

Practica

Modelo de Hodgkin-Huxley

Luca Martino

Desde:

Implementación en hardware de neuronas electrónicas

Gonzalo Baonza Cubillo

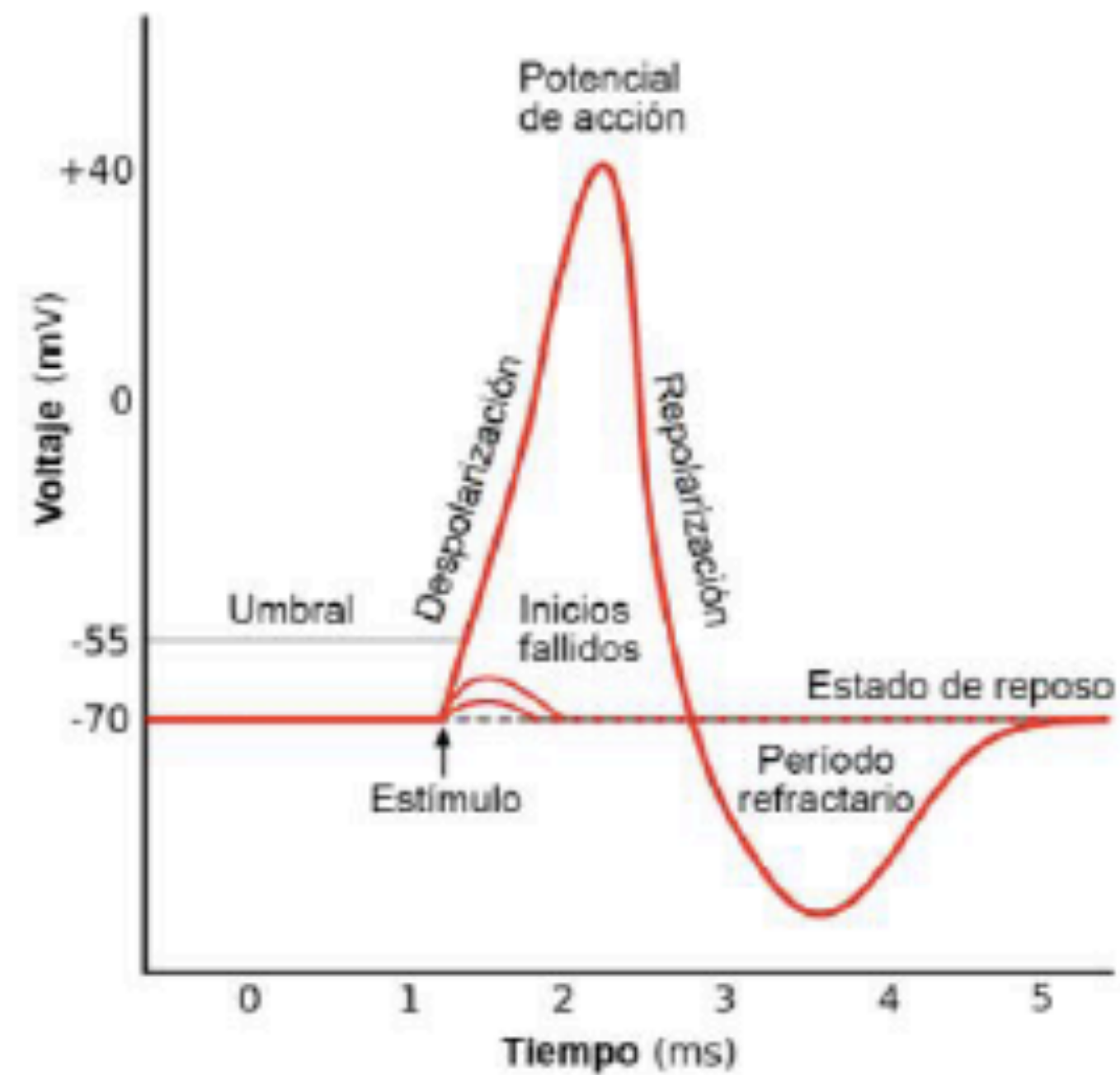


Figura 4. El potencial de acción.

El potencial de acción responde a la **ley de todo o nada**, para que tenga lugar el potencial de acción se necesita de un estímulo que llegue al punto crítico de disparo de esa neurona o célula.

- Despolarización lenta: -70 mV hasta -55 mV.
- Despolarización rápida: -55 mV hasta +35 mV.
- Repolarización rápida: +35 mV 2/3 del descenso.
- Repolarización lenta: hasta -70 mV.
- Hiperpolarización: -70 mV hasta -75 mV.

Si el estímulo supera un cierto umbral, la despolarización dispara el **potencial de acción**. Se entiende por potencial de acción al cambio producido en el potencial eléctrico a través de la membrana plasmática durante el paso del impulso nervioso. Éste se origina cerca del cuerpo de la célula propagándose a lo largo del axón con una velocidad y amplitud constante.

El potencial de acción produce, de forma ordenada, movimientos de iones a través de la membrana de la neurona originando cambios transitorios de potencial. El retorno al potencial de reposo se debe a la actuación de la **bomba Na/K** que devuelve los iones a su localización inicial.

En la *Figura 4* se representa un potencial de acción (o *spike*) producido por una neurona. Un estímulo despolarizó la membrana superando el umbral de voltaje. Se observa que tras el potencial de acción existe un período refractario, durante el cual la neurona no puede volver a disparar un *spike*.

Modelo de Hodgkin-Huxley

$$C_m \frac{dV}{dt} = I_{ext} - g_L(V - V_L) - g_{Na} h m^3 (V - V_{Na}) - g_K n^4 (V - V_K)$$

corriente de Sodio (Na) corriente de Potasio (K)

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(V_m)(1 - n) - \beta_n(V_m)n$$
$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(V_m)(1 - m) - \beta_m(V_m)m$$
$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(V_m)(1 - h) - \beta_h(V_m)h$$

función de Vm

$C_m, I_{ext}, g_{Na}, g_L, g_K, V_L, V_{Na}, V_K \implies$ Constants

Modelo de Hodgkin-Huxley (1 posibilidad)

$$\beta_n = 0.125 \cdot \exp\left(-\frac{(V_m + 50)}{80}\right)$$

$$\alpha_n = \frac{0.01 \cdot (V_m + 50)}{1 - \exp\left(-\frac{V_m + 50}{10}\right)}$$

$$\alpha_h = 0.07 \cdot (-0.05(V_m + 60))$$

$$\beta_h = \frac{1}{1 + \exp(-0.1 \cdot (V_m + 30))}$$

$$\beta_m = 4.0 \cdot \exp(-0.0556 \cdot (V_m + 60))$$

$$\alpha_m = \frac{0.1 \cdot (V_m + 35)}{1 - \exp\left(-\frac{V_m + 35}{10}\right)}$$

Modelo de Hodgkin-Huxley (2 posibilidad)

$$\alpha_n(V_m) = \frac{0.01(10+V_m)}{\exp\left(\frac{10+V_m}{10}\right)-1} \quad \alpha_m(V_m) = \frac{0.1(25+V_m)}{\exp\left(\frac{25+V_m}{10}\right)-1} \quad \alpha_h(V_m) = 0.07 \exp\left(\frac{V_m}{20}\right)$$
$$\beta_n(V_m) = 0.125 \exp\left(\frac{V_m}{80}\right) \quad \beta_m(V_m) = 4 \exp\left(\frac{V_m}{18}\right) \quad \beta_h(V_m) = \frac{1}{\exp\left(\frac{30+V_m}{10}\right)+1}$$

There are for sure several other possibilities....

problem: estimation of parameters in Differential Equations !!

Modelo de Hodgkin-Huxley - constantes

Potenciales de Nerst

$$V_{Na}=55.17 \text{ mV K}$$

$$V_{K}=-72.14 \text{ mV K}$$

$$V_{L}=-49.42 \text{ mV K}$$

Conductancias canales

$$g_{Na}=1.2 \text{ mS/cm}^2$$

$$g_{K}=0.36 \text{ mS/cm}^2$$

$$g_{L}=0.003 \text{ mS/cm}^2$$

Membrane Capacitance

$$C_m=0.01 \text{ uF/cm}^2$$

Initial Values

$$I_{ap}=0.1 \text{ uA}$$

$$V(1)=-60 \text{ mV}$$

Modelo de Hodgkin-Huxley - otras formas de escribirlo

El conjunto completo de Hodgkin-Huxley para una sección de la membrana es:

$$C_m \frac{dV}{dt} = I_{ext} - g_L(V - V_L) - g_{Na} h m^3 (V - V_{Na}) - g_K n^4 (V - V_K)$$

$$\tau_h(V) \frac{dh}{dt} = \bar{h}(V) - h$$

$$\tau_m(V) \frac{dm}{dt} = \bar{m}(V) - m$$

$$\tau_n(V) \frac{dn}{dt} = \bar{n}(V) - n$$

Ecuación 4. Modelo Hodgkin-Huxley.

Modelo de Hodgkin-Huxley - otras formas de escribirlo

Siendo:

- V es el potencial de membrana.
- g_L , g_{Na} y g_k son las conductancias de los canales iónicos de pérdidas, del sodio y del potasio respectivamente.
- V_L , V_{Na} y V_k son los potenciales de equilibrio para las distintas contribuciones iónicas.
- h , m y n son las variables de conductancia dependientes del potencial de la membrana V para modelar el estado de los canales iónicos. La variable h representa el estado de cierre del canal de sodio. La variable m corresponde al estado de apertura del canal de sodio. La variable n es el estado de apertura del canal de potasio.
- I_{ext} es la corriente externa aplicada.
- C_m es la capacidad de la membrana.
- τ_h , τ_m y τ_n son las constantes de tiempo de las variables h , m y n del modelo