

## El potencial de acción

Los potenciales de acción (PA) se originan por corrientes de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  ( $I_{\text{Na}^+}$  e  $I_{\text{K}^+}$ ) que se explican por el comportamiento de los canales de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  respectivamente. Los canales de  $\text{Na}^+$  presentan dos compuertas: una de activación, que al abrirse permite el pasaje de iones de  $\text{Na}^+$ , y una de inactivación que se encuentra abierta durante el reposo y se cierra por la despolarización de la membrana. Por otra parte, los canales de  $\text{K}^+$  son más sencillos y poseen una sola compuerta, de activación, que se abre por la despolarización de la membrana y permanece abierta durante un tiempo específico.

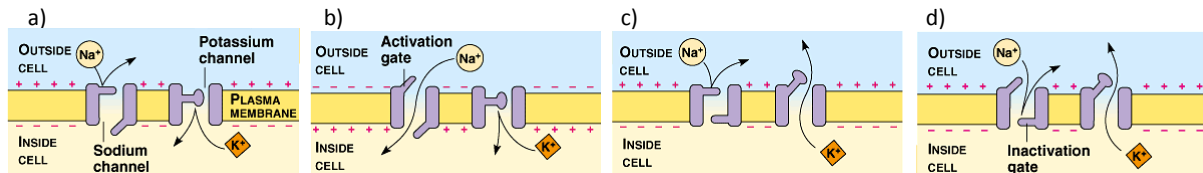


Figura 1. Canales de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{K}^+$  con sus respectivas compuertas en diferentes estados de reposo, activación o inactivación.

Por ejemplo, en la figura 1a) ambos canales están en reposo y no permiten el pasaje de iones; en b) el canal de  $\text{Na}^+$  está activo y el de  $\text{K}^+$  en reposo; en c) el canal de  $\text{K}^+$  está activo mientras que el canal de  $\text{Na}^+$  está inactivo y en d) el canal de  $\text{Na}^+$  está inactivo mientras que el de  $\text{K}^+$  está activo. Volvemos a remarcar que el canal de  $\text{Na}^+$  entonces tiene 3 posibles estados: reposo – activo – inactivo, mientras que el canal de  $\text{K}^+$  solo presenta dos: reposo – activo.

Secuencia de cambios durante un potencial de acción (Figura 2)

- 1) Cuando la célula se encuentra en reposo los canales de  $\text{Na}^+$  presentan su compuerta de activación cerrada y su compuerta de inactivación abierta. Los canales de  $\text{K}^+$  presentan su compuerta de activación cerrada. No hay entrada ni salida de iones.
- 2) y 3) Ante un estímulo supraumbra, las compuertas de activación de los canales de  $\text{Na}^+$  se abren rápidamente produciendo un aumento brusco en la entrada de  $\text{Na}^+$ , en el sentido de su fuerza impulsora, es decir en contra de su gradiente electroquímico.
- 4) Se genera así una corriente de  $\text{Na}^+$ . La despolarización generada por  $I_{\text{Na}^+}$  genera la apertura de un mayor número de canales de  $\text{Na}^+$  lo cual genera una mayor  $I_{\text{Na}^+}$  y el potencial de membrana ( $V_m$ ) se acerca al potencial de equilibrio del  $\text{Na}^+$  ( $V_{\text{Na}^+}$ ).
- 5) En esta fase las compuertas de inactivación del  $\text{Na}^+$  comienzan a cerrarse y las compuertas de activación de  $\text{K}^+$  comienzan a abrirse permitiendo la salida del ión en contra de su gradiente de concentración. La aparición de una  $I_{\text{K}^+}$  y la disminución de la  $I_{\text{Na}^+}$  limitan la despolarización e impiden que el  $V_m$  alcance el  $V_{\text{Na}^+}$ . Se origina así la fase de repolarización.
- 6) y 7) La mayoría de las compuertas de inactivación de los canales de  $\text{Na}^+$  se cierran mientras que la mayoría de las compuertas de activación de  $\text{K}^+$ , que son tiempo dependientes, permanecen abiertas, llevando el  $V_m$  hacia valores cercanos al potencial de equilibrio del  $\text{K}^+$  ( $V_{\text{K}^+}$ ) (fase de hiperpolarización).
- 8) y 9) Durante la fase de repolarización la mayoría de las compuertas de inactivación de  $\text{Na}^+$  se van abriendo, mientras que las compuertas de activación tanto de  $\text{Na}^+$  como de  $\text{K}^+$  se cierran, volviendo de a poco el sistema al estado de reposo. La corriente de  $\text{K}^+$  disminuye y el  $V_m$  vuelve a sus valores iniciales.

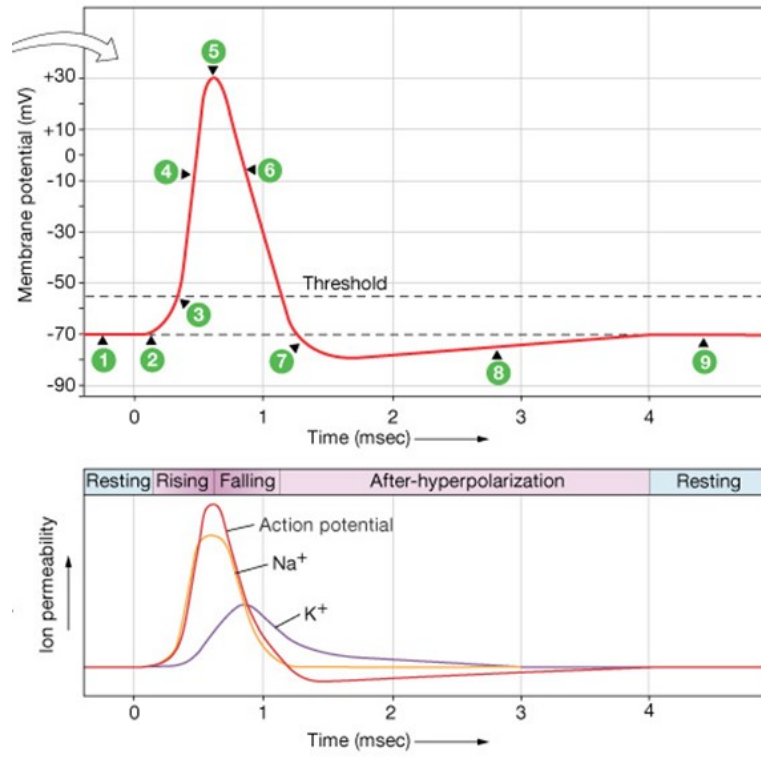


Figura 2. En a) se muestra un PA con cada una de las fases mencionadas en el texto. En b) Se muestran las permeabilidades de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  que generan las corrientes  $I_{\text{Na}^+}$  e  $I_{\text{K}^+}$  respectivamente.

Luego de un PA la célula entra en un período refractario que permite dirigir espacialmente el recorrido de la despolarización, como se muestra en la figura 3. El período refractario inicialmente es **absoluto**, es decir que durante el mismo no es posible desencadenar otro PA, sin importar la intensidad del estímulo. Este período es seguido por otro que se define como **relativo**, ya que un estímulo que logre superar el umbral puede desencadenarlo. Pero es importante remarcar que el estímulo debe ser de mayor intensidad que el estímulo supraumbral necesario si se parte desde un potencial de reposo.

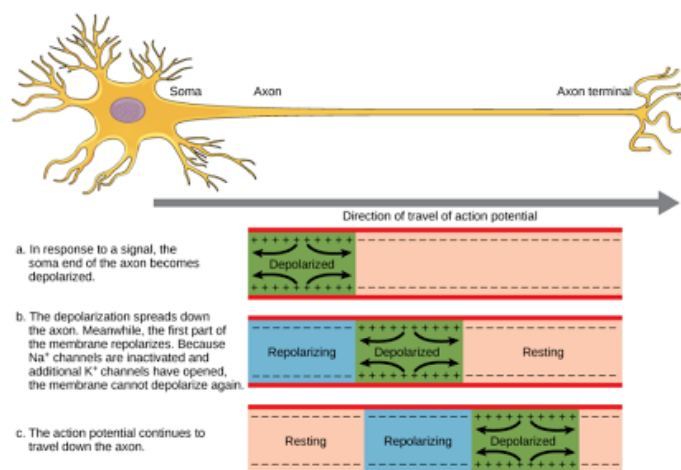


Figura 3. Esquema de una neurona y la direccionalidad de la despolarización determinada por los períodos de reposo – despolarización – repolarización.

El período refractario **absoluto** se explica en base al estado de las compuertas de los canales: durante la fase 4) un nuevo estímulo es inefectivo porque ambas compuertas de  $\text{Na}^+$  están abiertas. Durante las fases de repolarización 5) y 6) el período refractario también es absoluto por dos razones: la mayoría de las compuertas de inactivación de los canales de  $\text{Na}^+$  están cerradas y la mayoría de las compuertas de activación de los canales de  $\text{K}^+$  están abiertas. Las compuertas de inactivación del  $\text{Na}^+$  no pueden reabrirse por otro estímulo, debido a que es la despolarización justamente lo que promueve su cierre. Pasada la fase de repolarización 6) la refractariedad pasa a ser **relativa**, debido a que un gran número de compuertas de inactivación de los canales de  $\text{Na}^+$  se están abriendo. Si se genera un estímulo mayor que el umbral y se logra generar una  $I_{\text{Na}^+}$  despolarizante mayor a la  $I_{\text{K}^+}$  hiperpolarizante se producirá un nuevo potencial de acción.