

PRÁCTICA No. 5

POTENCIAL DE ACCIÓN

COMPETENCIAS MÉDICAS

1, 2, 3 y 4

OBJETIVO GENERAL

Comprender el concepto de potencial de acción y la forma en que ocurre, mediante el uso de modelos educativos computacionales (web learning), con la finalidad de que el estudiante analice los procesos que lo integran y su importancia en la regulación fisiológica.

CUESTIONARIO PREVIO

- ¿Qué es y a qué se refiere el concepto de potencial de membrana?
- ¿Qué es el potencial de acción?
- ¿Cuáles son las principales diferencias entre el potencial de acción y el potencial de membrana?
- ¿Qué eventos integran el potencial de acción normal?
- ¿Qué es el periodo refractario y mencione el mecanismos que lo origina?

BASES BIOFÍSICAS

- Potencial de membrana
- Potencial de acción
- Ecuación de Nernst para el K^+ :

$$E_K = \frac{RT}{FZ_K} \ln \left(\frac{[K^+]_e}{[K^+]_i} \right)$$

- Ecuación de Goldman-Hodgkin-Katz

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \left(\frac{P_K[K^+]_e + P_{Na}[Na^+]_e + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_e} \right)$$

- Biofísica de membrana
- Canales transmembranales

INTRODUCCIÓN

La excitabilidad, definida como la capacidad de responder a un estímulo que rebasa un umbral que genera potenciales de acción. En general, esta propiedad se refleja en la célula mediante el cambio de su potencial de membrana en reposo, en virtud de cambios en la conductancia de los distintos iones que transitan la misma. Si estos cambios se generan con la suficiente intensidad y frecuencia, desencadenará el proceso de un potencial de acción.

En esta práctica utilizaremos las siguientes definiciones:

Potencial de membrana: Es la diferencia de potencial que existe entre los lados intra y extra celular de la membrana plasmática en estado de reposo. Está dado por los potenciales de difusión, permeabilidad y el gradiente eléctrico. Normalmente se encuentra en un intervalo de -70 a -80 mV, dado por el potencial de equilibrio del potasio, que es el ion más permeable en condiciones de reposo en la membrana celular; y de la acción de la bomba sodio/potasio.

Potencial de acción: Fenómeno característico de las células excitables, se trata de un cambio súbito en el potencial de membrana ocasionado por un cambio en la permeabilidad de la membrana que favorece la conductancia del sodio. Consta de los siguientes componentes:

- **Despolarización:** Cambio del potencial de membrana hacia la inversión de la permeabilidad. Propiamente la despolarización significa quitar los polos eléctricos, por lo que corresponde a un acercamiento al valor cero de potencial el cual puede ser permanente o transitorio hacia una inversión de la polaridad.
- **Hiperpolarización:** Cambio del potencial de membrana hacia valores inferiores al potencial de reposo.
- **Corriente de entrada:** Flujo de carga positiva al interior de la célula. Ejemplo: flujo de sodio al interior de la célula durante la fase ascendente del potencial de acción.
- **Corriente de salida:** Es el flujo de carga positiva hacia el exterior de la célula. Las corrientes de salida hiperpolarizan el potencial de membrana. Ejemplo: flujo de potasio hacia el exterior de la célula.
- **Potencial umbral:** Punto de no retorno del potencial de membrana para alcanzar el potencial de acción.
- **Período refractario:** Período durante el cual no es posible generar, independientemente del grado de excitación, la aparición de otro potencial de acción. Puede dividirse ya sea en absoluto, relativo y en algunas fuentes se menciona el efectivo.

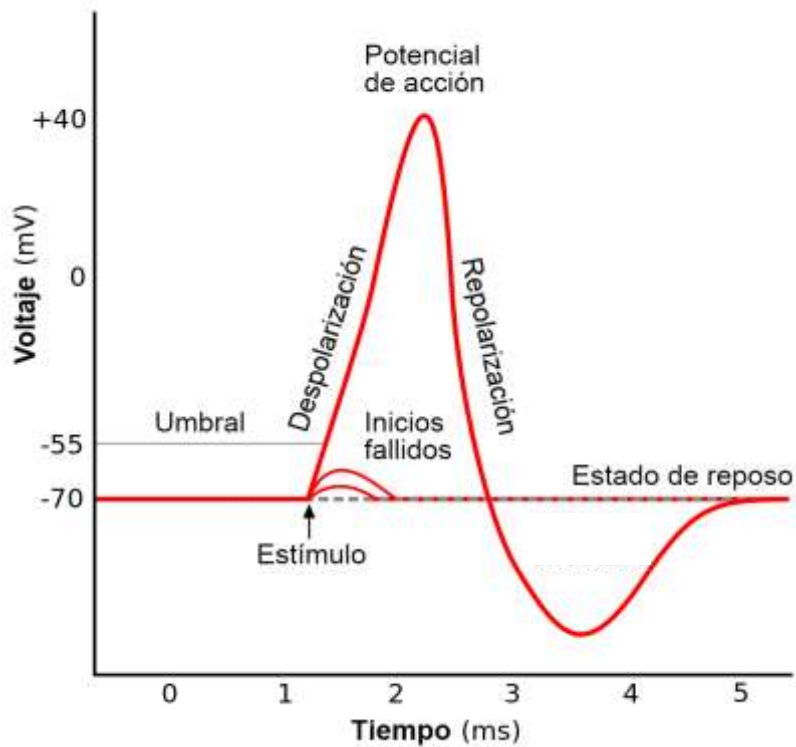


Figura N° 1. Representación esquemática del potencial de acción y sus etapas

METODOLOGÍA (Equipo, reactivo, material para la práctica y diagrama de flujo)

Material y equipo

- Computadora con acceso a internet
- Navegador de internet de su elección (Explorer, Chrome, Firefox)
- Hojas de trabajo

a) Procedimiento

Para la realización de la práctica se sugieren las siguientes actividades:

- Trabajar el simulador de Ecuación de Nernst/Goldman proporcionado por la Universidad de Arizona
- Elaboración de tabla y esquemas comparativos con las principales características del potencial de acción.

1) Simulador de Ecuación de Nernst/Goldman

⊕ Potassium [K⁺] (mM)

PK⁺

[K⁺]_o

[K⁺]_i

⊕ Sodium [Na⁺] (mM)

PNa⁺

[Na⁺]_o

[Na⁺]_i

⊖ Chloride [Cl⁻] (mM)

PCl⁻

[Cl⁻]_o

[Cl⁻]_i

Temperature

°C

HELP

ION/PERMEABILITY PRESETS: **SKELETAL MUSCLE**

Nernst | Nernst @37°C | **Goldman** | Goldman @37°C

$$E_m = \frac{-RT}{F} \ln \frac{P_{K^+}[K^+]_i + P_{Na^+}[Na^+]_i + P_{Cl^-}[Cl^-]_o}{P_{K^+}[K^+]_o + P_{Na^+}[Na^+]_o + P_{Cl^-}[Cl^-]_i} = -88.4 \text{ (mV)}$$

Graph: y-axis (mV) from -100 to 100; x-axis (sec) from 0 to 20. Lines for Na⁺ (blue), K⁺ (red), and Cl⁻ (green). Buttons: RESET, ||.

E_K	-93.7 (mV)
E_{Na}	66.6 (mV)
E_{Cl}	-88.7 (mV)

- 1) Ingrese a la siguiente liga: <http://www.nernstgoldman.physiology.arizona.edu/>
- 2) El simulador cuenta con una versión para descargar y otra en línea, haremos clic en la versión en línea para el desarrollo de la práctica. También puede acceder mediante el siguiente enlace directo al programa: <http://www.nernstgoldman.physiology.arizona.edu/launch/>

THE NERNST/GOLDMAN equation simulator

Developed in conjunction with Biomedical Communications at the The University of Arizona for the University of Arizona College of Medicine. Designed and programmed by Michael Branch under the direction of Dr. Stephen Wright.

Please see the requirements if you have trouble viewing the web version of the simulator. For a detailed description of features and help using the simulator, see the help section on using the simulator.

You can launch the web version of the simulator (you may need to turn off pop-up blockers), or download a stand-alone version that will run on your computer without an Internet connection.

LAUNCH NOW
web version

The simulator is still in development as of `##MonthAsString(DatePart("m", Now()))#`
`##DatePart("yyyy", Now())#`—additional documentation, features, and functionality are yet to come so check back for updates.

The last update to the simulator was `#smart_time#`.

You are free to copy, distribute, display, and perform this work. This website will be the home of all revised versions of the simulator. We recommend periodically downloading the latest version from this website.

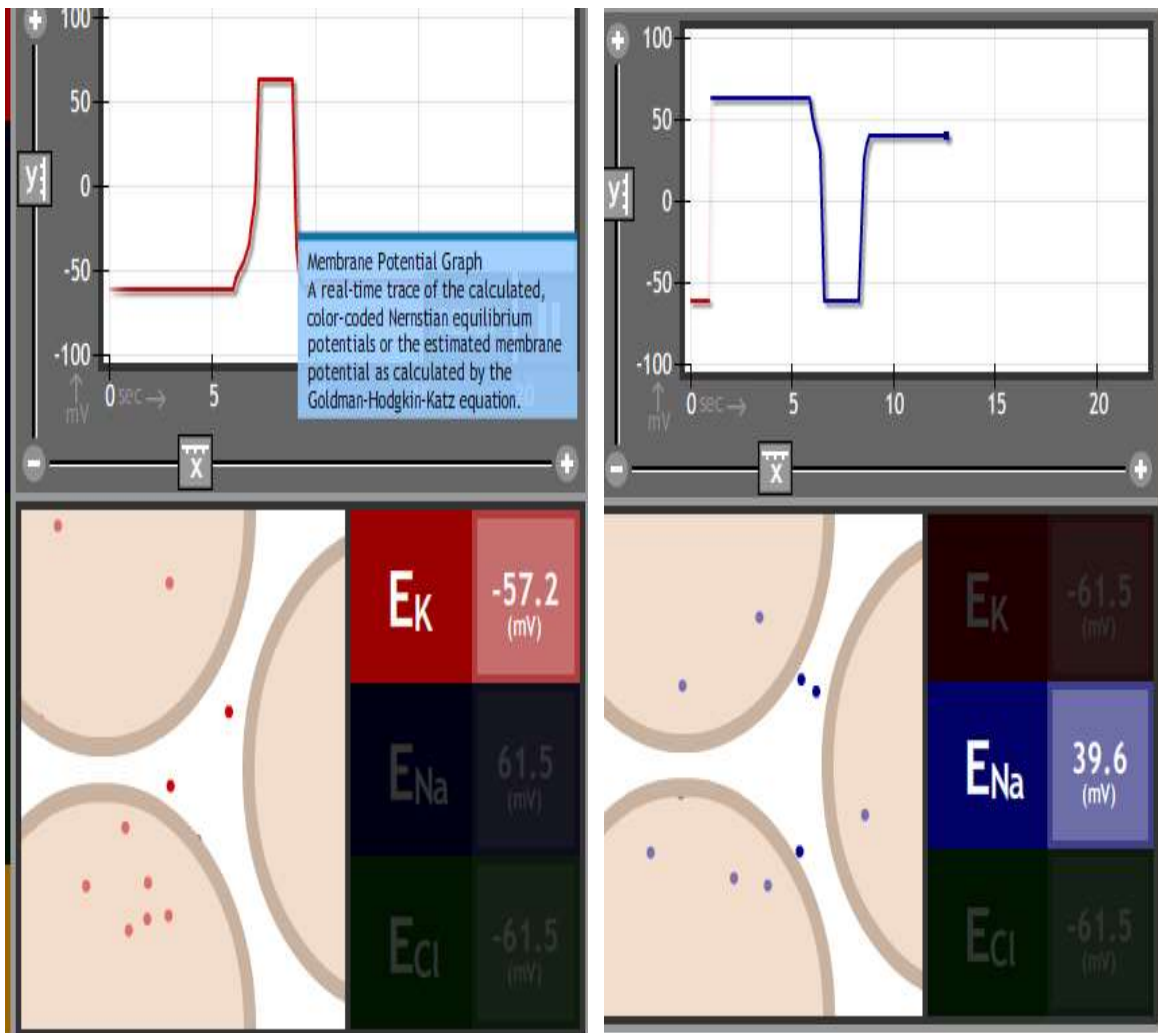
goldman.physiology.arizona.edu/launch/

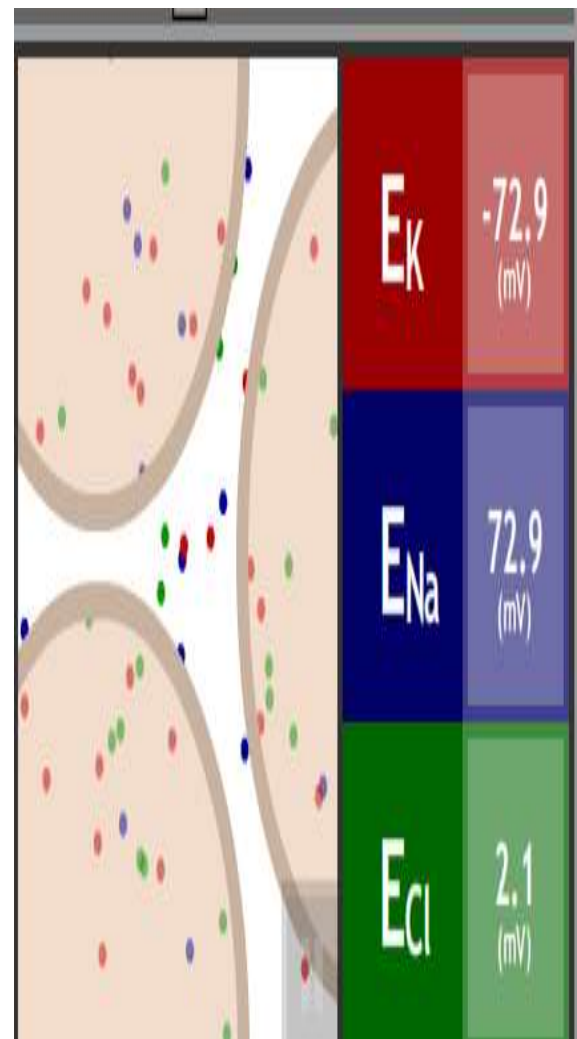
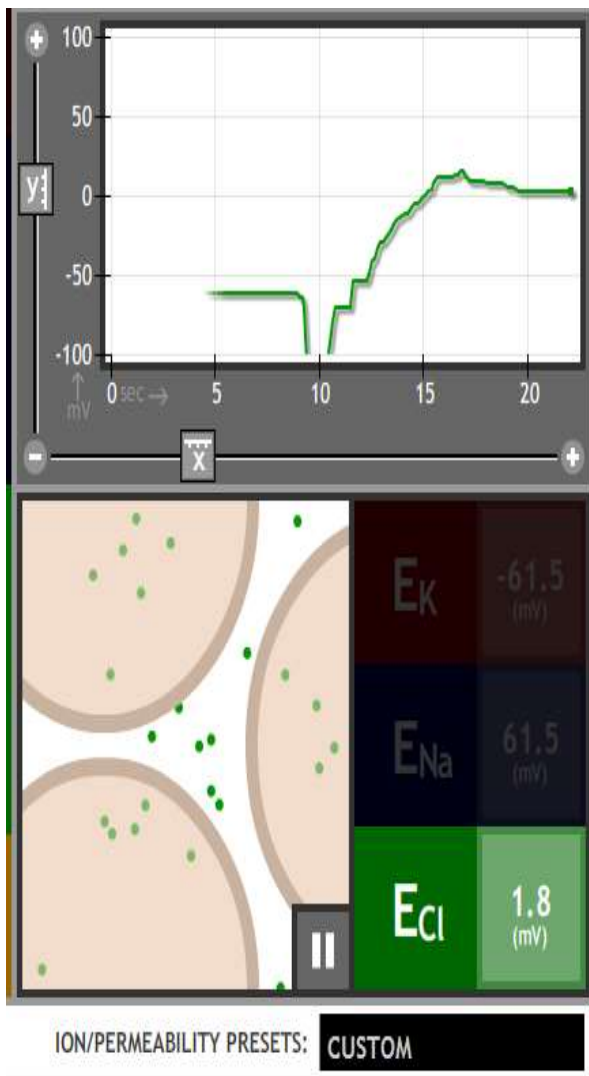
3) Acceda al programa:

- Como se puede notar, se puede empezar en un modo basal, donde del lado de la columna izquierda podemos manipular las concentraciones iónicas en el interior o exterior de la célula, que corresponden al potasio, sodio y cloro; así como a la temperatura.
- En la parte superior derecha tenemos la opción de modificar ya sea con la ecuación de

Nernst o de Goldman estandarizada a 37 °C dependiendo las condiciones que deseen seleccionar durante la práctica y el número de variables que se deseen manejar. El programa graficará cualquier cambio en las concentraciones iónicas. De ser necesario, se puede hacer uso del icono de “x” y “y” para modificar la escala.

- En la parte inferior derecha se aprecia una animación de la concentración iónica y su movimiento. El simulador dispone de la opción de replicar condiciones en distintos tipos de células para ilustrar el punto específico que el alumno o profesor desee llevar a cabo.
- 4) Modifique libremente las distintas concentraciones iónicas, temperatura y tipo de células estudiada. Registre su gráfica y discuta qué tipo eventos condicionaron la gráfica registrada.

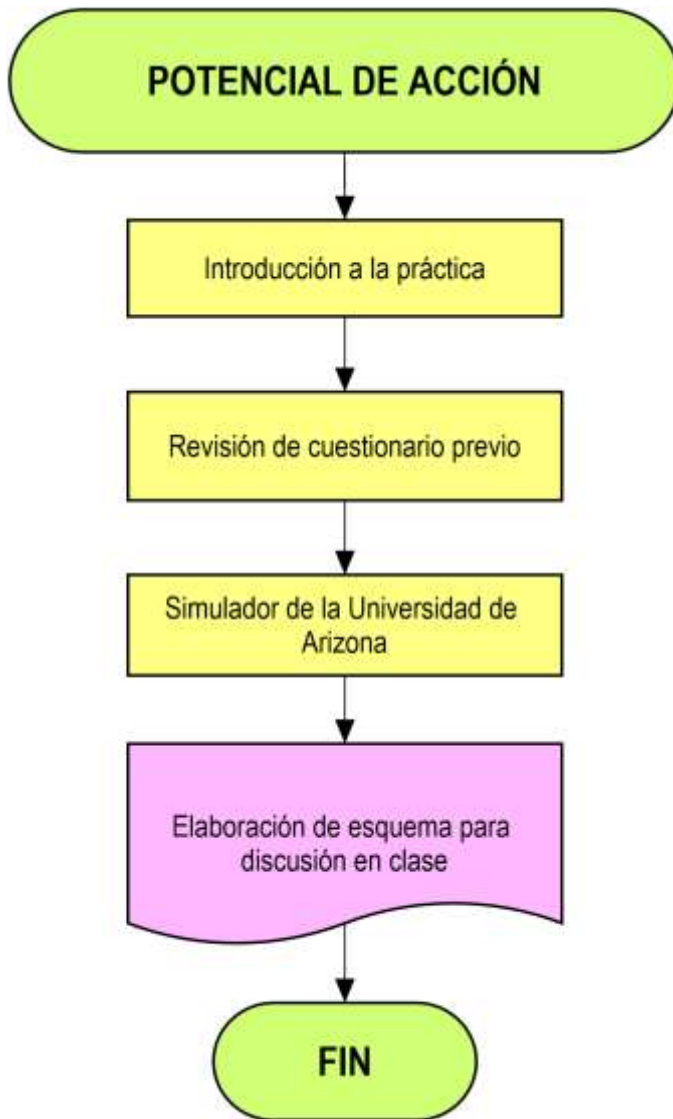




Esquema comparativo

Al terminar la revisión del tema, actividad con los simuladores, se procederá a la realización de un esquema comparativo libre (mapa conceptual, mapa mental, cuadro sinóptico, tabla) en el cual los alumnos enlistarán las principales características de un potencial de acción, las etapas que conforman al mismo, así como sus mecanismos de generación. La modalidad que se decida, ya sea a mano o computadora queda a consideración del grupo y su profesor.

Diagrama de flujo



RESULTADOS

ANEXO

- 1) Paciente femenino de 30 años que se someterá a un procedimiento quirúrgico programado. Se le explica que requerirá anestesia general para el procedimiento, por lo que tendrá que ser intubada. El anestesiólogo indica un relajante muscular llamado succinilcolina cuyo mecanismo de acción se representa en el siguiente gráfico.
 - ¿Cuál es el mecanismo de acción de la succinilcolina?
 - ¿Qué relación tendrá el mecanismo de acción de este fármaco en la sinapsis motora con los potenciales de acción? ¿Y en otro paciente en el cual se hubiera utilizado un anestésico local?
 - ¿A qué componente del potencial de acción o de la sinapsis podemos atribuir las propiedades relajantes, y las propiedades anestésicas locales de la lidocaína o de benzocaína?

- 2) Hombre de 64 años de edad que se encuentra actualmente en tratamiento por neumonía adquirida en la comunidad. Entre los requerimientos de su tratamiento se encuentra en terapia de reemplazo con electrolitos. El paciente refiere en sus palabras hormigueo, debilidad y palpitaciones. Se ordena laboratorio con los siguientes resultados

Electrolito	Paciente (mEq/L)	Rango de referencia (mEq/L)
Sodio	138	135-145
Potasio	6.4	3.5-5.0
Cloro	104	95-105

Posteriormente se ajusta el tratamiento y corrige el desequilibrio

- ¿Cuál es el efecto a nivel de la membrana del incremento de las concentraciones de potasio?
- ¿Cómo explica con sus conocimientos fisiológicos básicos la sintomatología del paciente y posibles complicaciones que podría tener de no tratarse?

REFERENCIAS

- Guyton y Hall. Tratado de Fisiología Médica, Elsevier 13^o Edición, 2016.
- Linda S. Constanzo. Fisiología. Elsevier Saunders, 5^o Edición 2009
- Nernstgoldman.physiology.arizona.edu. (2017).
- *The Nernst/Goldman Equation Simulator*. [online] Available at: <http://www.nernstgoldman.physiology.arizona.edu/> [Revisado 29 Mayo 2017].