

APUNTES DE CLASE

1. Introducción

El funcionamiento de la neurona esta determinado por alteraciones electroquímicas a nivel de la membrana. Esto da lugar a dos estados eléctricos: el **potencial de reposo** y el **potencial de acción**.

2. Potencial de Reposo

Cuando una neurona esta en reposo, la superficie interna de su membrana esta cargada negativamente y la externa positivamente. Así, la diferencia de cargas determina que la neurona este polarizada eléctricamente, estado que se conoce como **potencial de reposo** o **de membrana**.

En el lado externo de la membrana los iones que están en mayor concentración son Na^+ y Ca^+ . En el citoplasma se encuentran los iones K^+ , así como una gran cantidad de proteínas cargadas negativamente.

Las concentraciones de estos iones son 117 uM de Na^+ fuera de la neurona, contra 30 uM en el interior; el K^+ tiene una concentración interna de 90 uM y en el exterior de 3 uM; el Cl^- tiene una concentración interna de 4 uM y la externa es de 120 uM; las proteínas de elevado peso molecular cargadas negativamente se encuentran solo en el interior de la neurona, en una concentración de 120 uM. En neuronas de aves y mamíferos estas cantidades son más altas, y en invertebrados marinos mayores aun, lo que permite inferir que las concentraciones extra e intracelulares son variables. Lo que realmente importa es su equilibrio entre el interior y exterior de la célula.

¿Cómo se rompe este equilibrio y se genera un potencial de acción?

La respuesta se relaciona con la diferencia de concentración de Na^+ y K^+ a ambos lados de la membrana, porque determinan movimientos de los iones que pueden alterar el equilibrio electroquímico. El equilibrio se mantiene gracias a una proteína de membrana llamada **Bomba Sodio-Potasio**, que se encarga de "bombear" 2 iones Na^+ hacia el exterior y 2 iones K^+ al interior de la neurona.

Los iones también se mueven a favor de un gradiente de concentración, a través de **canales iónicos** específicos formados por proteínas de membrana. Existen dos clases de canales de importancia: los **activados por voltaje** o iónicos y los **activados por ligando**.

El potencial de reposo se midió por primera vez después de 1940. Para registrarlo se necesitan dos micropipetas de vidrio muy finas, que contienen una solución de cloruro de potasio (KCl). Ambos electrodos se conectan a un osciloscopio de rayos catódicos o a un galvanómetro. La lectura en estos instrumentos es una grafica que se puede mover hacia el lado positivo o negativo, dependiendo de si los electrodos están dentro, fuera o a ambos lados de la membrana.

Cuando los dos electrodos se colocan fuera o dentro de la neurona no se registra diferencia de cargas y en el osciloscopio se ve una línea que pasa por cero. En cambio, si uno de los electrodos se introduce en la neurona y el otro permanece fuera, se observa en el osciloscopio una perturbación que alcanza 70 milivolt. Por convención, el valor se expresa con un signo negativo, es decir, -70 mV, aludiendo a la carga de la superficie interna de la membrana.

La diferencia de potencial de 70 milivolt es alta si se considera que es generada por una membrana cuyo espesor es de 10 nanómetros. Si el espesor fuera de 1 centímetro, la diferencia de potencial que se debería registrar, debido al mayor flujo de iones a través de ella, alcanzaría los 70.000 Volt.

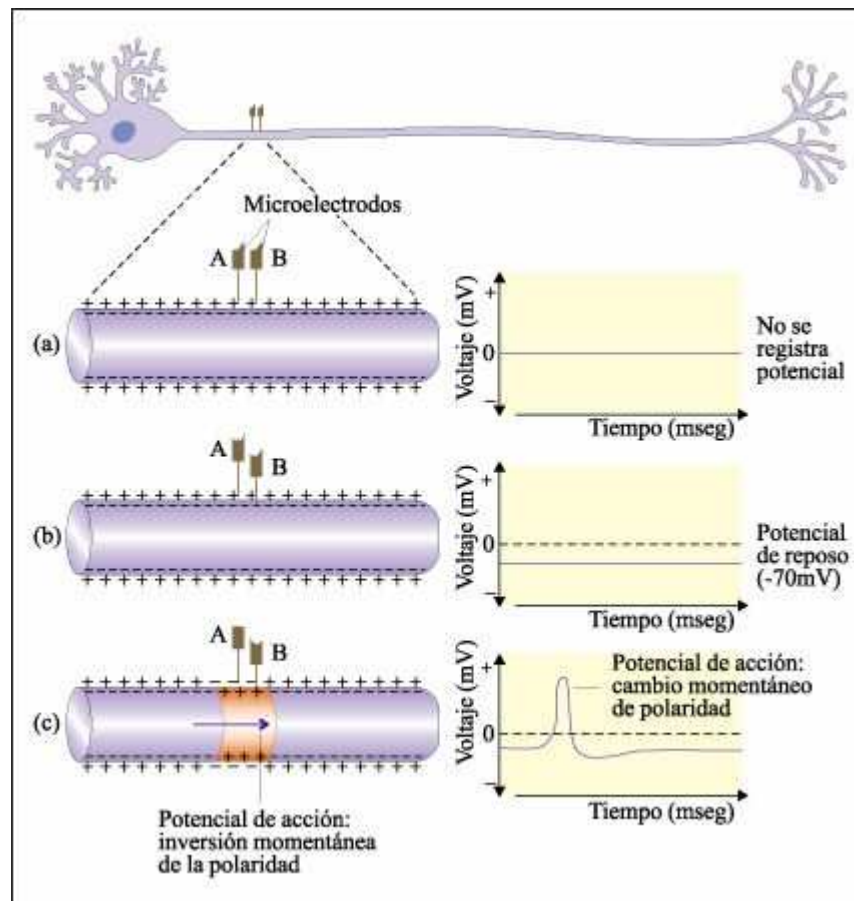


Figura 01. El potencial eléctrico a través de la membrana del axon se mide con microelectrodos conectados a un osciloscopio.

3. Potencial de acción

Las neuronas son células altamente excitables, cualidad que les permite responder a estímulos del medio, interno o externo, y convertirlos en potenciales de acción.

El proceso que determina el cambio en una neurona desde el potencial de reposo hasta un potencial de acción es complejo, y en su esclarecimiento colaboraron investigadores como Cole, Hodgkin y Huxley. Aunque en la realidad el proceso ocurre como un todo, lo separaremos en etapas sucesivas para facilitar su comprensión.

- **Cambio en la permeabilidad de la membrana.** estímulos externos químicos, físicos o mecánicos pueden aumentar la permeabilidad de la membrana neuronal en el punto de la estimulación, primero para el Sodio y luego para el Potasio. Si el estímulo es débil se produce un movimiento de iones local, sin llegar a desencadenar un potencial de acción. Si la intensidad del estímulo es mayor, se origina un potencial de acción que se propaga a lo largo de la fibra nerviosa. En el primer caso se dice que el estímulo es **subumbral**; en el segundo, que el estímulo es **umbral**. Cada vez que una neurona recibe un estímulo es capaz de generar una señal electroquímica o potencial de acción, de acuerdo a la **ley del todo o nada**. Este principio establece que si la intensidad de un estímulo alcanza o sobrepasa el umbral de excitación de una neurona, se desencadena un impulso nervioso. Si, por el contrario, el estímulo es muy débil, el impulso no llega a producirse.

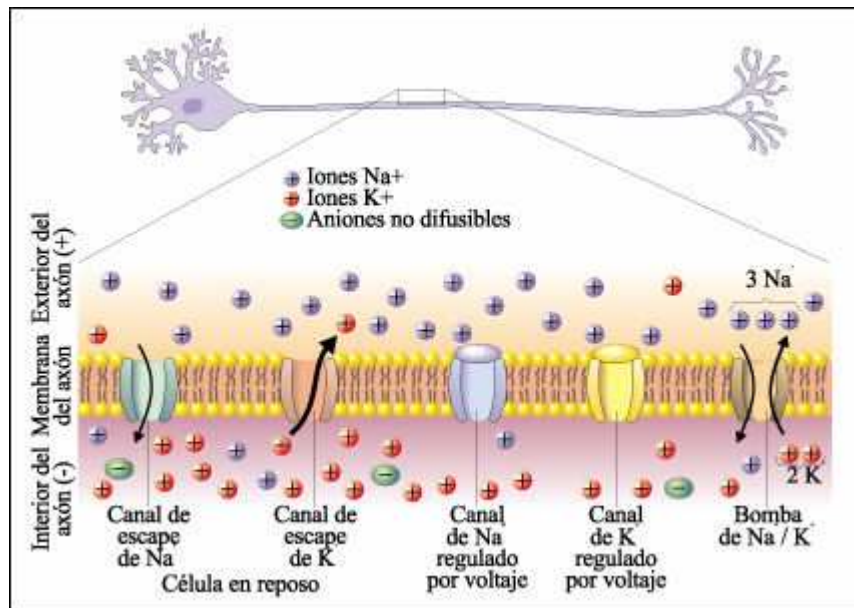


Figura 02. Una neurona y todos los canales que hay en su membrana involucrados en el potencial de acción.

- **Despolarización y repolarización.** El aumento en la permeabilidad de la membrana para el sodio se produce cuando se abren los llamados canales iónicos, formados por proteínas sensibles a cambios de voltaje. El ingreso de sodio hacia el citoplasma neuronal determina un cambio en el valor del potencial de reposo, desde -70 mV hasta llegar a cero e incluso aumentar a +35 mV, produciéndose una inversión de la polaridad de la membrana: el interior se vuelve positivo y el exterior negativo. Este fenómeno se conoce como **despolarización**. La onda de despolarización se propaga a lo largo del axón, lo que se conoce con el nombre de **impulso nervioso**. El cambio de estado eléctrico de la neurona tiene dos consecuencias que ocurren en milésimas de segundo: el cierre de los canales para el sodio y la apertura de los canales para el potasio. Al abrirse estos canales, el potasio sale del citoplasma y el potencial de la membrana vuelve a -70 mV, fenómeno conocido como repolarización.

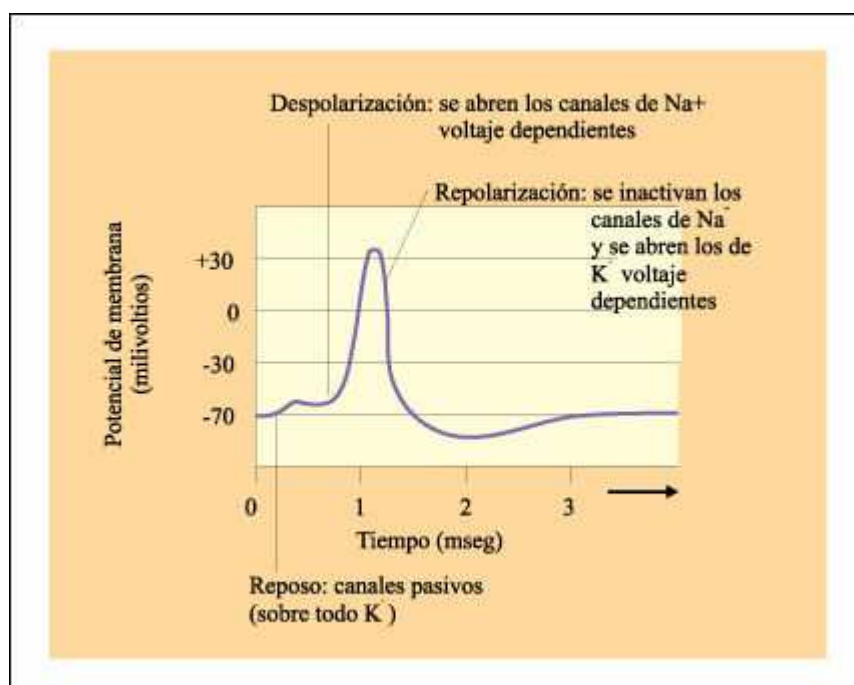


Figura 03. Grafico que muestra los cambios eléctricos en una neurona durante el potencial de acción. Observa los cambios de voltaje y los canales iónicos que se abren.

- **Bomba Sodio-Potasio.** Luego de los procesos descritos la neurona recupera sus condiciones iniciales: el potencial de membrana vuelve a -70 mV ; la carga eléctrica en el interior de la membrana es negativa y en el exterior es positiva. Solo queda reubicar los iones en sus lugares iniciales, lo que se logra por la acción de una proteína de membrana llamada **bomba sodio-potasio**, que devuelve el Na^+ hacia el exterior y el K^+ hacia el citoplasma de la neurona.

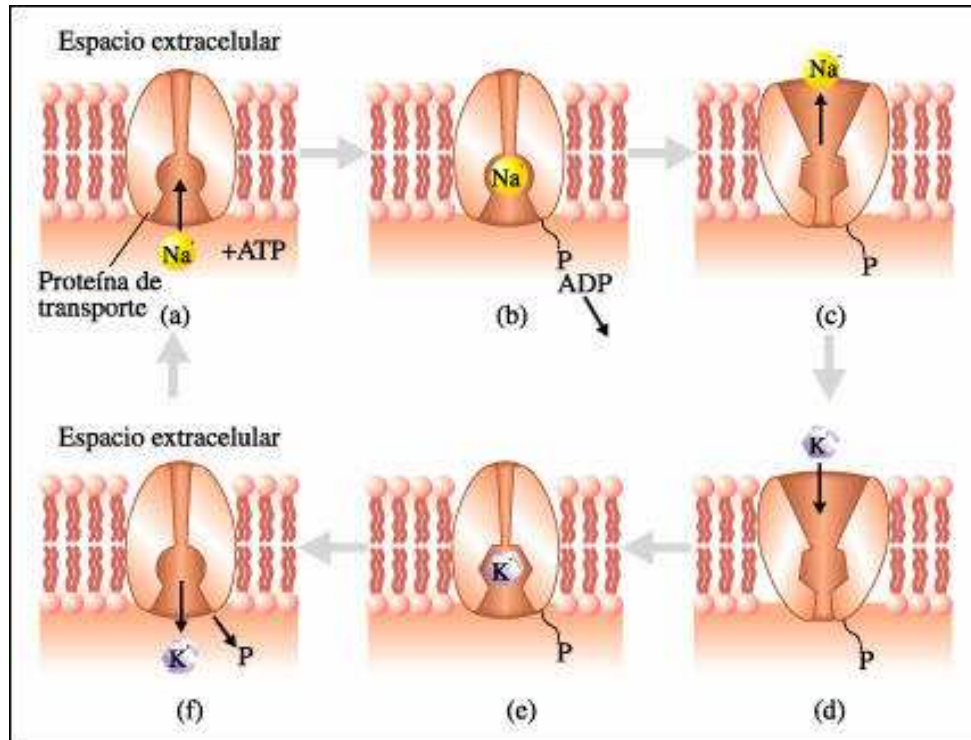


Figura 04. Esquema de la bomba sodio-potasio, observa que el transporte se realiza con ayuda de ATP una molécula energética que existe en las células.

Durante el tiempo en que la neurona reestablece su polaridad inicial y las cantidades relativas de los iones sodio y potasio en el interior y exterior celular, la neurona es incapaz de generar y conducir un nuevo impulso nervioso. Esta situación se denomina Periodo Refractario y dura un lapso de tiempo muy breve.