REDES NEURONALES

2021

Clase 12 Parte 1

Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación
Universidad Nacional de Córdoba

Jueves 23 de septiembre 2021

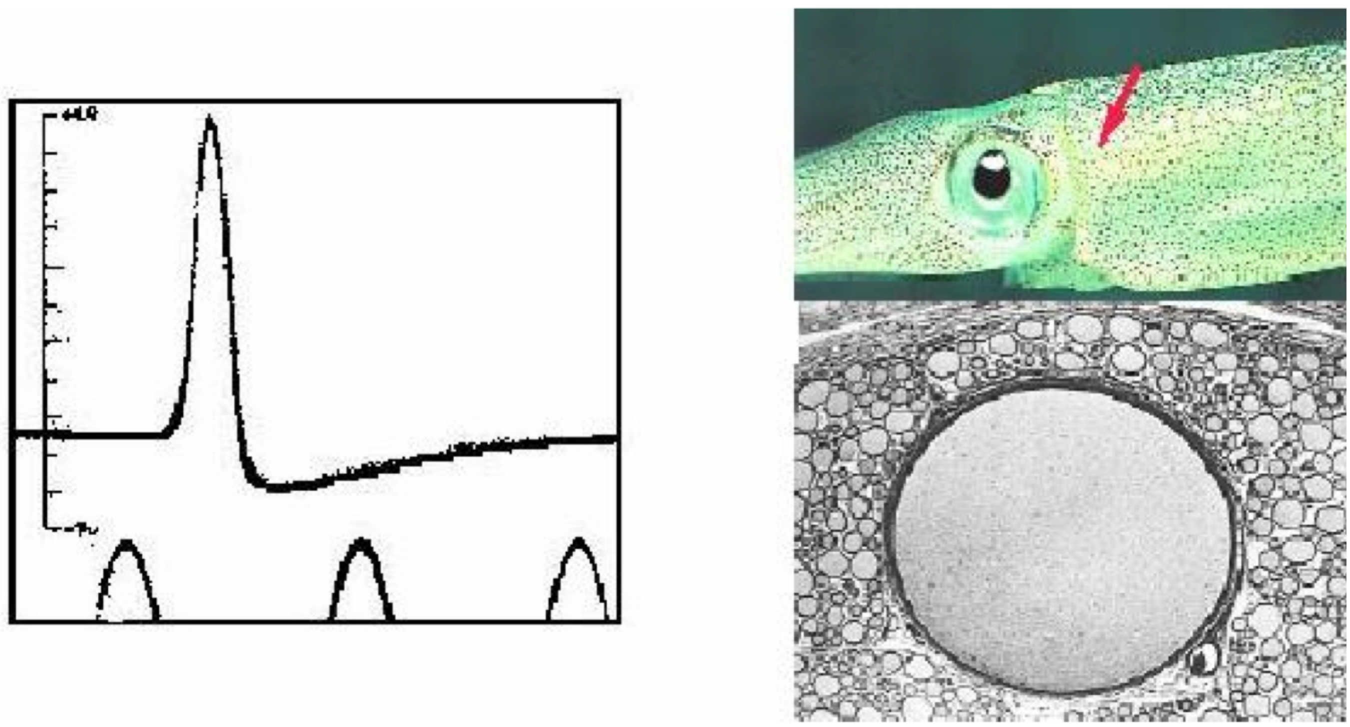
http://www.famaf.unc.edu.ar/~ftamarit/redes2021

https://www.famaf.unc.edu.ar/course/view.php?id=798

EL MODELO DE HODGKIN Y HUXLEY

Electroneurología 15 (4), pp 31-60 (2007)

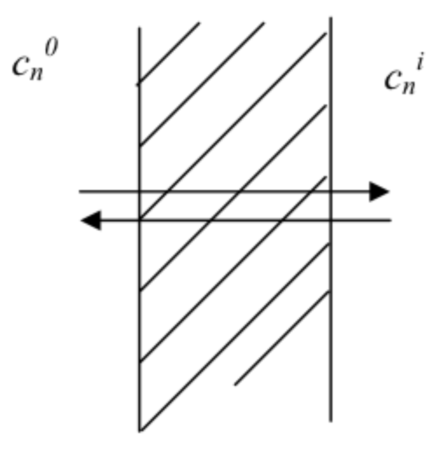
Pedro W. Lamberti y Víctor Rodríguez



Registro histórico de un potencial de acción en el axón gigante de calamar logrado por Hodgkin y Huxley en 1939. Tomado de *Nature* (1939) 144, pág. 710. En el calamar, este axón se prolonga caudalmente, pasando por donde indica la flecha de color. Al corte, se lo ve rodeado de otros axones paralelos, de diámetro normal.

Un poco de historia

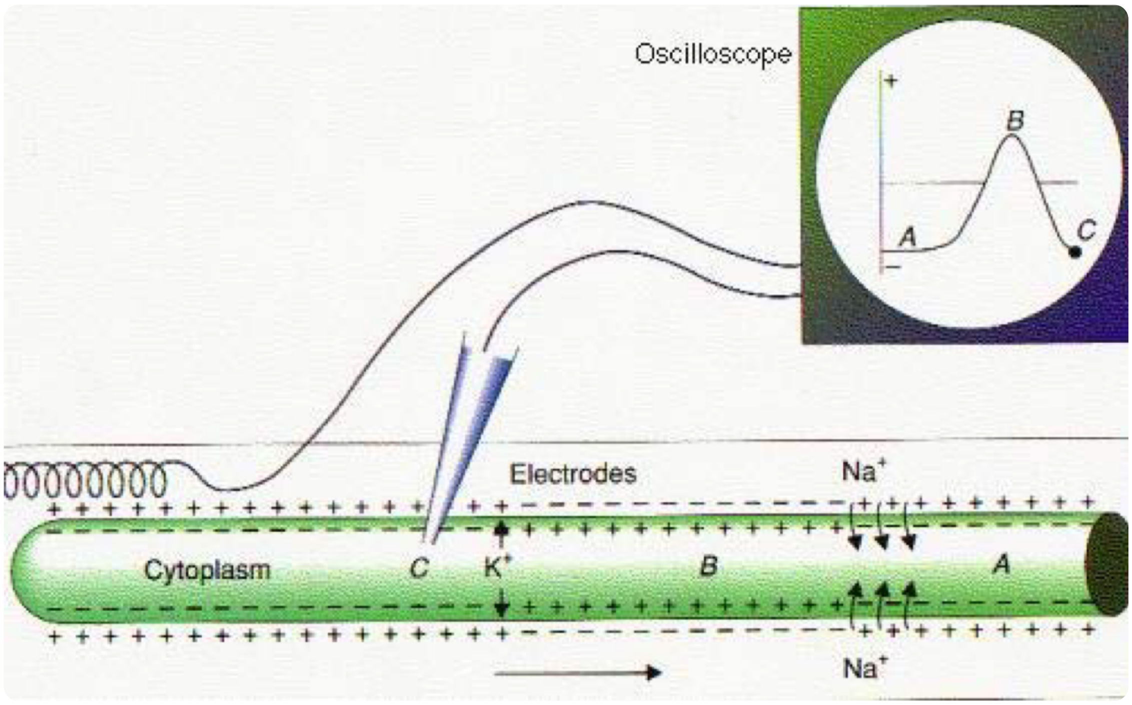
- Luigi Galvani (1791) estudió el efecto de las descargas electricas sobre músculos. Descubrió que aplicando pequeñas corrientes eléctricas, los cadaveres experimentaban grandes contracciones musculares. Se dio cuenta que los cuerpos generaban y controlaban corrientes.
- Carlo Matteucci (1842) midió por primera vez los potenciales eléctricos en tejidos.
- Emil du Bois Reymundo descubrió el potencial de acción nervioso y desarrolló la idea de que un tejido viviente puede considerarse un compuesto de moléculas eléctricas.
- Hermann von Helmholtz midió la velocidad de los pulsos nerviosos, y obtuvo aproximadamente 30 m/s.
- Walter Nernst describió por medio de una ecuación el equilibrio difusivo de partículas cargadas.



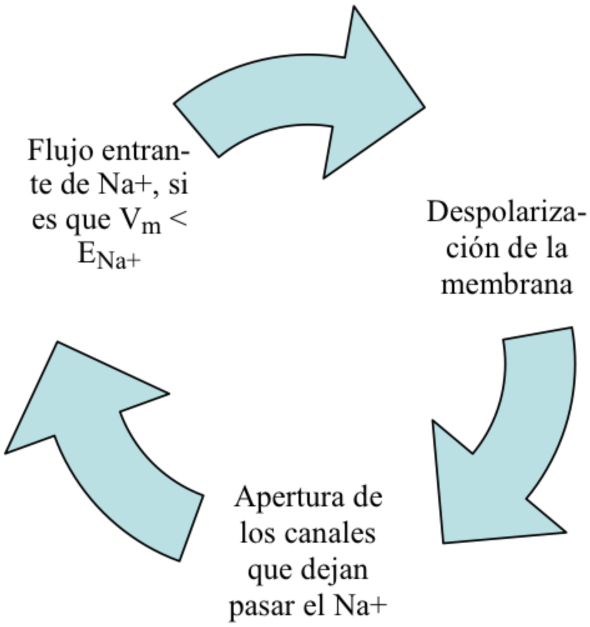
$$V_n = \frac{RT}{z_n F} \ln\left(\frac{c_n^0}{c_n^i}\right)$$

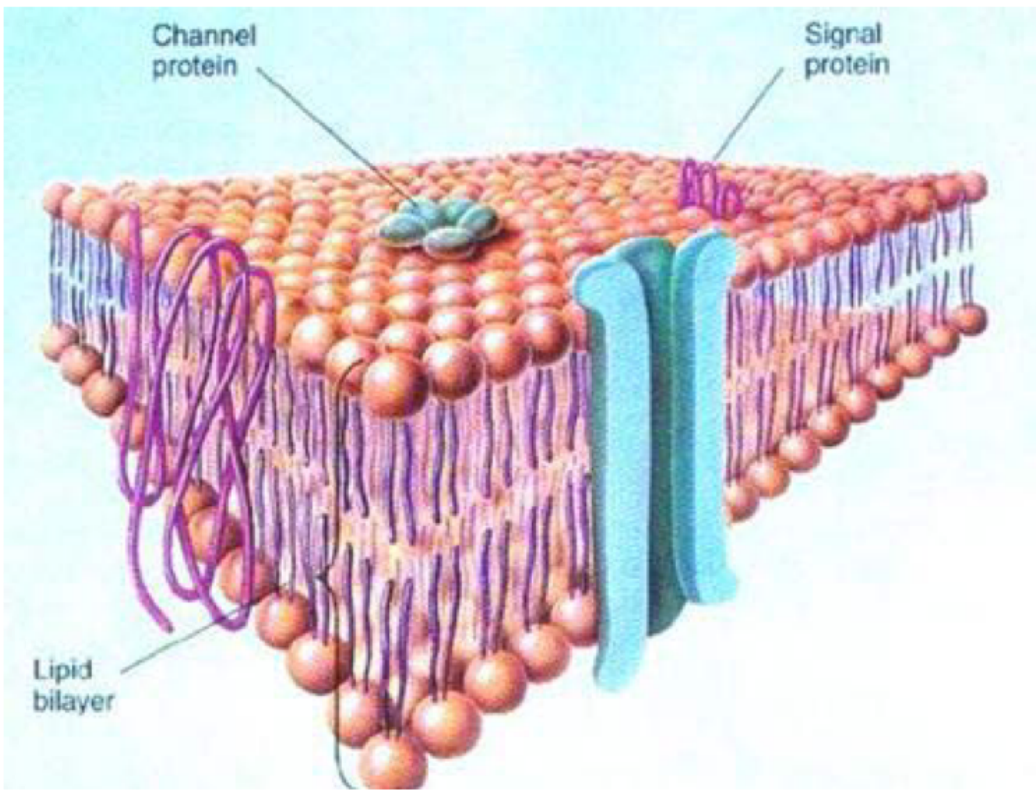
$$\frac{RT}{F} \approx 25\,mV$$

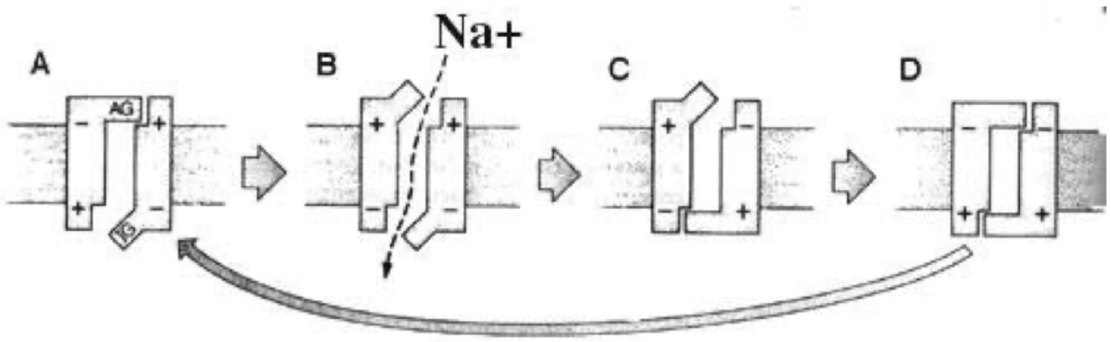
C_n^0 y C_n^i : concentraciones especie n dentro y fuera
F : cte de Faraday
T : Temperatura
R : constante de gases
z : valencia

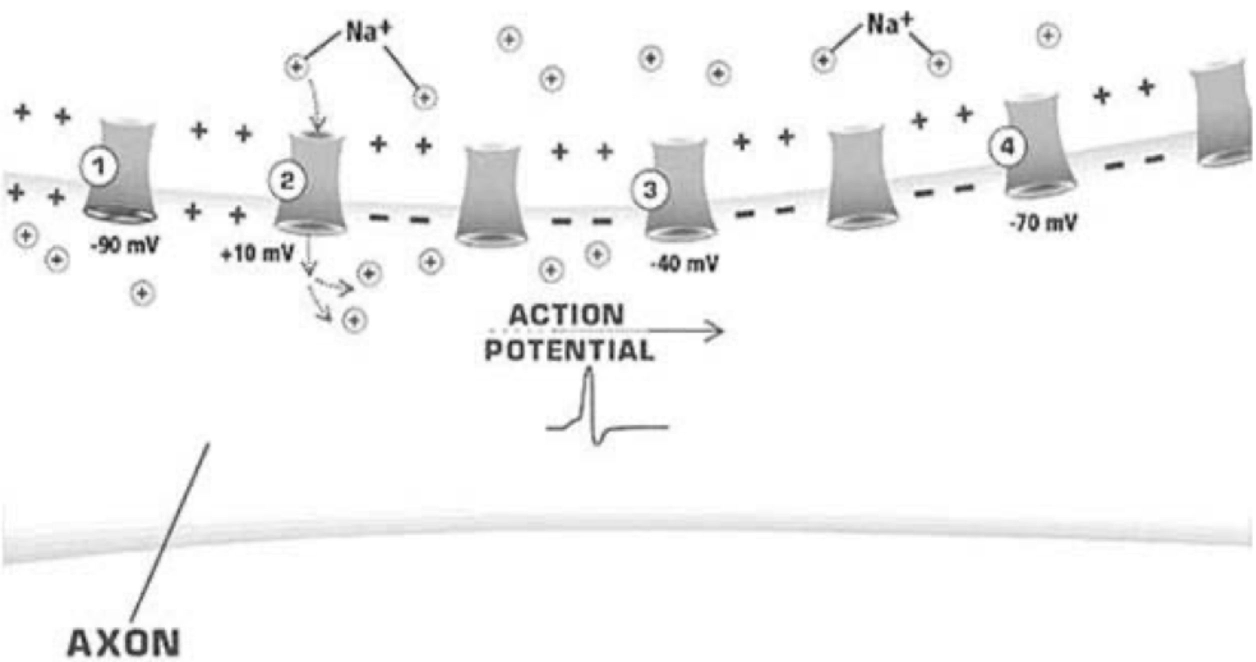


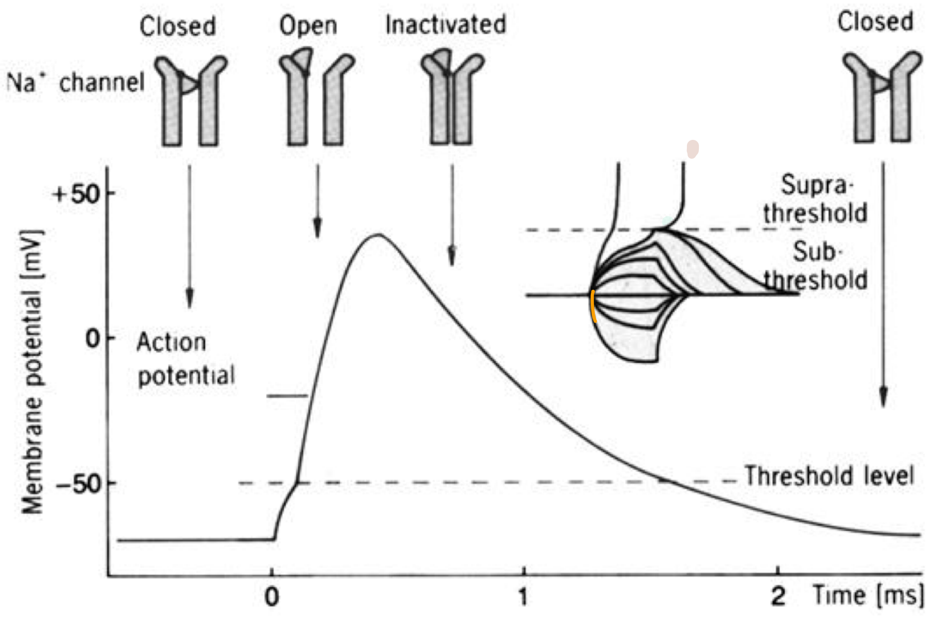
- Julius Bernstein fúndanla electrofisiologia moderna.
- Ramón y Cajal descubre las neuronas.
- J.Z. Young (1936) estudió el axón gigante de calamar.
- Hodgkin y Katz (1949) muestran que el sodio es muy importante.

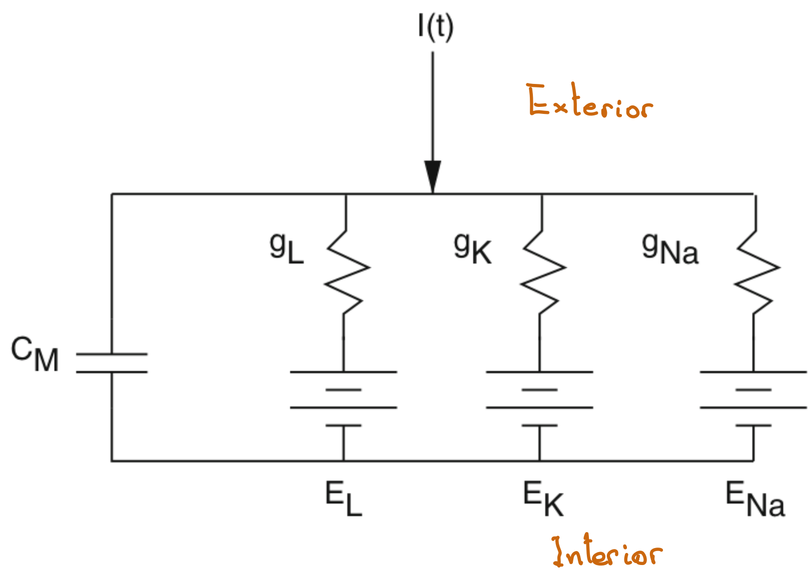

Flujo entrante de Na+, si es que $V_m < E_{Na+}$
Despolarización de la membrana
Apertura de los canales que dejan pasar el Na+


Channel protein
Signal protein
Lipid bilayer

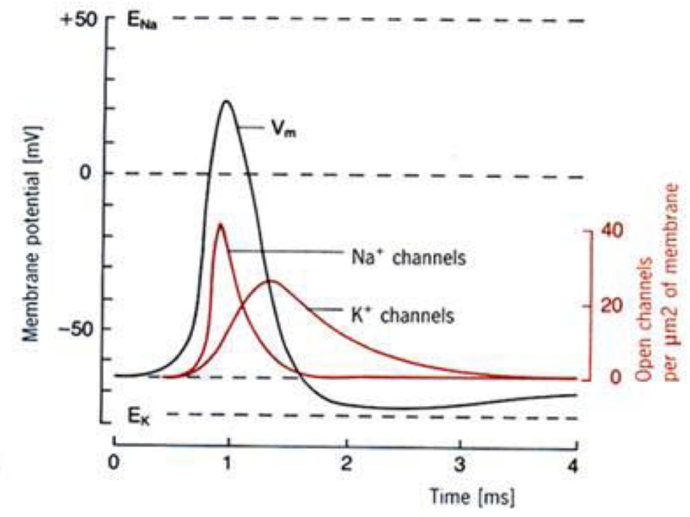

Na+
A
B
C
D
AG
IG


Na+
Na+
1
2
3
4
-90 mV
+10 mV
-40 mV
-70 mV
ACTION
POTENTIAL
AXON





$$C_m \frac{dV}{dt} = -\sum_i I_i$$



Potencial de acción generado por dos diferentes corrientes iónicas, los canales Na^+ y K^+. Se muestra la variación del potencial de membrana con el tiempo, así como el número de canales abiertos por mm^2 de superficie de la membrana para cierta región del axón.

$$C_m \frac{dV}{dt} = - I_{Na} - I_K - I_L$$

$$= - g_{Na}(V)(V - E_{Na}) - g_K(V)(V - E_{N_K}) - g_L(V - E_L)$$

I_{Na} : corriente de sodio

I_K : corriente de potasio

I_L : corriente de fuga

g_{Na} y g_K dependen de t a través de V.

g_L se asume constante

$$\boxed{\begin{aligned} g_K(V) &= \bar{g}_K\, n(V)^4 \\ g_{Na}(V) &= \bar{g}_{Na}\, m^3(V)\, h(V) \end{aligned}}$$

$\bar{g}_K$ y $\bar{g}_{Na}$ son constantes en el tiempo

n, m y h son "gating variables" entres 0 y 1.

$n(V)^4$ es la probabilidad de que el canal de potasio esté abierto

$m(V)^3$ es la probabilidad de que el canal de sodio esté abierto.

$h(V)$ es la probabilidad de que el canal de sodio se inactive.

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(V)(1-n) - \beta_n(V)n$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(V)(1-m) - \beta_m(V)m$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(V)(1-h) - \beta_h(V)h$$

$$\bar{g}_{Na} = 120 \text{ ms}/\text{cm}^3$$

$$\bar{g}_{k} = 36 \text{ ms}/\text{cm}^3$$

$$\bar{g}_{L} = 0.3 \text{ ms}/\text{cm}^3$$

$$E_{Na} = 50 \text{ mV}$$

$$E_{Na} = -77 \text{ mV}$$

$$E_{Na} = -54.4 \text{ mV}$$

$$\alpha_n(V) = \frac{0{,}01\,(V+55)}{\left(1 - e^{-\frac{(V+55)}{80}}\right)}$$

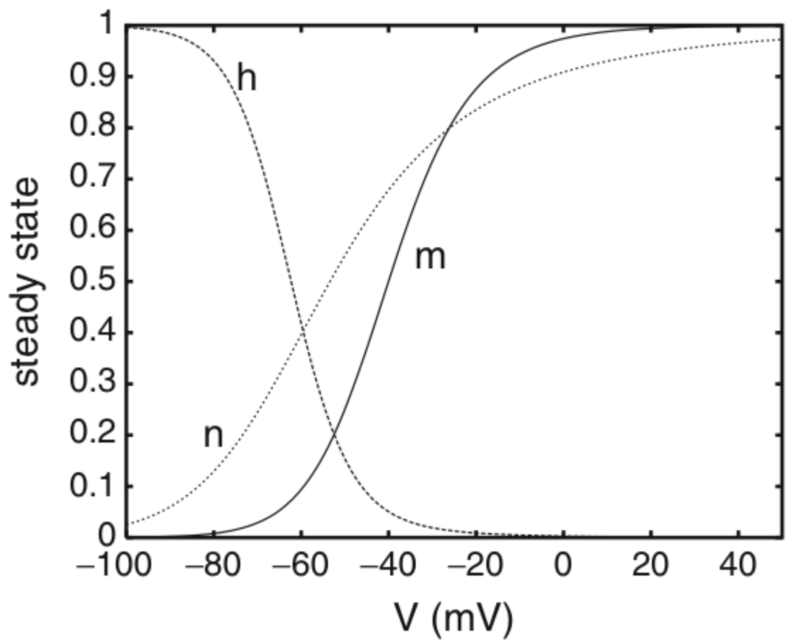
$$\beta_n(V) = 0.125\, e^{-\frac{(V+65)}{80}}$$

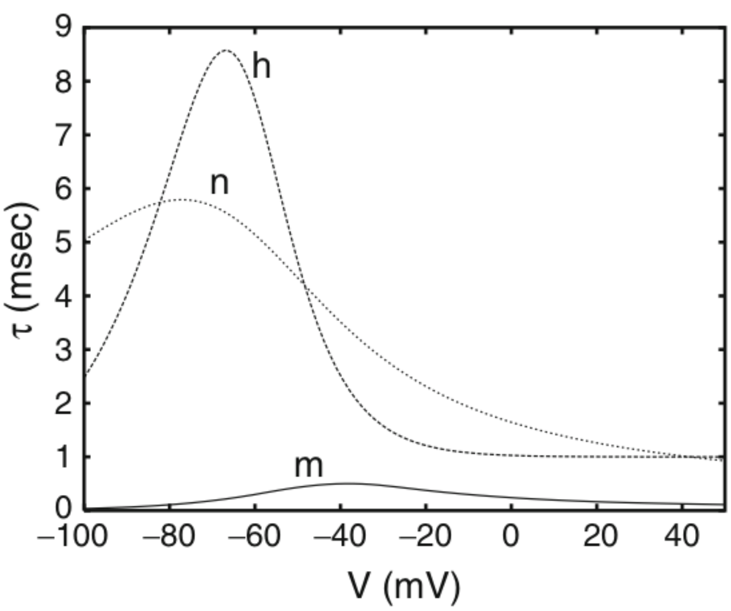
$$\alpha_n(V) = \frac{0{,}1\,(V+40)}{\left(1 - e^{-\frac{(V+40)}{10}}\right)}$$

$$\beta_n(V) = 4\, e^{-\frac{(V+65)}{80}}$$

$$\alpha_n(V) = 0.07\, e^{-\frac{(V+65)}{20}}$$

$$\beta_n(V) = \frac{1}{\left(1 + e^{-\frac{(V+35)}{10}}\right)}$$





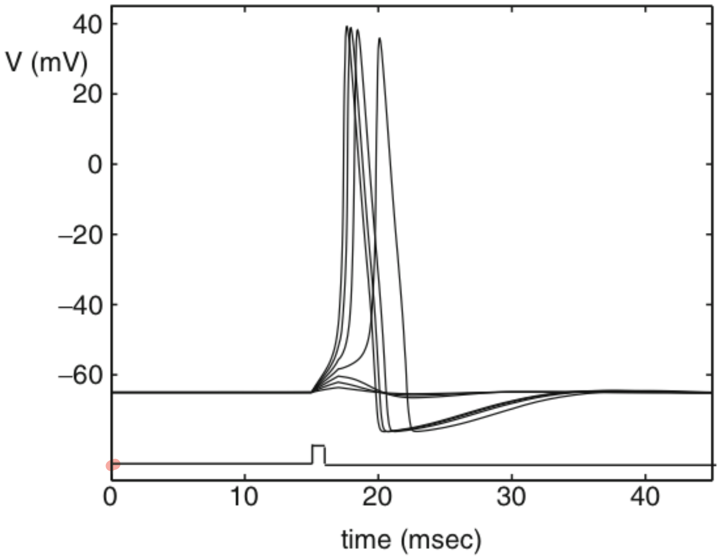
$$
\begin{aligned}
c_{\mathrm{M}}\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} &= -\bar{g}_{\mathrm{Na}}m^3h(V-E_{\mathrm{Na}}) - \bar{g}_{\mathrm{K}}n^4(V-E_{\mathrm{K}}) - \bar{g}_{\mathrm{L}}(V-E_{\mathrm{L}}),\\
\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} &= \phi[\alpha_n(V)(1-n) - \beta_n(V)n],\\
\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} &= \phi[\alpha_m(V)(1-m) - \beta_m(V)m],\\
\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} &= \phi[\alpha_h(V)(1-h) - \beta_h(V)h].
\end{aligned}
$$

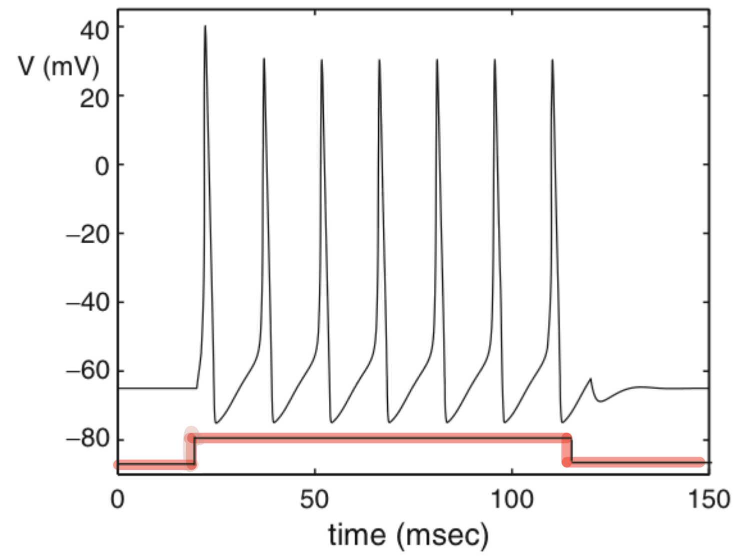
Aquí ϕ lleva en cuenta la temperatura:

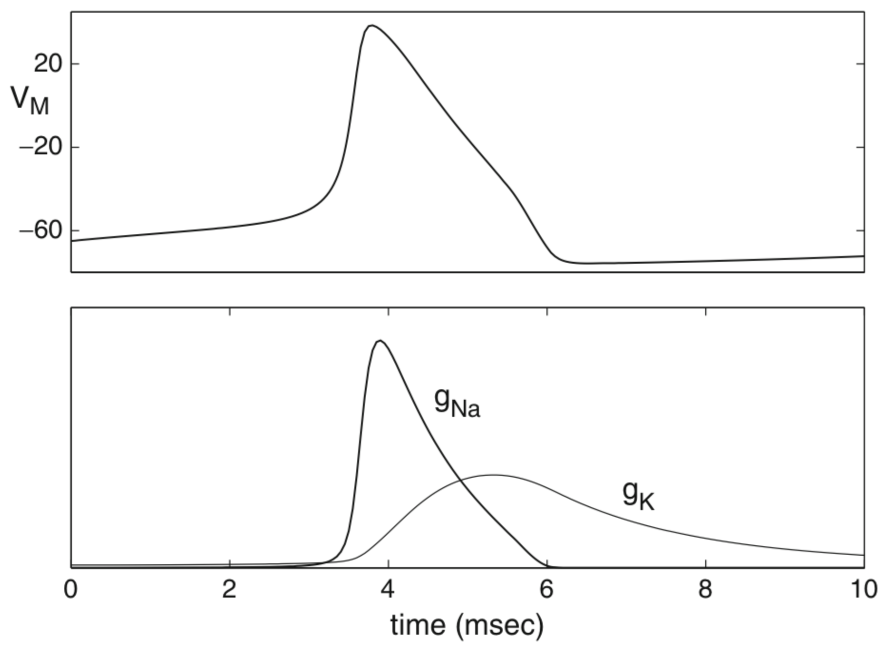
$$\phi = Q^{\frac{(T-T_b)}{10}}$$

donde

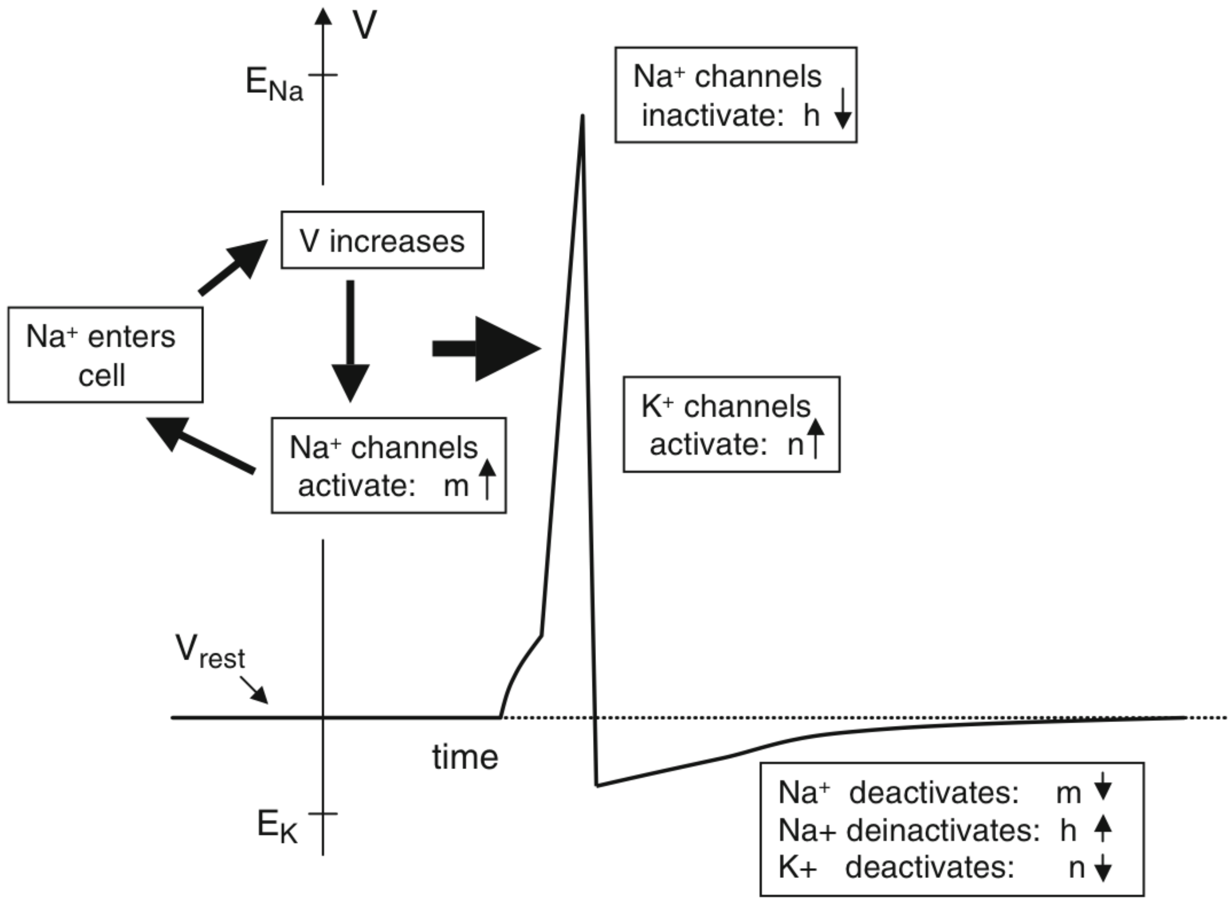
$$T_b = 6.3\ ^{\circ}C$$
$$Q = 3$$




40
V (mV)
20
0
−20
−40
−60
−80
0
50
100
150
time (msec)


20
V_M
−20
−60
g_{Na}
g_K
0
2
4
6
8
10
time (msec)

10mV
t=0


V
E_Na
Na+ channels
inactivate: h
V increases
Na+ enters
cell
Na+ channels
activate: m
K+ channels
activate: n
V_rest
time
E_K
Na+ deactivates: m
Na+ deinactivates: h
K+ deactivates: n