

# ***Neurofisiología***

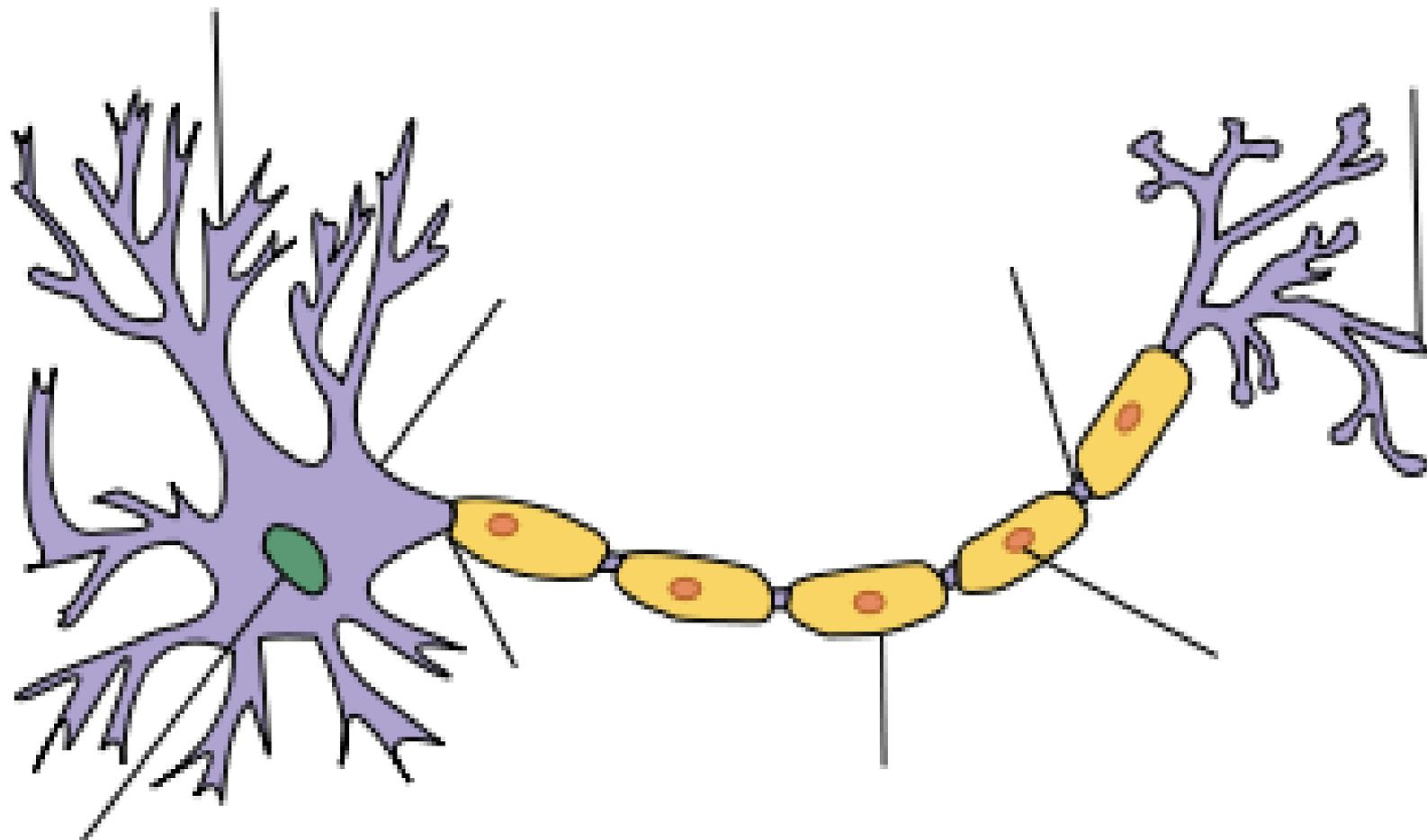
## ***Sistema autonómico***

**DOCTOR**  
**ALEJANDRO BARBA**  
**CARRAZCO**

# *LA NEUROFISIOLOGIA*

*MAESTRA: ANA ESTRADA DEL VALLE*

**La neurofisiología elemental trata de estudiar el comportamiento de neuronas o grupos de neuronas aisladas. Los hechos establecidos por la neurofisiología elemental pueden ser aprovechados por la teoría matemática de redes neuronales para construir modelos matemáticos que permitan identificar fenómenos neurofisiológicos como la memoria y el aprendizaje.**



## **ESTRUCTURA DE UNA NEURONA CLÁSICA**

**Dendrita – Soma – Axón - Núcleo  
Nodo de - Ranvier - Axón terminal –  
Célula de Schwann - Vaina de mielina**

# **Los principales hechos establecidos por la neurofisiología elemental tenidos en cuenta en la construcción de modelos de redes neuronales son:**

**Un cerebro gran cantidad de neuronas. El número de neuronas de un cerebro humano se ha estimado en más de 1011 neuronas.**

**Las neuronas consisten en un cuerpo celular, una estructura dendrítica arbórea y un axón. Las neuronas son células vivas con un metabolismo similar al encontrado en el resto de células. Así el cuerpo celular o soma contiene un núcleo, vesículas, mitocondrias y otros orgánulos. A diferencia de otras células, además posee dendritas y axón. Las dendritas forman una estructura arbórea inmensa que puede extenderse por amplias áreas de un cerebro, los axones pueden llegar a tener más de un metro de longitud.**

**Las neuronas generan potenciales eléctricos. Los potenciales eléctricos o potenciales de acción, también llamados pulsos eléctricos o chispas de voltaje, son fenómenos electrofisiológicos provocados porque las membranas celulares de las neuronas tienen propiedades activas que las hacen excitables o sensibles a potenciales eléctricos procedentes de otras neuronas. Estos potenciales eléctricos se originan usualmente en el extremo del axón y se propagan a lo largo de su longitud.**

**Los potenciales eléctricos son los mecanismos básicos para la comunicación entre neuronas. Los potenciales de acción pueden considerarse como señales eléctricas que una neurona envía a otras. Cada neurona recibe muchas señales procedentes de otras neuronas (potencial convergente) y a su vez envía señales a muchas otras (potencial emergente).**

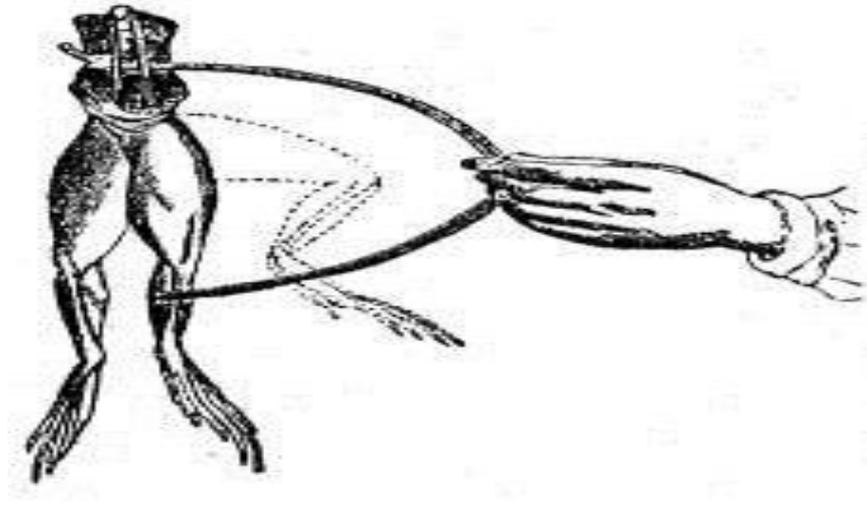
**Las neuronas están funcionalmente polarizadas. Esto es, las neuronas reciben señales eléctricas a través de sus dendritas, procesan y superponen dichas señales en el soma y envían una respuesta a otras neuronas a través de su axón.**

**La unión entre el axón de una neurona y las dendritas de otra neurona se llama sinapsis. Las sinapsis pueden ser eléctricas o químicas. Una sinapsis química está formada por un emisor presináptico y un receptor postsináptico que están separadas por un espacio sináptico. Cuando un impulso llega al final de un axón, se dispara una cadena de reacciones químicas fisiológicas en la presinapsis, que conllevan la liberación de sustancias químicas en el espacio sináptico. Las sustancias liberadas se denominan neurotransmisores. Estos se difunden pasivamente a lo largo del espacio sináptico produciendo cambios en el potencial de la membrana postsináptica.**

**El Principio de Dale, establece que una neurona es o bien excitatoria o bien inhibitoria. Es excitatoria si el potencial de la membrana postsináptica se incrementa, hecho conocido como "despolarización". Cuando una neurona se despolariza se facilita la generación de un potencial de acción en la neurona postsináptica. Si por el contrario el potencial decrece la neurona es inhibitoria. La hiperpolarización que puede llegar a sufrir una neurona inhibitoria impide la generación de potencial de acción**

# **NEUROFISIOLOGÍA FUNDAMENTOS BÁSICOS Y POTENCIALES DE ACCIÓN.**

- La neurofisiología tiene como objetivo comprender el funcionamiento del sistema nervioso, y el buen funcionamiento del sistema nervioso depende de que el flujo de información que este se encarga de transmitir, sea rápida y eficiente entre las neuronas y sus efectores.**
- La información se transmite utilizando señales eléctricas, que se propagan a lo largo de los axones de las neuronas. Esta señal eléctrica se conoce como impulso nervioso, o potencial de acción.**



**El conocimiento de estas señales eléctricas se debe al al Dr. Luigi Galvani, en el siglo XVIII, que demostró conectando unos electrodos a la médula espinal de una rana (muerta obviamente), que los tejidos animales son sensibles a la corriente eléctrica, esta corriente eléctrica depende de las propiedades eléctricas de las membranas, que juegan un papel de suma importancia en este sentido.**

**El término clave en este ámbito es el potencial de membrana, que es la diferencia de potencial electroquímico a ambos lados de una membrana que separa dos soluciones de diferente concentración de iones.**

**Cuando las neuronas no generan impulsos, se dice que presentan un potencial de membrana en reposo, y que es así si nada lo altera.**

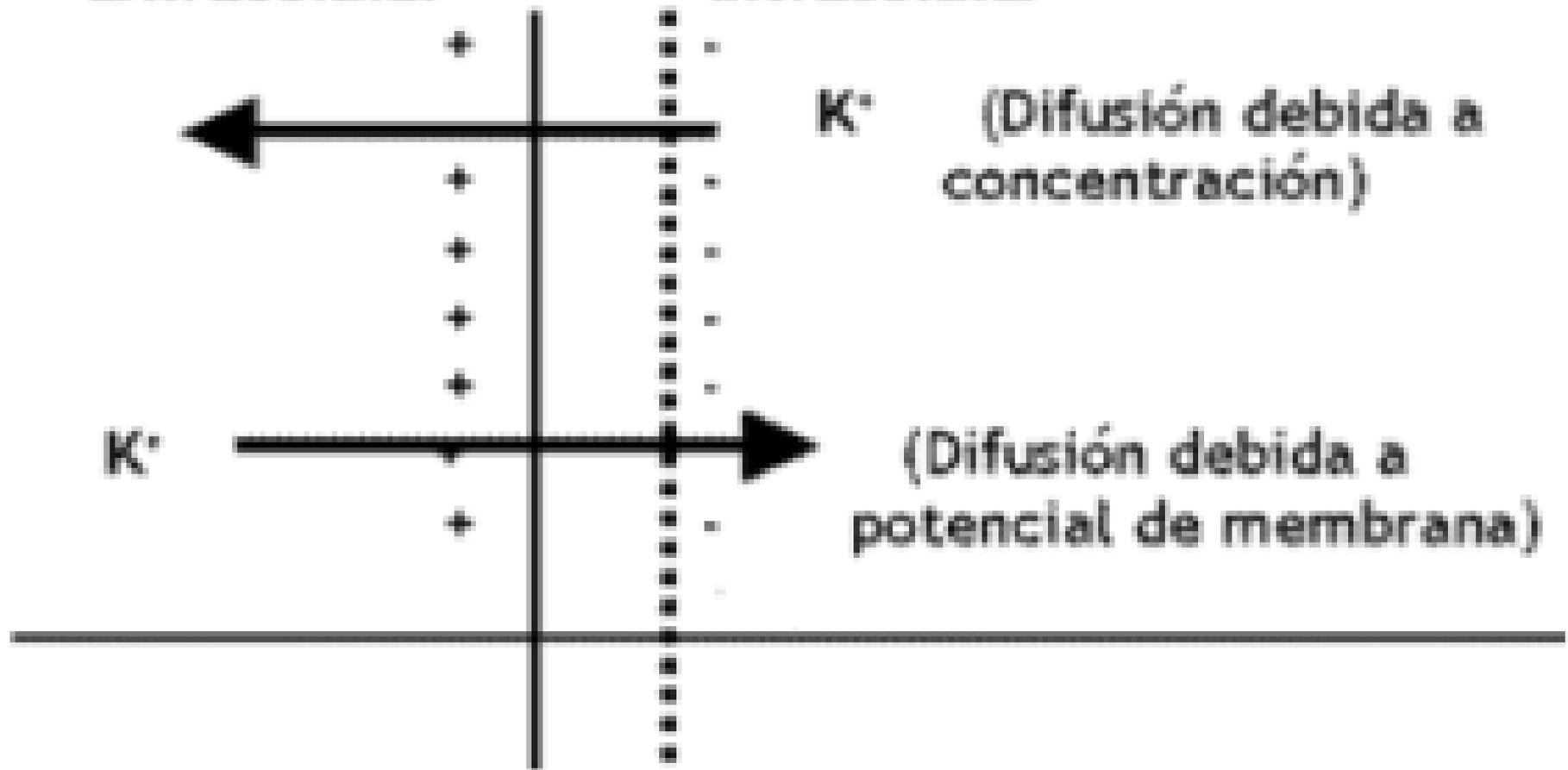
En reposo, el potencial de membrana de las neuronas es electronegativo, rondando la cifra de  $-70$  mV. Tal como decía la definición que encontramos en el párrafo anterior, los movimientos iónicos son por gradiente químico (de concentración) y eléctrico (diferencia de cargas positivas vs negativas). Y aquí comenzamos con las leyes y fórmulas que tanto nos gustan, la Ley de Ohm, que relaciona el potencial (diferencia de potencial) (V), con la conductancia (g), con la cantidad de corriente que fluirá (I) , mediante esta fórmula:  $I=gV$ .

Lo primero que podemos observar es que tanto si la conductancia, o la diferencia de potencial, es cero, no habrá movimiento iónico. Mencionamos aquí el equilibrio de Gibbs – Donnan que se produce entre los iones que pueden atravesar la membrana y los que no son capaces de hacerlo. Las composiciones en el equilibrio se ven determinadas tanto por las concentraciones de los iones como por sus cargas.

En el potencial de equilibrio, el movimiento NETO del ion es nulo, eso no quiere decir que no haya movimiento, si no que la suma de movimientos se da de forma neutra, es un equilibrio dinámico. Se produce cuando se equilibran las concentraciones con las cargas. como ejemplifica la siguiente imagen:

Extracelular

Intracelular



**Potencial de equilibrio iónico del  $K^+$**

**Y ahora entra en juego la ecuación de Nerst, que da el valor (en mV) de potencial necesario para que un ión esté en equilibrio. Esta ecuación, adaptada a 37°C, y en la forma más práctica, es la siguiente:**

$$\mathbf{V_{interior} - V_{exterior} = 61,4 \cdot \log ([Exterior] / [interior])}$$

**El potencial de membrana en reposo depende del movimiento pasivo de iones, pero como indica el equilibrio de Gibbs – Donnan, la membrana tiene unas características de permeabilidad muy diferentes para cada ion, la ecuación de Goldman tiene en cuenta la permeabilidad, a 37°C, es una mejora de la de Nerst:**

**FEM =  $V_{interior} - V_{exterior}$ . C = Concentración.  
P: Permeabilidad de la membrana al ión.**

iones	exterior	interior	E (mV)
Na <sup>+</sup>	150	15	61
K <sup>+</sup>	5	100	-81
Cl <sup>-</sup>	125	9	-70
proteínas	0	8	

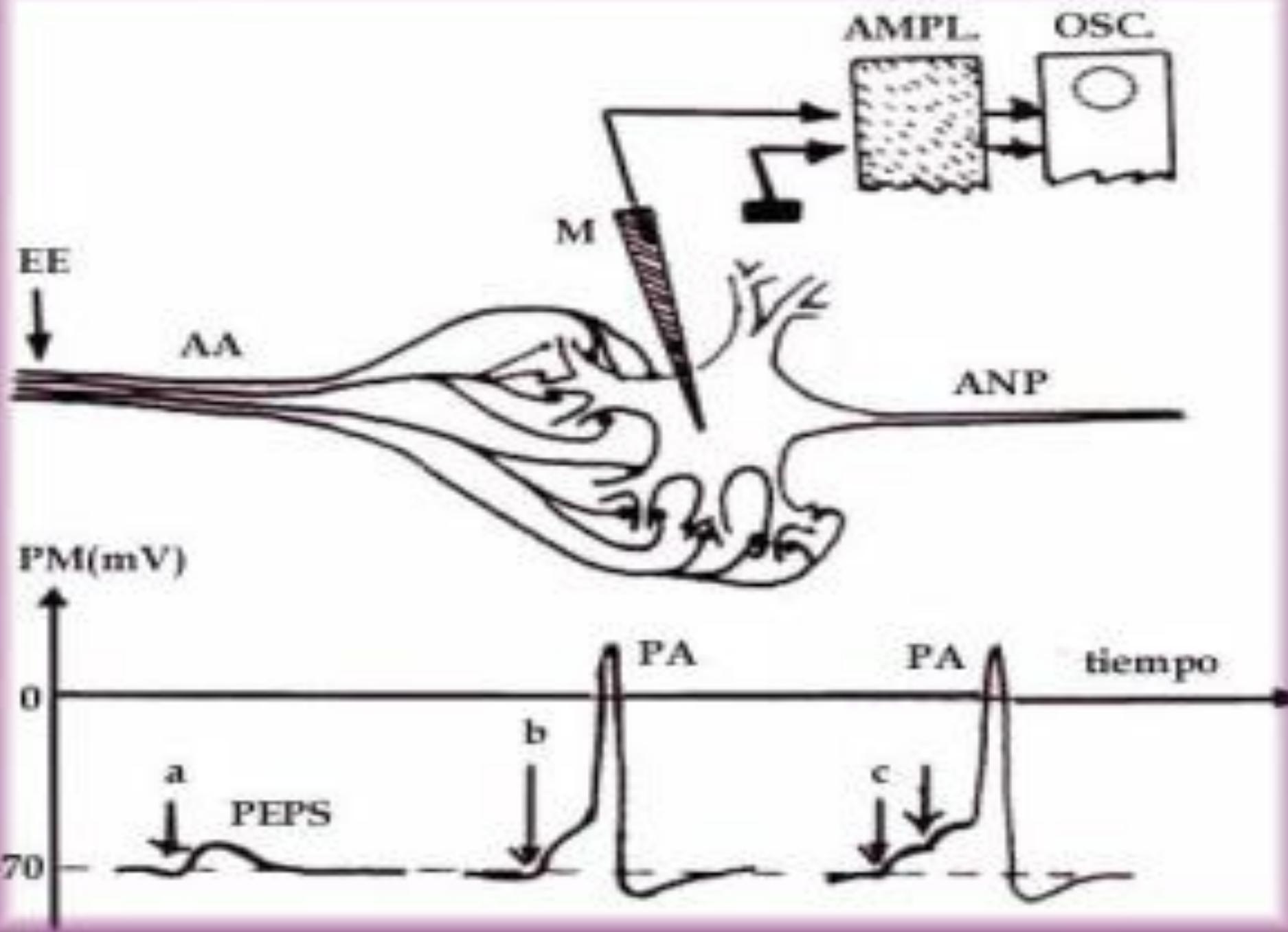
En reposo la membrana es unas 40 veces más permeable al Potasio (K<sup>+</sup>) que al Sodio (Na<sup>+</sup>) y al Cloro (Cl<sup>-</sup>).

En la realidad encontramos que la fórmula de Goldman no nos da el resultado esperado, por ejemplo, en el caso del potasio, el potencial de equilibrio que nos indica es -81mV, cuando en realidad debería ser -70mV. Encontramos mayor cantidad de K<sup>+</sup> dentro de la célula de lo que debería haber. ¿Porqué?

Porque hay mecanismos que introducen K<sup>+</sup> en el interior, como la famosa bomba de Sodio-Potasio, que introduce K<sup>+</sup> y extrae Na<sup>+</sup>, manteniendo así a estos iones ligeramente apartados de su potencial de equilibrio...¿con qué objetivo?

Si la membrana disminuye su potencial de membrana, esta se vuelve más excitable, al contrario sucede si aumenta su potencial de membrana. Se trata de hacerla más excitable.

El potencial de acción y su propagación a lo largo de las fibras nerviosas es el mecanismo que utiliza el sistema nervioso para coordinar y regular los procesos fisiológicos.



**Un potencial de acción o también llamado impulso eléctrico, es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana celular modificando su distribución de carga eléctrica.**

**Los tejidos nervioso y muscular son excitables, esta es la base para nuestro movimiento muscular. Un estímulo eléctrico debe superar un umbral, es decir, debe despolarizar lo suficiente la membrana como para poder generar un potencial de acción. Este potencial umbral varía, pero normalmente está en torno a -55 a -50 milivoltios sobre el potencial de reposo de la célula, lo que implica que la corriente de entrada de iones sodio supera la corriente de salida de iones potasio.**

**El potencial de acción puede explicarse en base a cambios en la conductancia de la membrana hacia ciertos iones, jugando un papel importante los canales iónicos, y más en este sentido, los dependientes de voltaje.**

**Propiedades de los canales de  $\text{Na}^+$  sensibles al voltaje.**

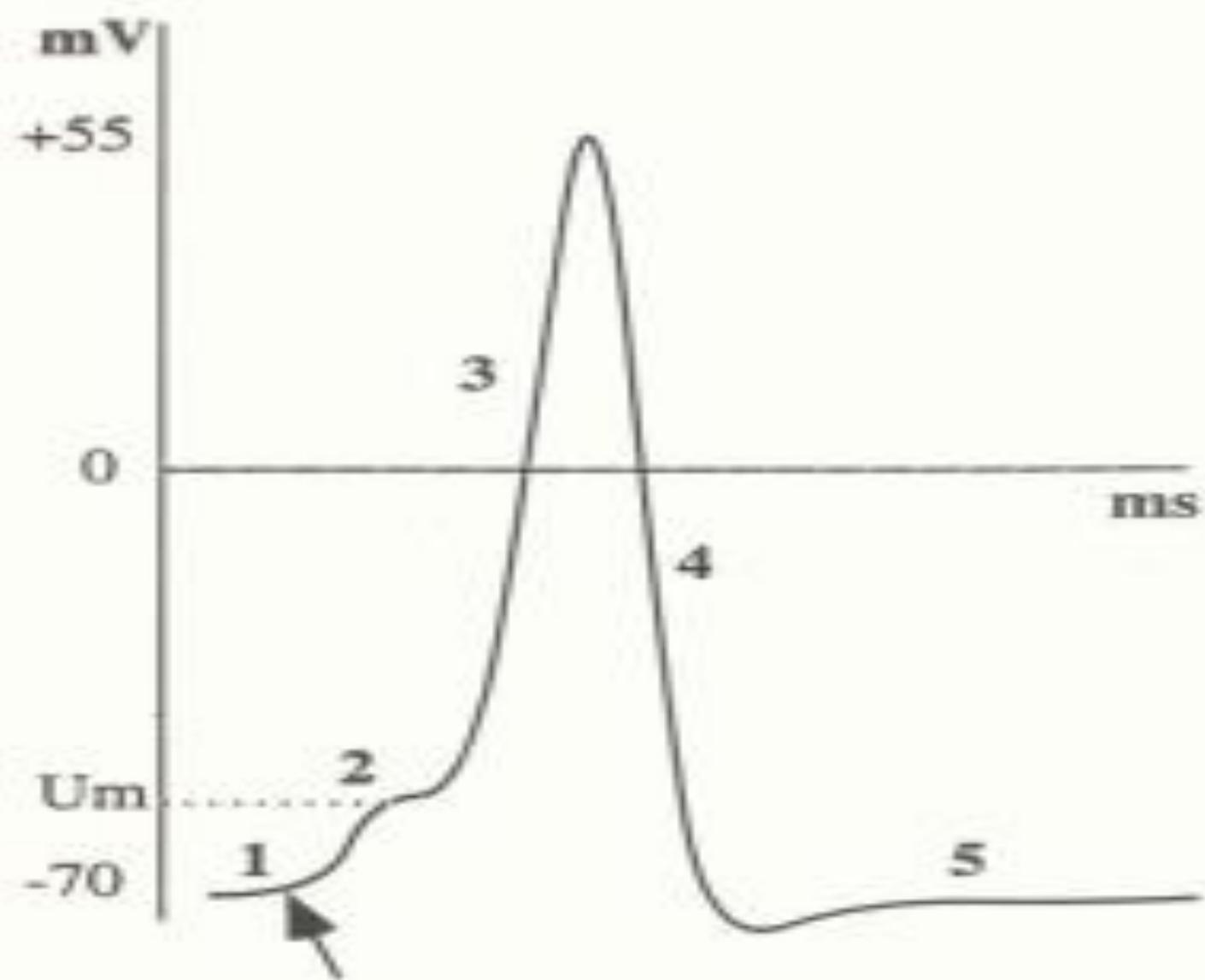
**Cuando se abre, el  $\text{Na}^+$  pasa del exterior al interior celular, lo que produce una despolarización.**

**Cuando más se despolariza la membrana, más canales se abren, mayor despolarización, ejemplo claro de retroalimentación positiva, un estímulo inicial refuerza que se siga fortaleciendo ese estímulo.**

**La membrana tiende a alcanzar el potencial de equilibrio del  $\text{Na}^+$  = 55mV.**

**Fases de un Potencial de Acción**

**Todo potencial de acción se rige por unas fases, como muestra la siguiente imagen.**

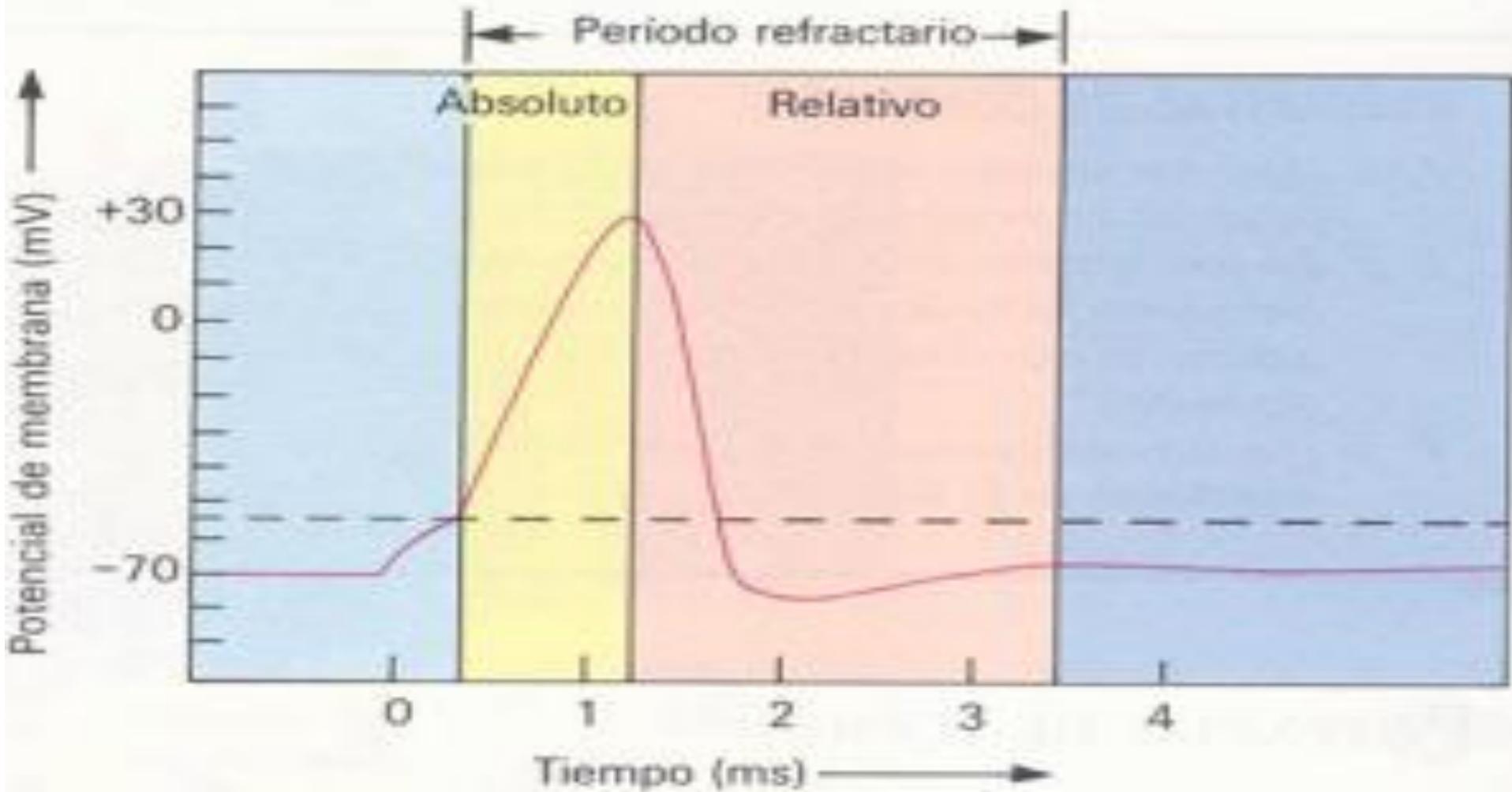


- 1- Nivel de reposo.**
- 2- Despolarización.**
- 3- Potencial invertido.**
- 4- Repolarización.**
- 5- Posthiperpolarización.**

**Obsérvese la fase refractaria número 4, donde el valor se acerca más a  $E_K$  de lo que estaba en reposo.**

**Dos periodos refractarios a destacar, que determinan la frecuencia de los potenciales de acción y hace que estos sean**

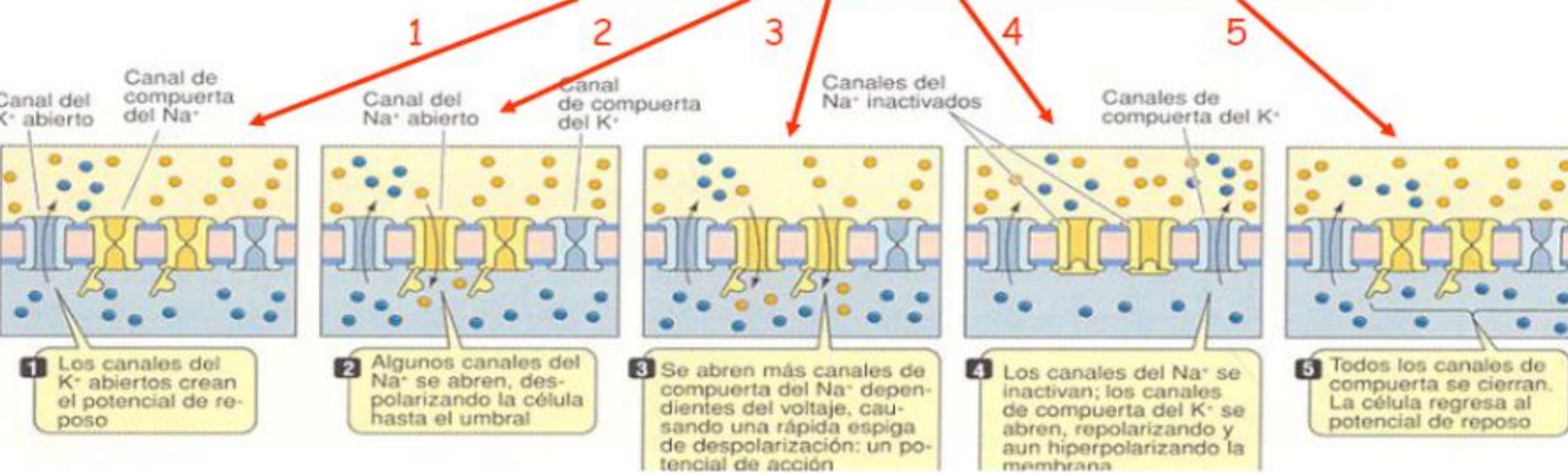
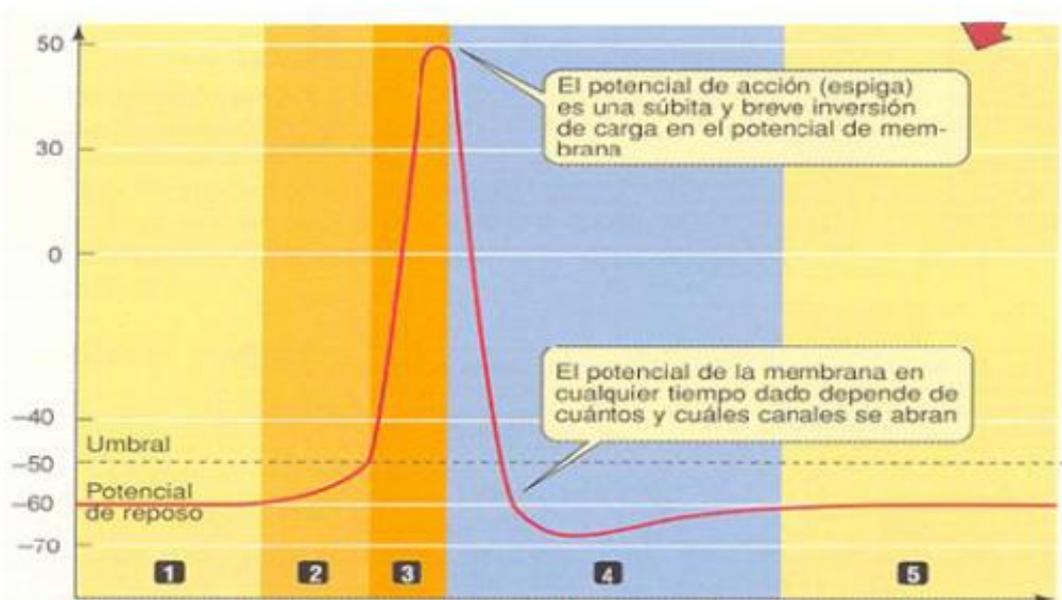
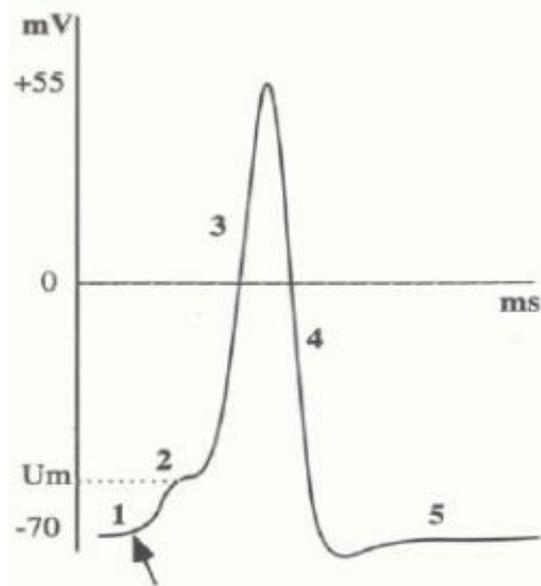
**UNIDIRECCIONALES**



**Absoluto:** Canales de  $\text{Na}^+$  abiertos o recuperando su posición de reposo. El segundo potencial de acción no puede ocurrir de ninguna manera,

**Relativo:** Canales de  $\text{K}^+$  abiertos, incluso la membrana está hiperpolarizada (-90 mV). Es más difícil producir un potencial de acción que en el reposo (-70 mV)

# FASES DEL POTENCIAL DE ACCIÓN



- 1. Célula en reposo
- 2. Alcanza el umbral
- 3. Despolarización
- 4. Repolarización, hiperpolarización
- 5. Célula en reposo

# **LEY DEL “TODO O NADA”**

**Los PA tienen amplitud constante, no hay PA ni grandes ni pequeños, o hay, o no, en una misma neurona.**

**La amplitud puede variar según la neurona.**

**Siempre van desde -70 mV hasta el potencial de equilibrio del Na<sup>+</sup>, 55 mV, punto que se tiende a alcanzar.**

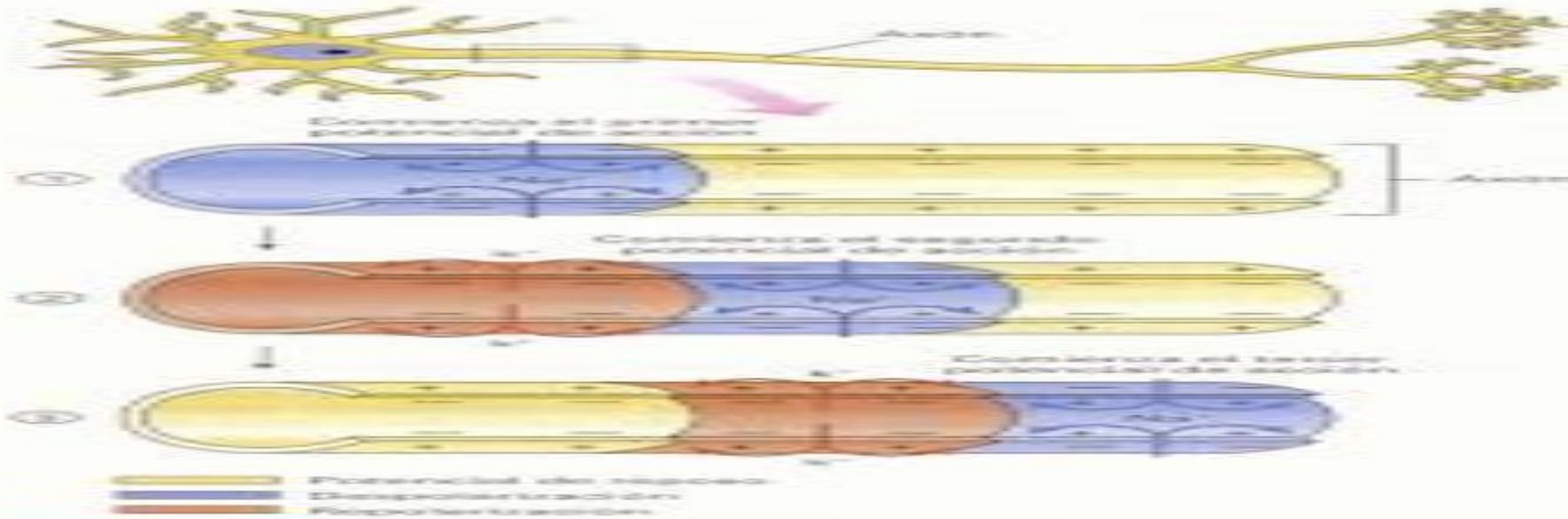
**Duración de los potenciales de acción**

**En total, incluyendo periodo refractario absoluto, aprox 1 ms.**

**Ergo, delimitado por lo anterior, frecuencia máxima de PA en una fibra es de 1000 PA/s. Determinada por la fuerza de las señales, cuanto más intensas, mayor frecuencia de PA.**

**La conducción de un Potencial de Acción**

**La estructura de las neuronas está especialmente adaptada para la comunicación de estos impulsos nerviosos, el PA se genera en el segmento inicial de la neurona, y se propaga a lo largo de esta, de extremo a extremo. Esta conducción es autopropagante.**



## CONDUCCIÓN DEL POTENCIAL DE ACCIÓN EN UN AXÓN NO MIELINICO

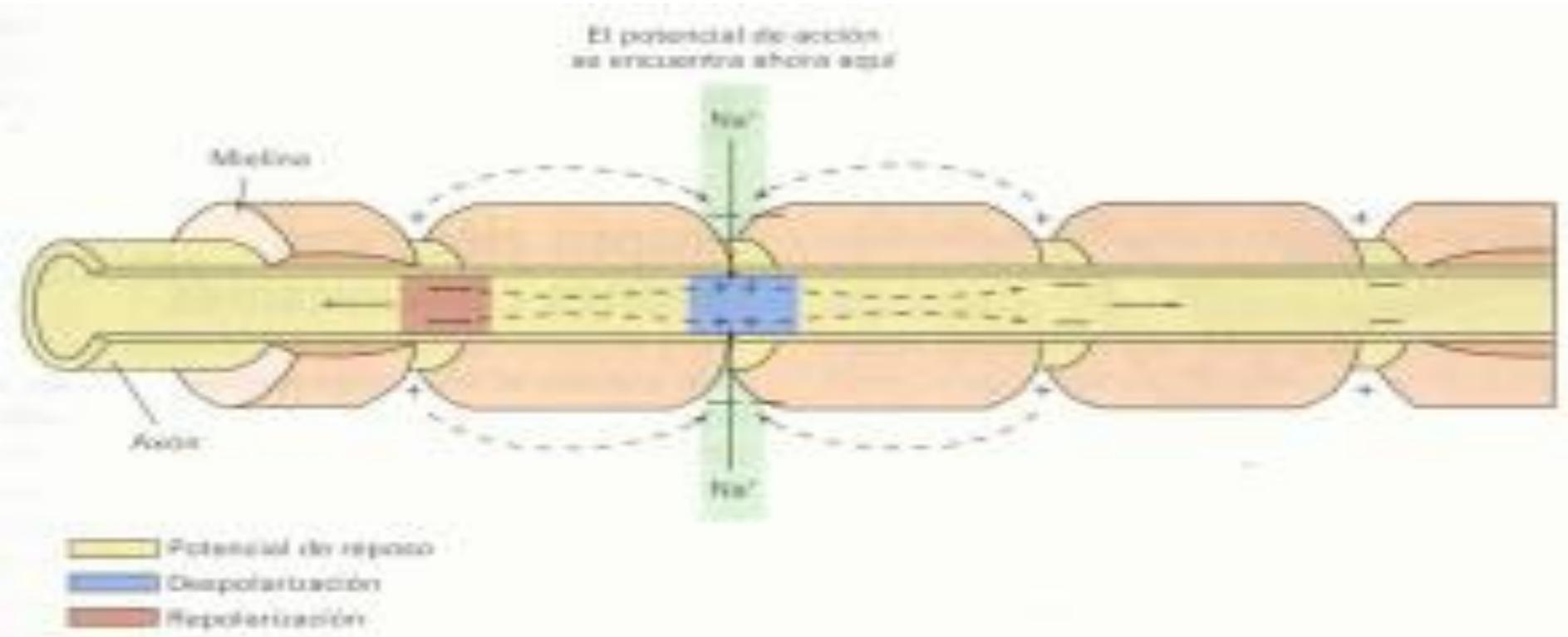
La llegada de un PA invierte la polaridad de la membrana

Las cargas de diferente signo son atraídas por las de regiones vecinas

La región siguiente se despolariza parcialmente y se produce la apertura de canales de  $\text{Na}^+$  regulados por el voltaje... y se produce un PA.

La región donde comenzó el PA se vuelve refractaria momentáneamente por lo que la propagación tiene lugar en una sola dirección.

## CONDUCCIÓN DEL PA EN UN AXÓN MIELÍNICO



La vaina de mielina constituye un buen aislante que no permite la entrada de Na<sup>+</sup> así que los PA sólo pueden producirse en los nódulos de Ranvier, conducción saltatoria, de nódulo a nódulo.

**Clasificación de las fibras nerviosas en los nervios de mamíferos  
(A y B son mielínicas) :**

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Función</b>	<b>Diámetro (μm)</b>	<b>Velocidad (m/seg)</b>	<b>Duración PA mseg</b>	<b>Periodo refractario mseg</b>
<b>A α</b>	Sensitivas y motoras del Sistema Nervioso somático. Motoneuronas.	<b>12-20</b>	<b>70-120</b>	<b>0.4-0.5</b>	<b>0.4-1</b>
<b>A β</b>	Sistema Nervios somático. (tacto-presión)	<b>5-12</b>	<b>30-70</b>	<b>0.4-0.5</b>	<b>0.4-1</b>
<b>A γ</b>	Sistema Nervios somático. (motora husos musculares)	<b>3-6</b>	<b>15-30</b>	<b>0.4-0.5</b>	<b>0.4-1</b>
<b>A δ</b>	Sistema Nervios somático. (dolor, temperatura, tacto)	<b>2-5</b>	<b>12-30</b>	<b>0.4-0.5</b>	<b>0.4-1</b>
<b>B</b>	Neuronas preganglionares del Sistema Nervioso vegetativo.	<b>&lt; 3</b>	<b>3-15</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>
<b>C raiz dorsal</b>	Sensibilidad cutánea Dolor, respuestas reflejas	<b>0.4-1.2</b>	<b>0.5-2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>C simpáticas</b>	Simpáticas postganglionares	<b>0.3-1.3</b>	<b>0.7-2.3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>



**La neurofisiología es una rama de la neurología que estudia al sistema nervioso desde el punto de vista funcional, generalmente valora el componente eléctrico. El profesional que hace estas valoraciones se llama Neurofisiólogo quien es un neurólogo con especialización en la realización de estudios funcionales. Si el paciente es un niño o un adolescente lo ideal es que el profesional tratante sea un Neurofisiólogo Pediatra.**