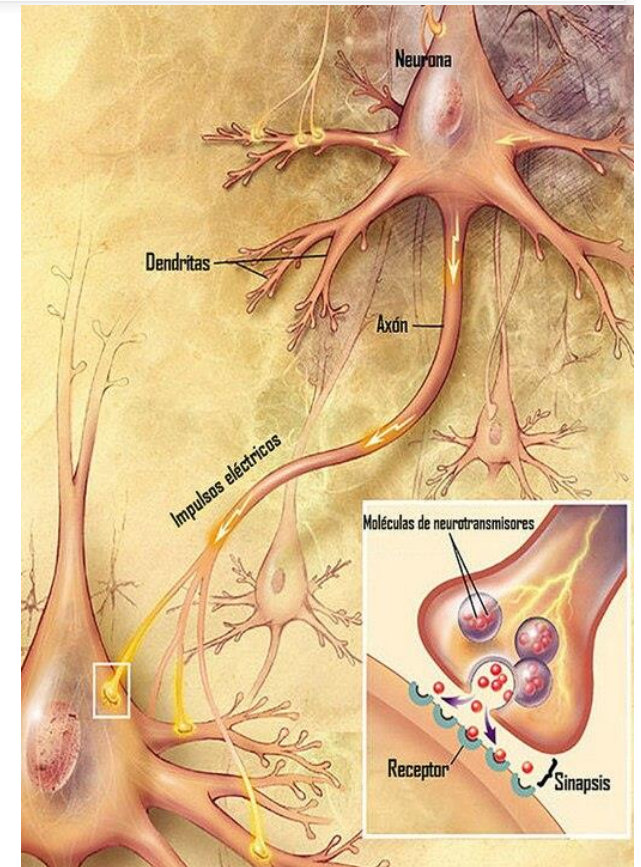


Fig. 8. Representació d'una sinapsi.

1. ESTRUCTURA DE LA NEURONA

Les neurones suposen un 10 % de les cèl·lules del cervell.

Les característiques principals d'aquest llinatge cel·lular és l'heterogeneïtat.

Les neurones difereixen considerablement quant a morfologia, funcionament i patró d'interconnexions, la qual cosa produeix gran flexibilitat i multiplicitat de funcions.

Dra. IV. San Miguel

2. TIPUS DE NEURONES

Segons el nombre i disposició de les prolongacions

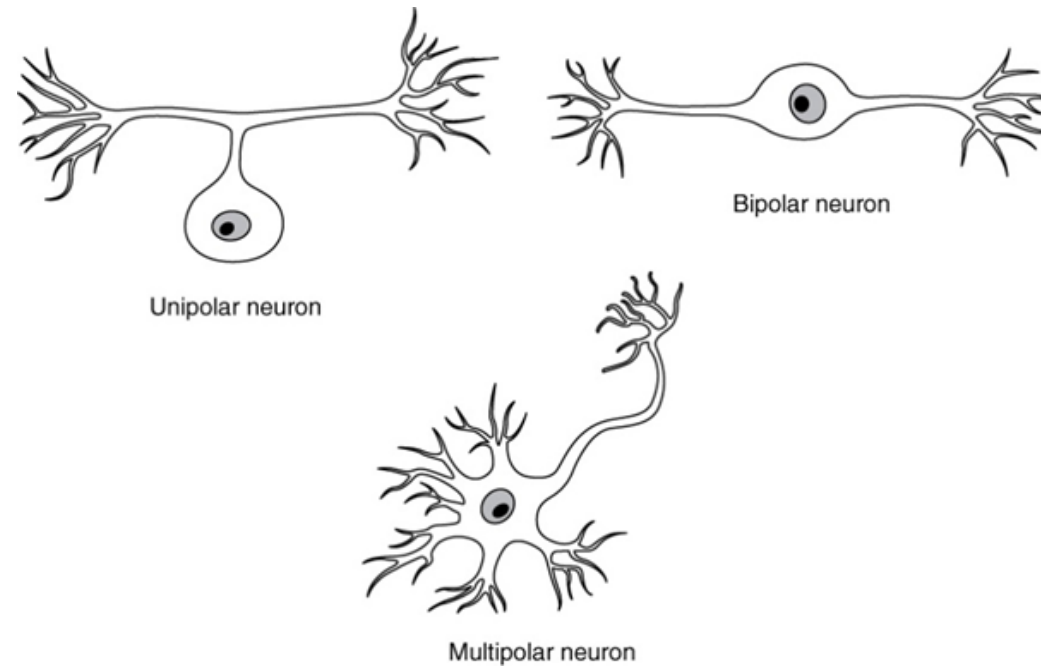


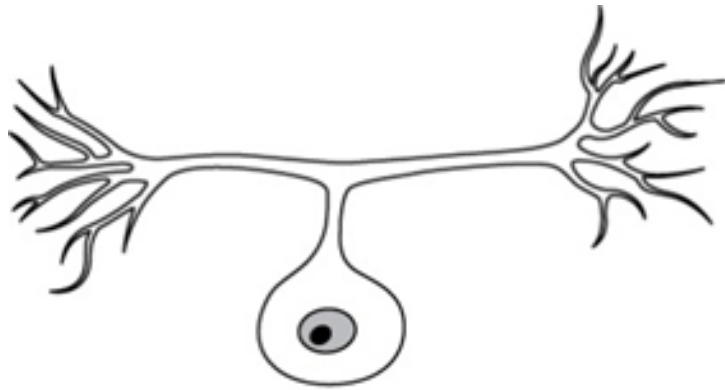
Fig. 9. Tipus de sinapsis segons el nombre i la disposició de les prolongacions.

2. TIPUS DE NEURONES

Segons el nombre i disposició de les prolongacions

NEURONA UNIPOLAR

NEURONA PSEUDOUNIPOLAR



Amb un únic procés que ix del soma.

En alguns casos, aquesta prolongació es divideix en una porció que fa la funció de recepció d'informació i altra de conducció d'informació característica de l'axó.

Generalment sensorials.

Fig.10. Exemple d'una neurona pseudounipolar.

2. TIPUS DE NEURONES

Segons el nombre i disposició de les prolongacions

NEURONA BIPOLAR

Posseeix dues prolongacions: un axó i un arbre dendrític en extrems oposats.
Generalment són neurones sensorials.



Fig. 11. Exemple d'una neurona bipolar.

Dra. N. San Miguel

2. TIPUS DE NEURONES

Segons el nombre i disposició de les prolongacions

NEURONA MULTIPOLAR

És la més freqüent en el SNC.

La membrana somàtica dona lloc a un axó i a diverses ramificacions dendrítiques.



Dra. N. San Miguel

Fig. 12. Exemple d'una neurona multipolar.

2. TIPUS DE NEURONES

Segons la longitud de l'axó

NEURONA GOLGI TIPUS I

Neurones multipolars d'axó llarg, cos cel·lular gran i dendrites ramificades

Ex: cèl·lules piramidals del còrtex cerebral i cèl·lules de Purkinje del cerebel

NEURONA GOLGI TIPUS II

Neurones multipolars d'axó curt que contacten amb neurones pròximes incloses dins de la mateixa unitat funcional

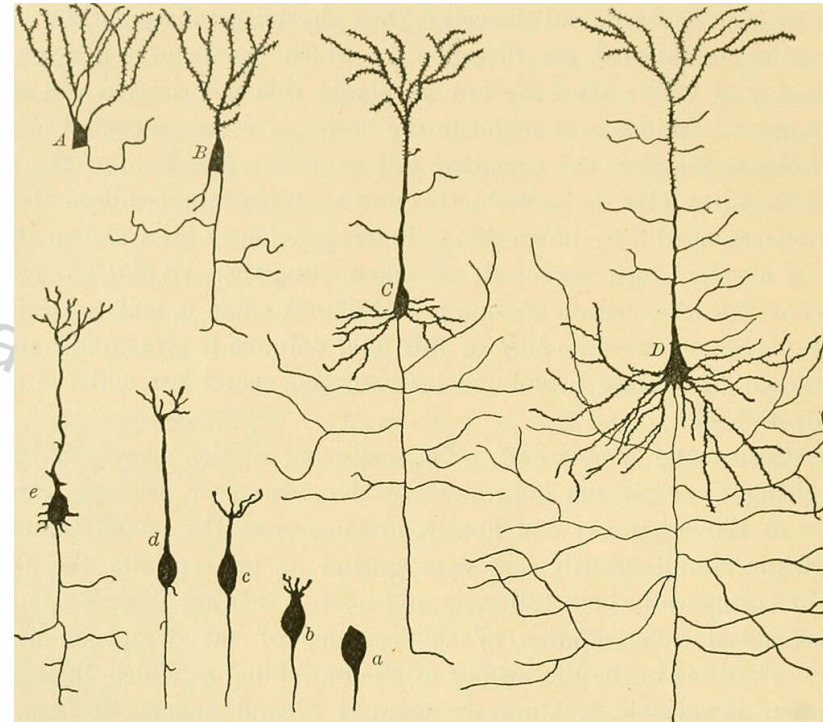


Fig. 13. Tipus de sinapsis segons la longitud de l'axó.

2. TIPUS DE NEURONES

Segons la funció

NEURONES SENSORIALS

Es troben en contacte directe amb les superfícies sensibles del cos i aporten informació dels sentits al SN.

NEURONES MOTORES

Es troben en contacte directe amb els sistemes efectors del cos (músculs) i traslladen en accions i moviments els resultats de les operacions del SN.

INTERNEURONES

Únicament estan en contacte amb altres neurones.

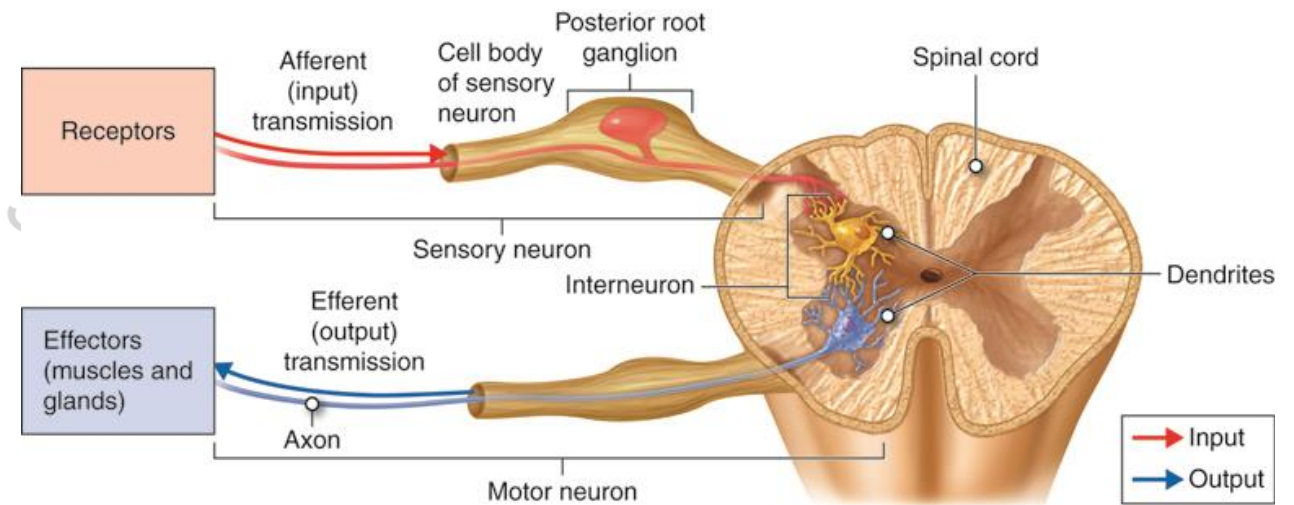


Fig. 14. Sinapsi entre tres neurones: una sinapsi entre una neurona sensorial, la qual porta informació aferent, una interneurona, i una sinapsi entre aquesta interneurona i una neurona motora, la qual transmet informació eferent.

2. TIPUS DE NEURONES

Segons el neurotransmissor principal que utilitzen

Les tècniques immunohistoquímiques han permès transcendir la classificació de les neurones basant-se en criteris morfològics i fer-ho en funció de criteris neuroquímics.

ACETILCOLINA

NORADRENALINA

SEROTONINA

GABA

DOPAMINA

ADRENALINA

GLUTAMAT

ENDOCANNABINOIDES

Per a descriure circuits neuronals específics, moltes vegades s'utilitza més d'un criteri neuroquímic, ja que les neurones que sintetitzen un mateix neurotransmissor són molt nombroses i, amb freqüència, aquesta classificació és poc informativa.

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Les cèl·lules glials són imprescindibles per al correcte funcionament del sistema nerviós. La meitat de les cèl·lules del SN són cèl·lules de suport o glies.

N'existeixen tres tipus en el SNC:

Astròcits

Oligodendròcits

Micròglia

Cèl·lules satèl·lit

SNP:

Cèl·lules de Schwann

Cèl·lules satèl·lit

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Astròcits

Els astròcits són les cèl·lules glials més abundants, reomplen l'espai entre neurones, controlen el líquid extracel·lular, regulen el medi extracel·lular i intervenen en funcions reguladores importants de la comunicació sinàptica i de la supervivència neuronal.

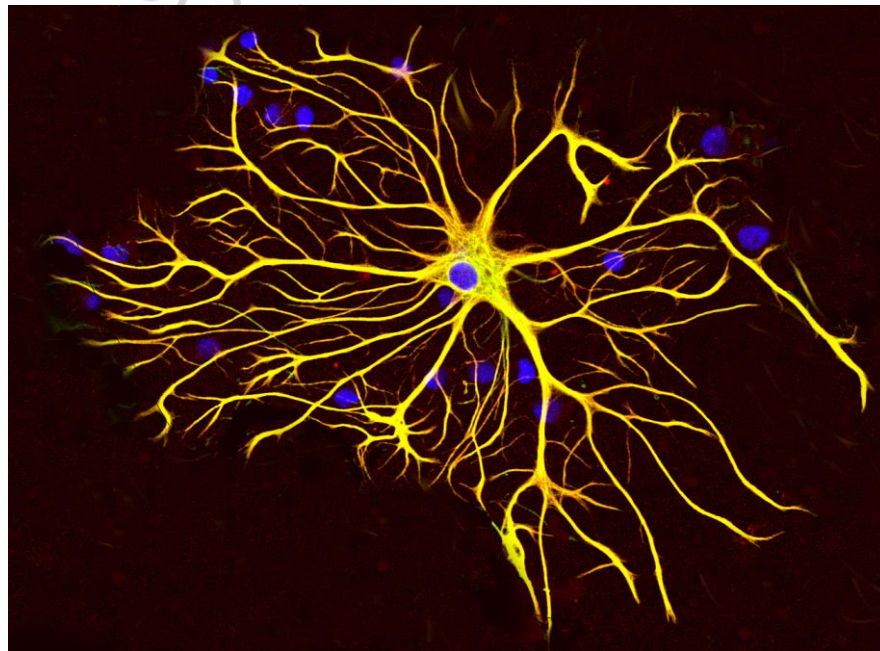


Fig. 15. Astròcit.

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Astròcits

Les principals funcions dels astròcits en el sistema nerviós són fonamentals per al manteniment i suport de les neurones i altres cèl·lules. Aquestes funcions hi inclouen:

1. Suport estructural: ajuden a mantenir l'organització del teixit neuronal. Aïllen també les neurones, i les separem per a facilitar-ne la funció independent.
2. Influència en la transmissió de neurotransmissors: Mitjançant la captació i reciclatge de neurotransmissors, en regulen la quantitat en l'espai sinàptic i modulen així la transmissió sinàptica i eviten una excitació excessiva de les neurones.
3. Reparació i regeneració: Després de lesions, els astròcits poden proliferar i ajudar en la cicatrització del teixit, i formar cicatrius glials per a aïllar zones danyades i prevenir una major extensió de la lesió.
4. Formació de la membrana glial limitant externa.
5. Recobriment vascular: Envolten els capil·lars sanguinis amb prolongacions, i contribueixen a la formació de la barrera hematoencefàlica, la qual regula el pas de substàncies des de la sang cap al cervell.
6. Subministrament de nutrients a les neurones: Transporten glucosa i altres nutrients des dels vasos sanguinis cap a les neurones, essencials per a la seva funció i supervivència.

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Astròcits

Els astròcits formen la membrana glial limitant superficial que separa el teixit nerviós de les meninges cerebrals. Són components fonamentals de la **barrera hematoencefàlica** que regulen el pas de les substàncies que han d'accedir o eixir del SNC.

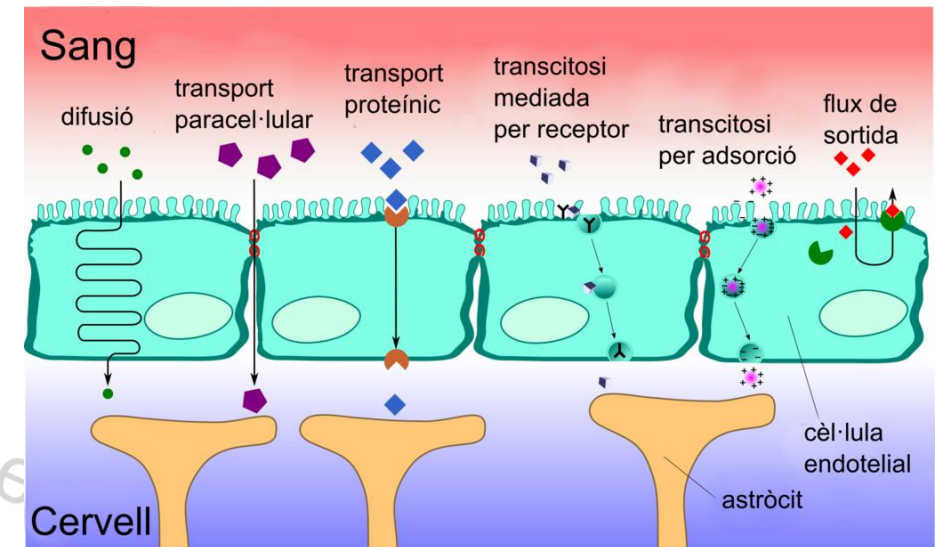


Fig. 16. Barrera hematoencefàlica formada pels peus dels astròcits.

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Micròglia

Són cèl·lules que es desplacen entre les neurones i altres tipus de glies.

Quan es produeix una inflamació o lesió del teixit nerviós s'activen, proliferen ràpidament i migren a la zona del dany, on fagociten restes cel·lulars, fragments de mielina o neurones danyades, i participen en la reparació de la lesió.

Rellevància en la intercomunicació del sistema nerviós i immunitari.

FAGOCITOSI

REACCIONS IMMUNOLÒGIQUES

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Oligodendròglia

L'oligodendròglia són les cèl·lules glials encarregades de la **mielinització dels axons neuronals**.

La mielina és una estructura proteica que envolta alguns segments dels axons, constitueix un gran aïllant que millora la transmissió de l'impuls nerviós.

La beina de mielina es troba interrompuda per zones on l'axó queda descobert. Aquest espai es denomina Nòdul de Ranvier.

Dra. N. San Miguel

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Oligodendròglia

SNC

La mielinització dels axons del SNC la fan els oligodendròcits

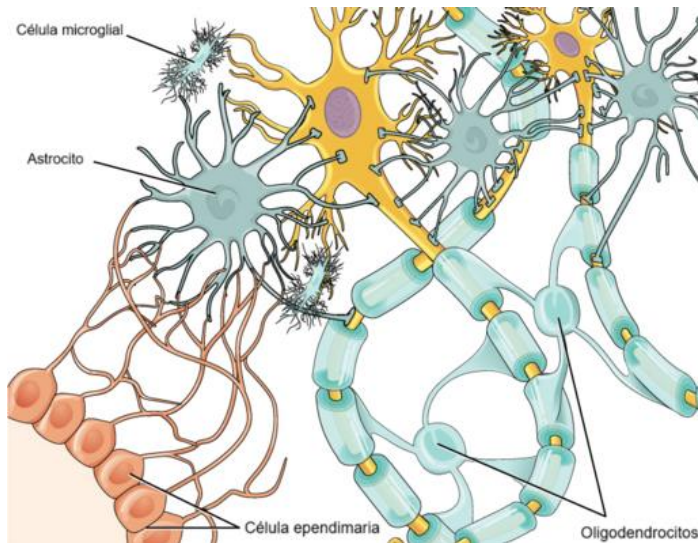


Fig. 17. Oligodendròcits que mielinitzen diverses neurones simultàniament.

SNP

La mielinització dels axons del SNP la fan les Cèl·lules de Schwann

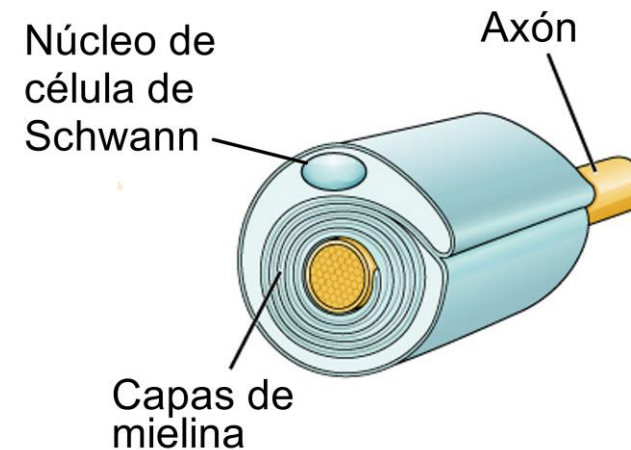


Fig. 18. Cèl·lula de Schwann mielinitzant una única beina de mielina.

Un oligodendròcit mielinitza diverses axons mentre que una cèl·lula de Schwann s'encarrega d'un sol axó.

3. CARACTERÍSTIQUES I TIPUS DE GLIA

Oligodendròglia

Alteracions de l'oligodendròglia produeixen greus alteracions neurològiques.

MALALTIES DESMIELINITZANTS

La desmielinització, que és la pèrdua o deteriorament de la mielina, té greus conseqüències per a la conducció dels impulsos nerviosos. Afecta la capacitat de l'axó per a mantenir-ne el potencial d'acció, i provoca una disminució o fins i tot una pèrdua total de la transmissió de senyals, especialment en axons llargs.

Aquesta condició és característica de diverses malalties neurodegeneratives desmielinitzants, com ara l'esclerosi múltiple, que afecta el SNC i condueix a símptomes com ara debilitat muscular, fatiga i alteracions sensorials a causa de la comunicació deficient entre les neurones afectades.

Altres malalties desmielinitzants inclouen la neuritis òptica, la qual provoca pèrdua de visió a causa de la inflamació i desmielinització del nervi òptic; la síndrome de Guillain-Barré, una malaltia autoimmune que afecta el SNP i causa debilitat muscular i

Cadascuna d'aquestes malalties mostra diferents patrons i símptomes de desmielinització, però totes impliquen una afectació greu en la conducció nerviosa i, per tant, en les funcions motores i sensorials del pacient.

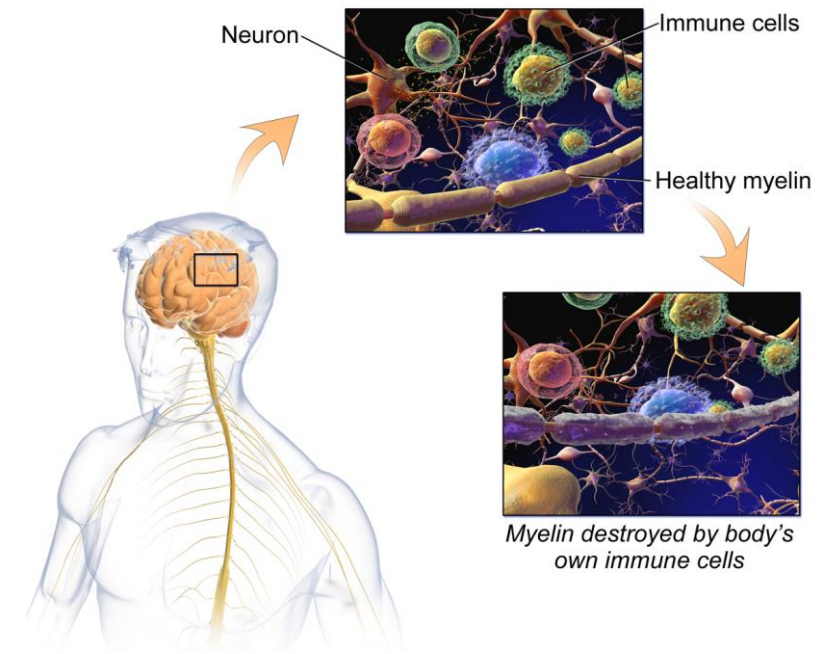


Fig. 19. Destrucció de les beines de mielina com a conseqüència de l'acció de cèl·lules immunitàries.

Índex de figures

Fig. 1. Cèl·lules glials. Astròcits (verd), oligodendròcits (blau) i cèl·lules microglials (roig). Artwork by Holly Fischer, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 2. Cèl·lula de Purkinje. Santiago Ramón y Cajal. Santiago Ramón y Cajal, Public domain, via Wikimedia Commons.

Fig. 3. Cèl·lula. MesserWoland and Szczepan1990, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 4. Membrana plasmàtica. LadyofHats, Public domain, via Wikimedia Commons.

Fig. 5. Regions de la neurona. CNX OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 6. Espines dendrítiques. Patrick Pla, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 7. Exemple de transport axoplàsmic anterògrad i retrògrad. User:Duncan J.E., Goldstein L.S.B. De la traducció: Ortisa, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 8. Representació d'una sinapsi. user:Looie496 created file; Illustrator: Christy Krames, MA, CMI, for US National Institutes of Health, National Institute on Aging, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 9. Tipus de sinapsis segons el nombre i la disposició de les prolongacions. OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Fig. 10. Exemple d'una neurona pseudounipolar. OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Índex de figures

- Fig. 11.** Exemple d'una neurona bipolar. OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 12.** Exemple d'una neurona multipolar. OpenStax, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 13.** Tipus de sinapsis segons la longitud de l'axó. Internet Archive Book Images, No restrictions, via Wikimedia Commons.
- Fig. 14.** Sinapsi entre tres neurones. "Cenveo - Drawing Efferent neurons, afferent neurons and interneurons - English labels" by Cenveo, license: CC BY.
- Fig. 15.** Astròcit. GerryShaw, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 16.** Barrera hematoencefàlica formada pels peus dels astròcits. User:Kuebi= Armin Kübelbeck (traduït a català per ca:User:Amadalvarez), CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 17.** Oligodendròcits que mielinitzen diverses neurones simultàniament. Cristian Maldonado Pérez, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 18.** Cèl·lula de Schwann mielinitzant una única beina de mielina. OpenStax, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 19.** Destrucció de les beines de mielina com a conseqüència de l'acció de cèl·lules immunitàries. BruceBlaus, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>>, via Wikimedia Commons.

Bibliografía

- CARLSON, N.R. (2018). Fisiología de la conducta (12 Ed.). Pearson Educación SA, Madrid.
- DEL ABRIL ALONSO, A. et al. (2016). Fundamentos de Psicobiología. Sanz y Torres, Madrid.

Dra. N. San Miguel

TEMA 6.

BASES DEL PROCESSAMENT DE LA INFORMACIÓ

Dra. Noemí San Miguel Segura

Índex

1. Potencial de membrana en repòs
2. Potencial d'acció
3. Tipus de fibres nervioses

Dra. N. San Miguel

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Introducció

Per a registrar el potencial d'acció d'una neurona hem de col·locar un microelèctrode a l'interior de la neurona i la punta de l'altre a l'exterior de la neurona, en el líquid extracel·lular.

Quan col·loquem un microelèctrode a l'interior de la neurona i un altre a l'exterior, la diferència de potencial és de -70 mV , és a dir, el potencial de l'interior de la membrana en una neurona en repòs és de 70 mV menor que el de l'exterior.

Aquesta diferència de -70 mV rep el nom de **POTENCIAL DE REPÒS**.

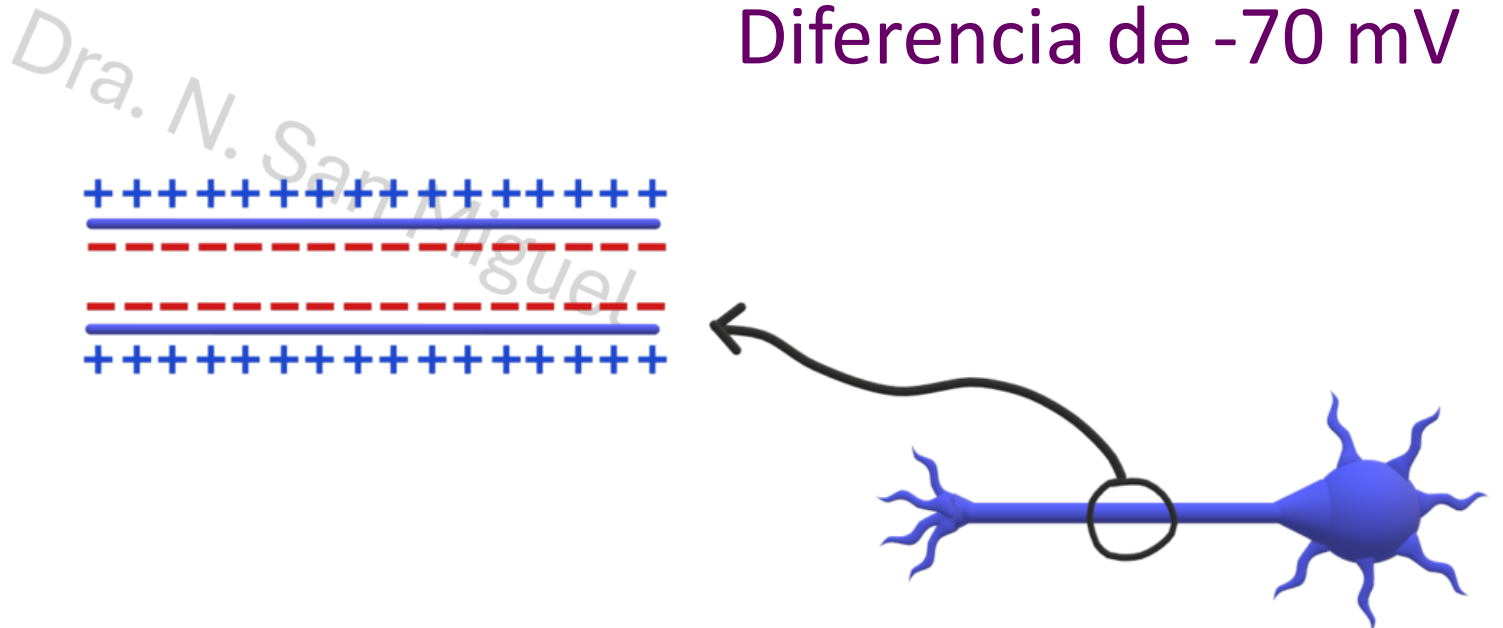


Fig. 1. Potencial de repòs.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Introducció

Un **POTENCIAL** és una font d'energia elèctrica emmagatzemada.

La mesura dels potencials elèctrics dels axons és la mesura de la **DIFERÈNCIA DE CÀRREGA ELÈCTRICA** entre l'interior i l'exterior. L'interior de l'axó està carregat negativament respecte a l'exterior.

Quan la cèl·lula no genera impulsos nerviosos, diem que està en repòs, basat en un equilibri dinàmic dels ions que queden en l'un o l'altre costat de la membrana.

El potencial de repòs depèn de la concentració desigual d'anions i cations a ambdós llocs de la membrana cel·lular, així com de l'activitat dels elements proteics (canals i bombes) que la regulen.

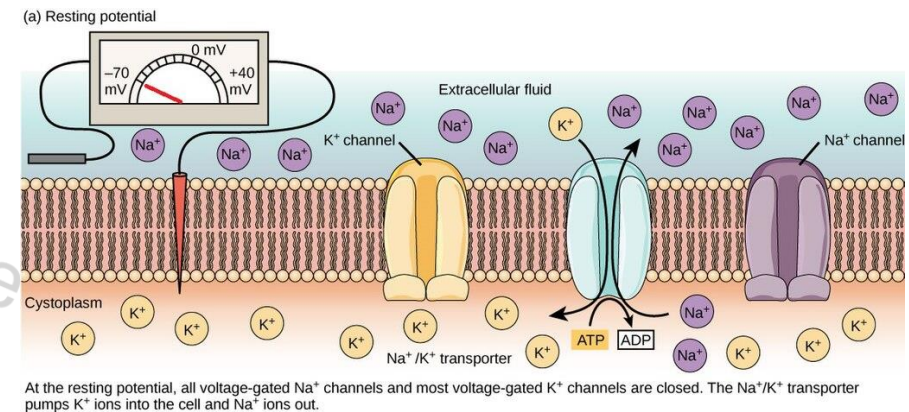


Fig. 2. Diferència de càrrega elèctrica entre el medi intracel·lular i extracel·lular.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Introducció

Els factors responsables de les diferències de concentració observades són:

- **Anions orgànics:** es troben únicament al fluït intracel·lular.
- **Na⁺:** predominantment al fluid extracel·lular.
- **K⁺ i Cl⁻:** predominantment al fluid intracel·lular.

Els ions Cl⁻ i K⁺ passen fàcilment per la membrana, però els ions Na⁺ la travessen amb dificultat.

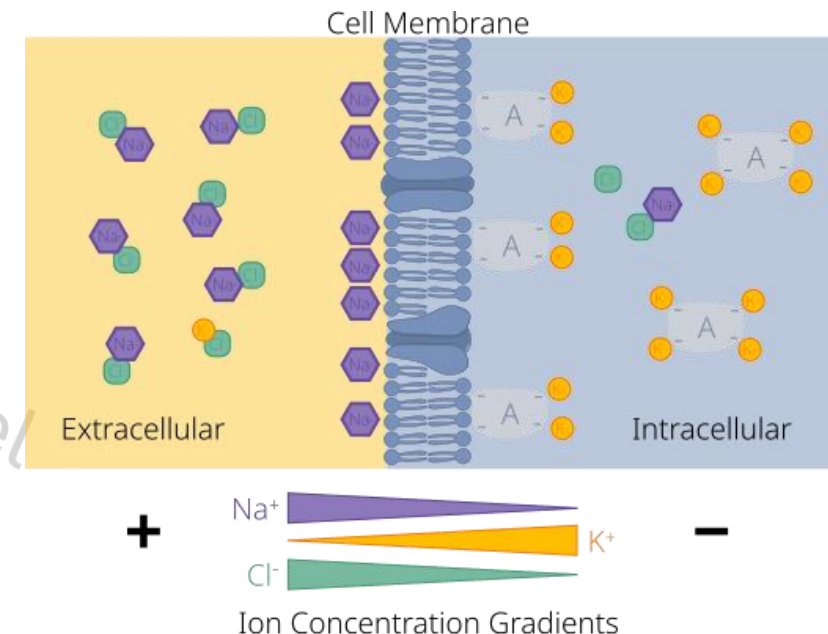


Fig. 3. Diferència de concentració dels ions entre el medi intracel·lular i extracel·lular.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Com es regula el flux d'ions a través de la membrana?

Alguns ions poden travessar la membrana per la seua grandària, però la major part únicament pot fer-ho a través de **CANALS IÒNICS**

Els canals iònics són proteïnes transmembrana selectivament permeables a un determinat ió (per exemple, sodi (Na^+), Potassi (K^+) o Clor (Cl^-))

Una característica important de molts canals és que tenen una comporta que pot obrir-se o tancar-se en funció de canvis en la membrana. **Aquesta obertura és dependent de voltatge o de la unió de lligands apropiats**

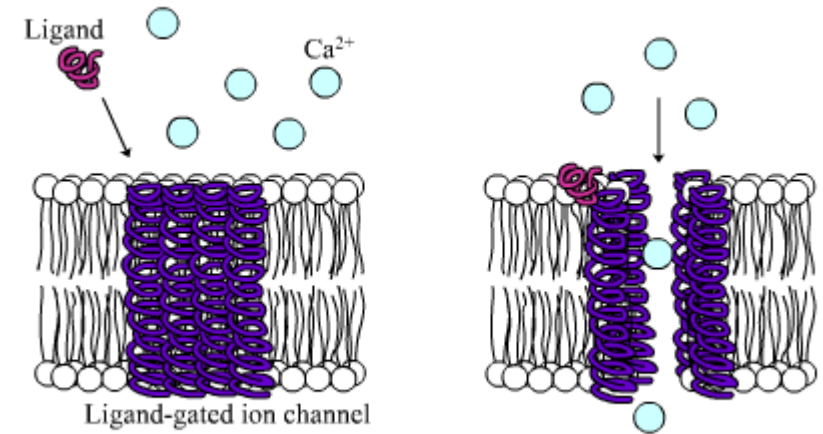


Fig. 4. Canals iònics dependents de lligand.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Els moviments d'ions a través dels canals estan fonamentalment regulats per mecanismes de **transport passiu** i, per tant, depenen de la força electroquímica generada per:

- El gradient de concentració
- El gradient elèctric

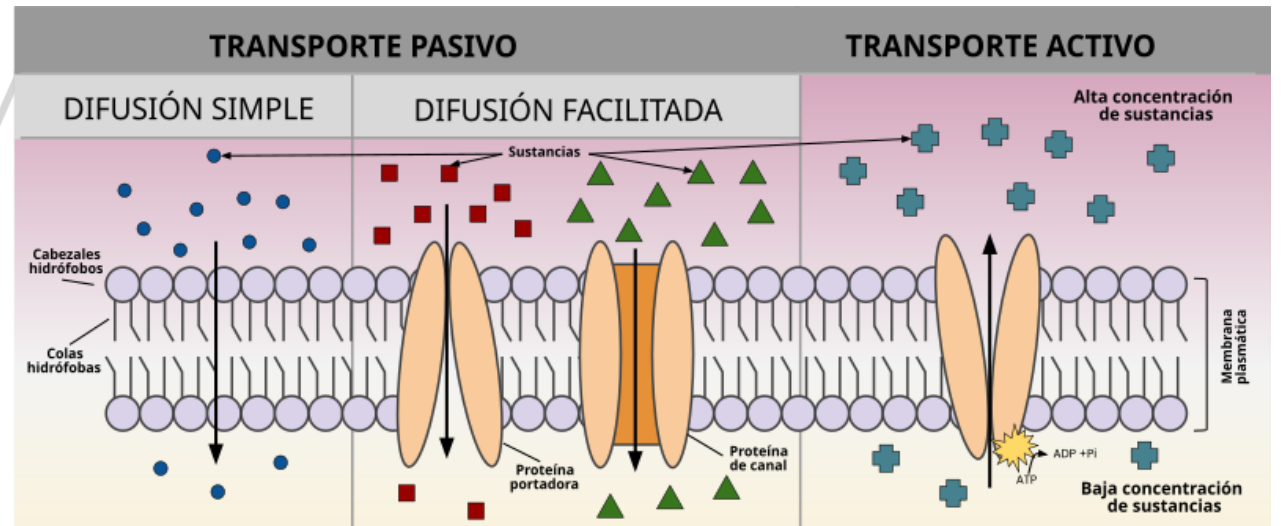


Fig. 5. Mecanismes de transport passiu i actiu.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Gradient de concentració

Gradient de concentració: fa referència a la diferència d'ions entre dos espais: intra i extracel·lular.

Els ions es mouen per difusió, de manera que hi ha un moviment net d'ions des de regions amb una concentració alta fins a regions amb baixa concentració

Una gran part del procés d'intercanvi d'ions es fa per difusió passiva, és a dir, sense despesa energètica.

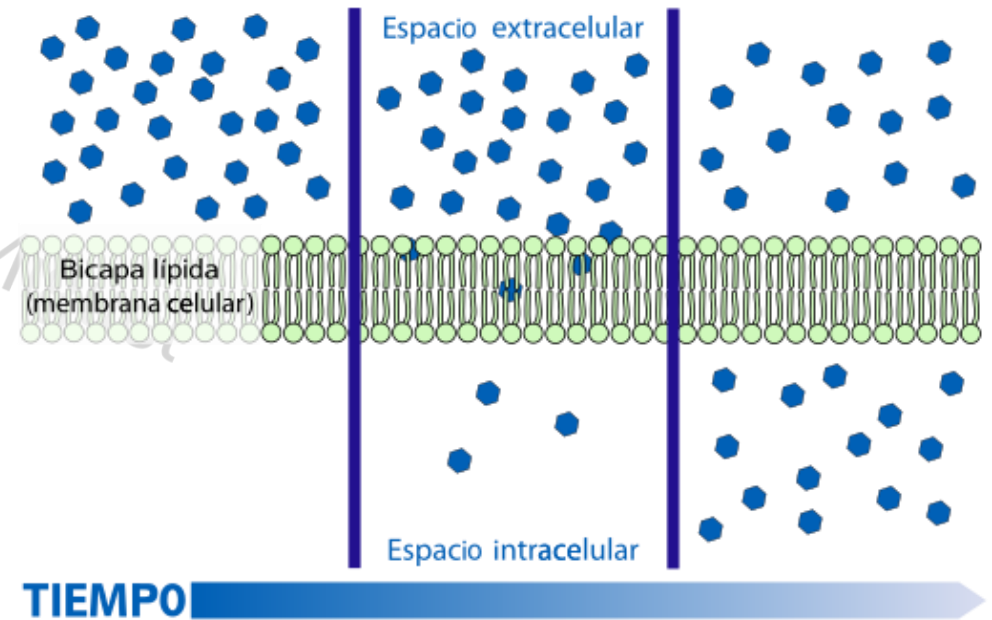


Fig. 6. Gradient de concentració.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Gradient elèctric

Els ions també es mouen gràcies al gradient elèctric.

Els ions amb la mateixa càrrega tendeixen a repel·lir-se (els de càrrega diferent s'atrauen), cosa per la qual es dona un trànsit de càrregues o corrent elèctric.

La diferència de potencial crea una força electromotriu anomenada **gradient elèctric** que s'oposa o complementa el moviment d'ions pel gradient de concentració.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

La membrana neuronal presenta un mecanisme de transport amb despesa energètica (**transport actiu**), la bomba de sodi-potassi, que és responsable que hi haja més Na^+ fora de la neurona.

Constantment intercanvia tres ions de Na^+ de l'interior per dos ions de K^+ de l'exterior.

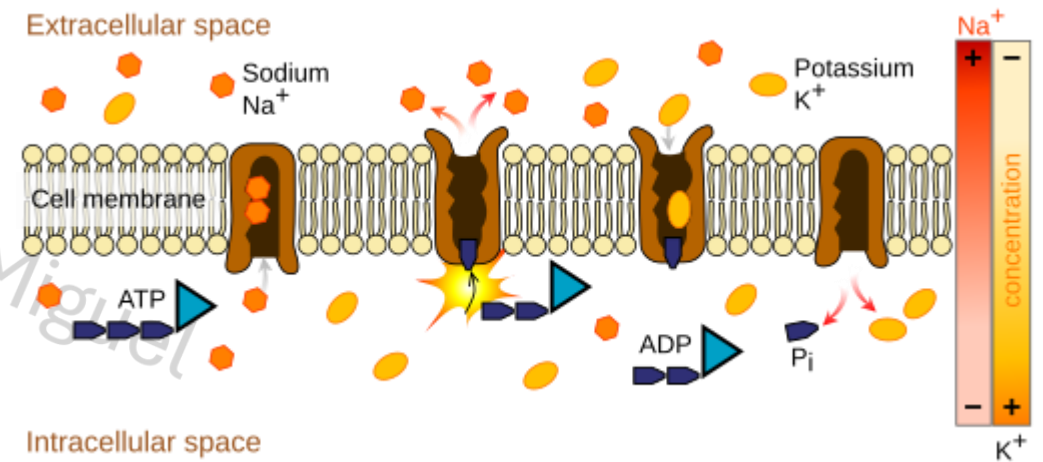


Fig. 7. Bomba de sodi-potassi.

1. POTENCIAL DE MEMBRANA EN REPÒS

Aquests factors són els responsables de les diferències de concentració observades:

- **Anions orgànics:** no poden eixir de la neurona perquè són massa grans.
- **Na⁺:** tendeixen a entrar en les neurones per la seua elevada concentració extracel·lular i, a més, pel potencial negatiu a l'interior de la neurona. La membrana és quasi impermeable a aquests ions i la bomba sodi-potassi els porta contínuament a l'exterior.
- **K⁺:** tendeixen a eixir de les neurones perquè es troben a l'interior amb concentració alta, però també són atrets a l'interior pel potencial negatiu. Com que la membrana ofereix poca resistència al seu pas, aquests ions ixen molt a l'exterior, però la bomba sodi-potassi contínuament els porta dins de la neurona.
- **Cl⁻:** es troba en equilibri entre el gradient de concentració que tendeix a ficar-los a l'interior i la pressió electrostàtica que tendeix a traure'ls fora.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Introducció

El potencial d'acció és el missatge transportat per l'axó des del soma fins als botons terminals.

Durant el potencial d'acció es produeix una inversió del potencial de membrana causat per una caiguda breu de la resistència de la membrana als ions de sodi.

Els ions passen per proteïnes canal que es troben en la membrana de l'axó, canals iònics controlats per voltatge.

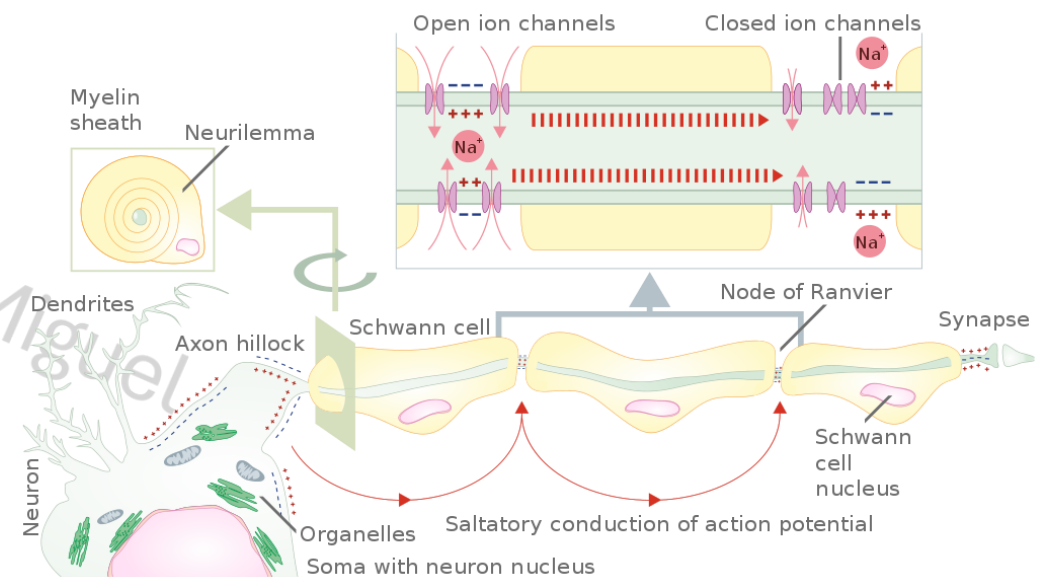


Fig. 8. Propagació del potencial d'acció.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Introducció

La membrana en estat de repòs és relativament impermeable als ions Na^+ i, a més, els pocs que hi entren són bombejats cap a l'exterior per la bomba sodi-potassi.

Però quan el potencial de membrana de l'axó es redueix fins al llindar d'excitació, la membrana es torna bruscament permeable al Na^+ , el qual inunda l'interior de la neurona, i du el potencial de membrana a +40mV.

Durant aquest canvi es produeix una obertura dels canals de K^+ , també controlats per voltatge, i el K^+ és expulsat cap a l'exterior.

La quantitat total d'ions que es mouen durant el potencial d'acció és molt xicoteta, ja que solament es veuen afectats els ions pròxims a la membrana.

El pas d'ions a través de la membrana i la bomba sodi-potassi restaura ràpidament les concentracions d'ions als valors de normalitat.

Fig. 8. Potencial d'acció.

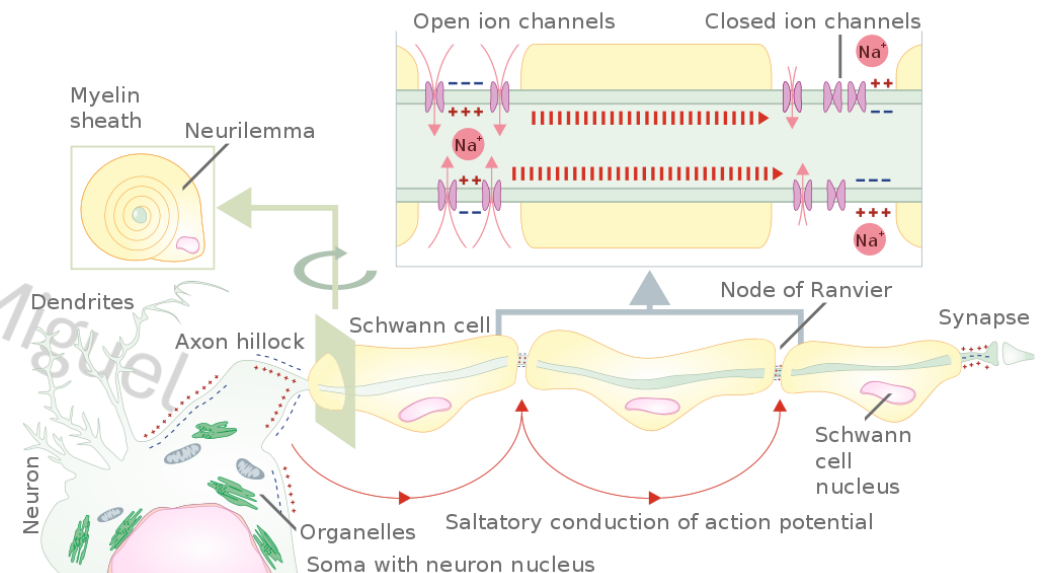


Fig. 8. Propagació del potencial d'acció.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Per què s'arriba al llindar d'excitació en un moment determinat?

Una neurona rep **POTENCIALS POSTSINÀPTICS** de nombroses dendrites, i cadascun d'ells produeix un efecte molt menut.

El fet que una neurona genere o no un potencial d'acció està determinat per la suma de tots els potencials postsinàptics que rep.

Tots els potencials postsinàptics són:

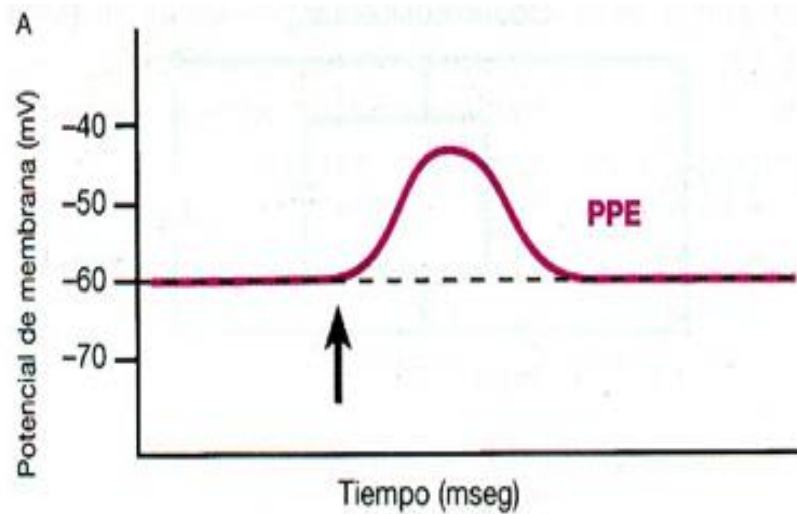
- Locals: únicament afecta una xicoteta porció de la membrana.
- Xicotets.
- Graduals.
- Sotmesos a processos d'atenuació temporal i espacial en la propagació bidireccional.

La neurona pot rebre potencials postsinàptics excitatoris (PEPs) que despolaritzen la membrana o potencials postsinàptics inhibitoris (PIPs) que hiperpolaritzen la membrana.

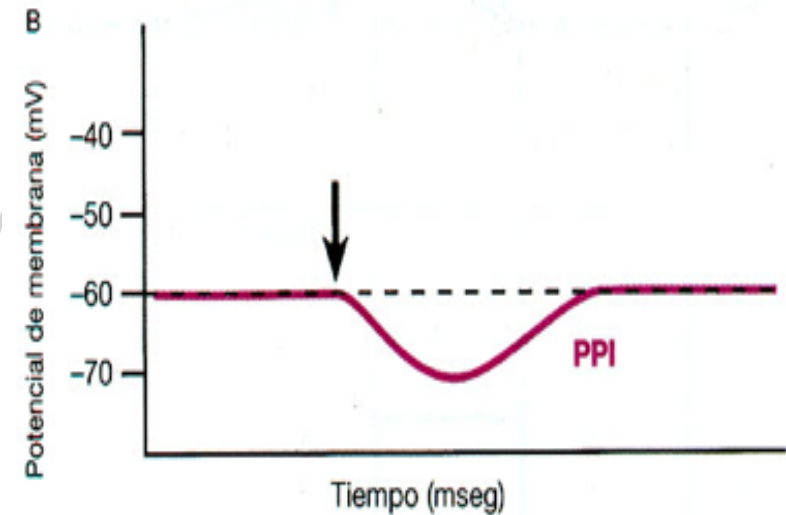
2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Per què s'arriba al llindar d'excitació en un moment determinat?

Els **POTENCIALS POSTSINÀPTICS EXCITATORIS** SÓN **DESPOLARITZACIONS LOCALS**, és a dir, increments en el caràcter positiu de membrana d'una regió específica que es deuen a l'activitat d'una sinapsi excitatòria.



Els **POTENCIALS POSTSINÀPTICS INHIBIDORIS** SÓN **HIPERPOLARITZACIONS LOCALS**, és a dir, increments en el caràcter negatiu de membrana d'una regió específica que es deuen a l'activitat d'una sinapsi inhibitòria.



2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Per què s'arriba al llindar d'excitació en un moment determinat?

Si en un moment determinat predomina la despolarització, quan aquesta arriba a un determinat nivell, el **llindar d'excitació** (al voltant de -55 mV) desencadena el potencial d'acció perquè s'obrin els canals de Na^+ dependents de voltatge.

Els PEPs i els PIPs són respostes graduals, és a dir, van disminuint la seua amplitud a mesura que ens allunyem de la sinapsi.

El potencial d'acció es genera al voltant de la zona adjacent a l'axó, per tant, com més pròxima estiga la sinapsi d'aquesta àrea, més important serà l'aportació a la resposta que genera la neurona.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Per què s'arriba al llindar d'excitació en un moment determinat?

LLINDAR D'EXCITACIÓ

Voltatge a partir del qual es desencadena un potencial d'acció

DURACIÓ: 2 mil·lisegons

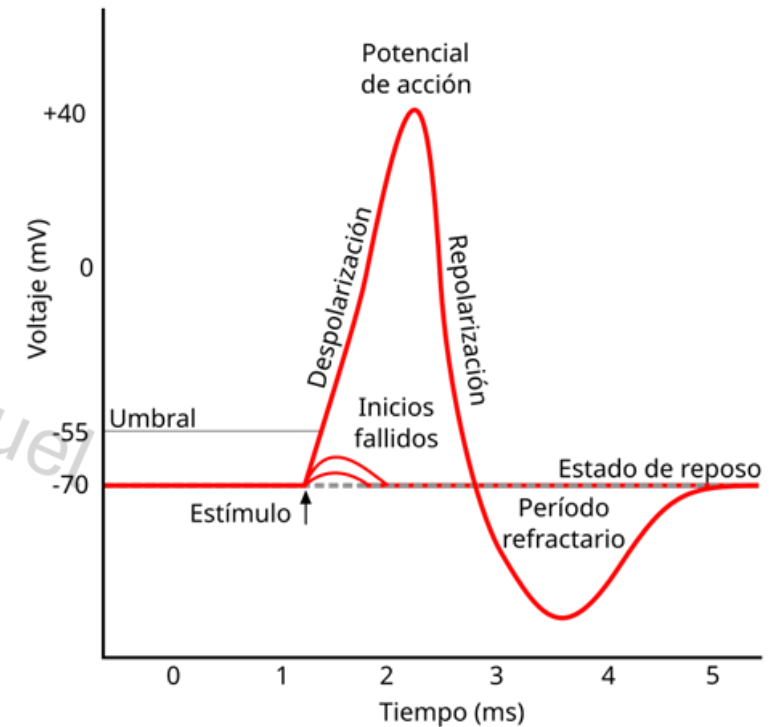


Fig. 9. Potencial d'acció.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

1. Obertura de canals iònics de sodi controlats per voltatge: entrada de sodi: canvi en el potencial de -70 a +40 mV.
2. Obertura de canals iònics de potassi controlats per voltatge: eixida de potassi.
3. Tancament dels canals de sodi (refractaris) quan el PA arriba el màxim
4. Acumulació d'ions de potassi fora de la membrana: potencial de membrana torna a la normalitat.
5. Tancament dels canals de K^+ i reactivació dels canals de Na^+ (preparats per una altra despolarització)
6. El potencial de membrana sobrepassa el seu potencial de repòs (excés de K^+ a l'exterior) i torna a la normalitat gradualment (difusió i bomba Na^+/K^+)

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

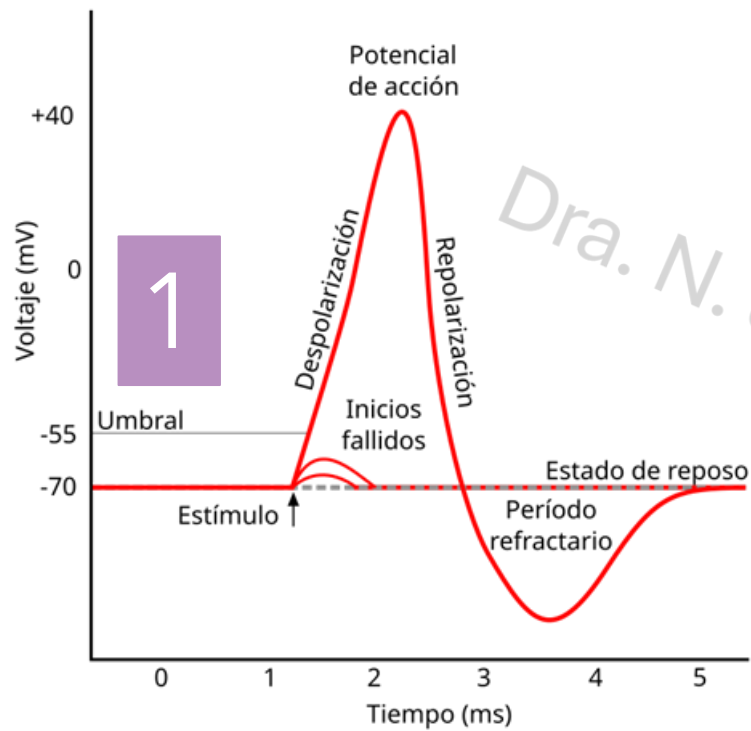


Fig. 9. Potencial d'acció.

1

La **sumació de potencials postsinàptics** permet que en el con axònic se **supere el llindar d'excitació**.

Això permet l'obertura de canals de sodi dependents de voltatge i, gràcies al gradient electroquímic i el gradient de concentració, el sodi s'introdueix dins de la neurona.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

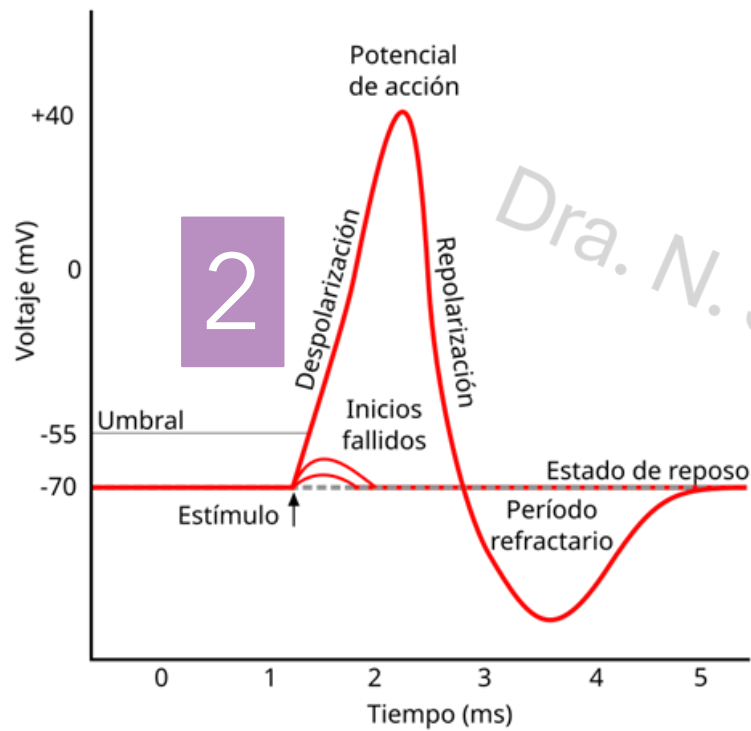


Fig. 9. Potencial d'acció.

2

El canvi de potencial de membrana promou l'obertura dels canals de potassi.

Aquests canals comencen a abandonar la neurona, empentats tant pel gradient de concentració com pel gradient electroquímic, que canvia cap a un voltatge positiu.

Malgrat això, el corrent de sodi que entra és més potent, i continua augmentant-ne el voltatge, de manera que es despolaritza la membrana.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

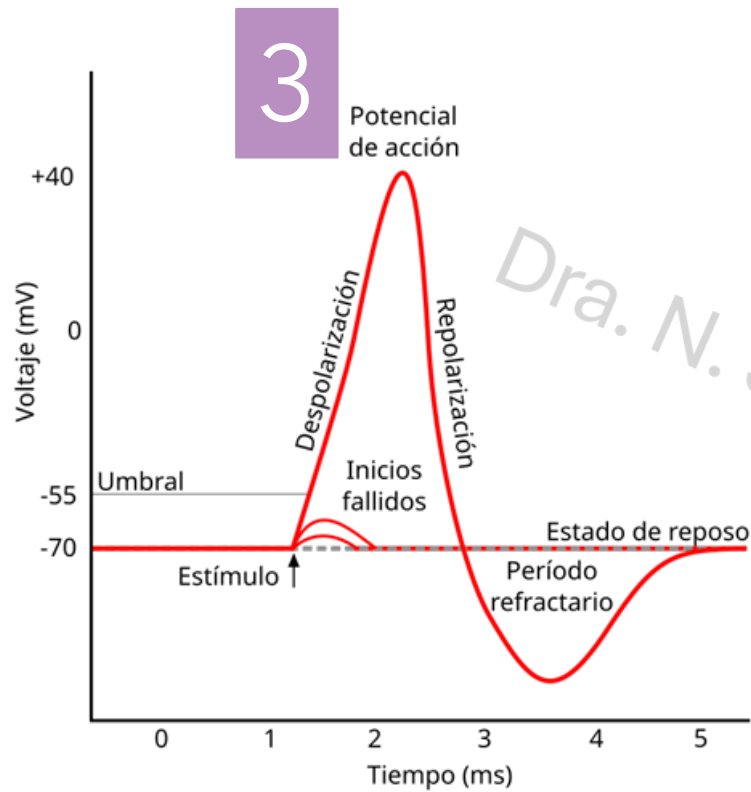


Fig. 9. Potencial d'acció.

3

Quan el potencial de membrana aconsegueix un valor de +40 mV, **els canals de sodi es tornen REFRACTARIS**, és a dir, es queden en un estat que no és ni obert ni tancat i que **impedeix que entre més sodi**. Això fa que el voltatge no pugui continuar augmentant i que la membrana aconsegueixi, en aquest punt, la seua despolarització màxima.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

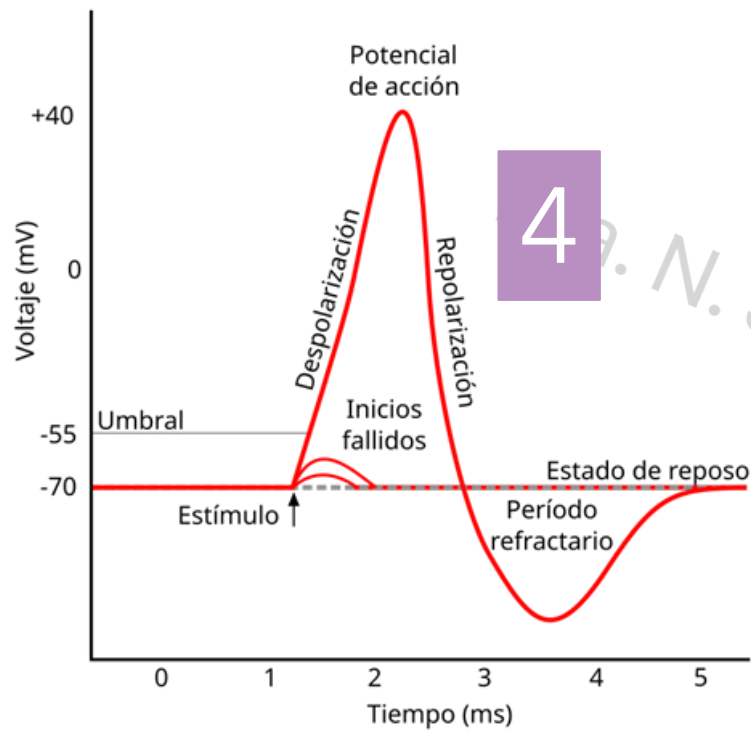


Fig. 9. Potencial d'acció.

4

El sodi ja no entra, però el potassi continua eixint, empentat tant pel gradient de concentració com pel gradient electroquímic. Aquest fet fa que únicament n'isquen els cations, per la qual cosa el potencial es torna més negatiu.

A més, la bomba de sodi-potassi continua expulsant sodi de l'interior cel·lular. **Amb tot això, la membrana es REPOLARITZA de manera progressiva.**

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció

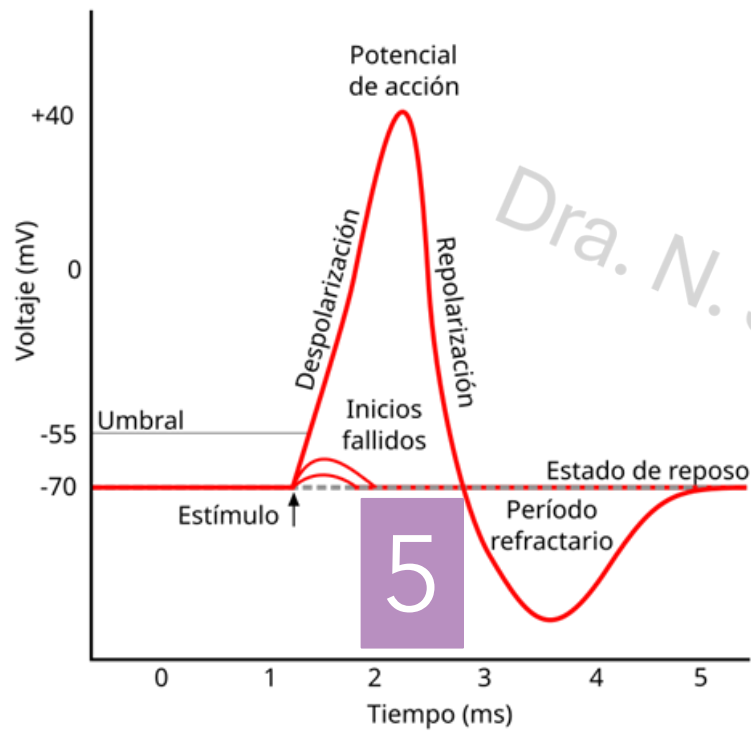


Fig. 9. Potencial d'acció.

5

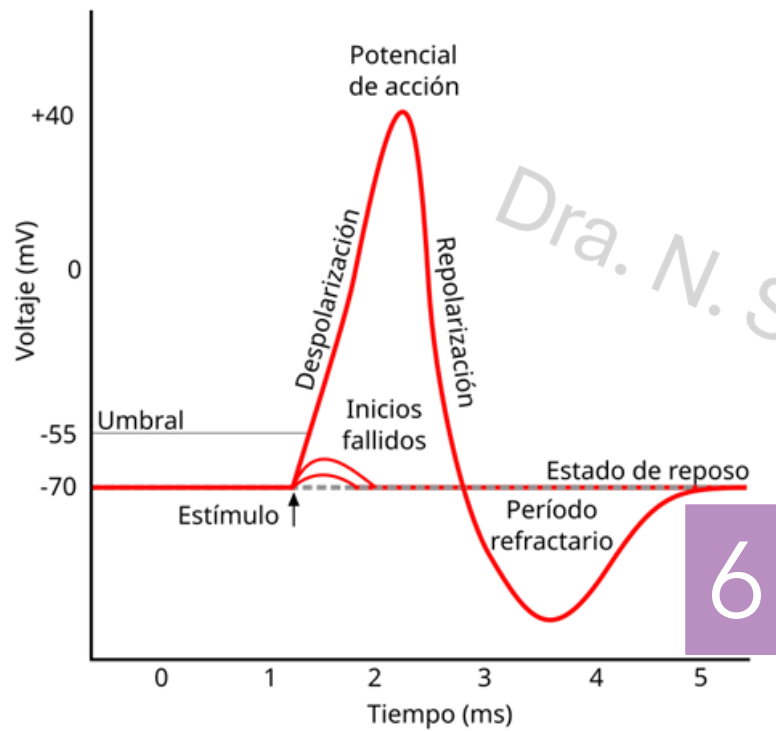
Els canals de potassi es van tancant a poc a poc.

El potencial de membrana ha descendit notablement, fins i tot per sota del potencial de repòs (**HIPERPOLARITZACIÓ**).

En aquest moment apareix **el període refractari**.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Moviment d'ions durant el potencial d'acció



6

Els canals de potassi es tanquen completament.

Gran part del potassi extracel·lular es difon a zones allunyades del con axònic.

Actua la bomba de Na⁺/K⁺

D'aquesta manera, **es recupera el potencial de repòs** i la neurona queda preparada per a un nou cicle d'activitat

6

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Aclariments

Per què es dona el període refractari en la fase cinquena del potencial d'acció?

1. Per la inactivació dels canals de Na^+ . Quan el potencial de membrana adopta el valor positiu de $+40\text{mV}$, els canals de Na^+ dependents de voltatge s'inactiven i cal que passe un cert temps perquè aquests canals abandonen l'estat d'inactivació i passen a l'estat de tancats. D'aquesta manera, queden disponibles per a la generació d'un potencial d'acció nou. En aquest període, la membrana neuronal no pot respondre a cap estimulació, per la qual cosa, es diu que està en **període refractari absolut**.
2. La hiperpolarització després del tir del potencial d'acció. L'augment de la conductància dels ions de K^+ en la fase descendent fa que el llindar d'excitació incrementi. Els canals de Na^+ estan tancats, però si arribara un estímul intens, podria donar-se el potencial d'acció. **Període refractari relatiu**.

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Aclariments: propagació del potencial d'acció

La conducció del potencial d'acció compleix la LLEI DEL TOT O RES

Si es produeix el potencial d'acció, sempre conserva el mateix valor sense augmentar o disminuir fins que arriba als botons terminals. La conducció del potencial d'acció no és decreixent, és a dir, no s'afebleix a mesura que es transmet al llarg de l'axó.

**Un potencial d'acció es produeix o no,
no hi ha valors intermedis**

2. POTENCIAL D'ACCIÓ

Aclariments: propagació del potencial d'acció

La conducció del potencial d'acció compleix la LLEI DE LA TAXA O LA FREQÜÈNCIA

Després del potencial d'acció, es produeix un període refractari durant el qual la neurona no pot disparar un altre potencial d'acció (període refractari absolut de 1 a 2 mil·lisegons) o requereix d'una gran estimulació per a fer-lo (període refractari relatiu).

Si una neurona està molt estimulada es dispara quan s'acaba el període refractari absolut, la qual cosa pot fer que es dispare amb freqüències de 1000 vegades per segon.

Si la neurona està poc estimulada, la neurona no es dispara fins que no haja acabat el període refractari relatiu, per tant, la freqüència de tir serà menor.

3. TIPUS DE FIBRES NERVILOSES

FIBRA = AXÓ

NERVI = CONJUNT D'AXONS

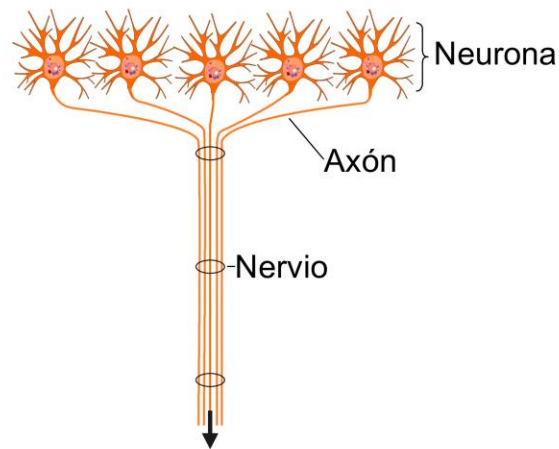
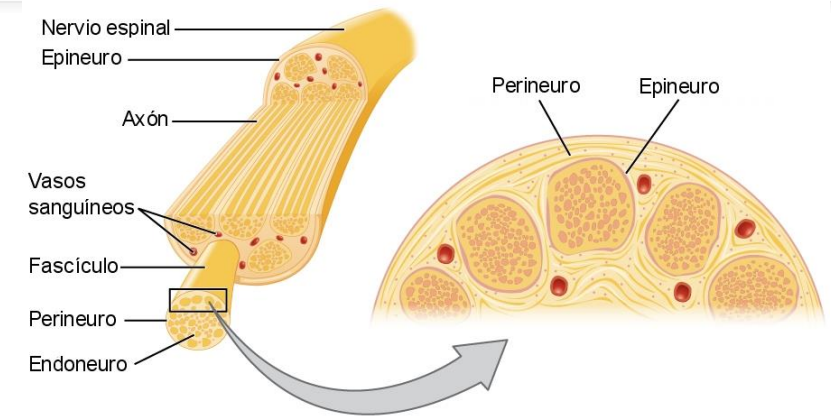
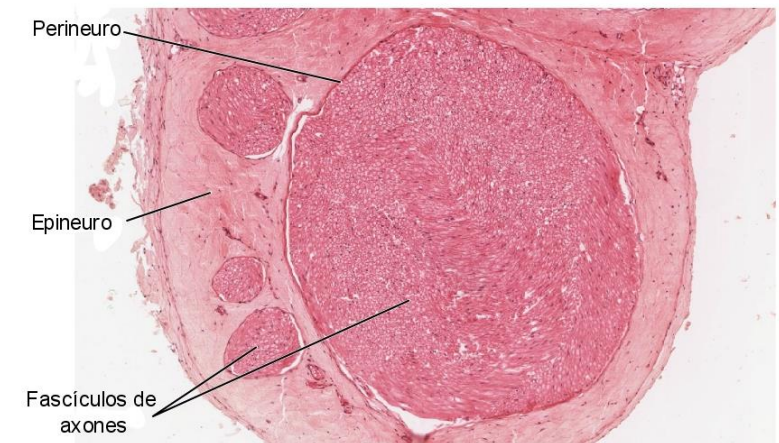


Fig. 10 i Fig. 11. Estructura dels nervis.

Introducció



(a)



(b)

3. TIPUS DE FIBRES NERVIOSES

Fibres mielíniques

Recobertes per una beina de mielina formada per segments separats entre si per porcions d'axó al descobert: els **NÒDULS DE RANVIER**

La mielina està formada per lípids (80-70 %) i proteïnes (20-30 %).

El procés de mielinització comença al quart mes de vida intrauterina i s'estén fins al segon any de vida.

En aquest tipus d'axons, els ions de Na^+ únicament poden passar a través de la membrana axònica en els nòduls de Ranvier.

Els nòduls de Ranvier són l'únic lloc en què l'axó entra en contacte amb el líquid extracel·lular. Per aquesta raó, aquest tipus de conducció s'anomena **CONDUCCIÓ SALTATÒRIA**

3. TIPUS DE FIBRES NERVIOSES

Fibres mielíniques

Avantatges de la conducció saltatòria:

1. ECONOMIA: la despesa metabòlica és menor.
2. VELOCITAT: la velocitat de conducció és major en els axons de diàmetre superior i en els mielinizats.

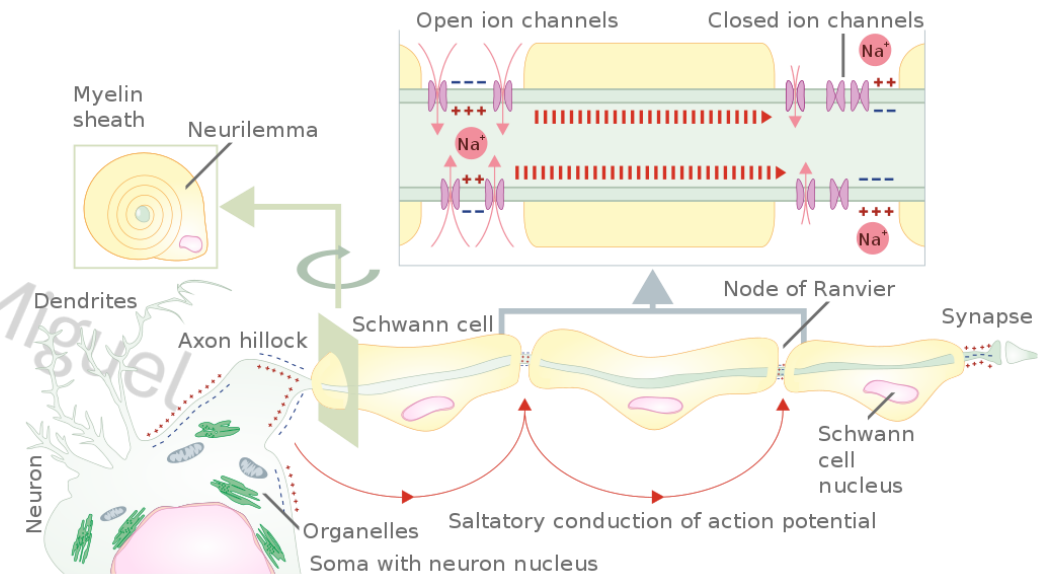


Fig. 8. Propagació del potencial d'acció.

3. TIPUS DE FIBRES NERVILOSES

Fibres amielíniques

Són aquells axons que no estan recoberts per mielina.

Protegides per oligodendròcits o cèl·lules de Schwan. En ells, les cèl·lules de Schwann els envolten parcialment i permeten l'entrada al líquid extracel·lular, és a dir, protegeixen els axons sense aïllar-los.

**A LES FIBRES AMIELÍNIQUES, l'intercanvi iònic es produeix al llarg de tot l'axó:
CONDUCCIÓ CONTÍNUA**

Índex de figures

- Fig. 1.** Potencial de repòs. Christinelmiller, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 2.** Diferència de càrrega elèctrica entre el medi intracel·lular i extracel·lular. Robert Bear and David Rintoul, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 3.** Diferència de concentració dels ions entre el medi intracel·lular i extracel·lular. smonsays, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 4.** Canals iònics dependents de lligand. Bensaccount at en.wikipedia, Public domain, via Wikimedia Commons.
- Fig. 5.** Mecanismes de transport passiu i actiu. LSumide la traducció Pitana, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 6.** Gradient de concentració. KES47, Public domain, via Wikimedia Commons.
- Fig. 7.** Bomba de sodi-potassi. LadyofHats, Public domain, via Wikimedia Commons.
- Fig. 8.** Propagació del potencial d'acció. Helixitta, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 9.** MesserWoland and Szczepan1990, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 10.** Estructura dels nervis. Posible2006, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.
- Fig. 11.** Estructura dels nervis. OpenStax College, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons.

Bibliografía

- CARLSON, N.R. (2018). Fisiología de la conducta (12 Ed.). Pearson Educación SA, Madrid.
- DEL ABRIL ALONSO, A. et al. (2016). Fundamentos de Psicobiología. Sanz y Torres, Madrid.

Dra. N. San Miguel