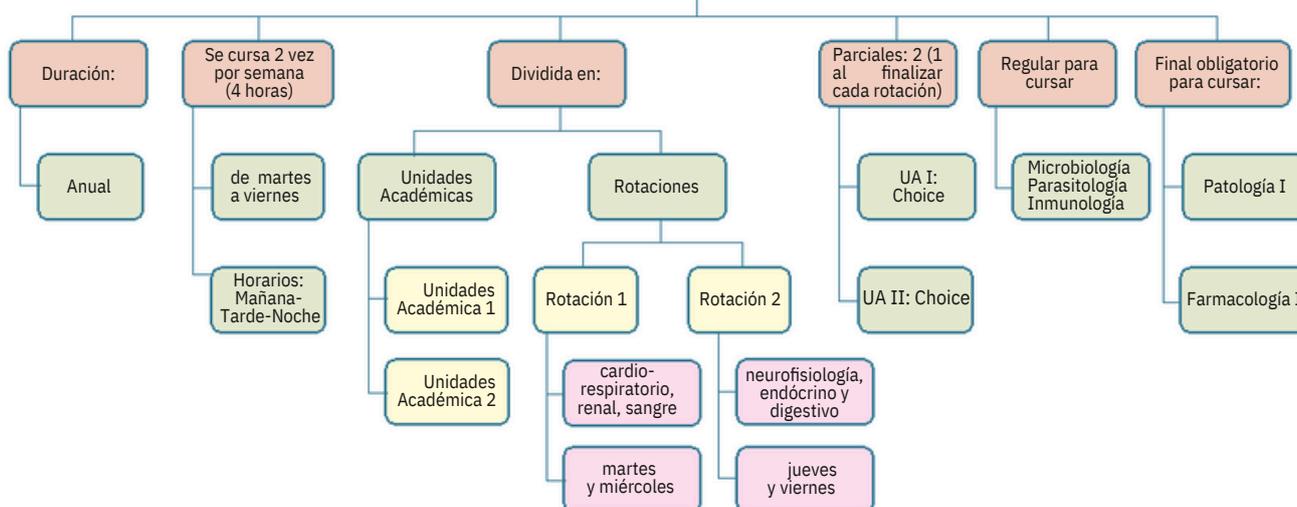


CURSO INTRODUCTORIO NEUROFISIOLOGÍA



**Bioelectricidad.
Potencial de acción.**

FISIOLOGÍA y BIOFÍSICA



FISIOLOGÍA:

- **Nombre de la Materia:** Fisiología y Biofísica
- **Código de la materia:** 026
- **Requisitos (materias correlativas anteriores):**
 - Histología, Biología Celular, Embriología y Genética **Aprobada.**
 - Anatomía **Regular.**
- **Modalidad de Cursada:** Materia Anual. **8 horas semanales de seminarios teóricos y trabajos prácticos de carácter obligatorio.** Los días y horarios varían en el 1° y 2° cuatrimestre. Las combinaciones se eligen en el mo-

mento de inscripción a la materia.

- **Sistema de evaluación y Régimen de aprobación:** **Asistir al 80%** de los Trabajos Prácticos. Aprobar dos exámenes parciales (*los ausentes o insuficientes se pueden recuperar en las fechas establecidas*). **Aprobar un examen final.** Los exámenes parciales son de opción múltiple en ambas unidades, mientras que los finales en UA2 pueden ser de opción múltiple con oral complementario para aquellos alumnos que se sacaron por debajo de 6 (*UA1 tiene la misma metodología*) o bien hay fechas que son solamente orales.

INTRODUCCIÓN A LA NEUROFISIOLOGÍA

La fisiología estudia el funcionamiento normal del cuerpo humano, y la neurofisiología intenta explicar cómo funciona el sistema nervioso; es decir de qué manera se recibe, integra y se da una respuesta apropiada a los distintos estímulos. Dentro de las funciones del SN podemos encontrar funciones motoras, sensoriales y asociativas. Estas últimas integran información para dar una respuesta, y son responsables de la cognición.

Recordemos que el tejido nervioso se conforma

de distintos tipos celulares, a saber:

- **Células nerviosas o neuronas:** son células especializadas en la recepción de señales, la integración y la generación de señales eléctricas. Forman circuitos conectándose entre sí. Morfológicamente, las dividimos en un soma que posee toda la maquinaria biosintética y el núcleo; y proyecciones del mismo que pueden ser dendritas, finas prolongaciones del soma, o una gran prolongación que es el axón.

Según el largo del axón encontramos neuronas Golgi tipo 1 y tipo 2. Las tipo 1 corresponden a neuronas con axón largo que proyecta a otras áreas del

encéfalo, las encontramos por ejemplo en corteza, medula espinal, entre otros. Las tipo 2 en cambio, son de axón corto y por lo tanto no recorren largas distancias y actúan como interneuronas conectando diferentes células dentro de un área.

● **Células de la glía:** son células muy importantes para el mantenimiento funcional y estructural de las neuronas. Los astrocitos cumplen varias funciones cruciales incluyendo la formación de la barrera hematoencefálica que limita el pasaje de sustancias desde la circulación al SNC, el aporte de glucosa a las neuronas (recuerden que las neuronas no pueden formar glucógeno, por ende requieren de un aporte constante), generan un buffer de K⁺ manteniendo el microambiente neuronal permitiendo la producción normal de señales eléctricas. Los oligodendrocitos, en SNC, y las células de Schwann en SNP, generan la vaina de mielina responsable de una rápida conducción de señales. Por último, la microglía tiene un papel de “limpieza” ya que posee capacidad fagocítica.

DIVISIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso se subdivide en un sistema nervioso central y uno periférico. La división entre ambos radica en las leptomeninges, aquellas estructuras recubiertas por meninges son centrales y las que no son periféricas. Dentro del SNC encontramos al encéfalo, el tronco del encéfalo, cerebelo, y la médula espinal. El periférico se forma por las ramas anterior y posterior de la medula espinal que dará lugar a los diferentes nervios motores, sensoriales, autonómicos y mixtos. El SNP se subdivide en un componente motor somático y visceral (*autónomo*) y otro componente sensorial. Recordemos que la porción anterior de la medula espinal (*asta anterior y raíz anterior*) es motora, y por la raíz anterior salen fibras que se dirigen a los músculos (*son fibras eferentes*). En cambio la posterior recibe información sensorial desde la periferia (*información aferente*).

En la **figura 1** se resume muy compactadamente las funciones de las estructuras del SNC. A lo largo de la cursada se irá desarrollando cada una de estas funciones, pero para lograr entenderlas es crucial comprender como se generan las señales eléctricas en las neuronas y como estas contactan entre sí para comunicarse.

FIGURA 1

PARTES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL Y SUS FUNCIONES



INTRODUCCIÓN A LA BIOELECTRICIDAD Y SEÑALES ELÉCTRICAS

Las neuronas, al igual que las células musculares (*esqueléticas, lisas y cardíacas*), son células excitables. ¿Qué significa que sean excitables? Corresponde a la capacidad de la membrana de variar su potencial de membrana para generar una señal eléctrica. Entonces, para comprender la generación de señales es necesario comenzar por el potencial de membrana.

Todas las neuronas presentan una membrana cargada eléctricamente, que consiste en una nube de aniones y cationes distribuidos sobre la superficie interna y externa de la membrana respectivamente. Durante el reposo (*sin señales eléctricas*), la neurona tiene un exceso de cargas negativas en la parte interna y un exceso de cargas positivas en la parte externa. Esta distribución se mantiene porque la bicapa lipídica bloquea la difusión de los iones. La separación de las cargas da lugar a una diferencia del potencial eléctrico, o voltaje, a través de la membrana conocida como **potencial de membrana (Vm)**. Tanto en reposo como en los distintos estados de activación neuronal, e indica el trabajo o la energía que se requiere para transportar una carga -ion, en este caso- de un lado a otro de la membrana celular.

El Vm se define como:

$$V_m = V_i - V_e$$

donde **V_i** es el **potencial en la parte interna** y **V_e** el **potencial en la parte externa**.

El potencial de membrana en un célula en reposo (V_{mr}) oscila entre -60 o -70 mV, considerando la superficie intracelular respecto a la extracelular (*que por convención es cero*).

Ahora, **¿Cómo se origina o mantiene ese potencial a través de la membrana?**

La diferencia de potencial eléctrico entre el interior y el exterior de la membrana de una célula excitable depende nada más ni nada menos que de la **asimetría iónica** y de la **permeabilidad selectiva** de la membrana; sin ella, los gradientes se dispararían, hasta alcanzar la situación de equilibrio para cada ion.

La **permeabilidad de la membrana** está dada por la presencia de canales iónicos. Estos canales son selectivos para un ion y permiten la generación de corrientes a través de la misma que varían el potencial de membrana alejándolo del reposo. Cada vez que haya un flujo neto de cationes o aniones hacia dentro o fuera se alterara la distribución de las cargas. Si el interior se hace menos negativo se llama despolarización y de lo contrario si se hace más negativo, *hiperpolarización*. Existen dos clases de canales: pasivos o de reposo (*siempre abiertos, responsables del V_{mr}*) o regulados (*por ligandos, voltaje o tensión de la membrana*). Estos últimos se encuentran cerrados en el reposo y se activan frente a las diferentes señales. De esta forma, el V_{mr} estará dado por los canales que se encuentren abiertos durante el reposo, sean activos o pasivos.

Hay que tener en cuenta que la membrana celular no posee la misma permeabilidad para todos los iones; por ejemplo, la membrana de las células gliales es solo permeable a un ión, el potasio, mientras que las de las neuronas son permeables de forma diferencial a 3 iones y vemos que:

$$PK^+ : PNa^+ : PCl^- = 1.0 : 0.04 : 0.45$$

Siendo el potasio el ion más permeable, y por ende el que más fácilmente atraviesa la membrana y el sodio el menos permeable. El calcio tiene una permeabilidad tan baja en el reposo que se considera despreciable.

En cuanto a la **asimetría iónica**, no hay ningún ion que este distribuido de igual forma a un lado y otro de la membrana. De los 4 iones más abundantes, el Na^+ y el Cl^- son los más concentrados afuera de la célula mientras que el K^+ y los aniones

orgánicos (*aminoácidos y proteínas- no difusibles*) se concentran dentro de ella.

Se genera entonces un **gradiente de concentración**. Dicho de otro modo, hay una fuerza química que impulsa el movimiento de iones por la membrana.

Veamos lo que sucede en las células de la glía (*astrocito*) que es permeable solo al potasio. Como toda célula, la célula glial tiene una gran concentración de K^+ y aniones orgánicos dentro de la célula y Na^+ y Cl^- . Como los iones K^+ están más concentrados dentro de la célula, tenderán a salir a través de los canales para que la concentración a un lado y otro de la membrana se iguale (*por gradiente químico*). Como resultado la parte externa acumula cargas + y la interna cargas - (*falta de k^+ y aniones orgánicos*). Como las cargas opuestas se atraen, las cargas + externas y las cargas - internas se reúnen localmente a cada lado de la membrana. Por lo tanto el movimiento de un ion se va a producir por una fuerza de arrastre química, dada por la diferencia de concentración extra e intracelular, y una fuerza de arrastre eléctrica que depende de la diferencia de potencial a través de la membrana. Quiere decir que los iones se moverán dependiendo de su **gradiente electroquímico**.

Una vez que la difusión del K^+ a alcanzado cierto punto, se desarrolla un potencial donde el arrastre eléctrico que lleva a al K^+ hacia adentro es igual al arrastre químico que genera la salida de K^+ (**Figura 2**). Quiere decir que el movimiento hacia afuera de potasio es igual al movimiento hacia adentro. Este potencial recibe el nombre de **potencial de equilibrio del K^+ (E_K)**, en donde el flujo neto es cero.

El potencial de equilibrio para un ion X puede calcularse mediante una ecuación derivada en 1888 de los principios básicos de la termodinámica por el alemán Walter Nernst.

FIGURA 2

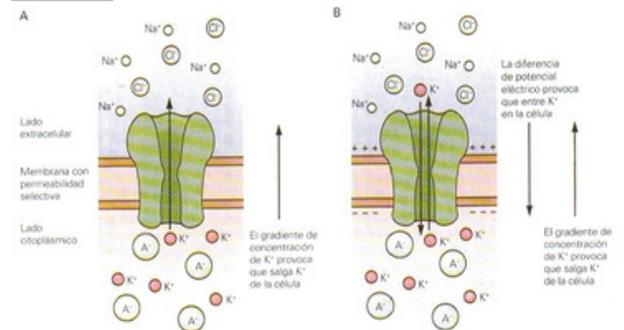
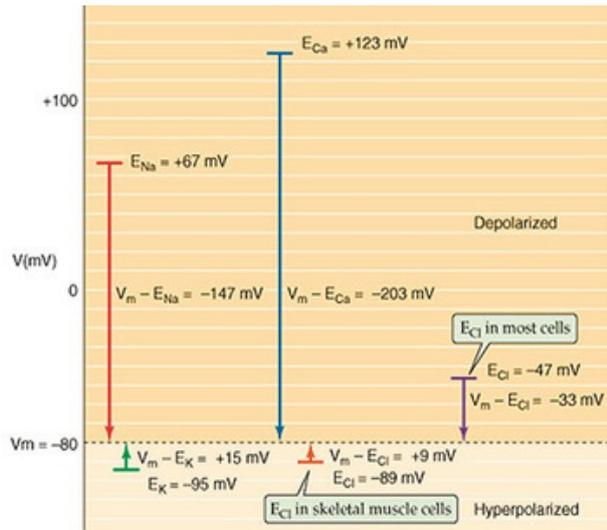


FIGURA 3



La **ecuación de Nernst** describe la relación entre el potencial de membrana y las concentraciones de potasio u otro ion; permite predecir el voltaje que alcanzara la membrana (*permeable a un solo ion*) cuando las concentraciones dentro y fuera sean diferentes; corresponde entonces al valor de membrana donde el ion estará en equilibrio. Se calcula teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$E_x = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X]_o}{[X]_i} \quad \text{Nernst Equation}$$

en la que **R** es la constante de los gases, **T** es la temperatura (en °Kelvin), **z** la valencia del ion, y **F** la constante de Faraday.

Una primera consecuencia de esta ecuación es, entonces, que E_{ion} se refiere al valor del potencial de membrana (V_m) en el cual el **flujo neto de ese ion a través de la membrana es cero**, es decir, cuando el sistema está en equilibrio. Dicho de otro modo, es el potencial eléctrico necesario para contrarrestar el gradiente de concentración de ese ion.

Se puede calcular, conociendo las concentraciones, el potencial de Nernst para cada ion.

- $E_{K^+} = -75 \text{ mV}$
- $E_{Na^+} = +55 \text{ mV}$
- $E_{Cl^-} = -60 \text{ mV}$
- $E_{Ca^{++}} = +120 \text{ mV}$

Si el gradiente de concentración no es equilibrado exactamente por el potencial eléctrico, los iones entrarán o saldrán y originan una corriente a través de

la membrana, despolarizando o hiperpolarizando a la misma.

En el caso del K^+ ;

- Si la célula se despolariza el V_m se aleja del E_K , originándose entonces una $I_{K \text{ out}}$, para que el interior se haga más negativo, hasta alcanzar una vez más el valor de equilibrio E_K .
- Si se inyecta en el intracelular un anión no permeable, el V_m se vuelve más negativo (*hiperpolariza*), siendo $V_m > E_K$. Entonces, el efecto del potencial eléctrico atraerá al potasio hacia adentro de la célula originándose una corriente entrante de K^+ ($I_{K \text{ in}}$) hasta alcanzar nuevamente el E_K .

Así, la diferencia entre E_{ion} y V_m , que recibe el nombre de **fuerza impulsora**, es la que determina cómo se mueven los iones a través de la membrana (*hacia adentro, hacia afuera o en ninguna dirección*), y con qué magnitud. La figura 3 detalla la fuerza impulsora para los principales iones que atraviesan la membrana celular.

En una célula permeable solo al K^+ , el V_m estará determinado por E_K dado que es el único ion que puede atravesar la membrana. Por eso las células gliales tienen un voltaje de membrana en reposo similar al potencial de equilibrio del K^+ (-75 mV).

Si tenemos en cuenta la membrana neuronal (*vs célula de la glía*) vemos que la permeabilidad no es solo para el potasio, sino que el sodio y el cloro también pueden atravesar la membrana pero con una permeabilidad menor en comparación con el K^+ .

Tomando el caso del **sodio**, los gradientes de concentración y eléctrico transmembrana se dirigen hacia el interior. Es decir, al estar el Na^+ más concentrado afuera, por su gradiente químico tiende a entrar, y por su carga + también tiende a entrar para neutralizar el interior negativo. La entrada de Na^+ genera un aumento del V_m , se despolariza. Sin embargo, como la permeabilidad es baja, entra relativamente poco sodio a la célula en reposo, y el V_m no se acerca al punto de equilibrio para el Na^+ ($+55 \text{ mV}$). Hay que tener en cuenta que la magnitud del flujo de iones a través de la membrana depende del gradiente electroquímico y la conductancia:

$$\text{Flujo de iones} = (\text{fuerza de arrastre químico} + \text{fuerza de arrastre eléctrica}) \times \text{conductancia}$$

Una célula en reposo tiene pocos canales de Na^+

abiertos, por ende la conductancia es baja; por lo cual pese a las grandes fuerzas de arrastre electroquímico hacia adentro la entrada de Na⁺ es escasa. Lo opuesto ocurre con el K⁺; la conductancia es altísima, por lo cual la pequeña fuerza de arrastre hacia afuera se traduce en un flujo suficiente de K⁺ hacia afuera.

En estas condiciones el sistema alcanza un **estado estacionario en el que hay flujo neto = a cero**. De esta forma, se alcanza un nuevo V_m que es de aproximadamente -60 mV en donde las corrientes de Na⁺ están equilibradas con las corrientes de K⁺. No es, sin embargo, un estado de equilibrio, ya que a medida que entra sodio y sale potasio, las concentraciones internas se van modificando. Al tratarse de un estado estacionario, se requiere un gasto de energía para mantener constantes las concentraciones (*y por lo tanto, los gradientes*) a largo plazo, requisito para que el V_m se mantenga constante. Ese trabajo lo realiza la **bomba Na/KATPasa**, que, usando la energía proveniente de la hidrólisis de ATP, transporta tres iones de sodio hacia fuera, por cada dos iones de potasio que lleva hacia el interior.

Cabe aclarar, aunque ya esté implícito, que **la bomba no genera el V_m**. En cambio, lo que genera directamente el V_m es la misma energía potencial contenida en los gradientes de concentración de los iones. Las bombas y otros transportadores simplemente proveen energía para mantener esos gradientes.

En una célula en reposo, el flujo constante de Na⁺ hacia adentro se equilibra con el flujo constante de K⁺ hacia afuera, de forma que el potencial de reposo también se mantiene constante. El V_m no es igual ni al E_{Na⁺} ni al E_{K⁺}, pero se encuentra entre ambos.

Cuándo el V_m está determinado por la influencia de más de un ion, la influencia de cada uno de ellos sobre el voltaje estará dado por las concentraciones y por la permeabilidad de cada uno de los iones.

A partir de todo esto, surgió la ecuación de **Goldman-Hodgkin-Katz**, que tiene en cuenta las concentraciones y las permeabilidades de los distintos iones. Permite así predecir el V_m en reposo de una membrana permeable a más de un ion.

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_e + P_{Na}[Na^+]_e + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_e}$$

Ecuación de Goldman

Esta ecuación solo se aplica si el V_m está en reposo, y expresa que cuanto mayor es la concentración de un ion particular, y cuanto mayor es la permeabilidad de la membrana para ella, tanto mayor es su importancia en la determinación del V_m. Por ende, el potasio al ser el ion más permeable, es el que más determina el V_m y por eso el V_m es similar al E_{K⁺}.

Cuándo aparecen señales eléctricas estas generan cambios en la permeabilidad llevando a cambios en el flujo de iones que generan despolarizaciones o hiperpolarizaciones. Estas señales eléctricas pueden ser generadas por la membrana sin la intervención directa del metabolismo, por cambios selectivos en las permeabilidades iónicas, permitiendo el flujo de iones a favor de su gradiente electroquímico. Hoy se sabe que la energía metabólica se gasta únicamente para mantener el estado de reposo y que, durante las fases de despolarización y repolarización del potencial de acción, los iones se mueven a favor de su gradiente. La clave, entonces, para el control del potencial de membrana se halla en los gradientes químicos y potenciales eléctricos actuando sobre ciertos iones, y la permeabilidad selectiva de la membrana.

SEÑALES ELECTRICAS

Algunas células, como las neuronas y las células musculares, pueden considerarse excitables, dado que, si su potencial de membrana es llevado a un valor que sobrepasa el llamado umbral, se genera un impulso eléctrico, transitorio y regenerativo, en que el V_m asciende rápidamente a un valor que es aproximadamente 100 mV más positivo, en comparación con el potencial de reposo. Dicho impulso se denomina **potencial de acción**, y puede propagarse grandes distancias a lo largo de nervios o fibras musculares.

El PA cumple con las siguientes características que iremos desarrollando:

- ▶ **Estereotipado, tiene la misma forma siempre.**
- ▶ **Todo o nada**, una vez superado el umbral se desencadena un PA con la misma amplitud independientemente de por cuanto fue superado el umbral.
- ▶ Posee un potencial **umbral** que es superado, se encuentra entre 15 a 20 mV por encima del reposo y es el valor donde se activan los canales voltajes dependientes.

- ▶ Se **propaga** a lo largo del axón (*autoregenera*)
- ▶ Es **activo**.
- ▶ Posee **periodos refractarios** que son periodos de tiempo durante el cual la membrana no genera nuevos potenciales de acción.

La **figura 4** ilustra los componentes de un potencial de acción tipo. Si un estímulo despolarizante logra llevar el potencial de membrana a un valor más positivo que el potencial umbral, se desencadenará un potencial de acción. La fase inicial positiva, **despolarizante**, representada en color violeta, consiste en un rápido aumento del V_m , que pasa del valor de reposo, a un máximo valor positivo, que normalmente oscila entre los +10 y +40 mV. Este rápido cambio de voltaje se sigue luego de una fase **repolarizante** o negativa, mucho más lenta. La parte del potencial de acción que sobrepasa los 0 mV a veces se denomina overshoot. La repolarización puede concluir una vez que el V_m vuelve al valor de reposo, o puede continuar un poco más, llevando a un voltaje más negativo que el V_m de reposo, antes de volver a ese V_m inicial. Esta fase (*undershoot*), representada por la curva negra, durante la cual el potencial de membrana mantiene valores más negativos a los del reposo se denomina **hiperpolarización**.

Veamos cómo se genera el potencial de acción; cuando el umbral es superado, se produce la activación simultánea de canales de potasio y de sodio voltaje dependiente. Dado que la cinética de activación (*apertura del canal*) es diferente en ambos tipos de canales las corrientes se producen secuencialmente permitiendo que se genere un cambio en el potencial de membrana. Los canales de sodio se abren más rápido que los de potasio, por lo cual el Na^+ ingresa a favor de su gradiente despolarizando la membrana (*fase de ascenso*); cuando los canales de K^+ comienzan a abrirse se genera una corriente opuesta a la de sodio que retrasa al principio la despolarización y luego

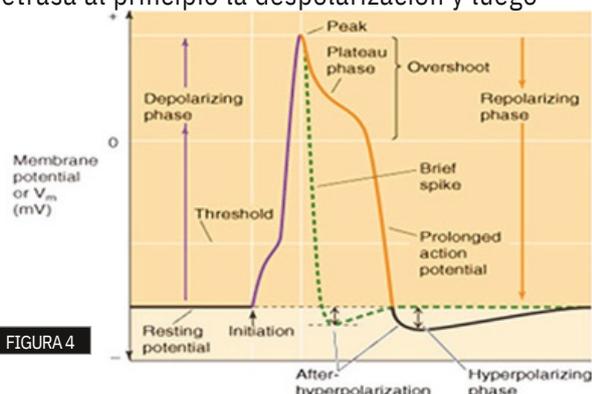


FIGURA 4

(cuando es mayor la salida de potasio que la entrada de sodio) genera la repolarización o fase de descenso. Entonces, al abrirse los canales de sodio, el V_m se despolariza hasta un valor cercano pero nunca igual al E_{Na^+} (+65 mV). Que no alcance este valor y a su vez, que el ascenso se frene depende de tres factores:

1. **Los canales de sodio se inactivan:** son canales que poseen un sistema de dos compuertas, una EC de activación (*compuerta h*) y una IC de inactivación (*compuerta m3*). En el reposo la compuerta h se encuentra cerrada y la m3 abierta, y por lo tanto no se conduce sodio por el canal. La despolarización produce que la compuerta h se abra y la m3 se cierre, por lo cual el canal se abre y luego se inactiva. El pasaje entre el estado abierto e inactivo depende únicamente del tiempo, y genera que la conductancia al sodio a medida que progresa la despolarización vaya descendiendo y la corriente entrante de sodio sea cada vez menor.
2. **Los canales de potasio comienzan a abrirse:** como hemos mencionado antes, los canales de K^+ se abren retardadamente produciendo una corriente saliente que se opone a la del sodio retrasando la despolarización.
3. **Disminuye la fuerza impulsora:** a medida que la membrana se despolariza, la diferencia entre el V_m y el E_{Na^+} disminuye, por ende la corriente es menor.

Cuando la corriente saliente de potasio supera la corriente entrante de sodio el V_m comienza a descender repolarizándose. El Cl^- favorece la repolarización al entrar por canales voltaje dependientes. El Ca^{++} entra al inicio de la repolarización, también por canales voltaje dependientes tipo T. Al entrar permite la fusión de las vesículas sinápticas del terminal generando de esta manera la transmisión sináptica (*fusógeno*). Estos canales tipo T son transitorios y no generan una corriente sostenida en el tiempo, por esta razón el Ca^{++} no genera directamente un cambio en el V_m (*a diferencia de la célula cardíaca en donde es responsable de la meseta*).

Luego de la repolarización se produce una pequeña fase de hiperpolarización o overshoot, esto se genera porque los canales de K^+ se cierran a valores de voltaje bajos y lentamente, y el potasio continua saliendo para intentar alcanzar su valor de equilibrio. El cierre de los canales de potasio hará que el V_m retorne al valor de reposo.

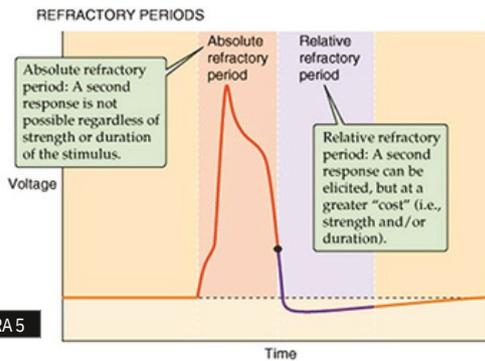


FIGURA 5

Así es como se genera un potencial de acción, que será transmitido a lo largo del axón para permitir la conducción de la señal dentro de un circuito neuronal. La pregunta es: **¿Cuánto tiempo tiene que transcurrir para que una célula, después de disparar un potencial de acción, pueda generar uno nuevo?** Es necesario que transcurra un cierto tiempo hasta que la célula pueda generar un segundo potencial de acción. El tiempo que sigue al inicio de un potencial de acción, y durante el cual es imposible o más difícil producir una segunda espiga, recibe el nombre de período refractario (Figura 5). El **período refractario absoluto** se extiende desde el inicio del potencial de acción hasta después del pico del mismo, cuando la repolarización ya casi ha culminado.

En esta etapa no es posible generar un potencial de acción, independientemente de la intensidad o duración de estímulo. Esta fase se sigue del **período refractario relativo**, durante el cual puede llegar a producirse un potencial de acción, pero el estímulo mínimo requerido para la activación es de mayor intensidad o duración que lo predicho para el primer potencial.

Las dos fases del período refractario encuentran su fundamento en la cinética de los canales de sodio y de potasio, y el curso temporal de las corrientes.

Más específicamente, **la inactivación de los canales de sodio sería la base para explicar el período refractario absoluto**: en esta etapa, es imposible reclutar el número suficiente de canales de sodio como para generar una segunda espiga, dado que se requiere que los canales previamente activados se recuperen del proceso de inactivación, lo cual lleva unos segundos. Mientras tanto, el período refractario relativo depende enormemente del aumento tardío en la conductancia al potasio, que tiende a hiperpolarizar la membrana, haciendo que se necesite una despolarización mayor para activar a los canales de sodio que aún deben recuperarse de la inactivación.

El período refractario será responsable de la con-

ducción unidireccional del estímulo. Al inicio nos hemos referido a la conducción del PA a lo largo del axón, esta conducción es de características *regenerativas* y se produce de la siguiente manera:

Cuando se genera un PA, como bien sabemos, entra sodio que despolariza la membrana. Esta corriente de sodio también se desplaza localmente despolarizando la zona aledaña de la membrana a un valor por encima del umbral.

Esto significa que en la zona periférica también se activan los canales voltaje dependientes y como consecuencia se producirá un nuevo PA que a su vez regenerará el PA en la zona aledaña y así sucesivamente. Como la primera porción del axón se encuentra en período refractario, la propagación pasiva del sodio no genera un nuevo PA y este solo se produce corriente abajo o distalmente.

La conducción puede ser de dos maneras (Figura 6):

- **Conducción punto a punto:** característica de axones amielínicos en donde el PA se regenera en cada punto del axón hasta llegar al botón sináptico.
- **Conducción saltatoria:** solamente se encuentra en axones mielínicos. La mielina actúa como un aislante bloqueando la generación de corrientes (*activas o pasivas*), por lo cual la propagación de la corriente de sodio es mayor y se regenerará el PA en el siguiente sitio sin mielina que corresponde al nodo de Ranvier.

La velocidad con la cual se conduce el estímulo depende del tamaño del axón y de la cantidad de mielina (*saltatoria más rápida*); por ende mayor mielina y diámetro axonal mayor velocidad de conducción.

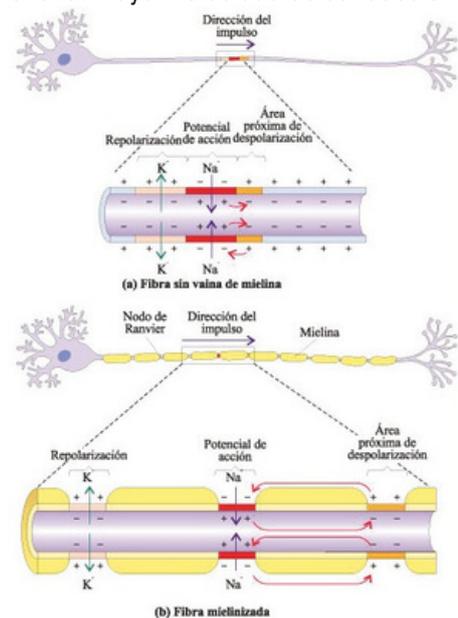


FIGURA 6

CURSO PARALELO 2025

FISIOLOGÍA y BIOQUÍMICA

- Paralelo a la cursada de la Facultad.
- Clases: SEMINARIOS, TEÓRICOS Y PRÁCTICOS dictadas por docentes pertenecientes a cada una de las cátedras.
- Clases de nivelación y repasos.
- Docentes FMED: Contamos con el mejor plantel docente, todos nuestros profesores se encuentran actualmente dictando clases en la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires.

- Te preparamos en forma completa (teórico-práctica) antes de cada uno de los trabajos prácticos. Te aseguramos la mejor **nota de concepto** en cada clase.
- **SIMULACROS DE EXAMEN:** Para garantizar tu aprobación y que puedas repasar antes del parcial o final aquellos temas que presentan mayor dificultad, tenemos **todas** las **preguntas evaluadas en los exámenes en los años anteriores (período 2000-2024)**. En forma periódica realizamos simulacros de examen escrito y oral con docentes de tu Cátedra.
- **Preparación integral antes de cada parcial:** **Clases de repaso** de todos los temas antes de cada examen.

- Grupos reducidos.
- Seguimiento permanente y personalizado de la situación académica.
- Metodología de estudio.
- **Material de estudio basado en toda la bibliografía oficial e impreso a COLOR.**
- Material multimedia.
- Evaluación permanente del aprendizaje con simulacros de examen en forma periódica.
- **Contacto las 24 horas** a través de múltiples plataformas digitales (correo electrónico, WhatsApp, formularios de consultas).
- **Conexión a internet WiFi.**

EL **99%** DE NUESTROS ALUMNOS **APRUEBAN AMBAS MATERIAS EN UN SOLO AÑO**. EL **91%** LO HACE CON EXCELENTES NOTAS (8, 9 o 10).



CURSO PARALELO DE FISIOLÓGÍA Y BIOFÍSICA

- **Modalidad mixta:** clases virtuales 100% en vivo y presenciales.
- **Acceso a las grabaciones** de cada una de las clases.
Desarrollo completo de todo el contenido de la materia.

► **Unidad Académica 1.**

► **Unidad Académica 2.**

- **Material de estudio** basado en la bibliografía oficial y completamente actualizado. En el mismo se desarrollan todos los temas, poniendo principal hincapié en aquellos temas que son evaluados en los exámenes parciales y finales. Disponible en nuestra plataforma virtual, de visualización online.
Promoción preventiva: Bonificado con el abono completo del curso.
- **Desarrollo del programa de todas las rotaciones, incluyendo "Integración".**
- **Revisión de los principales temas de las Guías de Trabajo Prácticos.**
- **Casos clínicos con aplicación de los conocimientos adquiridos de fisiología.**
- **Práctica de exámenes choices de cada especialidad, con simulacros tomados en años anteriores.**
- Clases de integración y repaso previas a cada examen parcial y previo al examen final.
- **2-3 clases semanales de 2 horas de duración cada una.**
- **Las clases quedan grabadas en nuestra plataforma, para que las visualices las veces que quieras.**

CURSO PARALELO DE BIOQUÍMICA

- **Modalidad mixta:** clases virtuales en vivo y presenciales.
- **Acceso a las grabaciones** de cada una de las clases.
Desarrollo completo de todo el contenido de la materia.

► **Cátedra 1.**

► **Cátedra 2.**

- Clases teóricas (seminarios y teóricos) con proyección multimedia.
- **Revisión y resolución en clase de los problemas de las Guías de Trabajos Prácticos.**
- Clases de integración y repaso previas a cada examen parcial y al examen final.
- **Práctica con simulacros tomados en años anteriores previa a cada examen parcial.**
- **1-2 clases semanales de 2 horas de duración.**
- **Las clases quedan grabadas en nuestra plataforma, para que las visualices las veces que quieras.**

DURACIÓN DEL CURSO PARALELO DE FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA: 10 meses.

- ▶ **Fechas de inicios:** Semana del **3 de marzo** (1° inicio), Semana del **10 de marzo** (2° inicio) y del **17 de marzo** (3° inicio).
- ▶ **Fecha de finalización:** Última semana de diciembre (hasta la última fecha de diciembre de los exámenes finales).

INFORMES, RESERVA DE VACANTES E INSCRIPCIÓN



[11 3132-0722](tel:1131320722)



[@IMEDLELOIR](https://www.instagram.com/IMEDLELOIR)



4873-2379



imedleloir@imedleloir.com.ar



Av. Corrientes 1985 1° "B"

(a 5 cuadras de la Facultad de Medicina)



[/imed.leloir](https://www.facebook.com/imed.leloir)

**Conocé todas las promociones y
descuentos que tenemos para vos**



Vacantes
limitadas

El costo del curso incluye:

Clases virtuales 100% en vivo y presenciales

- Acceso a las **grabaciones** de todas las clases virtuales
- Acceso al **material de estudio** de fisiología en formato digital.