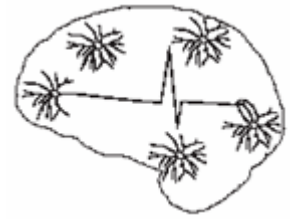


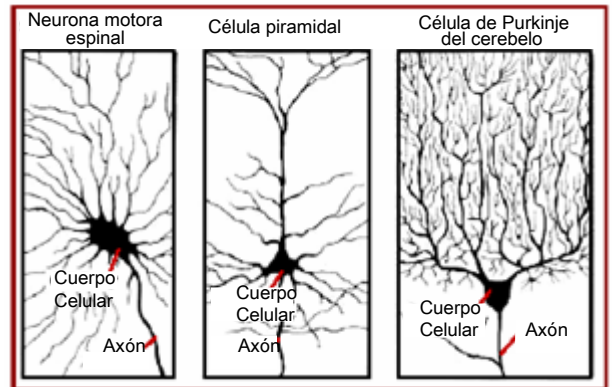
Neuronas y Potencial de Acción



Todas las neuronas independientemente de que sean sensoriales o motoras, grandes o pequeñas, tienen una característica en común ya que su actividad es de dos tipos: eléctrica y química. Las neuronas cooperan y compiten entre ellas con el fin de regular el estado general de sistema nervioso, de la misma manera que los individuos de una sociedad cooperan y compiten a la hora de tomar decisiones. Las señales químicas recibidas, por las dendritas procedentes de los axones que las contactan, son transformadas en señales eléctricas y se incorporan (adicionándose o sustrayéndose) al resto de señales procedentes de las otras sinapsis, decidiéndose si la señal se propaga hacia la siguiente neurona o no. Por lo tanto, los potenciales eléctricos viajan por el axón hacia la sinapsis, pasando a las dendritas de la siguiente neurona y el proceso se repite.

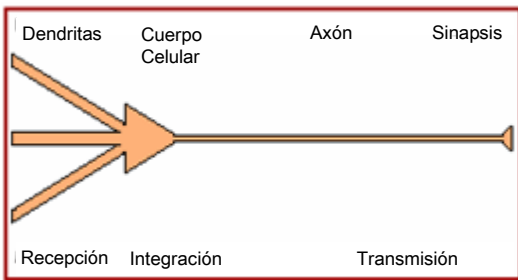
La neurona dinámica

Tal y como describimos en el capítulo anterior la neurona se compone de **cuerpo celular**, **dendritas**, **axones** y **terminales sinápticos**. Esta organización es un fiel reflejo de su subdivisión funcional en diferentes compartimentos encargados de recibir, integrar y transmitir. En general, la dendrita recibe, el cuerpo celular integra y el axón transmite. Dicho concepto lo conocemos como **polarización**, ya que la información que procesan va supuestamente en una dirección.



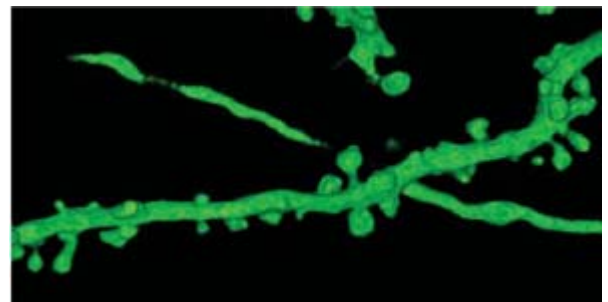
3 tipos diferentes de neuronas

Dentro de las neuronas existen múltiples compartimentos internos. Estos consisten, fundamentalmente, en proteínas que se producen a nivel del cuerpo celular y son transportadas a las diferentes partes de la neurona, por medio del citoesqueleto. Las dendritas tienen pequeñas protuberancias que se denominan espinas dendríticas. Es en las espinas dendríticas en donde la mayoría de los axones establecen sus conexiones. Las proteínas que son transportadas a las espinas son importantes para crear y mantener la conectividad neuronal. Estas proteínas se intercambian constantemente siendo reemplazadas, una vez que ya han realizado su función, por otras de nueva síntesis. Todas estas actividades requieren energía para seguir llevándose a cabo y, dicha energía proviene de unas factorías que se encuentran dentro de la célula llamadas mitocondrias. Las porciones finales de los axones también responden a ciertas moléculas llamada **factores de crecimiento**. Estos factores son captados y transportados al cuerpo celular donde intervienen en la expresión génica de la neurona y, por consiguiente, en la formación de nuevas proteínas. Estas proteínas le permiten a la neurona formar dendritas más largas y complejas u otros cambios dinámicos en su forma o función. Información, nutrientes y mensajeros viajan constantemente por la célula desde o hacia el cuerpo celular.



Conceptos claves de la neurona

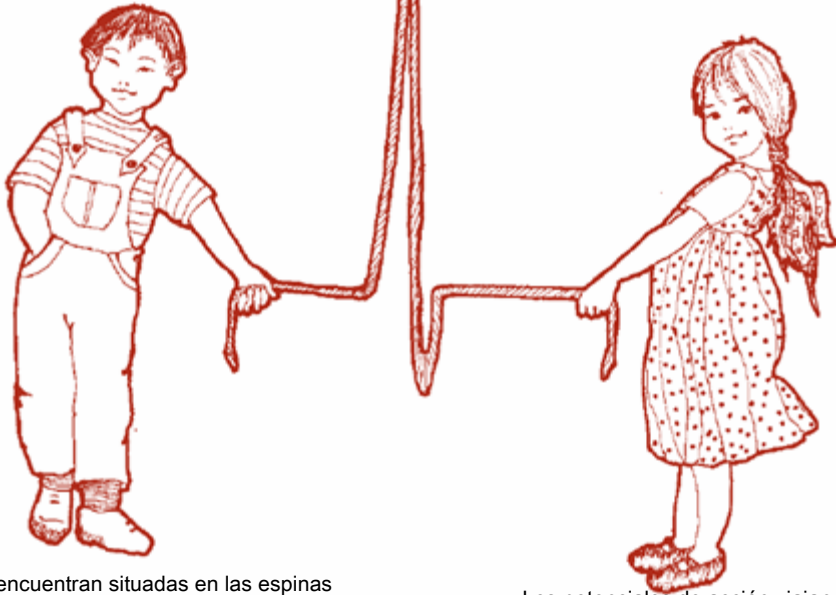
Como cualquier otra estructura, la neurona tiene que mantener unidos todos sus componentes. Las **membranas** externas de la neurona se sitúan en torno a un **citoesqueleto**, que está compuesto por paquetes de proteínas tubulares y filamentosas que se extienden y propagan de la misma manera hacia dendritas y axones. Esta estructura se asemejaría a una tienda de campaña, siendo la membrana la tela y el citoesqueleto el armazón que la sustenta. Los diferentes elementos de la neurona están en constante movimiento, reorganizándose lo que refleja la propia actividad neuronal y la de las neuronas vecinas. Las dendritas cambian de forma dando lugar a nuevas conexiones y eliminando alguna de las existentes, mientras que los axones forman nuevos terminales dependiendo de que la neurona requiera comunicarse con las que la rodean de una forma más intensa y/o precisa.



Las espinas dendríticas son las pequeñas protuberancias que emergen de las dendritas en verde. Aquí es donde se localizan las sinapsis

Recibiendo y decidiendo

En la parte receptora de la célula, las dendritas establecen contactos con los axones procedentes de otras células, cada uno de ellos separado por un minúsculo espacio de aproximadamente 20 billonésimas partes de un metro. Una dendrita puede recibir contactos de una, varias o miles de neuronas. Estos puntos en donde se establecen los contactos es lo que se conoce como **sinapsis**, término que proviene del griego y que significa "unido". La mayoría de las sinapsis en las células de la



corteza cerebral se encuentran situadas en las espinas dendríticas, que sobresalen de las dendritas como pequeños micrófonos en busca de señales. La comunicación entre las células nerviosas en estos puntos de contacto es lo que se conoce como **transmisión sináptica**, la cual implica un proceso químico que describiremos en el siguiente capítulo. Cuando una dendrita recibe uno de los mensajes químicos liberados por uno de los axones al espacio que los separa, se crean en ella corrientes eléctricas en miniatura. Estas corrientes pueden dirigirse a la célula, y son llamadas **excitatorias** o bien se mueven hacia fuera de la célula, y entonces son llamadas **inhibitorias**. Todas estas corrientes positivas y negativas se acumulan en las dendritas y se dispersan posteriormente por el cuerpo celular. Si estas corrientes no crean suficiente actividad al sumarse acaban muriendo y no ocurre nada más. Sin embargo, si estas corrientes al sumarse superan el umbral de actividad, entonces la neurona enviará un mensaje a las otras neuronas vecinas.

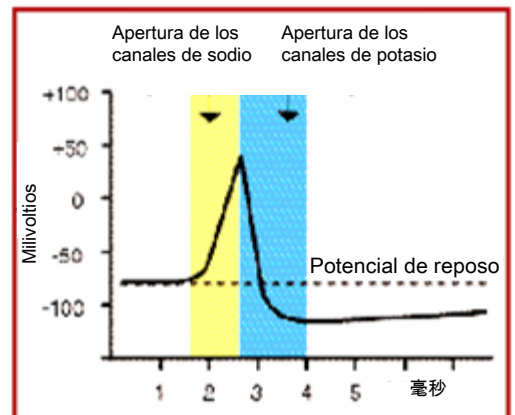
La neurona puede ser, por tanto, considerada como una calculadora en miniatura, constantemente sumando y substrayendo. Lo que la neurona suma y resta son los mensajes que recibe de otras neuronas. Algunas sinapsis son excitadoras mientras que otras son inhibitorias. En que medida estas señales constituyen la base de las sensaciones, pensamientos y movimientos depende, en gran medida, de la red neuronal en la que se encuentran.

El potencial de acción

Las neuronas para comunicarse entre ellas necesitan en primer lugar que la señal se propague a lo largo del axón. ¿Cómo lo hacen las neuronas?

La respuesta reside fundamentalmente en la gestión de la energía almacenada en forma de gradientes físicos y químicos y, en combinarlas de forma adecuada. Los axones de las neuronas transmiten pulsos eléctricos llamados **potenciales de acción**.

Los potenciales de acción viajan a lo largo del axón como una onda a lo largo de una cuerda. Esta corriente se propaga ya que a lo largo de la membrana del axón existen **canales iónicos**, que se pueden abrir y/o cerrar permitiendo el paso de iones eléctricamente cargados. Alguno de estos canales permite el paso de iones de sodio (Na⁺), mientras que otros permiten el paso de iones de potasio (K⁺). Cuando los canales se abren, los iones de Na⁺ y K⁺ pasan creando gradientes químicos y eléctricos opuestos, en el interior y exterior de la célula, en respuesta a la despolarización eléctrica de la membrana.



El potencial de acción

Cuando un potencial de acción se inicia en el cuerpo celular, los canales que se abren en primer lugar son los canales de Na^+ . Un pulso de sodio entra directamente en la célula y en cuestión de milisegundos se establece un nuevo equilibrio. En un instante, el voltaje de membrana cambia en aproximadamente 100 mV. Se transforma de un potencial negativo dentro de la membrana (aproximadamente -70mV) a uno positivo (aproximadamente +30mV). Este cambio de potencial hace que los canales de K^+ se abran, iniciando un pulso de iones de K^+ hacia el exterior de la célula, casi tan rápido como el flujo de iones de Na^+ , lo que hace que el potencial dentro de la célula vuelva nuevamente a su valor negativo original. El potencial de acción tiene una duración similar al tiempo que transcurre entre encender y apagar de manera consecutiva una bombilla. Sorprendentemente, se necesitan muy pocos iones atravesando la membrana para producir este efecto y la concentración de Na^+ y K^+ dentro del citoplasma durante un potencial de acción no varía significativamente. De todas formas, a largo plazo el equilibrio iónico dentro de la célula se mantiene gracias al trabajo de las **bombas iónicas**, que se encargan de eliminar el exceso de sodio. Este proceso ocurre de la misma manera en que una pequeña vía de agua en un bote puede ser evitada vaciando el agua que entra con un cubo, sin alterar la capacidad del mismo para mantener la presión del agua sobre la que flota evitando hundirse.

Un potencial de acción es un complejo proceso eléctrico. Las fibras nerviosas se comportan como conductores eléctricos (aunque son menos eficientes que los cables con aislamiento), por lo cual, un potencial de acción generado en un punto concreto genera otro gradiente de voltaje entre las porciones de membrana, activadas y en reposo, adyacentes a él. Por tanto, el potencial de acción se propaga como una onda de despolarización de un extremo de la fibra nerviosa a la otra.

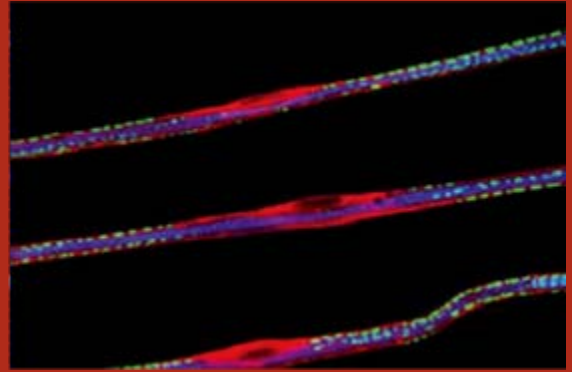
Una analogía, que nos puede ayudar a entender la conducción de los potenciales de acción, sería compararlo con el movimiento de energía a una bengala, una vez que se enciende uno de los extremos. Cuando se enciende una bengala se origina una rápida activación local que inicia la ignición (en forma de chispas), lo que sería equivalente al paso de los iones de un lado al otro de la membrana en el punto de inicio de un potencial de acción; sin embargo posteriormente la onda de chispas a lo largo de la bengala se propaga más lentamente.

Todos estos conocimientos se han adquirido en los últimos 50 años, gracias a los maravillosos experimentos realizados con neuronas y axones gigantes de algunos animales marinos. El gran tamaño de los axones permite a los científicos la inserción de pequeños electrodos, que permiten medir los cambios en el voltaje eléctrico. En la actualidad, el uso de una técnica de registro eléctrico denominada **patch-clamping** está permitiendo a los neurocientíficos el estudio del movimiento de los iones en todo tipo de neuronas, permitiendo mediciones muy precisas de estas corrientes en cerebros mucho más parecidos al nuestro.

Aislando los axones

En muchos axones, los potenciales de acción se mueven razonablemente bien, aunque no muy rápido. En otros, los potenciales de acción saltan a lo largo del axón. Esto se debe a que los axones se encuentran envueltos por una cubierta aislante de naturaleza grasa, formada por la extensión de membranas de células gliales y que se llama **cubierta de mielina**.

Investigación frontera



Las fibras nerviosas en la imagen (azul/púrpura) se encuentran rodeadas por las células de Schwann (rojo), aislándolas de la actividad eléctrica nerviosa de las fibras vecinas. Los diferentes colores se deben a la aplicación de anticuerpos asociados a distintos fluorocromos que identifican nuevos complejos proteicos. La alteración de estos complejos proteicos induce una enfermedad hereditaria que implica una pérdida de la masa muscular.

El uso de nuevas técnicas de investigación nos está permitiendo conocer la composición proteica de esta cubierta de mielina. Esta cubierta evita que las corrientes iónicas se produzcan en lugares no apropiados. Las células gliales dejan ciertos espacios sin cubrir y es aquí donde se concentran los canales iónicos de Na^+ y K^+ . Estas acumulaciones de canales iónicos funcionan como amplificadores de la señal, manteniendo el potencial de acción según va literalmente saltando y propagándose a lo largo del nervio. Este es un proceso extremadamente rápido, de hecho en neuronas mielinizadas el potencial de acción puede propagarse a una velocidad de 100 metros por segundo.

Los potenciales de acción se caracterizan por funcionar siguiendo la regla **del todo o el nada**, no cambian de tamaño o intensidad, sólo en la frecuencia con la que ocurren. Por tanto, la única forma en la que la intensidad y duración de un estímulo puede ser registrada por una célula es por la variación en la frecuencia de los potenciales de acción. Los axones más eficaces son capaces de transmitir los potenciales de acción a una frecuencia de 1000 veces por segundo.



Alan Hodgkin y Andrew Huxley ganaron el premio Nobel al descubrir los mecanismos implicados en la transmisión del impulso nervioso. Para ello utilizaron el axón gigante del calamar y realizaron sus estudios en el Laboratorio de Biología Marina de Plymouth.

