

TEORIAS NEUVONALES

AUTOR: JUAN PABLO PÁEZ



San Marcos

Introducción	3
Teorías neuronales	4
Canales iónicos	8
Potencial de membrana	10
Potenciales postsinápticos	13
Potenciales de acción	15
Bases iónicas de los potenciales de acción	17
Conducción de los potenciales de acción	19
Bibliografía	22

Se aborda y conceptualiza el funcionamiento normal de la comunicación neuronal, de tal manera que sea posible comprender la actividad cerebral como una red que determina su labor a partir de la interacción entre los millones de células nerviosas que hacen parte de este sistema. De igual manera, se discutirán algunos de los métodos que llevaron al conocimiento funcional de dicho sistema tal como lo conocemos hoy en día. Sin embargo, la temática central del presente eje se centra en la explicación de los procesos como la transmisión sináptica, el funcionamiento de los canales iónicos, el potencial de membrana de la neurona en reposo, la bomba de $\text{Na}^+ - \text{K}^+$, la generación de potenciales postsinápticos y los potenciales de acción. El sentido del presente eje, es poder poner en práctica todos aquellos conocimientos que se han adquirido adicionando los que aprenderán ahora. Lo ideal es que, como estudiante, pueda realizar comparaciones de los conceptos adquiridos con la observación del comportamiento como lo es el deterioro de la conducta.

Teorías neuronales





Figura 1.
Fuente: shutterstock/159823838



Teoría reticular

El sistema nervioso está formado de tal manera que su estructura de malla permite la transmisión y comunicación.

Neurona

Unidades funcionales básicas del sistema nervioso, generan señales eléctricas llamadas potenciales de acción que les permiten transmitir información rápidamente a largas distancias.

El estudio del funcionamiento cerebral a un nivel microscópico involucró múltiples teorías que intentaron dar explicación a una pregunta que es en igual manera básica y difícil de responder para el momento en el cual se formularon dichas posibles explicaciones, así pues, para determinar cuál es la estructura del sistema nervioso y que relación guarda dicha estructura con su relación, surgieron dos hipótesis en principio contrapuestas para dar solución a esta interrogante. Como suele ocurrir en la ciencia, sin ser diferente el caso en la psicología, no sería posible determinar cuál de estas teorías sería la adecuada hasta que el desarrollo de la tecnología permitiese realizar una comprobación metódica y rigurosa de los verdaderos procesos de funcionamiento cerebral y qué relación guardaba dicha funcionalidad con la estructura del encéfalo.

En primer lugar, la **teoría reticular**, propuesta por Camilo Golgi, según la cual el sistema nervioso está formado por una intrincada estructura en forma de malla, esto a la vez implicaría un sistema con múltiples conexiones dentro de la cual las neuronas constituyen los nudos, y las fibras nerviosas que de ellas derivan se organizan de tal forma que van construyendo una malla en la cual los terminales neuronales y dendríticos se unen entre sí, sin dejar espacio a discontinuidad en este complejo sistema.

Por otra parte, surgió la teoría neuronal, propuesta por Santiago Ramón y Cajal, según la cual cada unidad funcional del sistema es una célula o "**neurona**" sin continuidad anatómica directa con otras neuronas, con las cuales, sin embargo, podía

estar funcionalmente relacionada. Cada una de estas teorías estaba asociada a un mecanismo específico mediante el cual se podía lograr la comunicación entre cada una de las neuronas y varias otras. Así pues, la primera teoría necesitaba de un mecanismo de transmisión eléctrica, mientras que la segunda postulaba un mecanismo de transmisión química (Tresguerres, 2010).

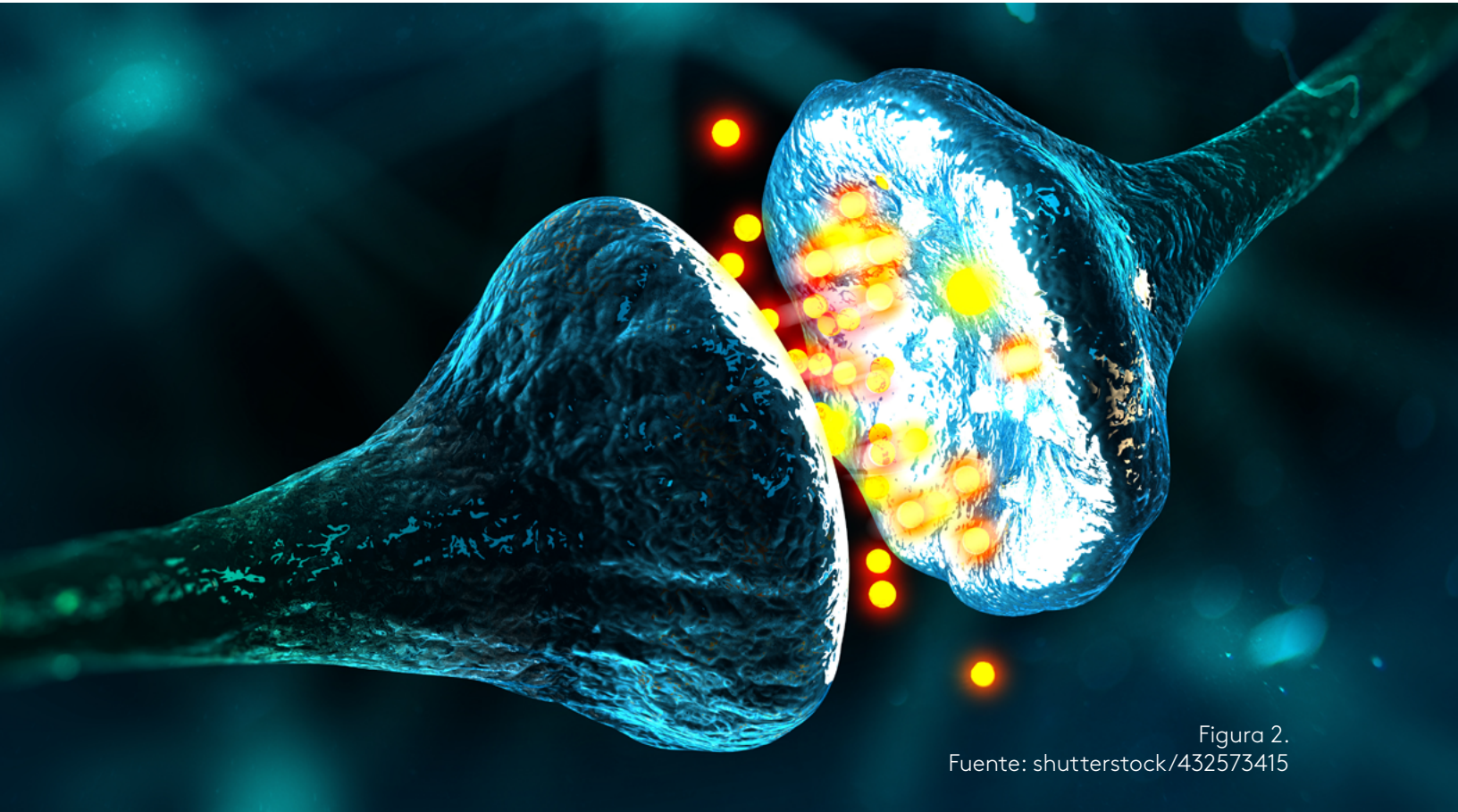


Figura 2.
Fuente: shutterstock/432573415

Ahora bien, el desarrollo de técnicas histológicas y la microscopía óptica permitieron determinar a partir de técnicas de tinción selectiva, principalmente los realizados por Ramón y Cajal. En dichos trabajos, Cajal demostraría de manera evidente la existencia de botones sinápticos, por medio de estos botones se realizaría la transmisión de una neurona a otra dando lugar a un contacto funcional. Sin embargo, una vez estuvo determinado claramente dicho mecanismo de transmisión química, se logró establecer también la existencia de la transmisión eléctrica en dichas células, esto debido al desarrollo de la microscopía electrónica que permitió obtener información mucho más precisa sobre las estructuras tanto presinápticas como postsinápticas (Tresguerres, 2010).



Lectura recomendada

Santiago Ramón y Cajal, neurocientífico y pintor

Leonardo Palacios Sánchez, Laura Daniela Vergara Méndez, Juan Pablo Liévano y Alejandro Guerrero

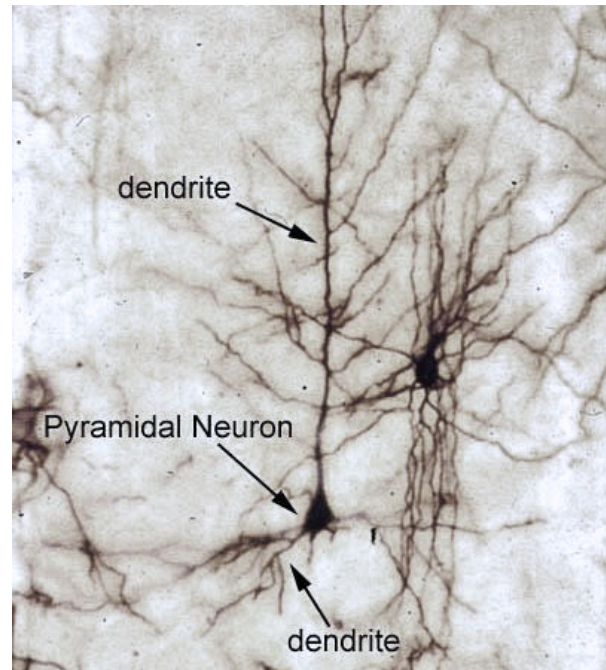


Figura 3 Neurona identificada por Santiago Ramón y Cajal

Fuente: http://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/una-muestra-con-dibujos-santiago-ramon-cajal-recorre-estados-unidos-canada_11187/2

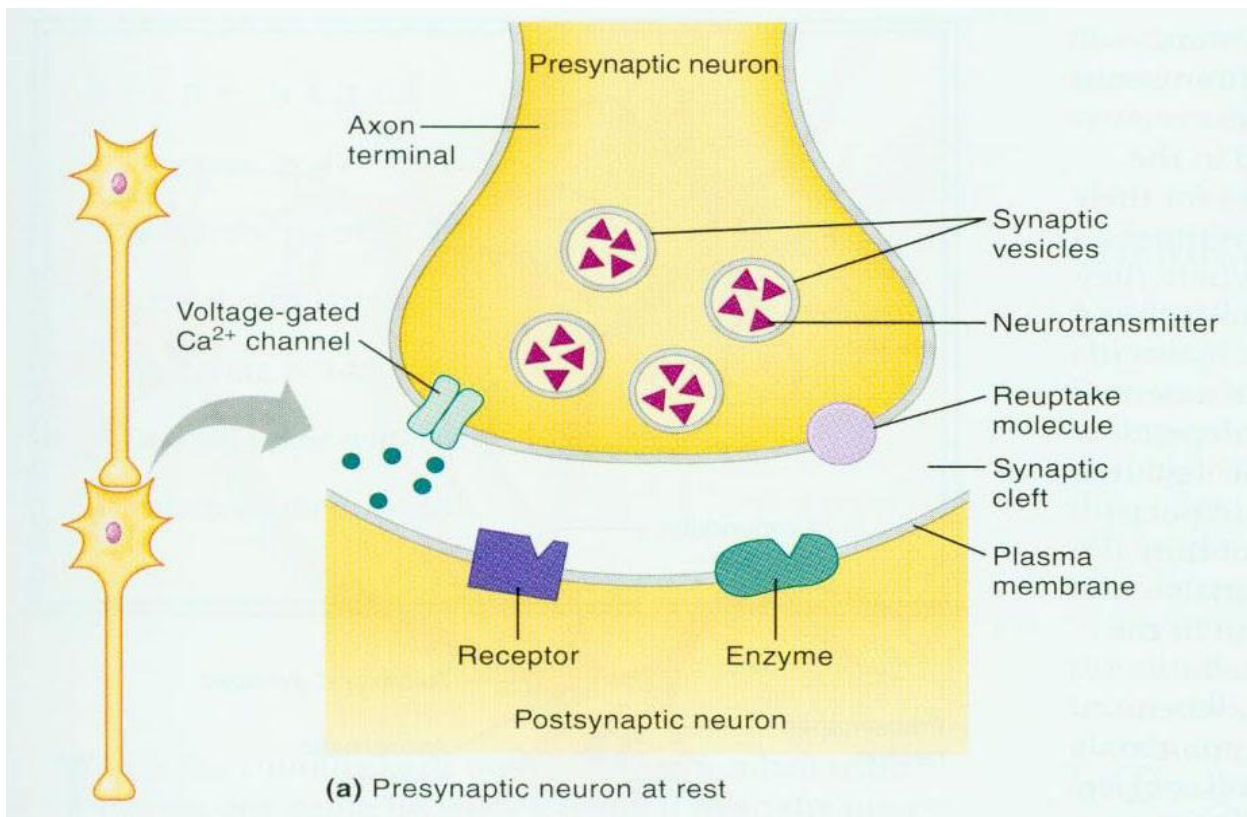


Figura 4. Neuronas presináptica y postsináptica

Fuente: <https://www.slideshare.net/thelawofscience/nerve-signaling>

Canales iónicos

Una vez se determinó la estructura de la membrana celular, fue posible determinar la existencia de los canales iónicos, los cuales son proteínas que abarcan el espesor de dicha membrana celular, de igual manera, a partir de métodos funcionales se estableció que dichos canales son importantes para la transmisión de señales en el sistema nervioso.



¡Importante!

1. Estos canales poseen tres propiedades importantes, en primer lugar, conducen iones, en segundo lugar, reconocen y seleccionan iones específicos, y finalmente, se abren y cierran en respuesta a señales eléctricas, mecánicas o químicas específicas (Kandel, 2001).
2. Tanto en los nervios como en los músculos, las variaciones en dichos canales son las responsables de iniciar el proceso de transmisión de señales que eventualmente culminarán en cada uno de los procesos complejos que conocemos del funcionamiento humano, por ejemplo, el movimiento de músculos. De tal manera, podemos empezar a identificar la estrecha relación existente entre el correcto funcionamiento de la comunicación neuronal y el correcto funcionamiento del organismo.

Dichos canales conducen iones a través de la membrana a muy altas velocidades, tanto que por un sólo canal pueden pasar hasta 100 millones de iones por segundo, razón por la cual estos flujos de corriente

generan variaciones en el potencial de la membrana. Sin embargo, no debe entenderse que se necesitan células sensoriales que respondan a estímulos de gran magnitud para generar variaciones en dicho potencial, por el contrario, estas células generan variaciones del potencial de membrana en respuesta a estímulos muy pequeños. Finalmente, la señalización en el cerebro depende de la capacidad de las neuronas para responder a la estimulación, produciendo variaciones rápidas de la diferencia de potencial eléctrico en la membrana neuronal (Kandel, 2001).



Lectura recomendada

Canales iónicos y epilepsia

J. Armijo, I de las Cuevas, J. Adín

Ahora bien, tal como se mencionó anteriormente, los canales de iones reconocen y seleccionan iones específicos, esto implica que estos canales tienen la capacidad de identificar y discriminar no sólo la cantidad y la velocidad a la cual se transmiten dichos iones, sino también las características específicas de los iones que atraviesan por el canal. De tal manera que existen tipos de canales que solo permiten el paso de un ion o de unos pocos tipos de ellos.



Ejemplo

El potencial de membrana de las neuronas en reposo está determinado en gran medida por canales permeables al K^+ , sin embargo, durante el potencial de acción se activan canales más permeables al Na^+ .

Finalmente, los canales iónicos se abren y cierran en respuesta a diferentes tipos de estímulos, así pues, existen diferentes tipos de canales según la forma en la cual se regula su interacción. Muchos canales iónicos están regulados por el voltaje, lo cual implica que su movimiento de apertura o cierre responde a variaciones del voltaje.

Existen también canales regulados por ligando, estos responden a transmisores químicos de estructuras específicas y los regulados mecánicamente que responden a la presión o el estiramiento.

Canal	¿A qué responde?	Ilustración
Regulado por el voltaje	Alteraciones en el voltaje de la membrana celular debido al transporte de iones.	
Regulado por ligando	La unión de una partícula con características específicas regula el estado del canal.	
Regulado mecánicamente	La presión o el estiramiento en la membrana celular produce cambios en el canal.	

Tabla 1 Canales iónicos de la membrana celular
Fuente: Shutterstock/480412786



Instrucción

Lo invitamos a realizar la actividad de aprendizaje “cru-cigrama” disponible en la página principal del eje 3.

Potencial de membrana

El potencial de membrana hace referencia a la diferencia de carga eléctrica que existe entre el interior y el exterior de una célula, el potencial de la membrana en reposo viene determinado por la inactividad de los canales iónicos. Como se mencionó anteriormente, dicho potencial se ve interrumpido por el flujo de iones lo cual da paso al potencial de acción, sin embargo, antes es necesario explicar detenidamente el potencial de membrana de la neurona en reposo.

En primer lugar, es necesario aclarar de qué forma se realiza el registro de dicho potencial. **Para poder registrar las fluctuaciones en el voltaje de la membrana es necesario contar con un electrodo fuera de la neurona, en el líquido extracelular, y un microelectrodo dentro de la neurona, que sea lo suficientemente fino como para perforar la membrana neuronal sin generar daños graves.** Estos electrodos se conectan a un osciloscopio que muestra las diferencias de potencial eléctrico entre los dos electrodos a lo largo del tiempo (Pinel, 2001).

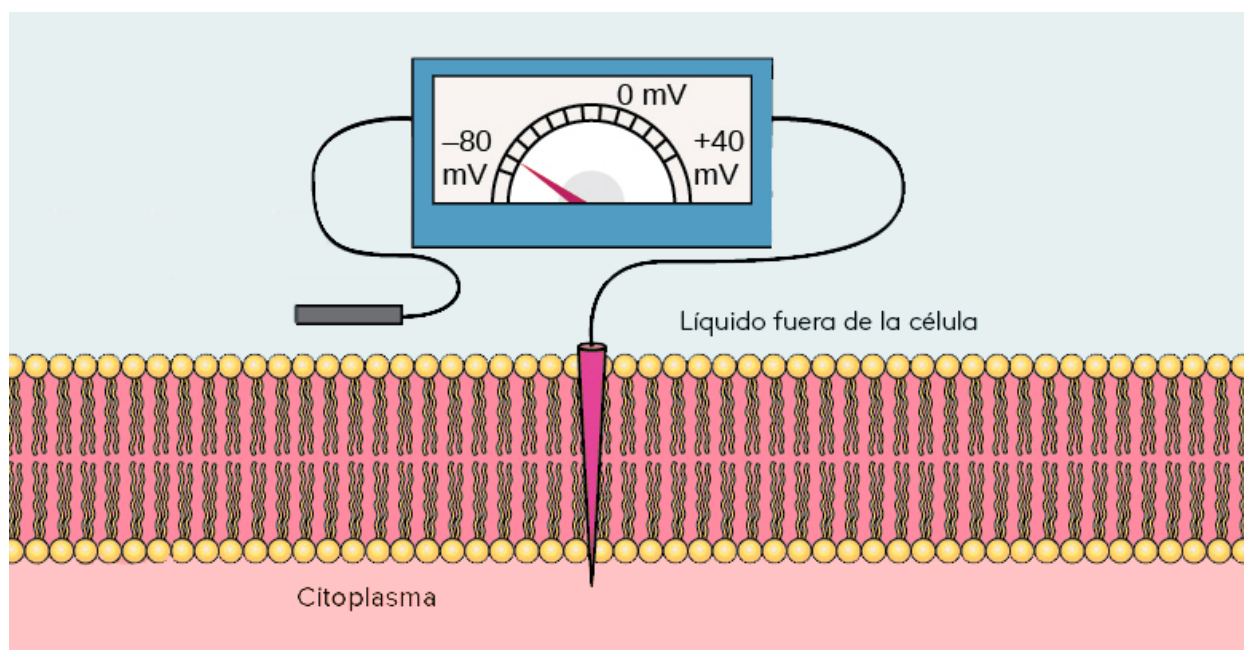


Figura 5. Medición del potencial de membrana
Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-membrane-potential>

Contar con este método de medición eléctrico nos permite establecer que la diferencia entre el potencial al interior y al exterior de la neurona es de -70 mV , reflejando que el potencial al interior de la neurona es de 70 mV menor que el del exterior de la neurona. Este potencial estable de membrana se denomina potencial de reposo de la neurona. Cuando la neurona se encuentra en este estado, con una carga de -70 mV , se dice que está polarizada.

Esta distribución desigual de cargas se explica a través de la interacción de cuatro factores, dos fuerzas que actúan con el propósito de distribuir uniformemente los iones en los líquidos intra y extracelular, y dos características de la membrana neuronal que compensan dichas fuerzas (Pinel, 2001). La primera de estas fuerzas es el movimiento aleatorio, los iones se encuentran en constante movimiento aleatorio de tal manera que tienden a distribuirse de forma regular, esto debido a que es más probable que se muevan de áreas en las que hay una concentración alta a áreas en que hay una concentración baja.

La segunda fuerza que interactúa acá y promueve la interacción de iones es la atracción electrostática, esta implica que, cualquier acumulación de carga, ya sea positiva o negativa, tiende a dispersarse por la repulsión de las cargas del mismo signo que existen alrededor, así como por la atracción de cargas opuestas concentradas en otros lugares.

Hay cuatro tipos de iones que contribuyen al potencial de reposo, sodio (Na^+), potasio (K^+), cloro (Cl^-), y diversos iones proteicos cargados negativamente.

iones

Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutro.

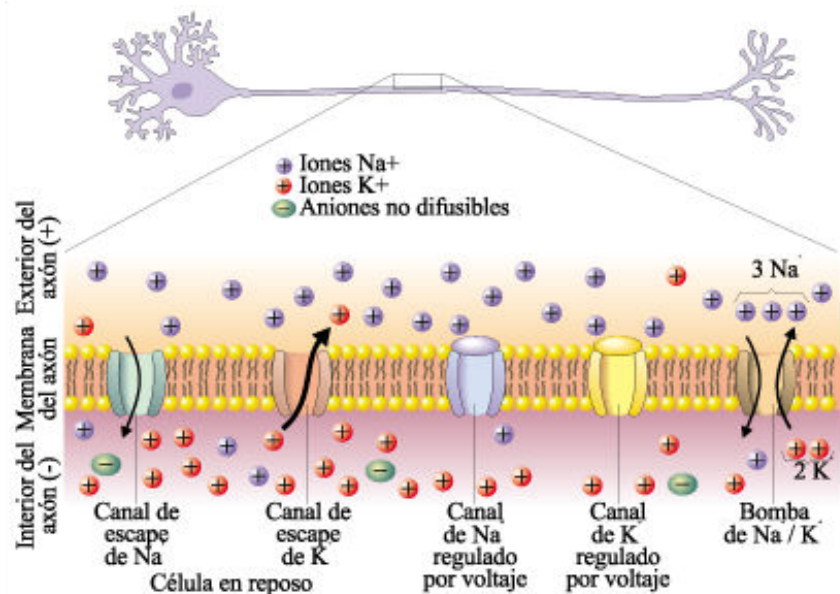


Figura 6. Iones presentes al interior y exterior de la neurona
Fuente: <http://docentes.educacion.navarra.es/metayosa/1bach/rela3.html>

De igual manera, la neurona cuenta con propiedades que son responsables de la distribución desigual de iones para obtener el reposo. Una de estas propiedades es pasiva y la otra activa, esto se determina dependiendo de si existe o no un gasto de energía en cada una de ellas, siendo la propiedad activa aquella que implica un consumo de energía. La propiedad pasiva que contribuye a la disposición desigual de iones es la permeabilidad al Na^+ , K^+ , Cl^- e iones proteicos.

Cuando la neurona está en reposo, los iones K^+ y Cl^- pasan fácilmente a través de la membrana neuronal, los iones de Na^+ la atraviesan con dificultad y los iones proteicos cargados negativamente no la atraviesan.



Instrucción

Lo invitamos a revisar el recurso de aprendizaje: video pregunta bomba Sodio-Potasio.

Por otra parte, el mecanismo activo, que implica consumo de energía y comprende el transporte de los iones de Na^+ hacia afuera de la neurona y el transporte hacia adentro de los iones de K^+ , como un proceso conjunto y no independiente como se pensaba anteriormente. En este proceso constantemente se intercambian tres iones de Na^+ del interior de la neurona por dos iones de K^+ del exterior. Este mecanismo se conoce como *bomba de sodio-potasio*.

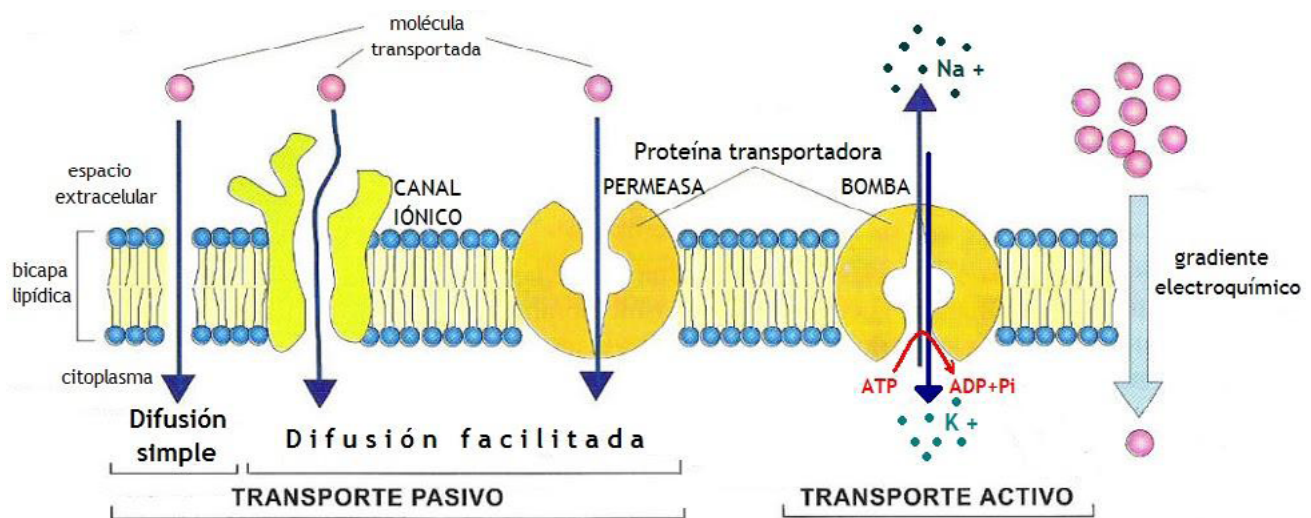


Figura 7. Mecanismos de transporte activo y pasivo
Fuente: <https://www.asturnatura.com/articulos/envoltura-celular/membrana-plasmatica-transporte-pasivo.php>



Video

Recurso de aprendizaje: video cápsula, transporte de membrana celular

Scientific protocols.

Potenciales postsinápticos



Figura 8.
Fuente: Shutterstock/312413090

Al unirse un transmisor a un receptor post sináptico, se genera un nuevo potencial de acción en la neurona post sináptica. Habitualmente la unión neurotransmisor-receptor, produce potenciales en la membrana post sináptica, denominados potenciales postsinápticos excitadores o inhibidores.

Los potenciales postsinápticos excitatorios, producen cambios en términos de disminución del potencial de membrana de reposo, aumentando así la probabilidad de que la neurona dispare. Por el contrario, los potenciales postsinápticos inhibitorios producen cambios en términos de aumento del potencial de membrana de reposo, disminuyendo la probabilidad de que la neurona dispare. Al proceso de disminución del

potencial de la membrana de reposo se le conoce como despolarización, mientras que al proceso de aumento del potencial de la membrana de reposo se le conoce como hiperpolarización.

En resumen, en algunos casos, el cambio provoca que la célula postsináptica sea más propensa a disparar su propio potencial de acción. En este caso, el cambio en el potencial de membrana se llama potencial excitatorio postsináptico (PEPS).

En otros casos, el cambio provoca que la célula postsináptica sea menos propensa a disparar su propio potencial de acción y se llama potencial inhibitorio postsináptico (PIPS).



¡Importante!

Cada uno de estos potenciales son respuestas graduadas, esto significa que las amplitudes de dichos potenciales son proporcionales y equivalen a la intensidad de las señales que los provocan, así pues, señales débiles generarán potenciales postsinápticos pequeños y señales fuertes generarán potenciales postsinápticos grandes. Que un potencial sea graduado significa que disminuye hasta extinguirse con el aumento de la distancia recorrida.

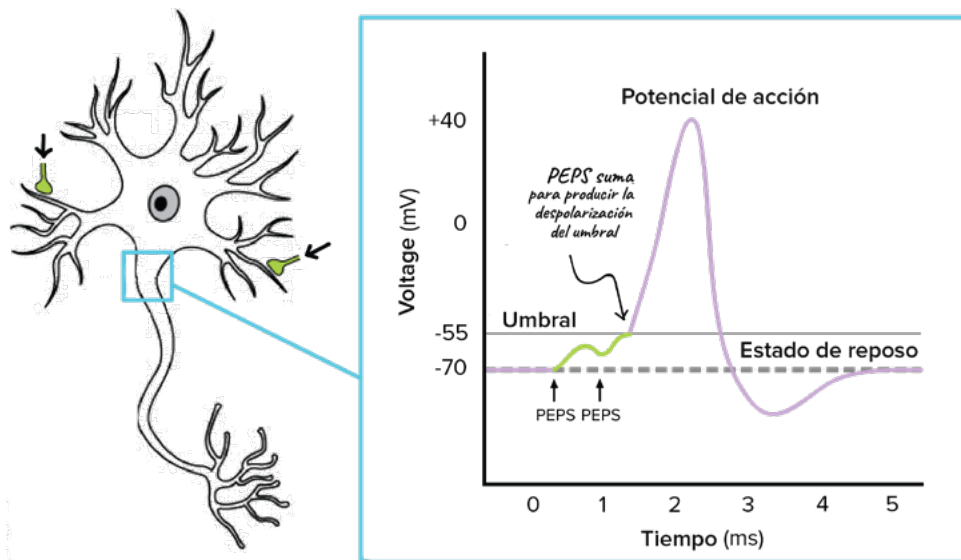


Figura 9. Potencial excitatorio postsináptico

Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-synapse>

Estos potenciales viajan a través de la neurona desde el punto en el cual hayan sido generados atenuándose progresivamente, es decir, la amplitud de los potenciales postsinápticos disminuye a lo largo de su recorrido por la neurona. Para aumentar la velocidad de conducción de los potenciales de acción, los axones grandes están envueltos en una vaina de mielina aislante.

Potenciales de acción

Que una neurona dispare o no, depende del equilibrio entre las señales excitatorias e inhibitorias que lleguen a su cono axónico. Así pues, si la suma entre los diferentes potenciales que llegan a la neurona es suficiente para despolarizar la neurona hasta un punto conocido como umbral de excitación, el cual normalmente se encuentra alrededor de los -45 mV. En este momento se genera el potencial de acción, este consiste en una inversión momentánea del potencial de membrana de -70 mV a alrededor de 50 mV.

Dicha inversión momentánea posee una duración de aproximadamente 1 milise-gundo, y a diferencia de los potenciales postsinápticos no son respuestas graduadas. Son respuestas de todo o nada, es decir, o se producen del todo o no en absoluto.

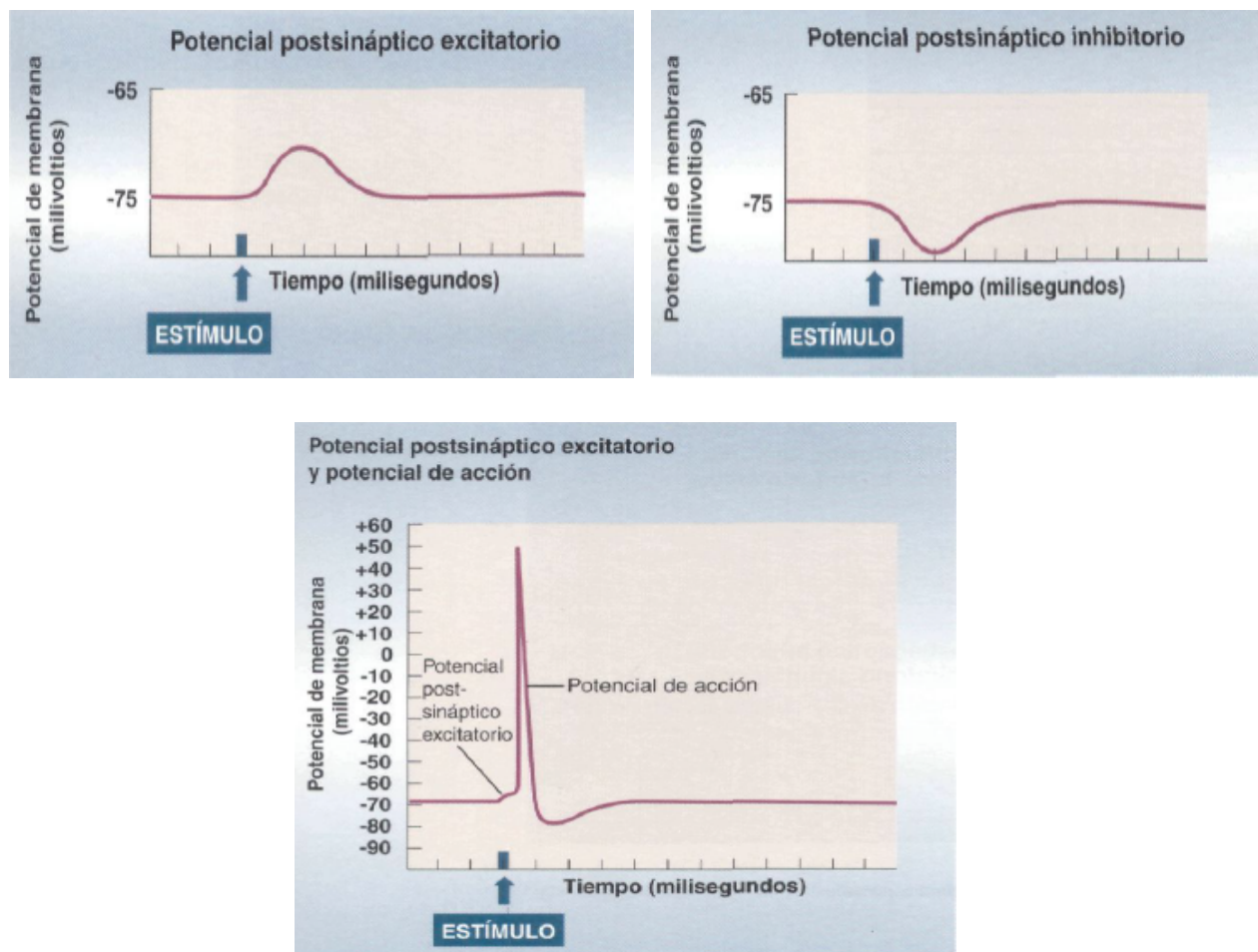


Figura 10. Potencial excitatorio, inhibitorio y potencial de acción
Fuente: (Pinel, 2001)

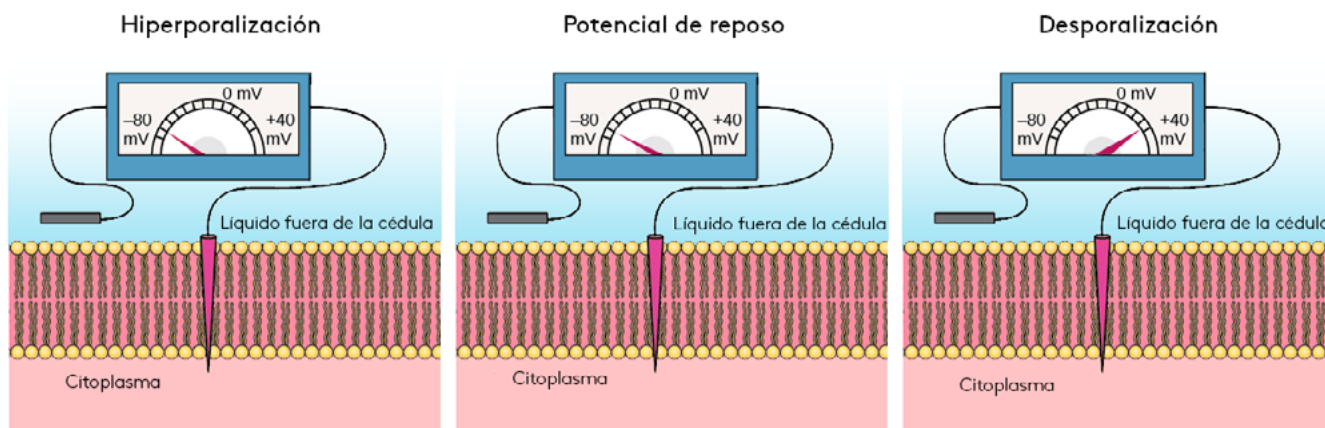


Figura 11. Hiperpolarización, potencial de reposo y despolarización
 Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-membrane-potential>

Tal como se mencionó previamente, una misma neurona puede ser activada por diversas señales. La integración de dichas señales puede determinarse por el lugar o momento en el que ocurre. Cuando hacemos referencia a la integración de señales generadas en diferentes puntos de la neurona, se le llama suma espacial, cuando hacemos referencia a la integración de señales generadas en diferentes momentos en la misma neurona, se le llama suma temporal.

La **suma espacial** puede resultar en tres posibles resultados, en primer lugar, dos potenciales postsinápticos excitatorios que se suman para dar lugar a un potencial post sináptico excitatorio mayor. En segundo lugar, dos potenciales postsinápticos inhibitorios que se suman para dar lugar a un potencial post sináptico inhibitorio mayor. Y

finalmente, la anulación entre un potencial postsináptico excitatorio y uno inhibitorio simultáneos.

Por otra parte, la suma temporal puede resultar en dos posibles resultados, en primer lugar, dos potenciales postsinápticos excitatorios provocados en sucesión rápida se suman para producir un potencial postsináptico excitatorio más grande. Y, en segundo lugar, dos potenciales postsinápticos inhibitorios provocados en sucesión rápida se suman para producir un potencial postsináptico inhibitorio más grande.



Suma espacial

La integración de potenciales postsinápticos que ocurren en diferentes lugares, pero casi al mismo tiempo, se conoce como sumatoria espacial.

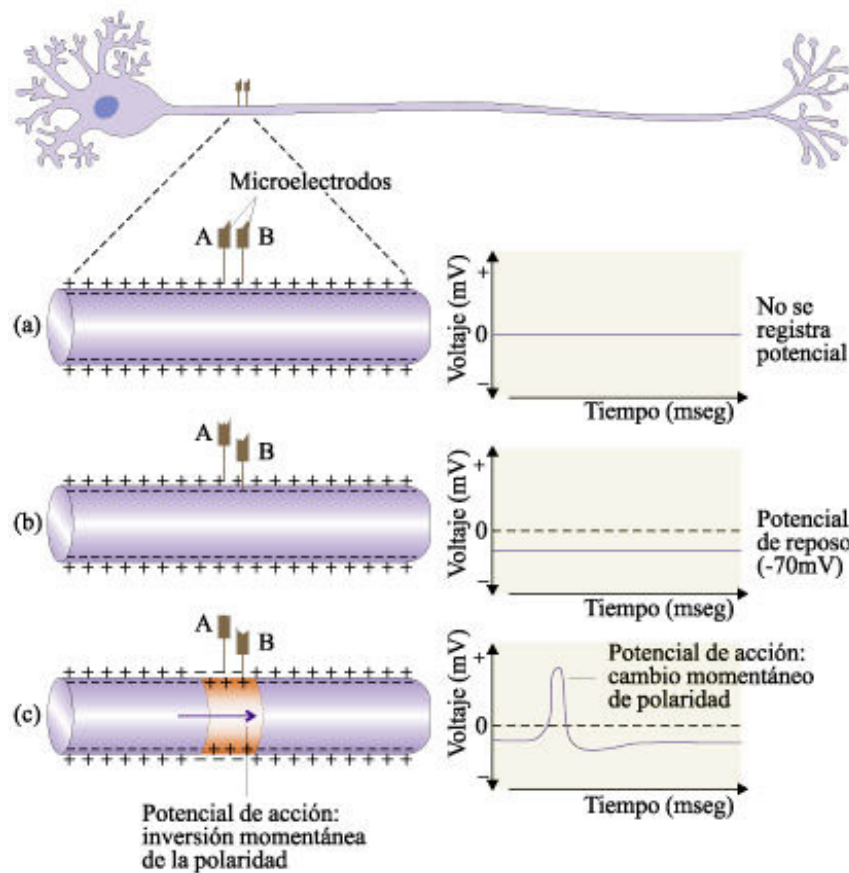


Figura 12. Medición del voltaje durante el potencial de acción
 Fuente: <http://fisiologiajmv-hilda.blogspot.com.co/2011/01/unidad-ii-impulso-nervioso.html>

Bases iónicas de los potenciales de acción

La acción de canales iónicos que se activan por el voltaje produce los potenciales de acción y los conduce a lo largo del axón. Una vez el potencial de membrana se reduce hasta el umbral de excitación en el cono axónico, los canales de sodio (Na^+) de la membrana del cono se abren completamente, los iones de Na^+ entran rápidamente dentro, y cambia bruscamente el potencial de membrana hasta alrededor de 50 mV.



Figura 13. Bases iónicas de los potenciales de acción
 Fuente: (Pinel, 2001)

Debido al cambio súbito en el potencial de membrana a partir de la apertura de los canales de Na^+ , se abren los canales de K^+ permitiendo el paso de iones hacia el exterior de la membrana, en lo que se denomina la fase ascendente. Una vez la membrana ha alcanzado un potencial de 50 mV, los canales de Na^+ se cierran nuevamente, dando paso a la repolarización de la neu-

rona hasta el retorno al potencial de reposo -70 mV, momento en el cual comienzan a cerrarse los canales de K^+ , dando paso a una hiperpolarización de la neurona, por un periodo de tiempo durante el cual no será posible generar un impulso nuevamente en lo que se conoce como periodo refractario, hasta que regrese nuevamente al potencial de membrana en reposo.

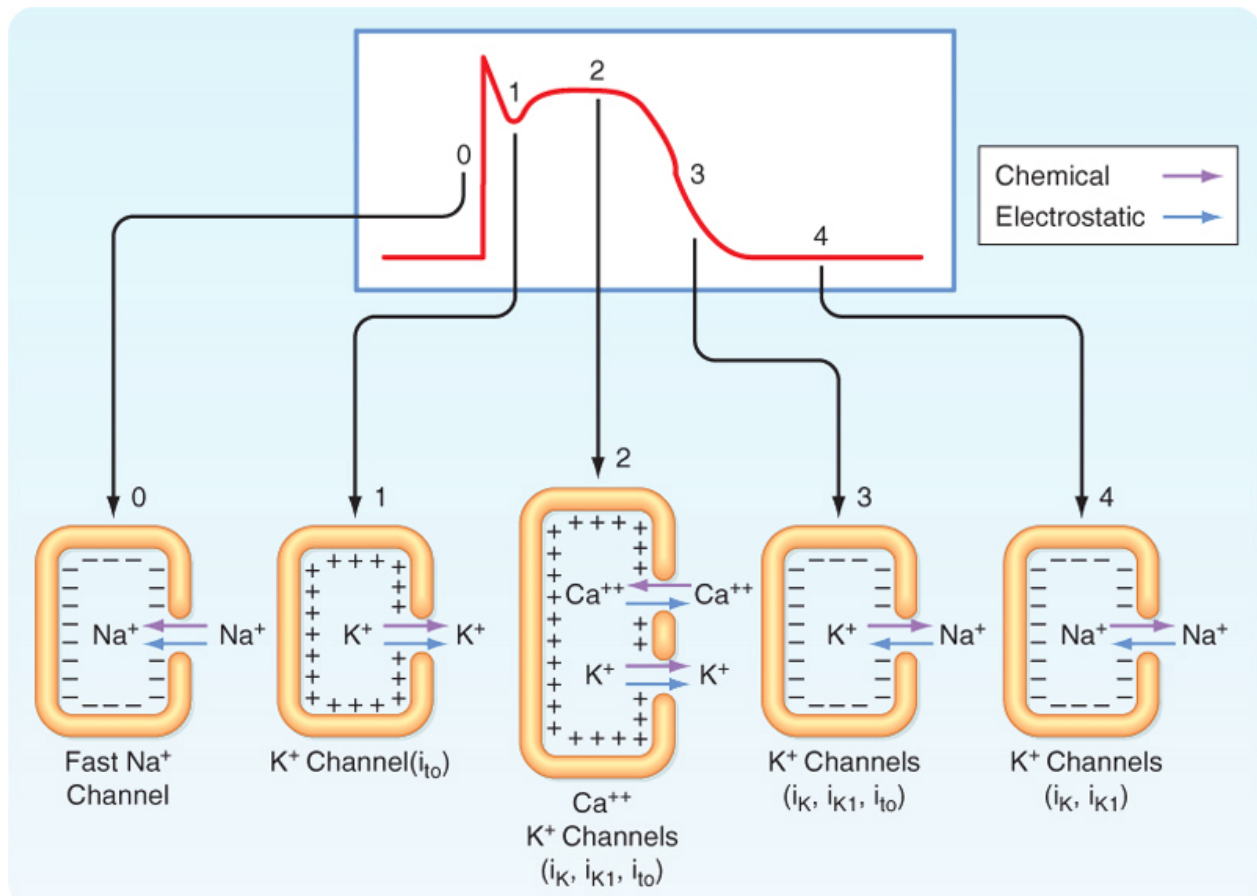


Figura 14. Fases del potencial de acción

Fuente: http://163.178.103.176/Fisiologia/cardiovascular/Objetivo_4/cardio_obj4_caso1.html

Conducción de los potenciales de acción

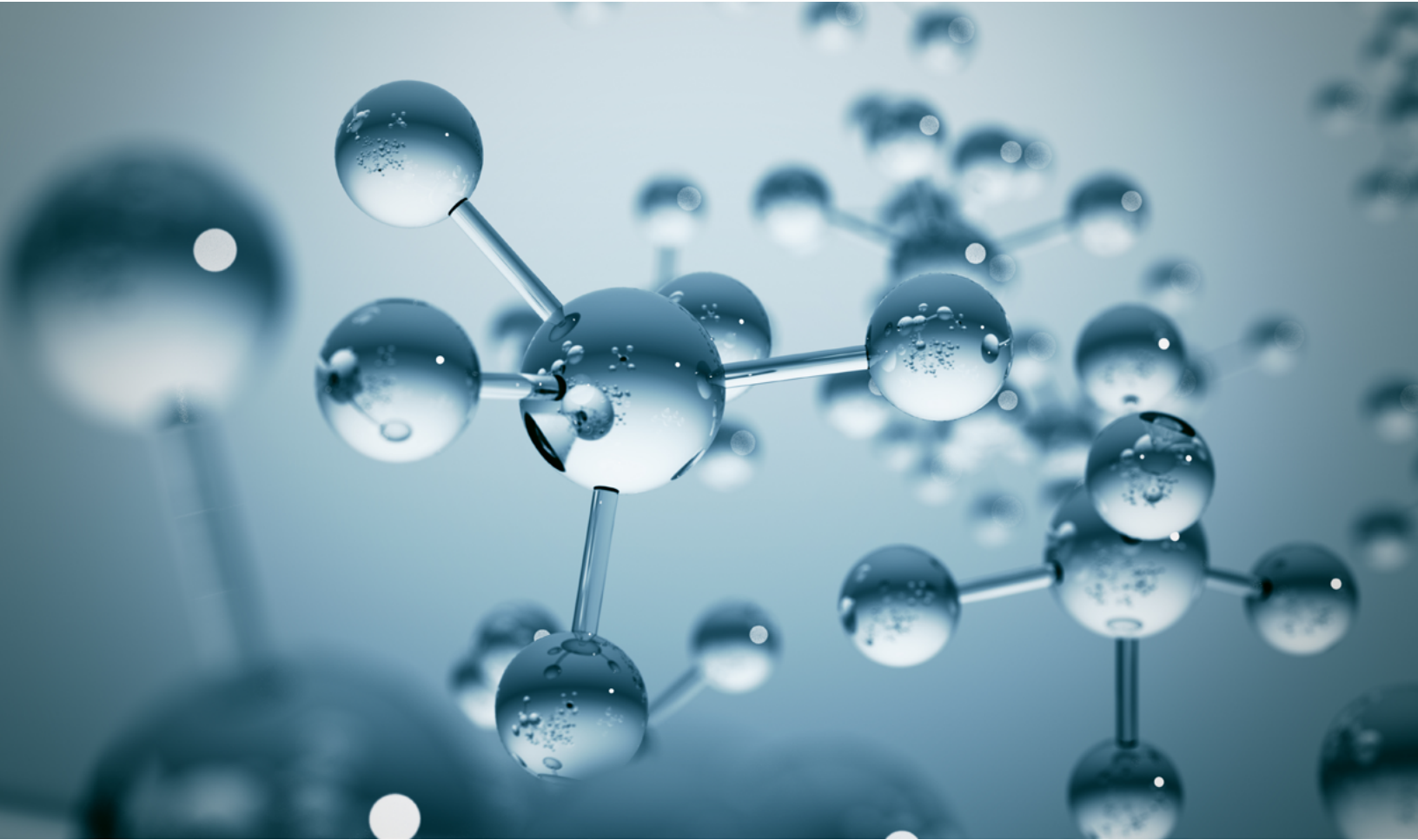


Figura 15.

Fuente: Shutterstock/326882960

Un potencial de acción a lo largo de la neurona se comporta de manera diferente a un potencial post sináptico. Como se mencionó previamente, el potencial post sináptico pierde amplitud a medida que atraviesa el axón, sin embargo, esto no ocurre con el potencial de acción. Por otra parte, los potenciales de acción se transmiten de manera más lenta en comparación a los potenciales postsinápticos.

Ahora bien, una vez se ha generado un potencial de acción en el cono axónico, éste viaja a lo largo de la membrana axónica hacia los canales de sodio activados por

el voltaje que todavía no se han abierto. Una vez llega la señal eléctrica a dichos canales, éstos se abren permitiendo que nuevamente los iones de Na^+ entren en la neurona y generen un potencial de acción en esta parte de la membrana. Este proceso se repite a lo largo de la neurona en los diferentes canales presentes desencadenando el potencial de acción en diferentes sectores de la membrana, debido a que los canales están cerca unos de otros, se concibe la conducción axónica como una onda única que se difunde a velocidad constante a lo largo del axón (Pinel, 2001).

En la figura 16 se puede identificar la conducción del potencial de acción a través de la neurona, identificando las fases de potencial de reposo, despolarización y repolarización a medida que el impulso eléctrico avanza por los diferentes sectores del axón. del potencial de acción a través de la neurona.

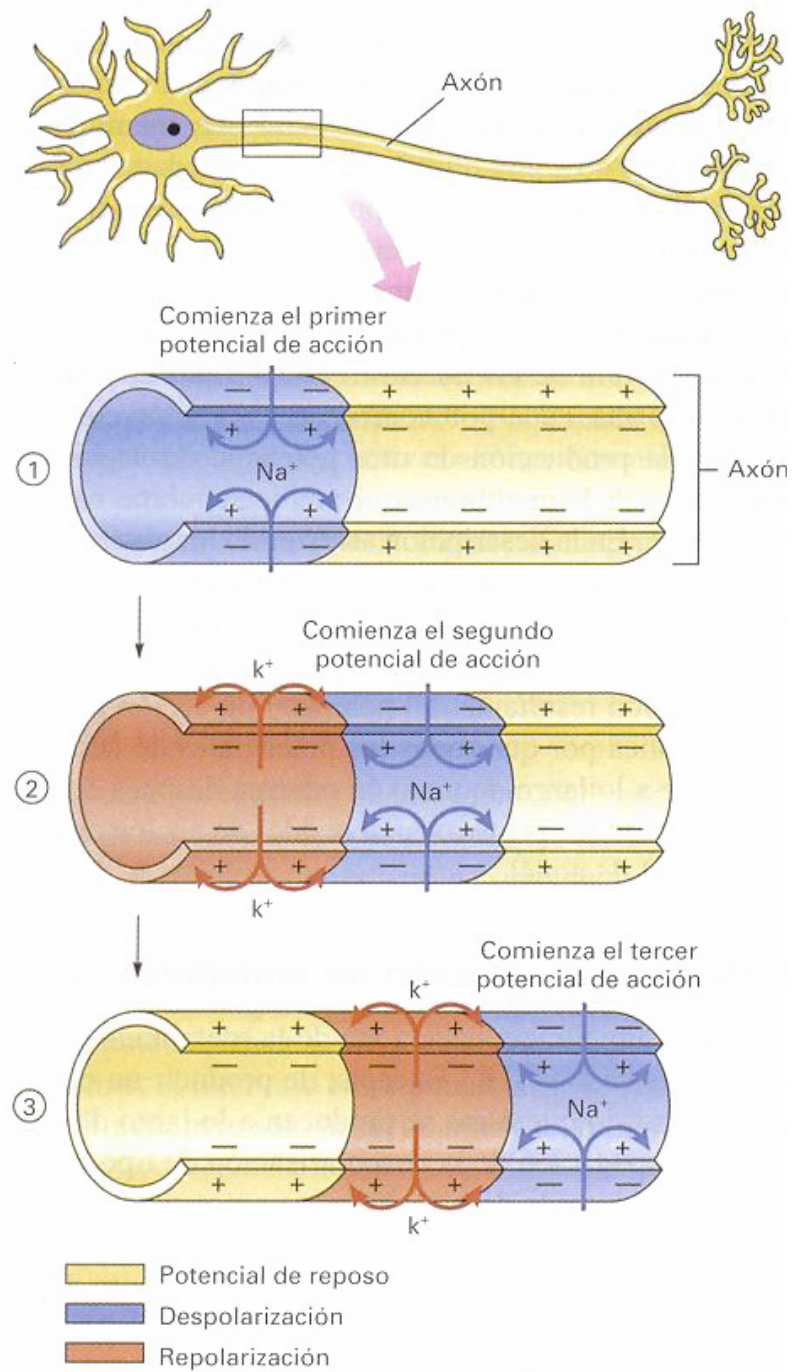


Figura 16. Conducción del potencial de acción a través de la neurona
Fuente: <https://scykness.wordpress.com/2013/04/17/neurofisiologia-fundamentos-basicos-y-potenciales-de-accion/>

En los axones mielinizados los iones atraviesan la membrana solamente en los **nódulos de Ranvier**, una vez la señal llega al nódulo, es lo suficientemente fuerte para abrir los canales de sodio activados por voltaje del nódulo y generar otro potencial de acción completo. De igual manera, es importante tener en cuenta que la mielinización aumenta la velocidad de transmisión axónica, dicha transmisión en los axones mielinizados se conoce como conducción saltatoria.



Nódulos de Ranvier

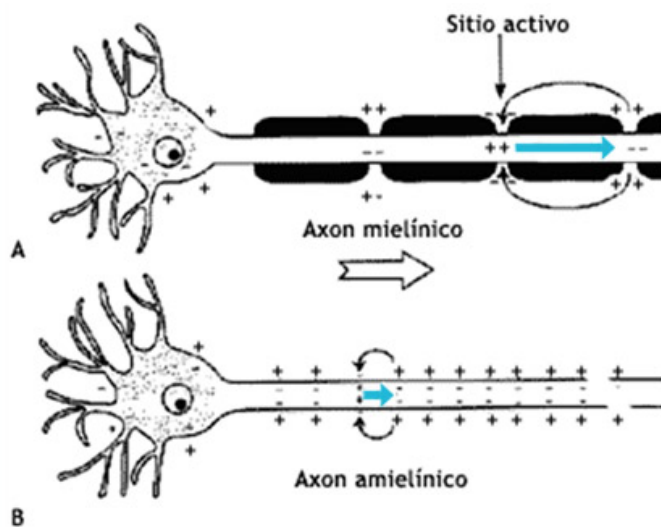
La región entre las áreas mielinizadas, donde se expone la membrana nerviosa al medio extracelular se denomina Nodo de Ranvier.



¡Datos!

La velocidad de transmisión máxima en las neuronas motoras humanas es de alrededor de 60 metros por segundo, esto implica que, enfermedades como la Esclerosis Múltiple, la cual produce una desmielinización importante conservando los axones, tienen sintomatología como déficit motor y trastornos en la marcha entre otros (Fernández y Fernández, 2007).

Finalmente, la existencia de neuronas asociativas, conocidas como interneuronas, permite la existencia de potenciales graduados que se atenúan progresivamente durante su conducción.



Instrucción

Lo invitamos a revisar el recurso de aprendizaje: nube de palabras, disponible en la página principal del eje 3.

Figura 17. Conducción del potencial de acción a través de la neurona mielinizada
Fuente: <http://lm90garate.blogspot.com.co/2013/10/tipos-de-conduccion-electrica-en-las.html>

Fernández, O. y Fernández, V. (2007). Esclerosis múltiple. Concepto. Etiopatogenia. Fisiopatología. Manifestaciones clínicas. Investigaciones paraclínicas. Diagnóstico. Historia natural. *Programa de formación médica continuada acreditado*, 9(76), pp. 4867-4877.

Kandel, E., Jessell, T. y Schwartz, J. (2000). *Principios de neurociencia*. España. McGraw Hill.

Pinel, J. (2001). *Biopsicología*. Madrid: España: Prentice Hall

Tresguerres, J. (2010). *Fisiología humana*. México: McGraw Hill.

Khan Academy Espanol. [E-Channel]. (2016, marzo 27). Bomba sodio-potasio [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/NWDiilM7ir8>

Scientific Protocols. [E-Channel]. (2012, agosto 3). Transporte de membrana celular [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/NSf7ncIOZUo>



www.usanmarcos.ac.cr

San José, Costa Rica