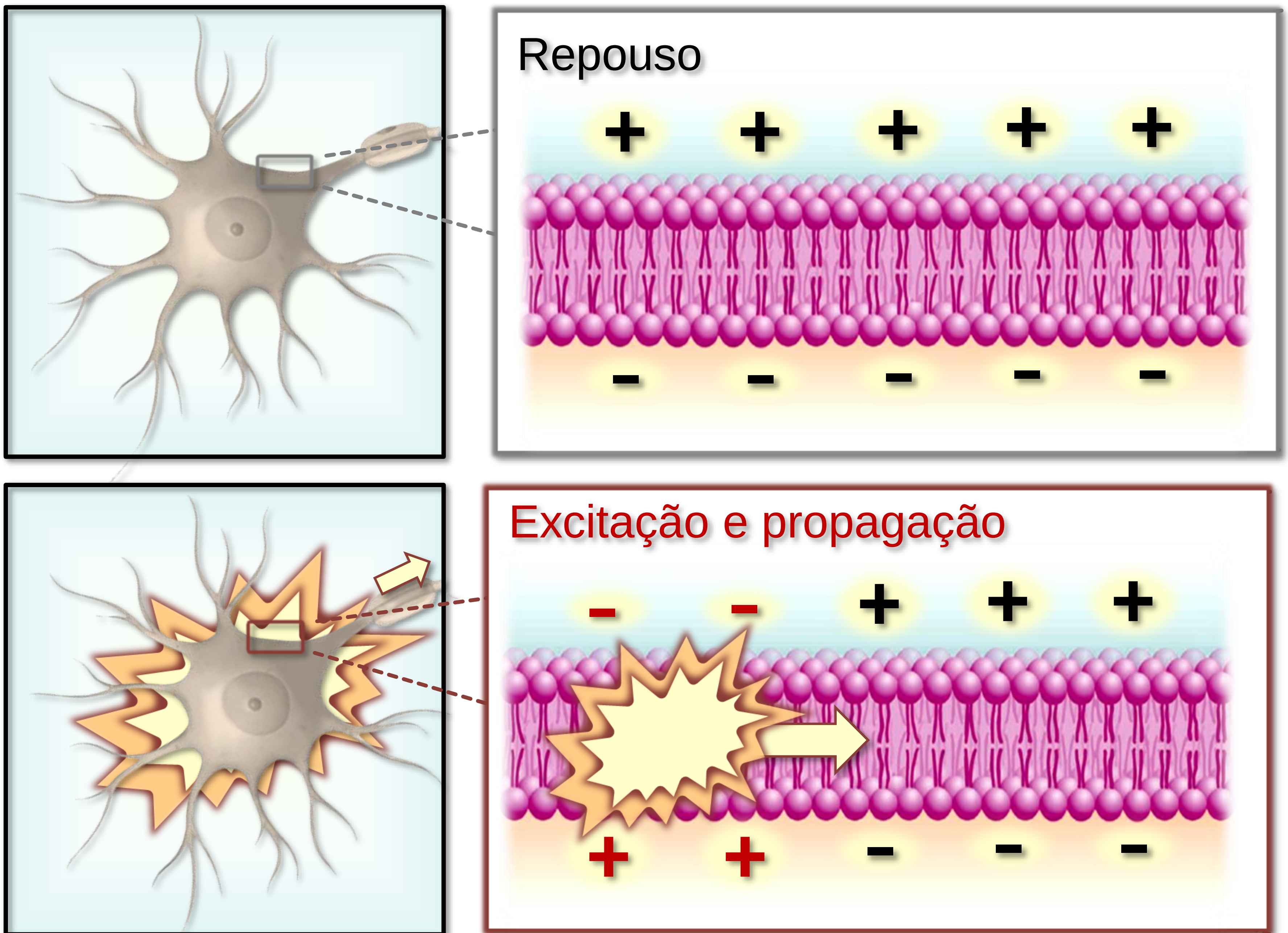
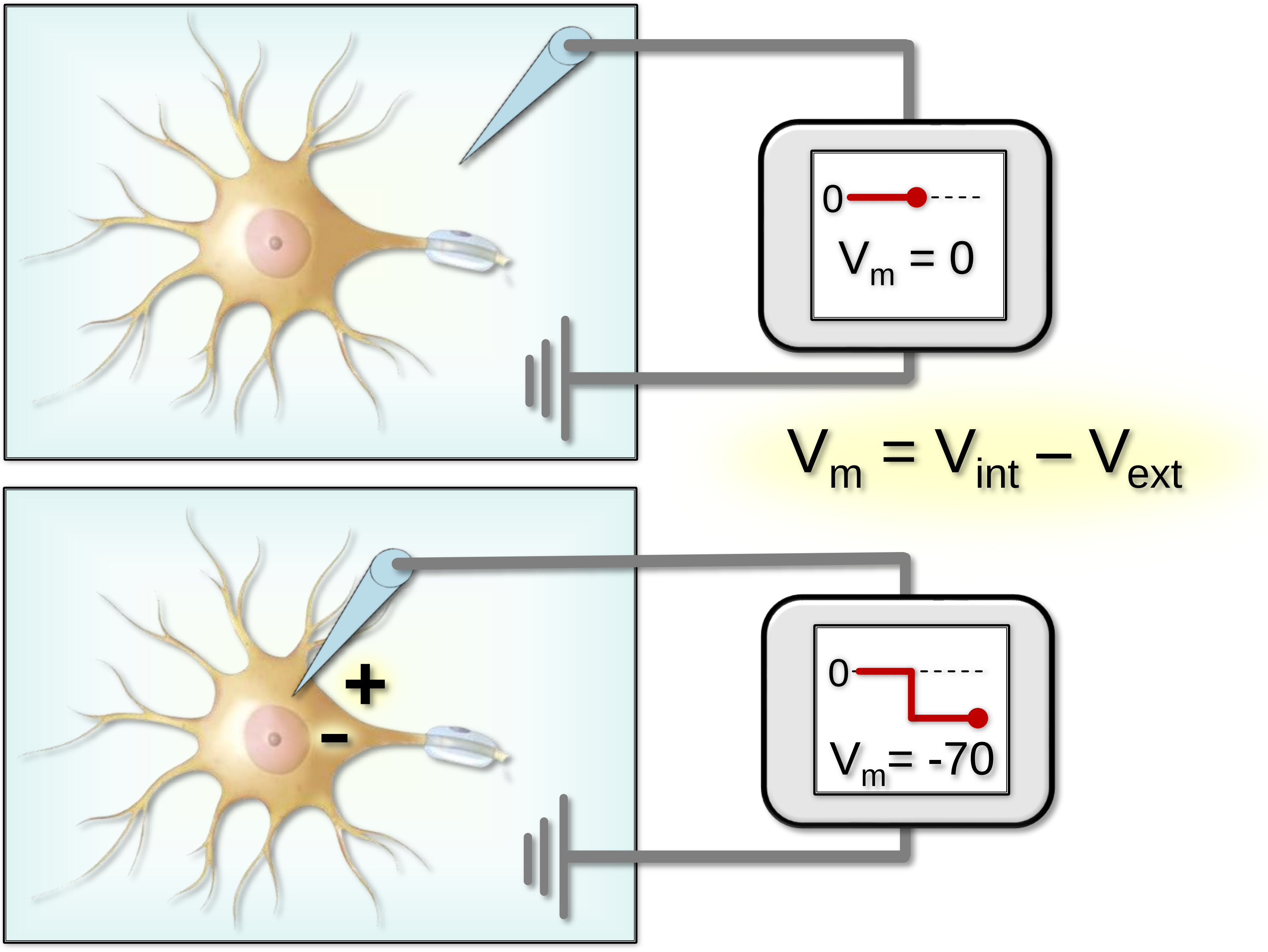
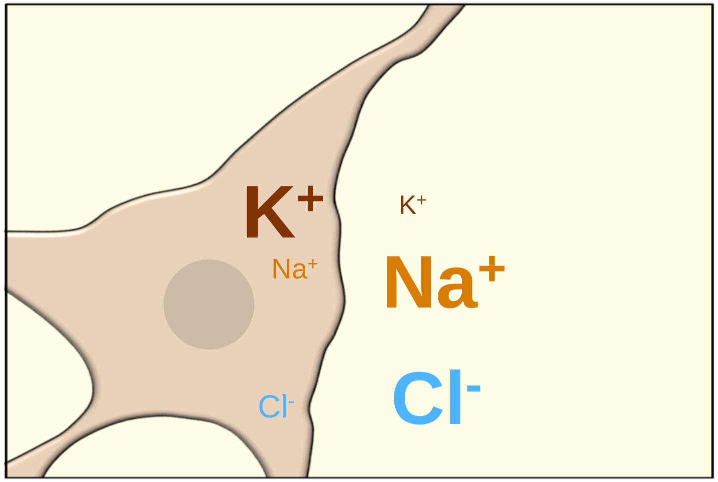
Bioeletricidade da membrana plasmática



Potencial de repouso da membrana plasmática

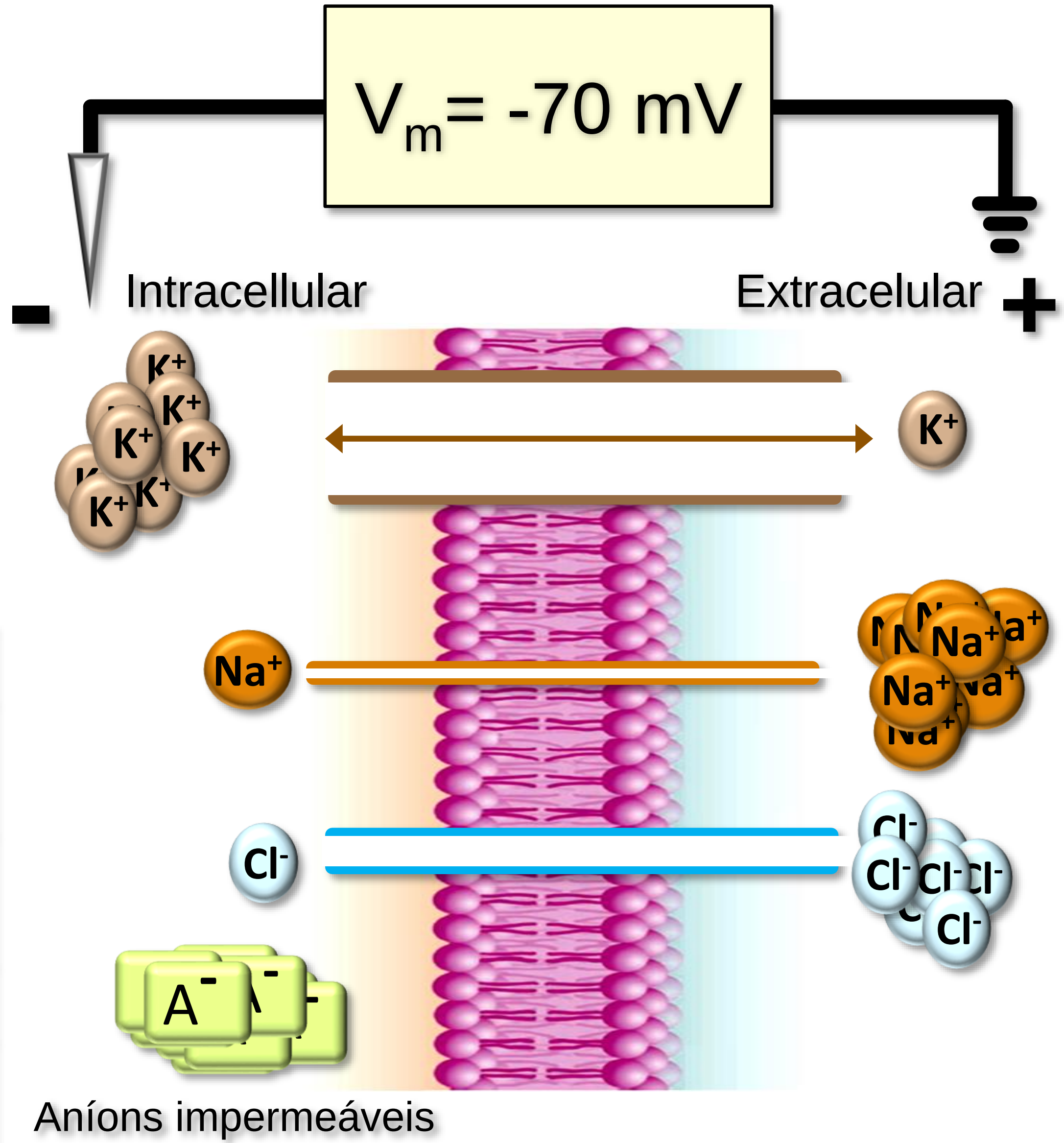


Composição iónica da célula excitável



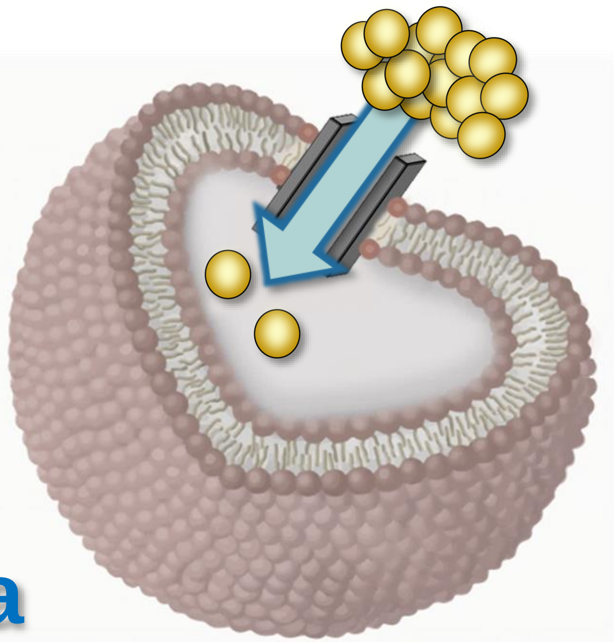
Concentrações (mM)

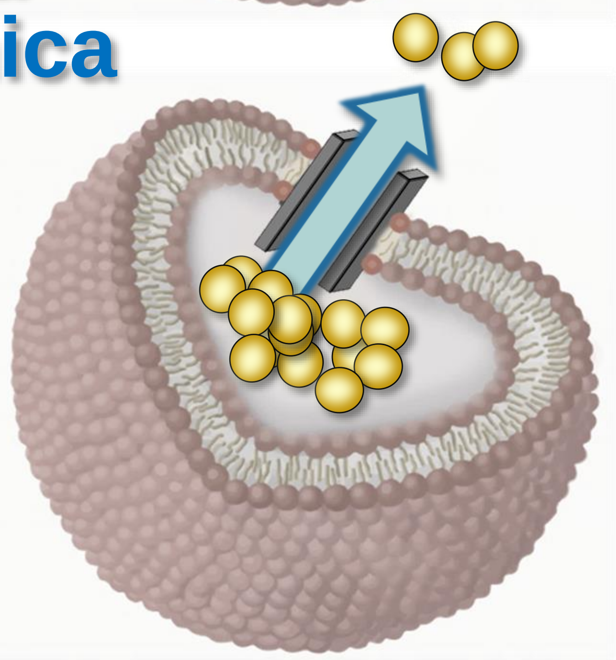
	Intracelular	Extracelular
Cations		
K^+	100	5
Na^+	15	150
Anions		
Cl^-	13	150



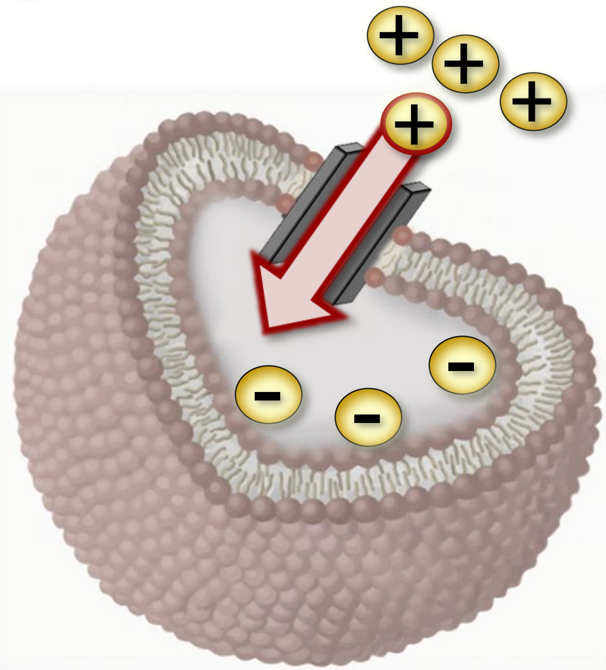
Forças que agem sobre os íons

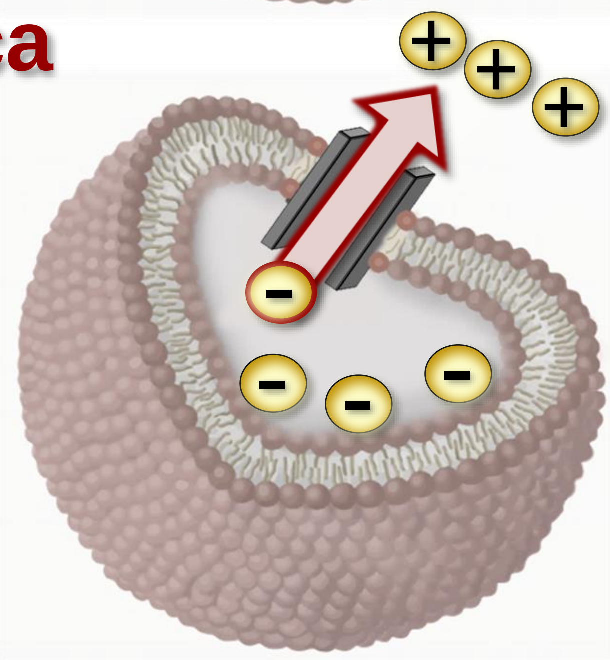
Força química

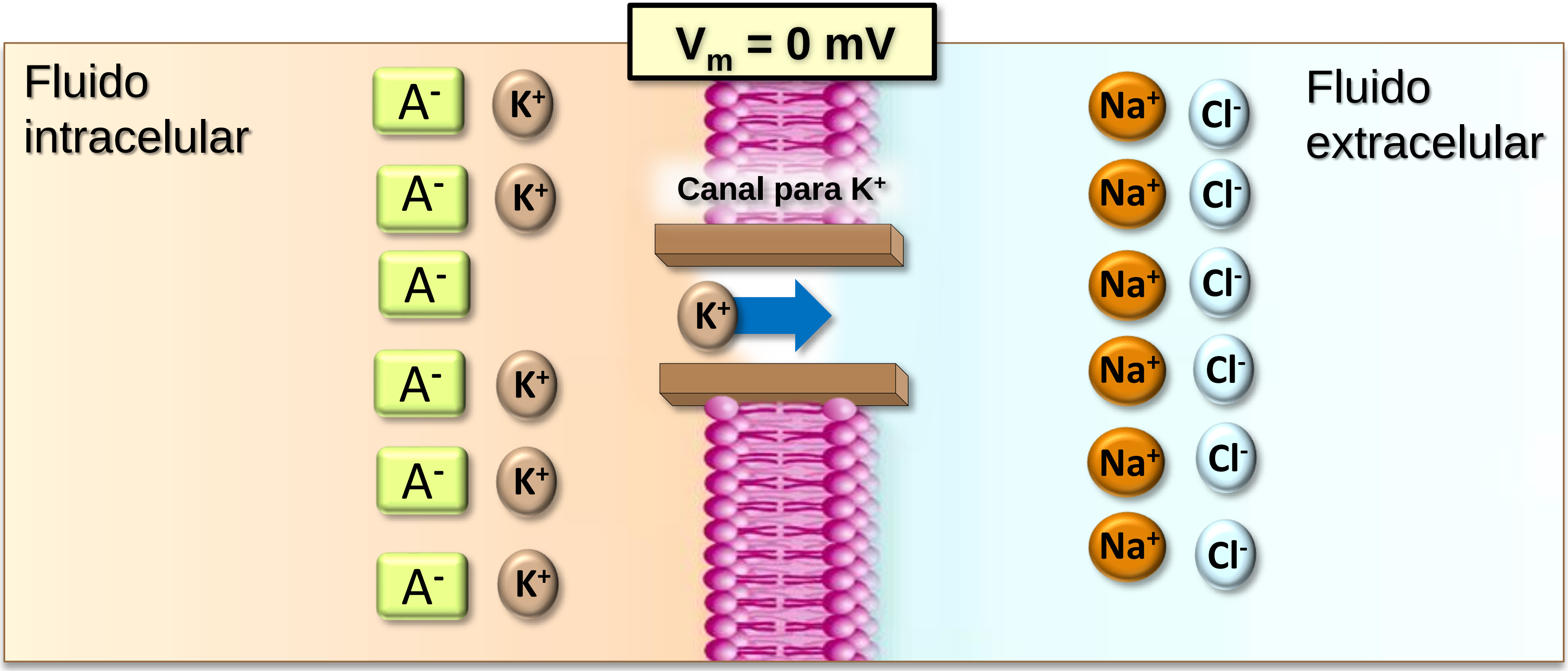




Força elétrica







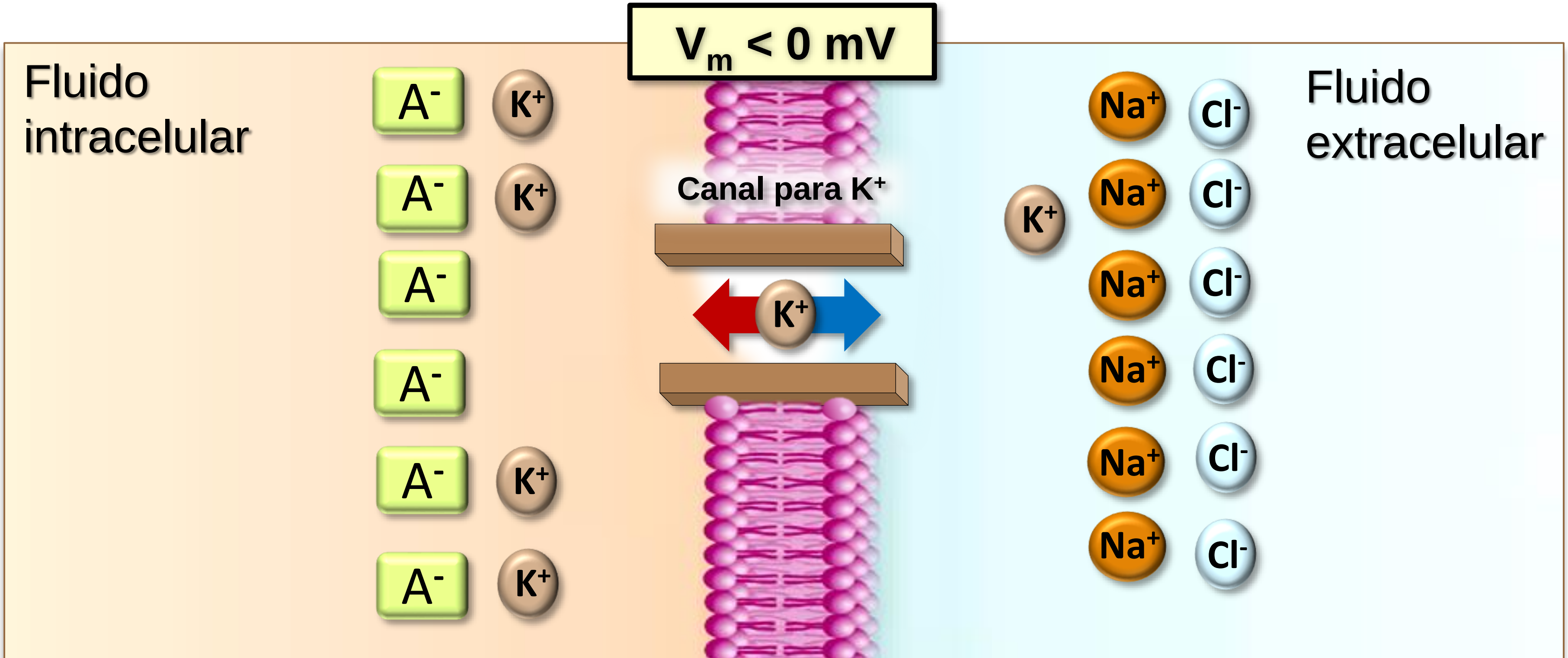
$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]} + zF\,(V_{Ext} - V_{Int}) < 0$$

$\Delta\mu_{quimico} < 0$

Variação energética devida à força química

$\Delta U_{eletrica} = 0$

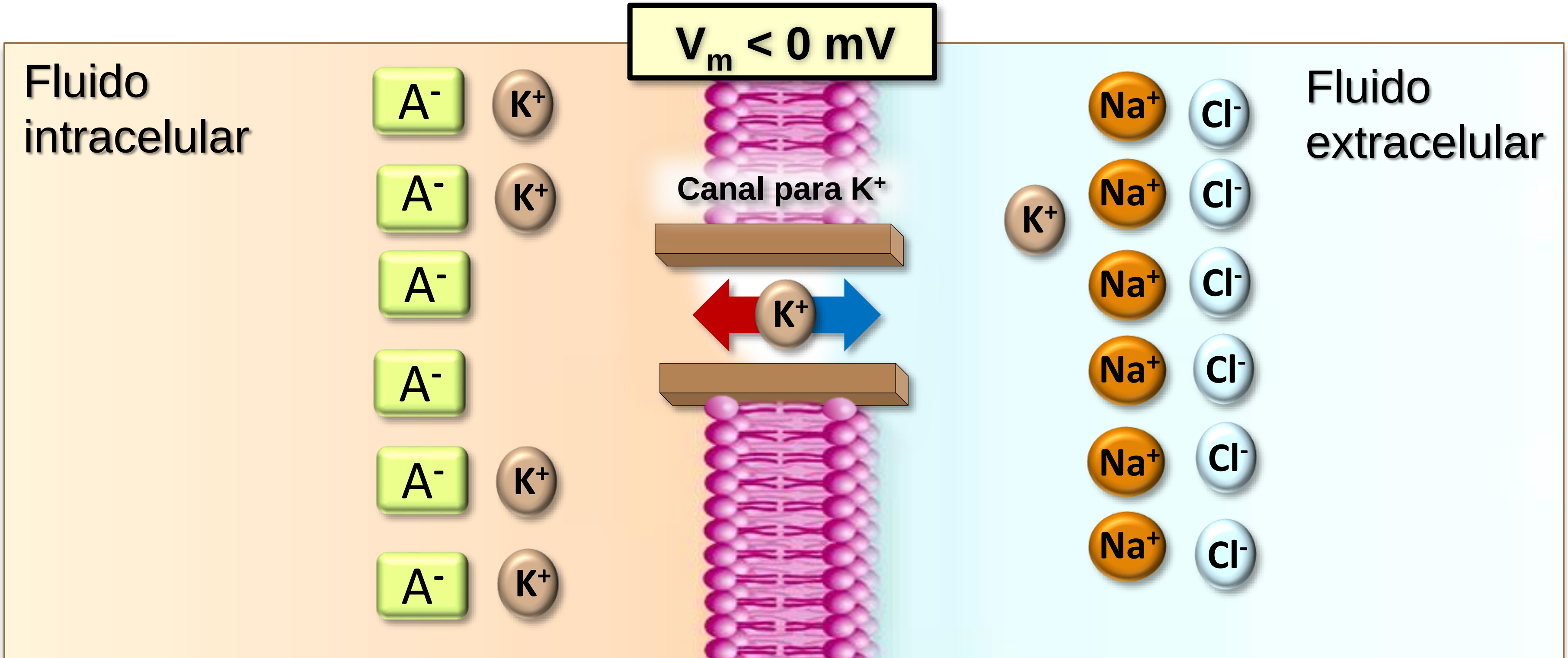
Variação energética devida à força elétrica



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]} + zF\,(V_{Ext} - V_{Int}) = 0$$

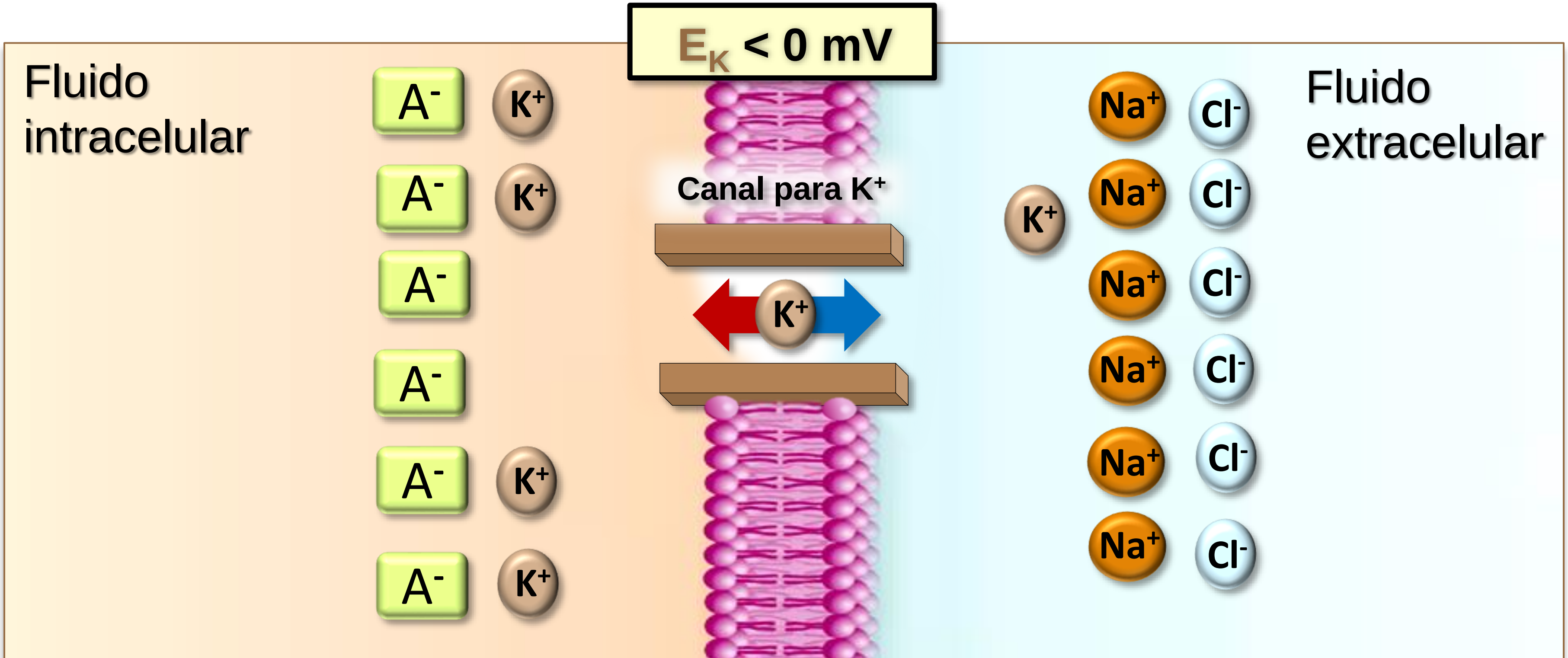
$\Delta\mu_{quimico} < 0$

$\Delta U_{eletrica} > 0$



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]} + zF\,(V_{Ext} - V_{Int}) = 0$$

$$V_{Ext} - V_{Int} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+_{Int}]}{[K^+_{Ext}]}$$

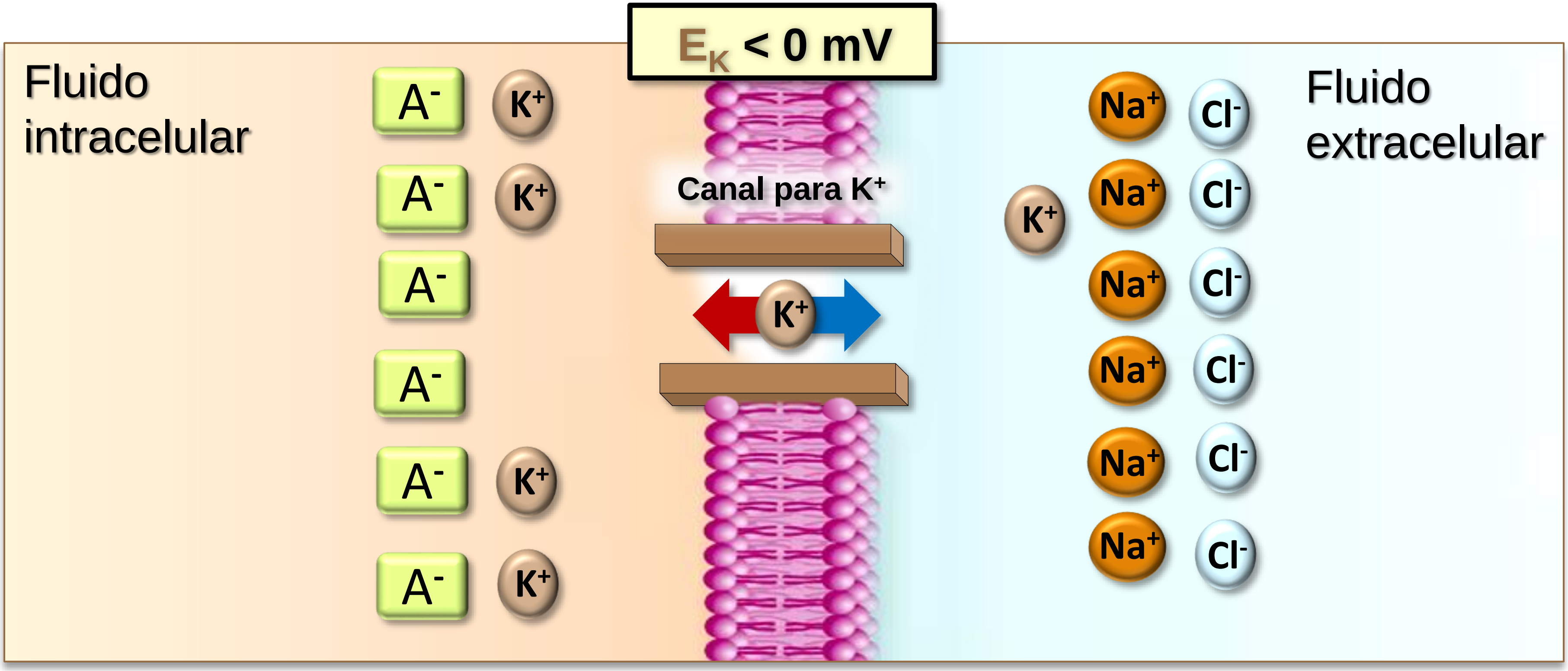


$$V_{Ext} - V_{Int} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+_{Int}]}{[K^+_{Ext}]}$$

$$V_{Int} - V_{Ext} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]}$$

O potencial de membrana (**V_m**) é definido como a diferença entre o potencial intracelular e o potencial extracelular

$$\mathbf{V_m} = V_{Int} - V_{Ext}$$



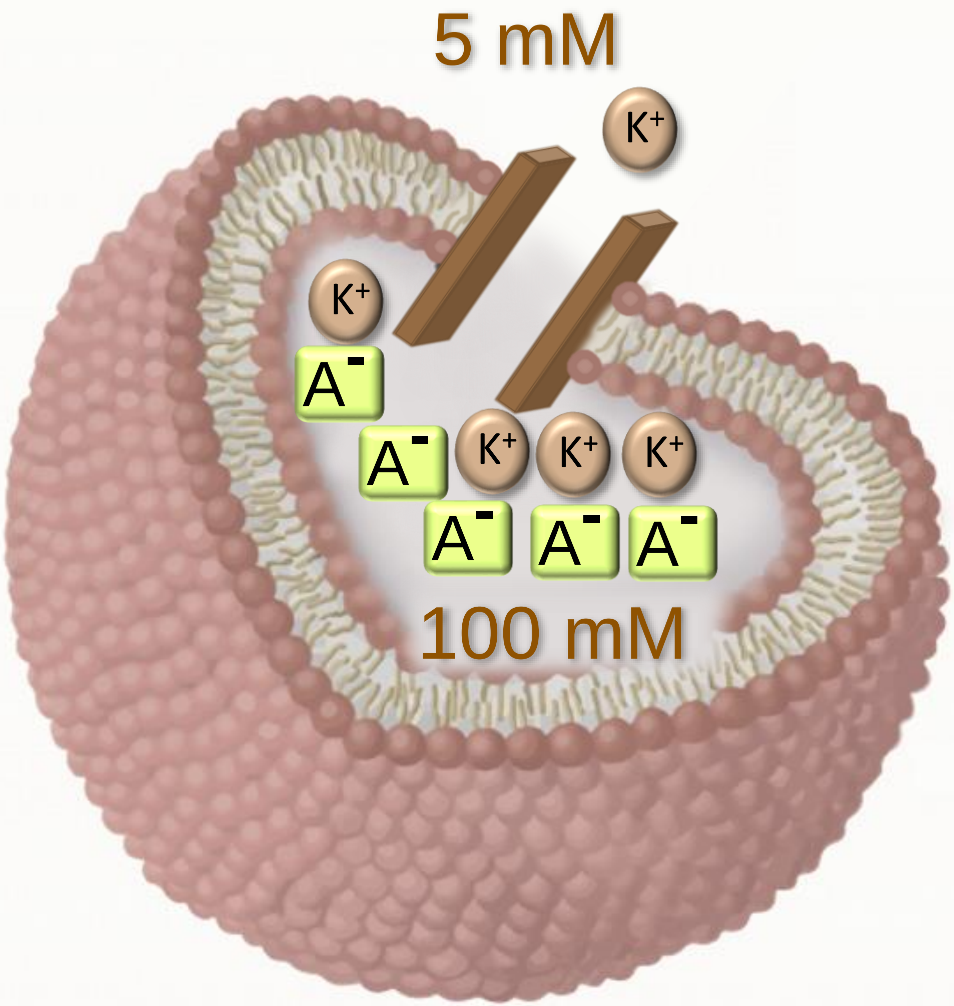
Equação de Nernst

$$E_K = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]}$$

E_K = Potencial de equilíbrio do potássio

Valor do potencial que a membrana teria se o potássio fosse o único íon permeável

Potencial de equilíbrio do potássio (E_K)



$$E_K = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+_{Ext}]}{[K^+_{Int}]}$$

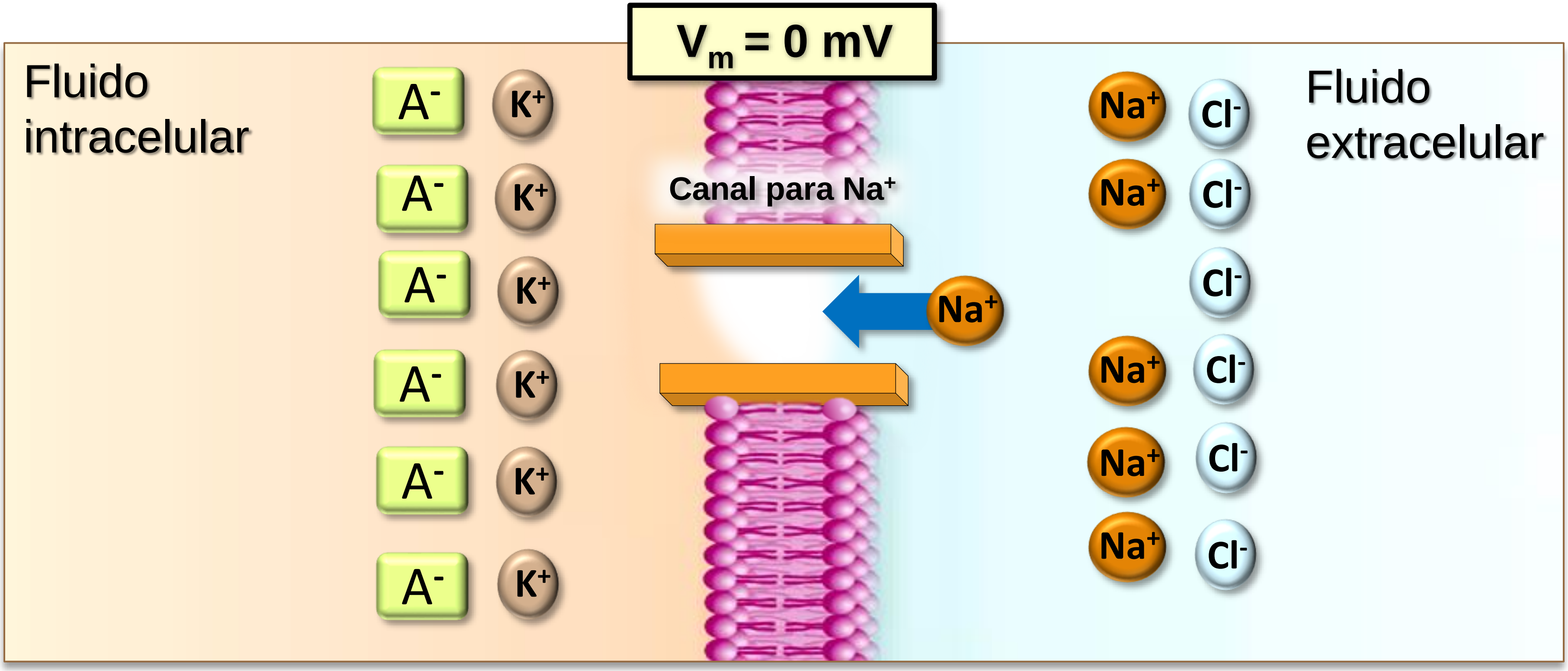
R = constante dos gases (8,3143 J/mol K)

F = constante de Faraday (96485 C/mol)

T = Temperatura (310,15 K)

Z = Valencia do ion (+1)

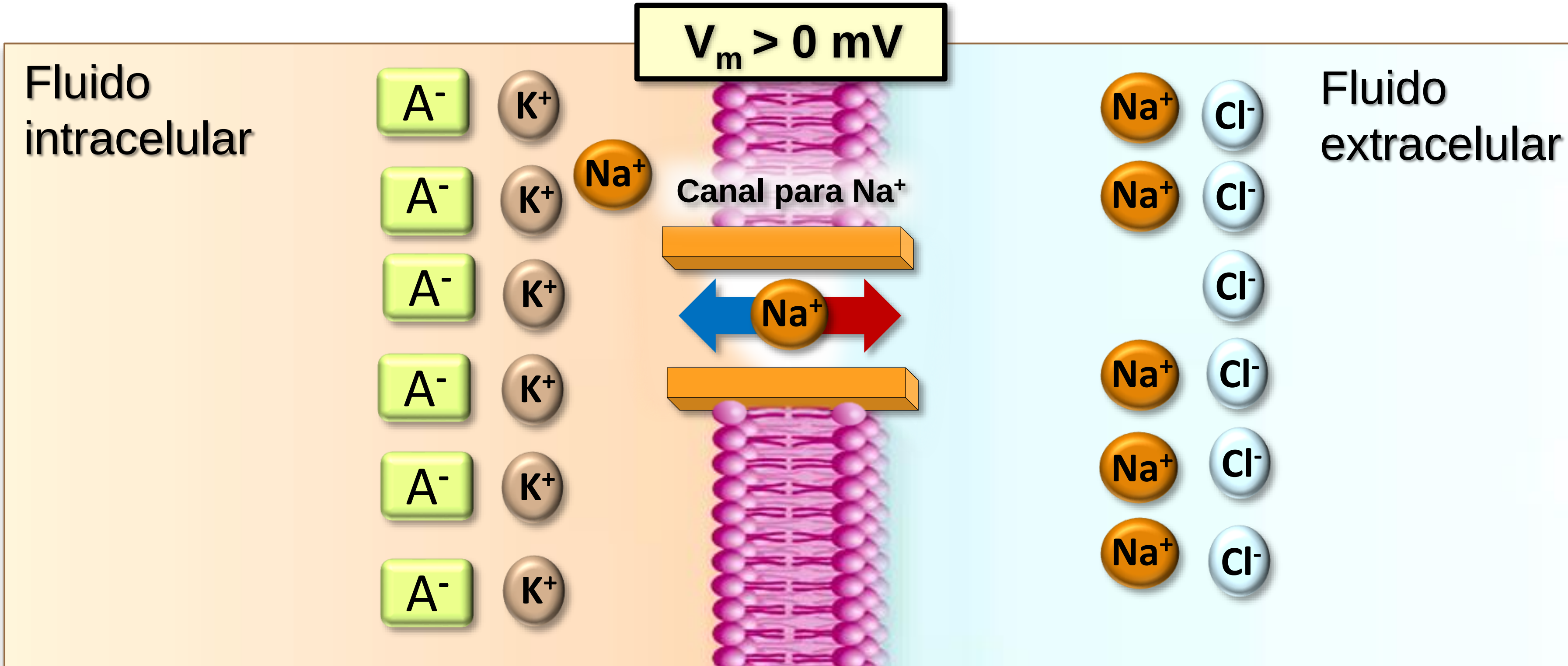
$$E_k = 0{,}02673 \ \ln \frac{5}{100} = -\ 0{,}080 \text{ V} = -80 \text{ mV}$$



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[Na^{+}_{Int}]}{[Na^{+}_{Ext}]} + zF\,(V_{Int} - V_{Ext}) < 0$$

$\Delta\mu_{quimico} < 0$

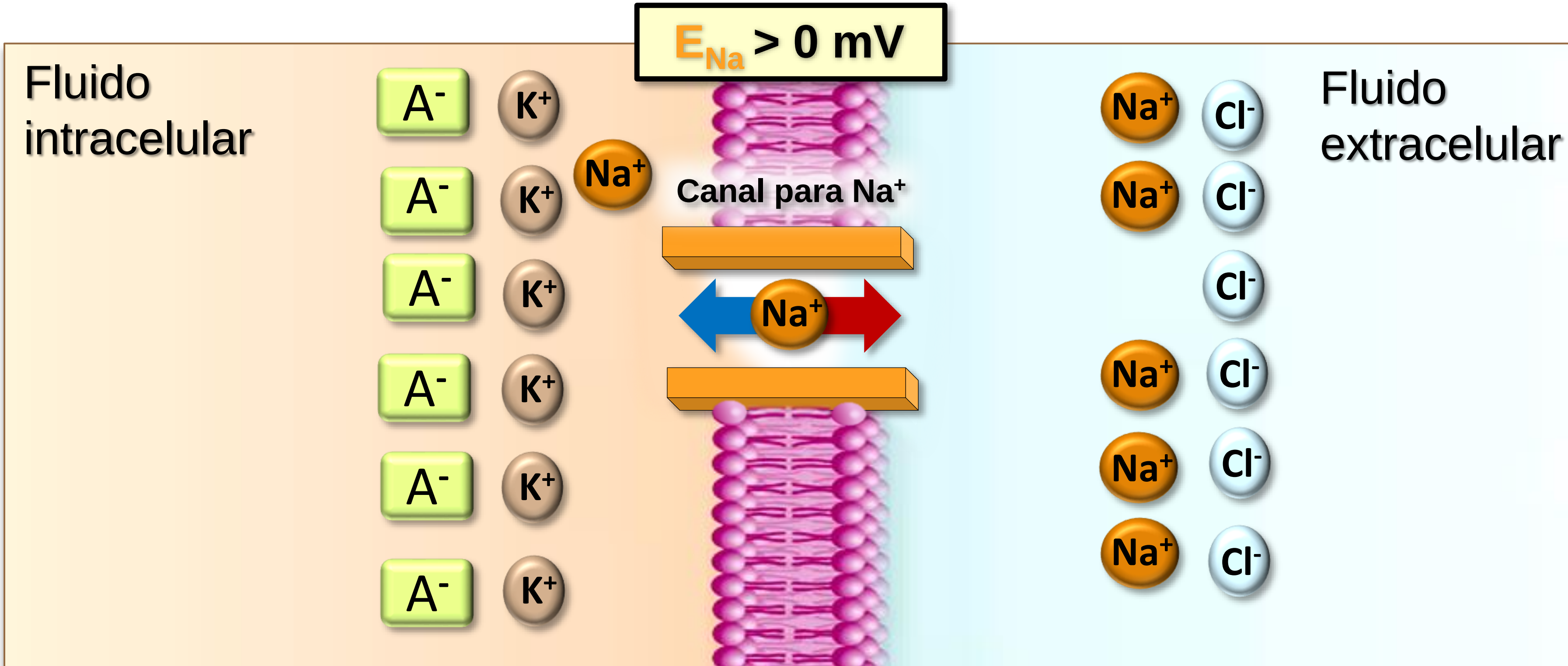
$\Delta U_{eletrica} = 0$



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[Na^+_{Int}]}{[Na^+_{Ext}]} + zF\,(V_{Int} - V_{Ext}) = 0$$

$\Delta\mu_{quimico} < 0$

$\Delta U_{eletrica} > 0$



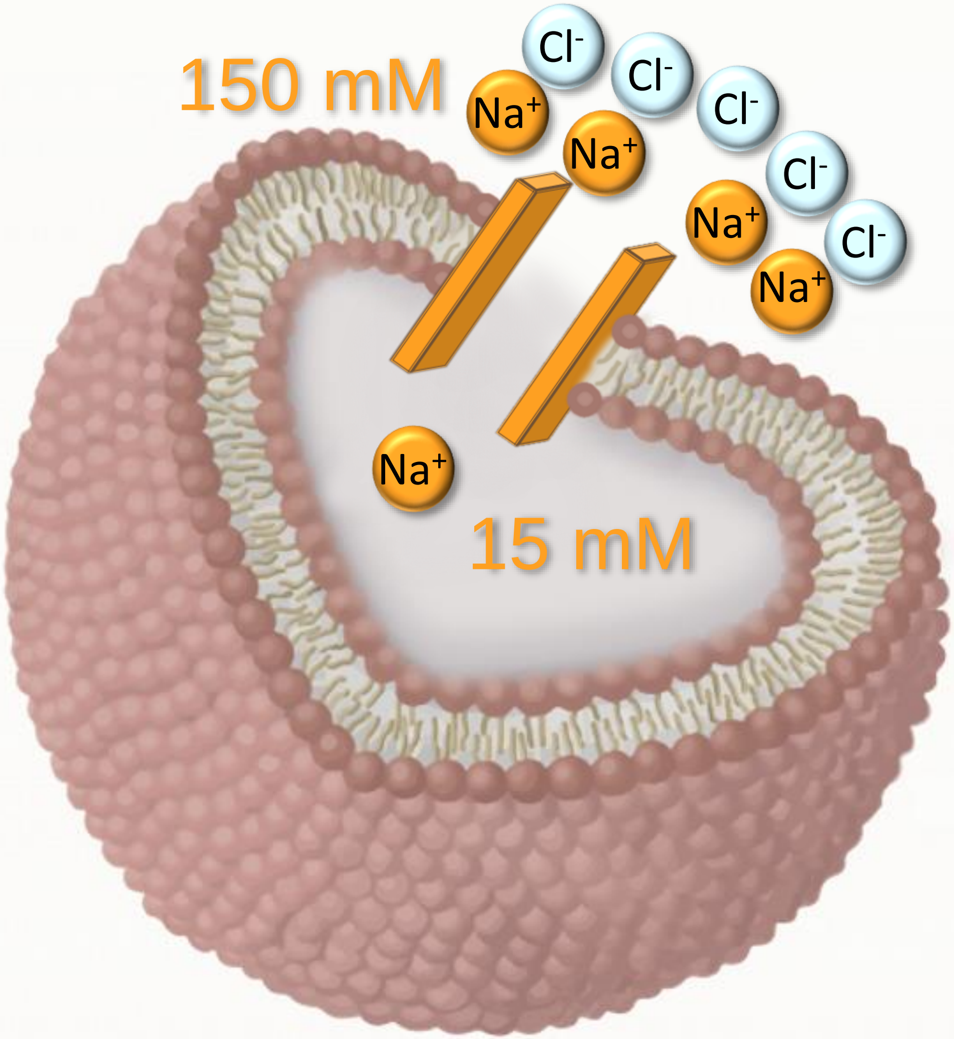
Equação de Nernst

$$E_{Na} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Na^+_{Ext}]}{[Na^+_{Int}]}$$

E_{Na} = Potencial de equilíbrio do sódio

Valor do potencial que a membrana teria se o sódio fosse o único íon permeável

Potencial de equilíbrio do sódio (E_{Na})



$$E_{Na} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Na^+_{Ext}]}{[Na^+_{Int}]}$$

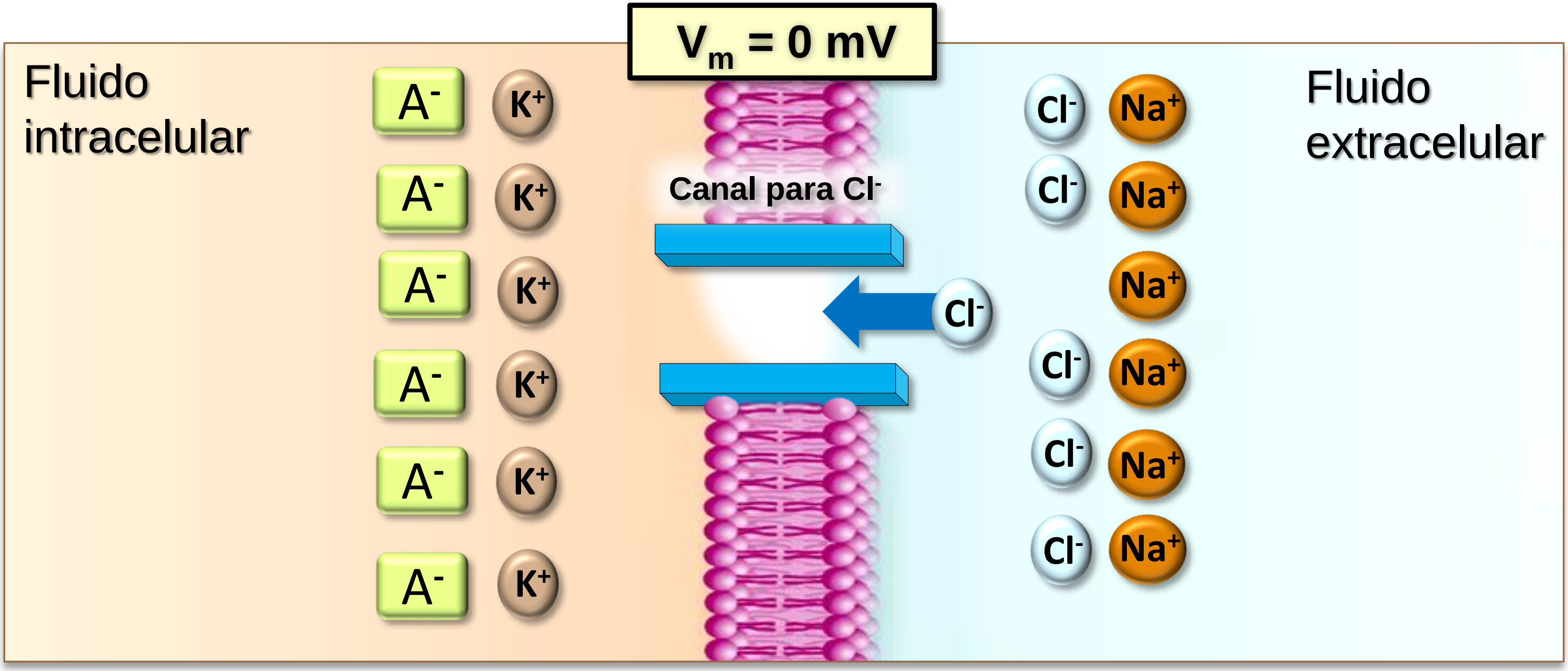
R = constante dos gases (8,3143 J/mol K)

F = constante de Faraday (96485 C/mol)

T = Temperatura (310,15 K)

Z = Valencia do ion (+1)

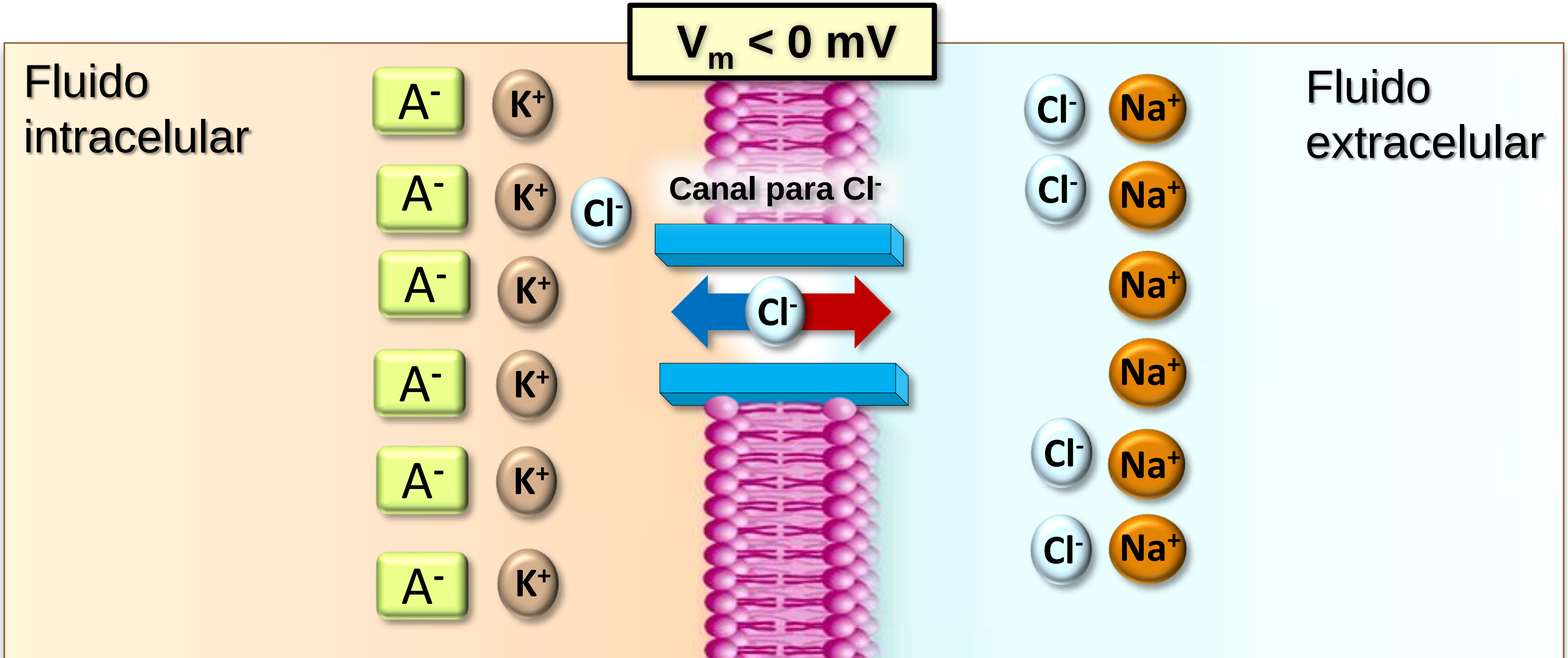
$$E_{Na} = 0{,}02673 \ln \frac{150}{15} = 0{,}062\ V = +62\ mV$$



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[Cl^-_{Int}]}{[Cl^-_{Ext}]} + zF\,(V_{Int} - V_{Ext}) < 0$$

$\Delta\mu_{quimico} < 0$

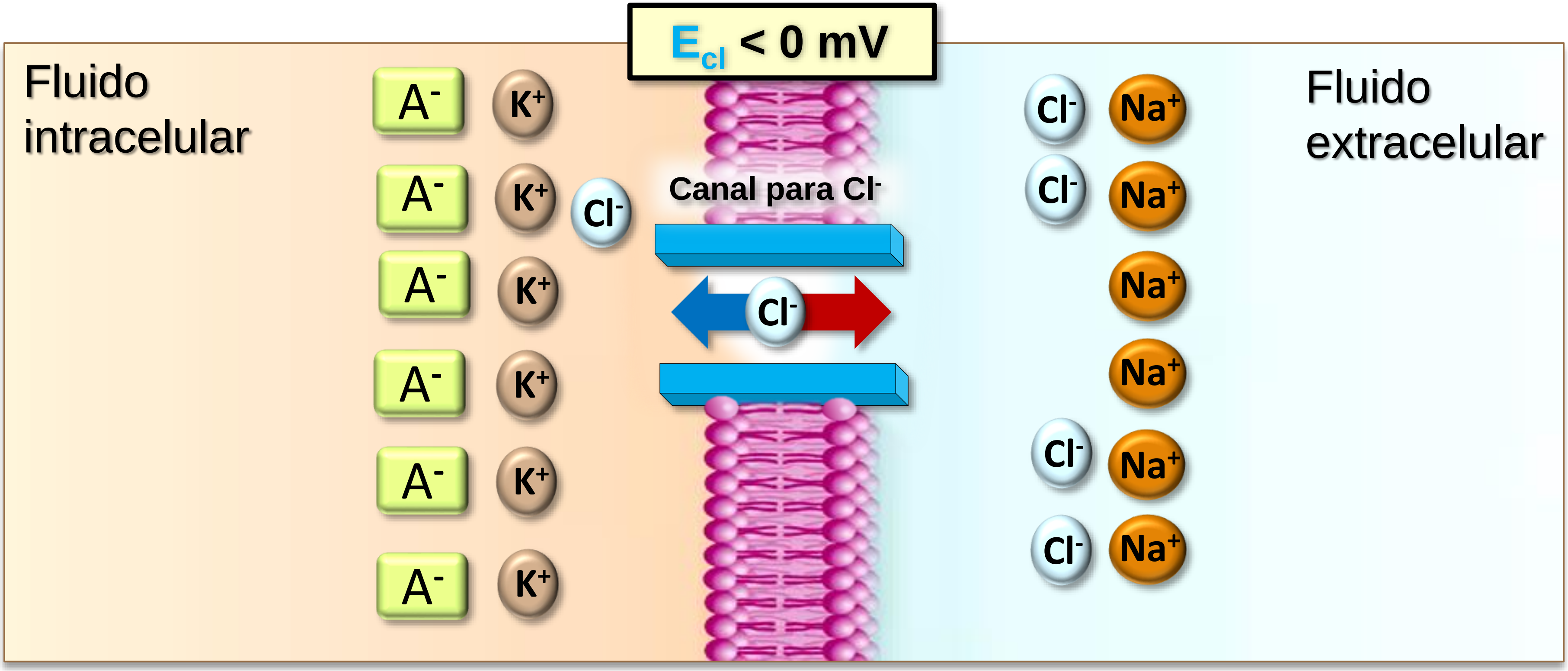
$\Delta U_{eletrica} = 0$



$$\Delta\mu_{elettroquimico} = RT \ln \frac{[Cl^-_{Int}]}{[Cl^-_{Ext}]} + zF\,(V_{Int} - V_{Ext}) = 0$$

$\Delta\mu_{quimico} < 0$

$\Delta U_{eletrica} > 0$



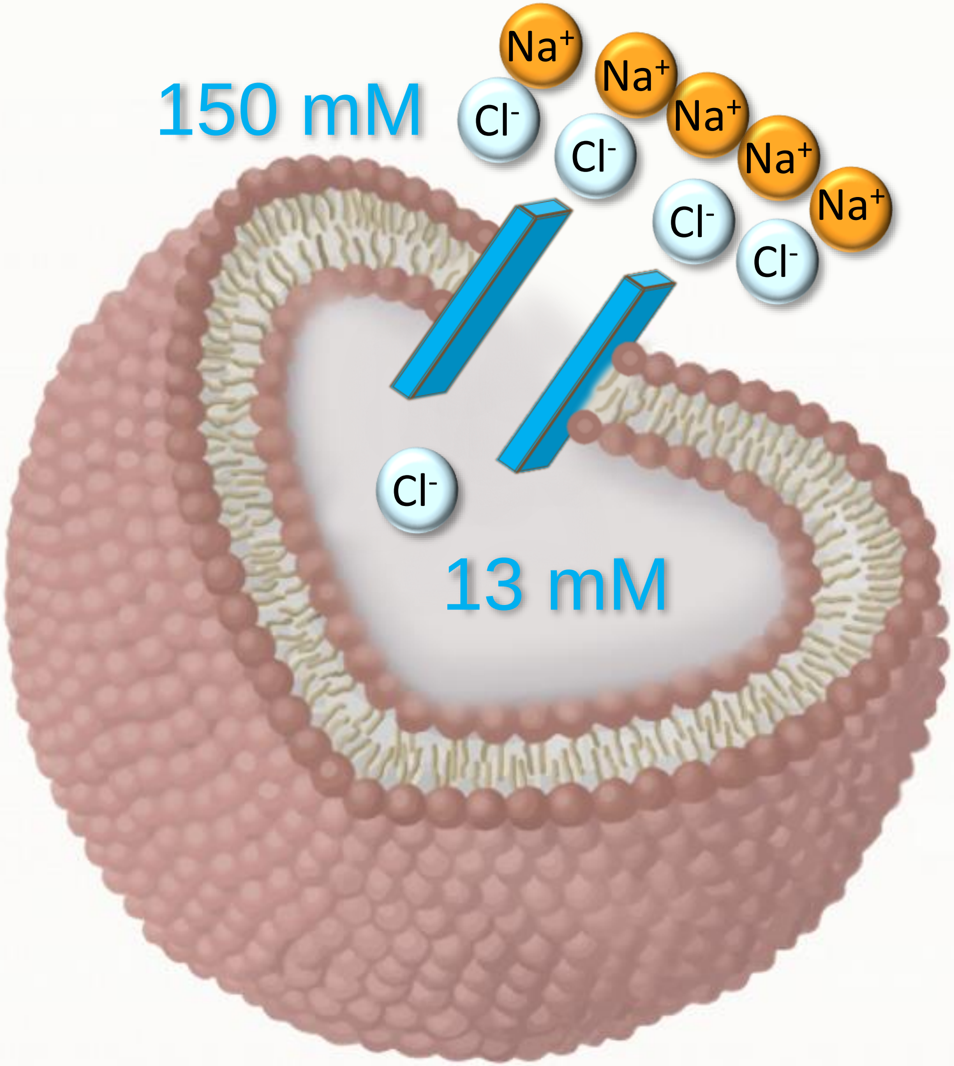
Equação de Nernst

$$E_{Cl} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Cl^-_{Ext}]}{[Cl^-_{Int}]}$$

E_{Cl} = Potencial de equilíbrio do cloreto

Valor do potencial que a membrana teria se o cloreto fosse o único íon permeável

Potencial de equilíbrio do cloreto (E_{Cl})



$$E_{Cl} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[Cl^-_{Ext}]}{[Cl^-_{Int}]}$$

R = constante dos gases (8,3143 J/mol K)

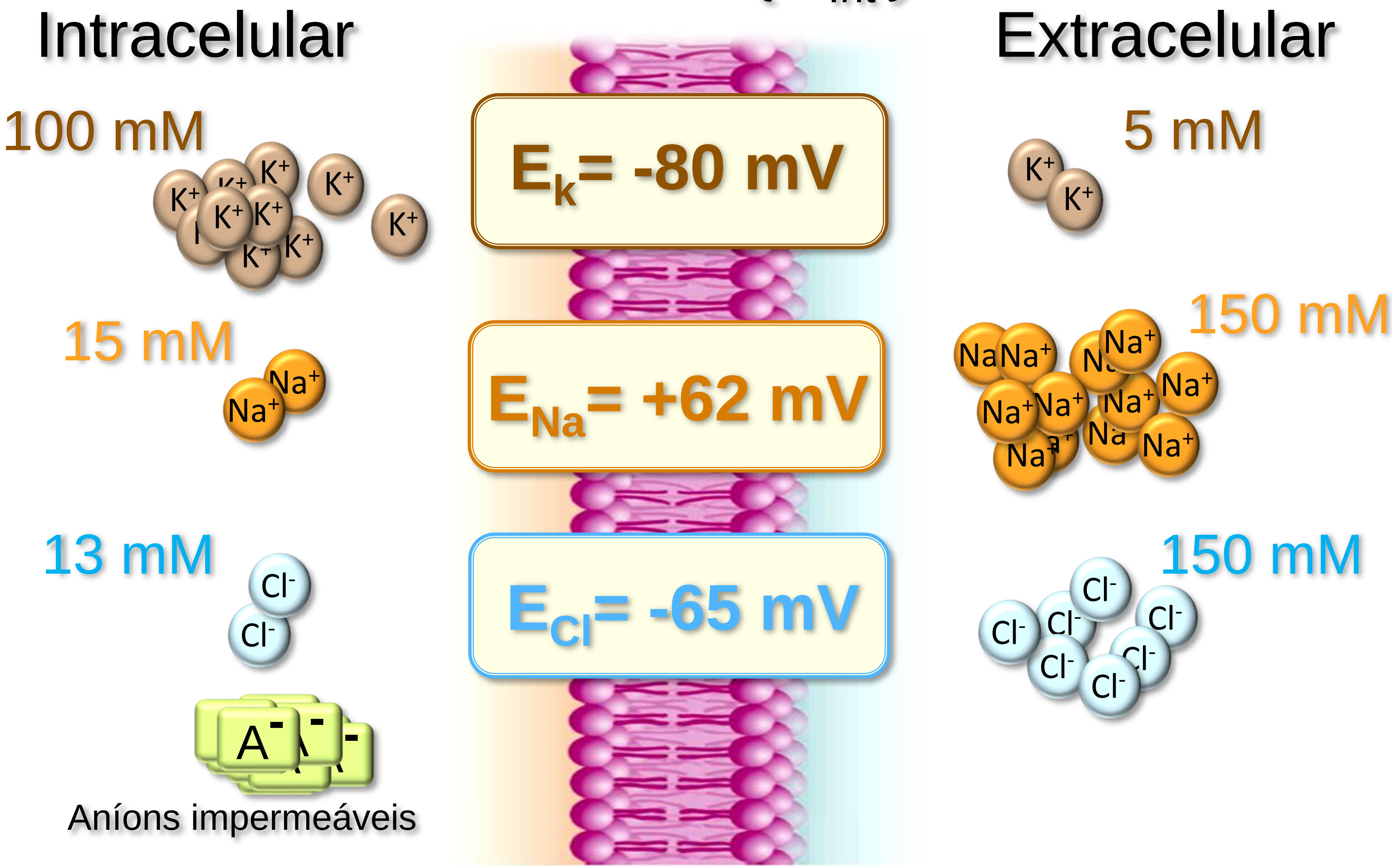
F = constante de Faraday (96485 C/mol)

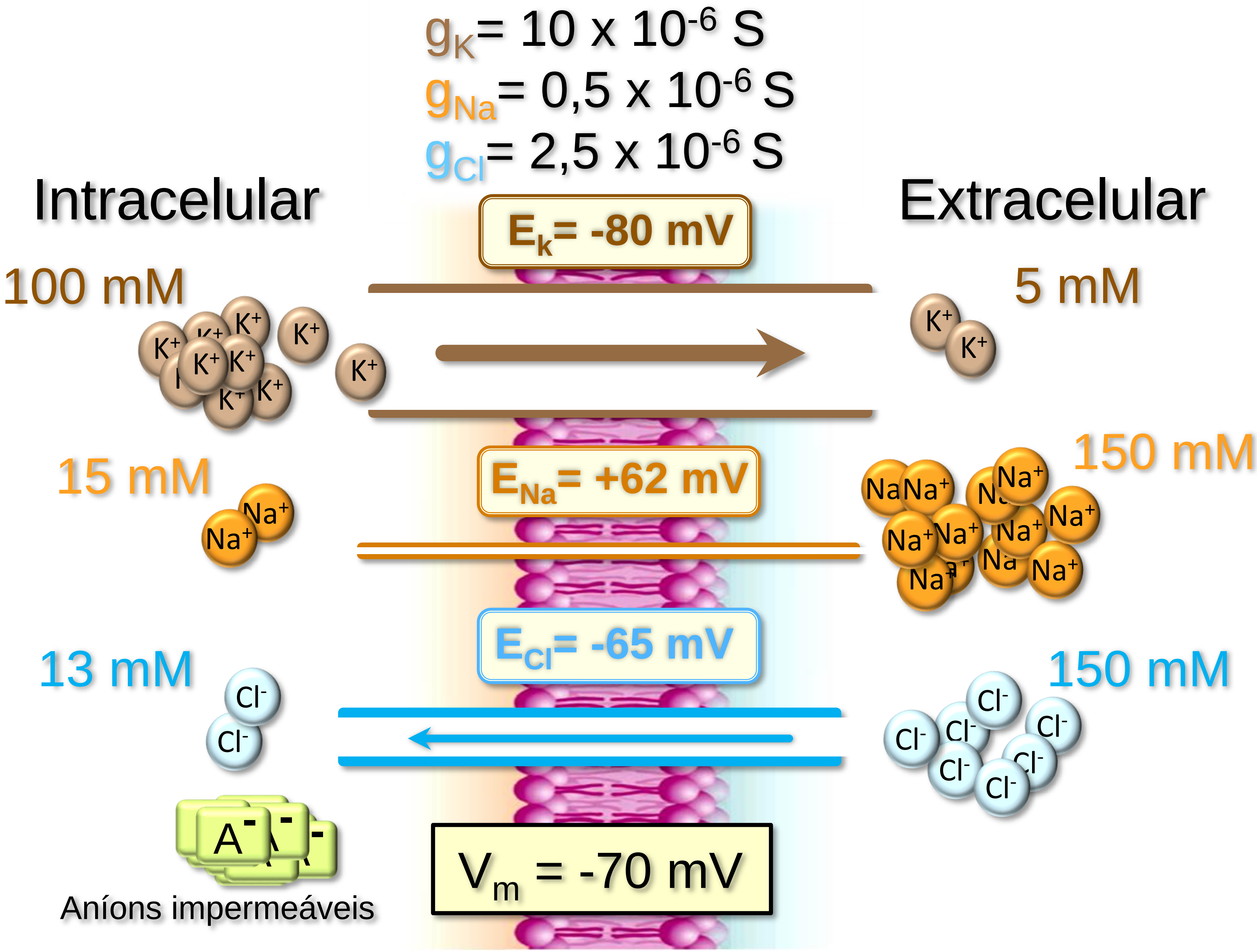
T = Temperatura (310,15 K)

Z = Valencia do ion (-1)

$$E_{Na} = 0{,}02673 \ln \frac{150}{13} = -0{,}065\ V = -65\ mV$$

$$E_X = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[X_{ext}]}{[X_{int}]}$$





$g_K = 10 \times 10^{-6}$ S
$g_{Na} = 0,5 \times 10^{-6}$ S
$g_{Cl} = 2,5 \times 10^{-6}$ S
Intracelular
Extracelular
$E_k = -80$ mV
100 mM
5 mM
K^+
$E_{Na} = +62$ mV
15 mM
150 mM
Na^+
$E_{Cl} = -65$ mV
13 mM
150 mM
Cl^-
A^-
Aníons impermeáveis
$V_m = -70$ mV

Calculo do potencial de repouso da membrana plasmática

	Concentrações (mM)	
Cations	Intracelular	Extracelular
K^+	100	5
Na^+	15	150
Anions		
Cl^-	13	150

$E_K = -80$ mV

$E_{Na} = +62$ mV

$E_{Cl} = -65$ mV

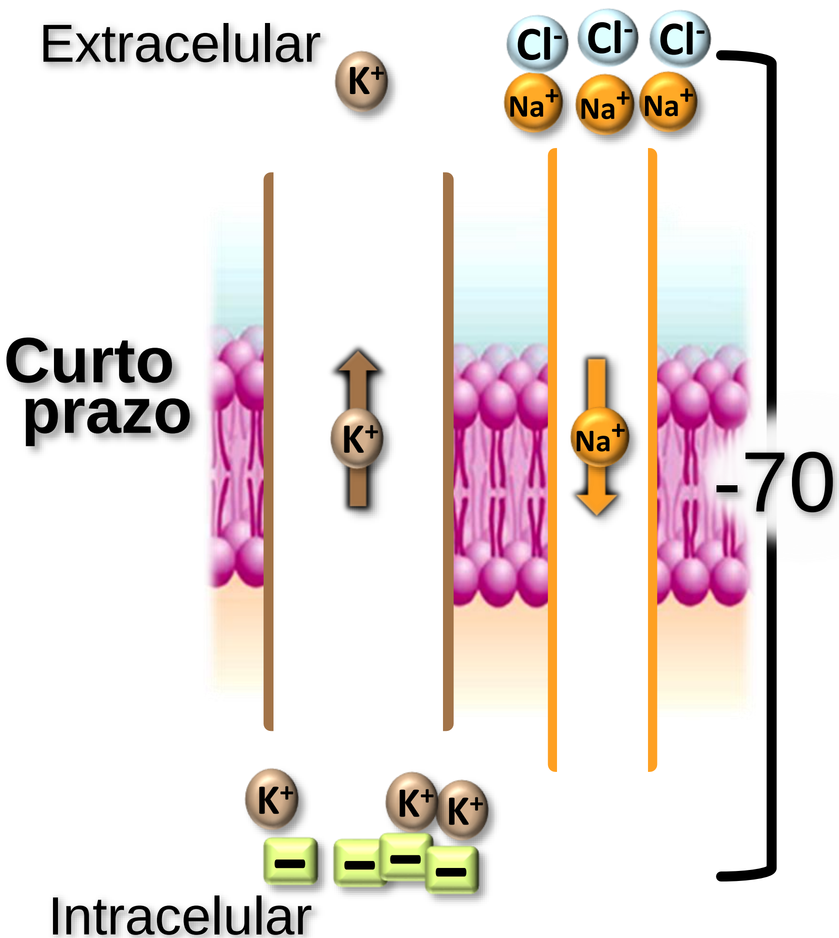
$g_K = 10 \times 10^{-6}$ S

$g_{Na} = 0,5 \times 10^{-6}$ S

$g_{Cl} = 2,5 \times 10^{-6}$ S

$$V_m = \frac{E_K g_K + g_{Na} E_{Na} + g_{Cl} E_{Cl}}{g_K + g_{Na} + g_{Cl}}$$

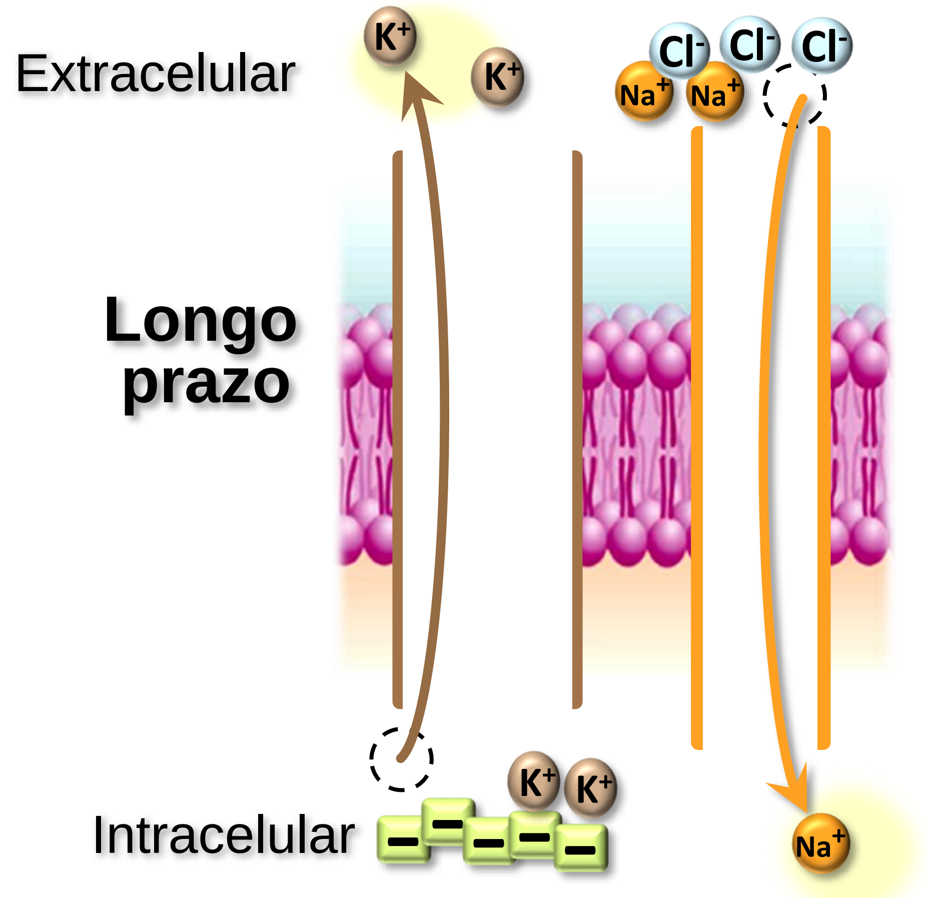
$V_m = -71,65$ mV



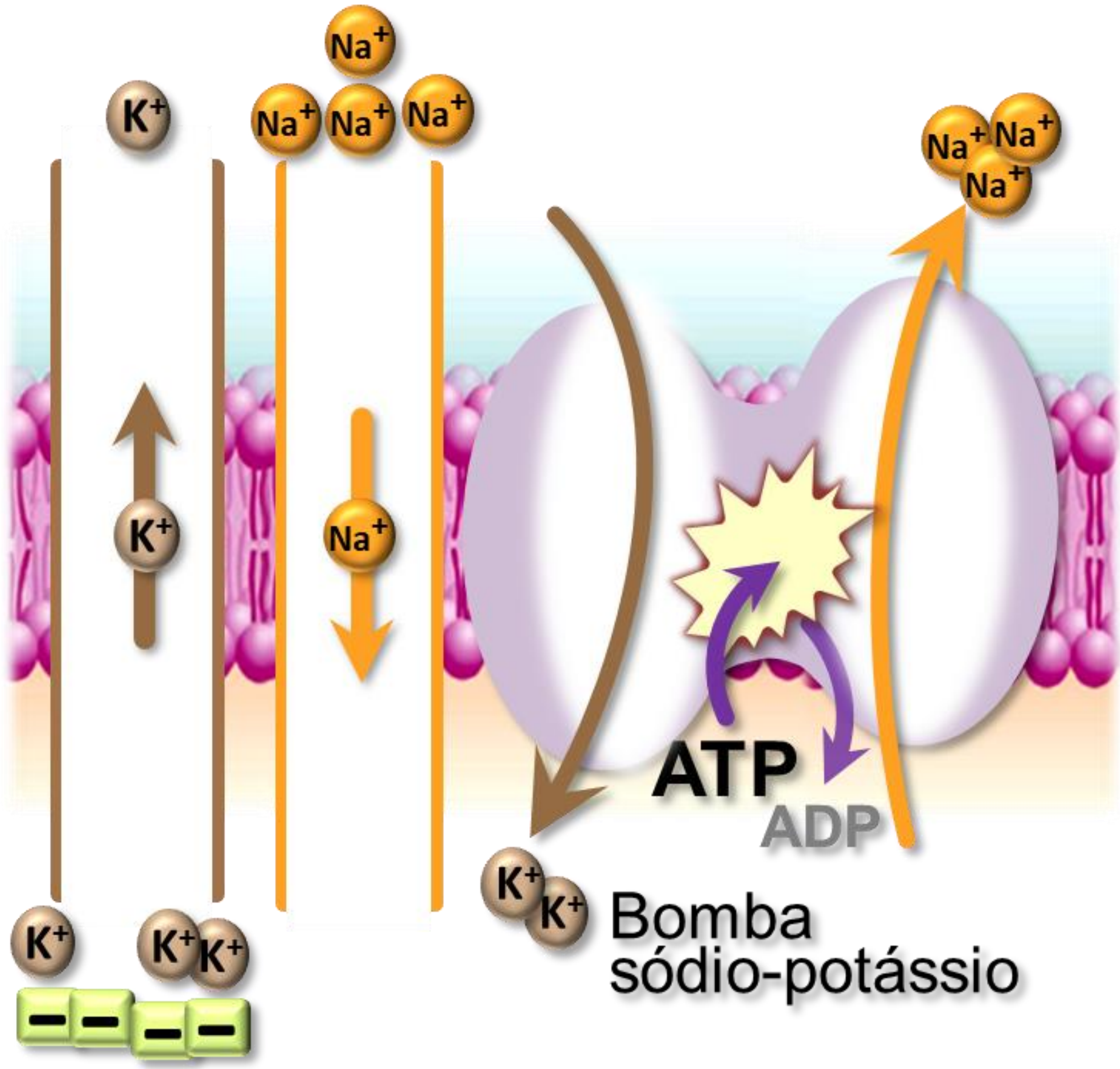
Consideramos a corrente de cloreto muito pequena e desprezável

A movimentação de sódio compensa a movimentação de potássio

O V_m continua constante em -70 mV.



- As correntes de sódio e potássio paulatinamente <u>reduzem os gradientes de concentrações</u> dos dois íons.
- Os potenciais de equilíbrio de sódio (E_{Na}) e potássio (E_k) se aproximam de 0
- O potencial de membrana (V_m) tende a assumir valores mais positivos (V_m>-70 mV)

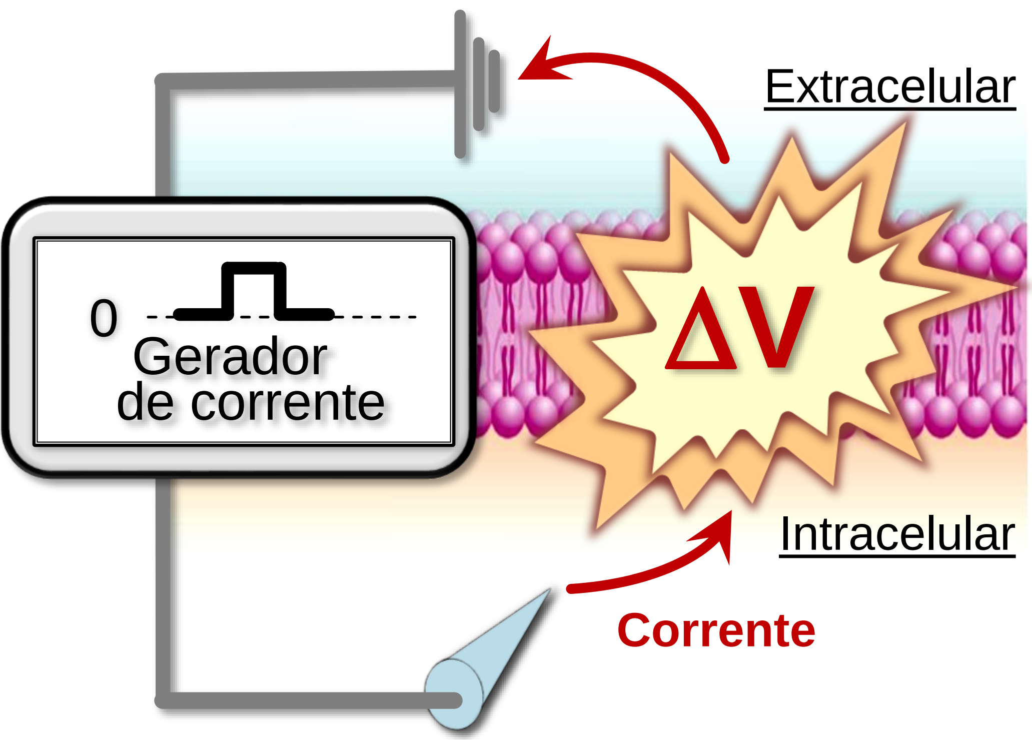


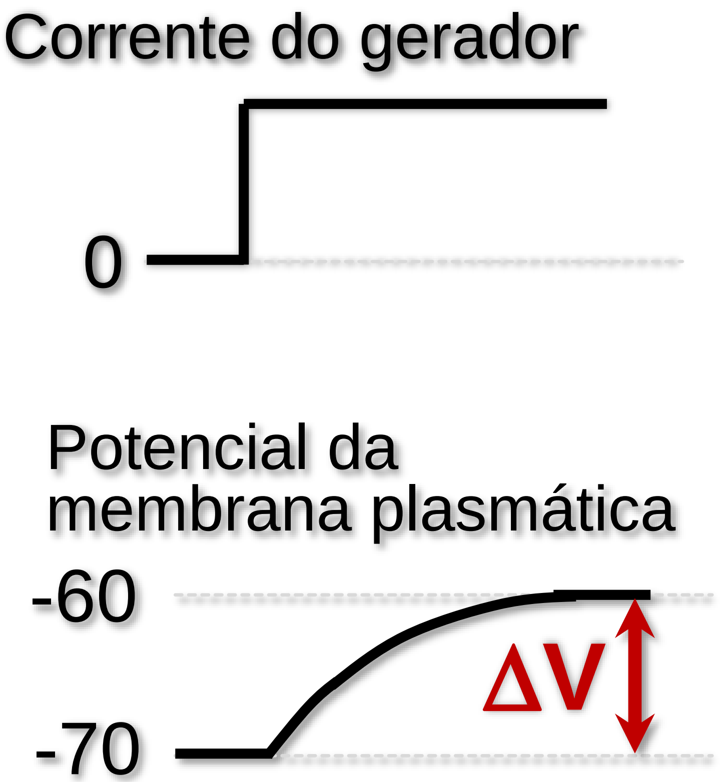
A bomba sódio-potássio garante que sejam mantidos as diferenças de concentrações de sódio e potássio entre meio intracelular e extracelular.

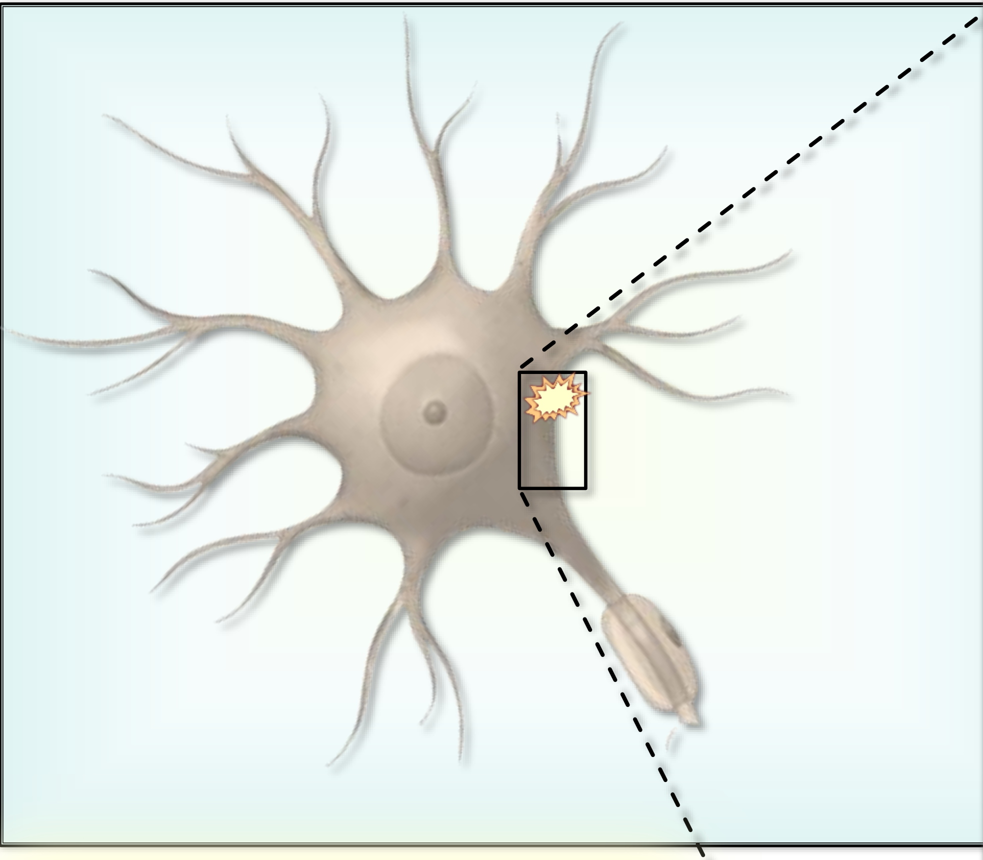
Excitação da membrana plasmática

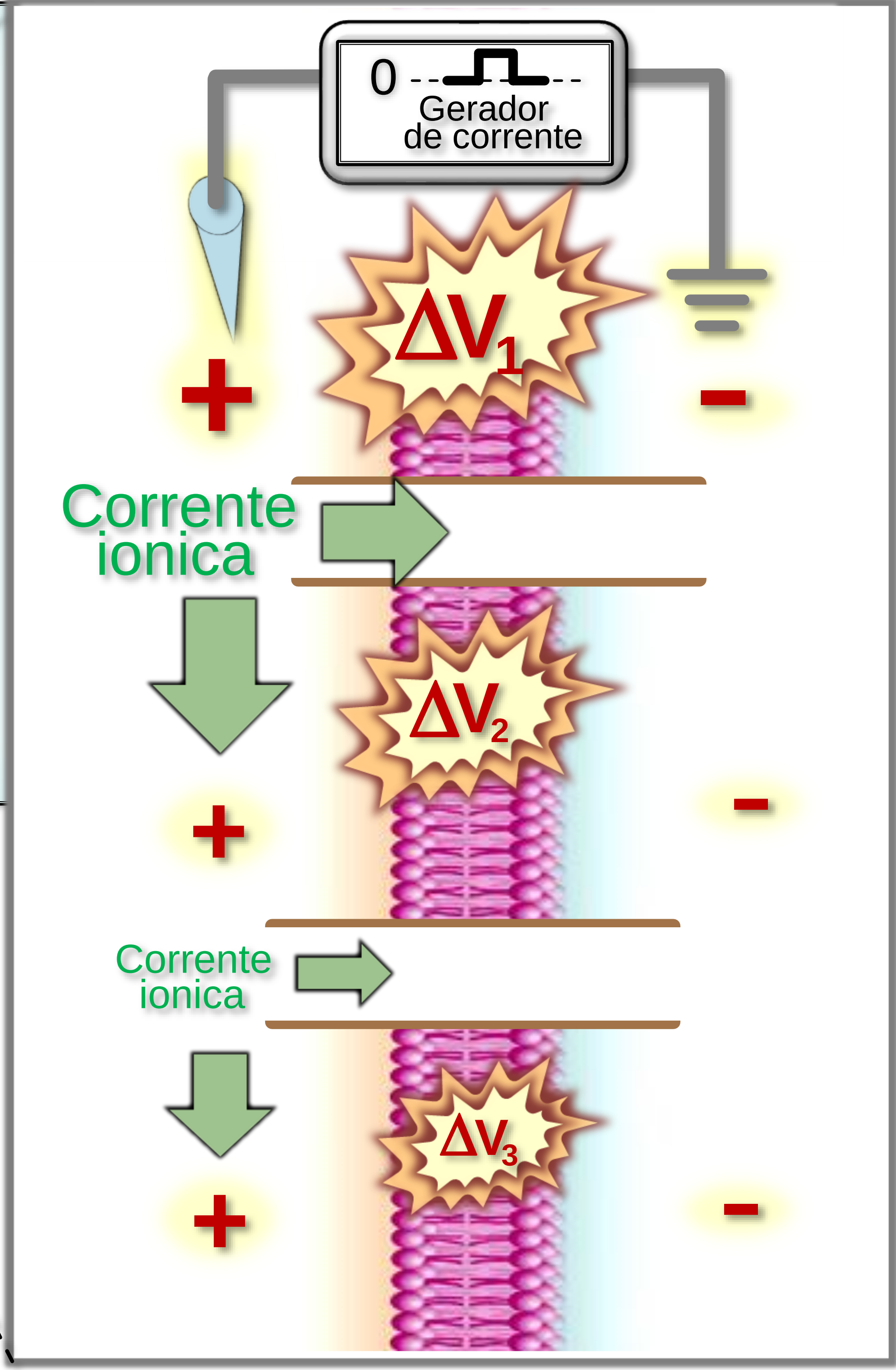
ΔV = 10 mV

A excitação da membrana plasmática não ocorre de forma instantânea.
O potencial da membrana plasmática aumenta gradativamente.





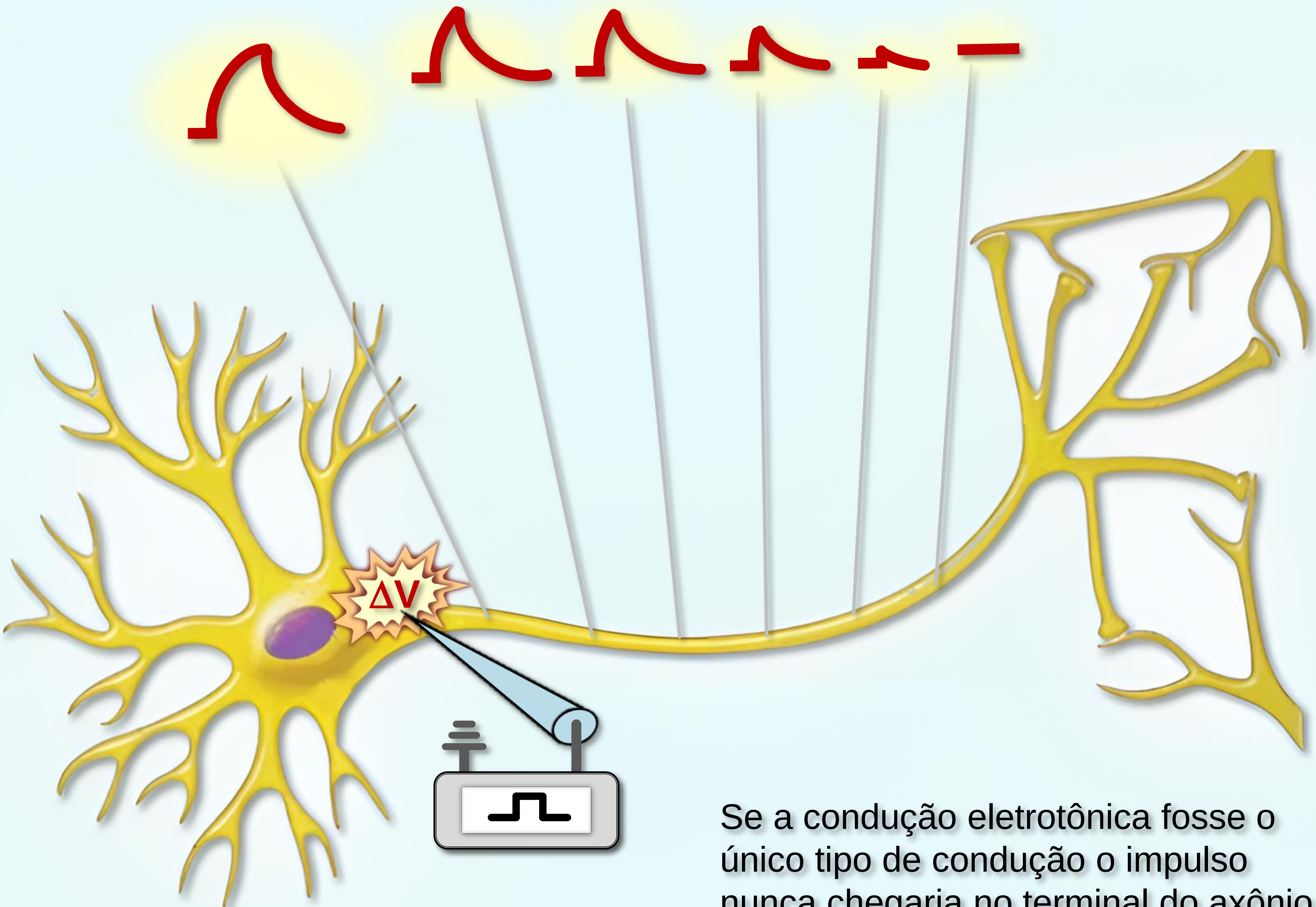




Condução eletrotónica

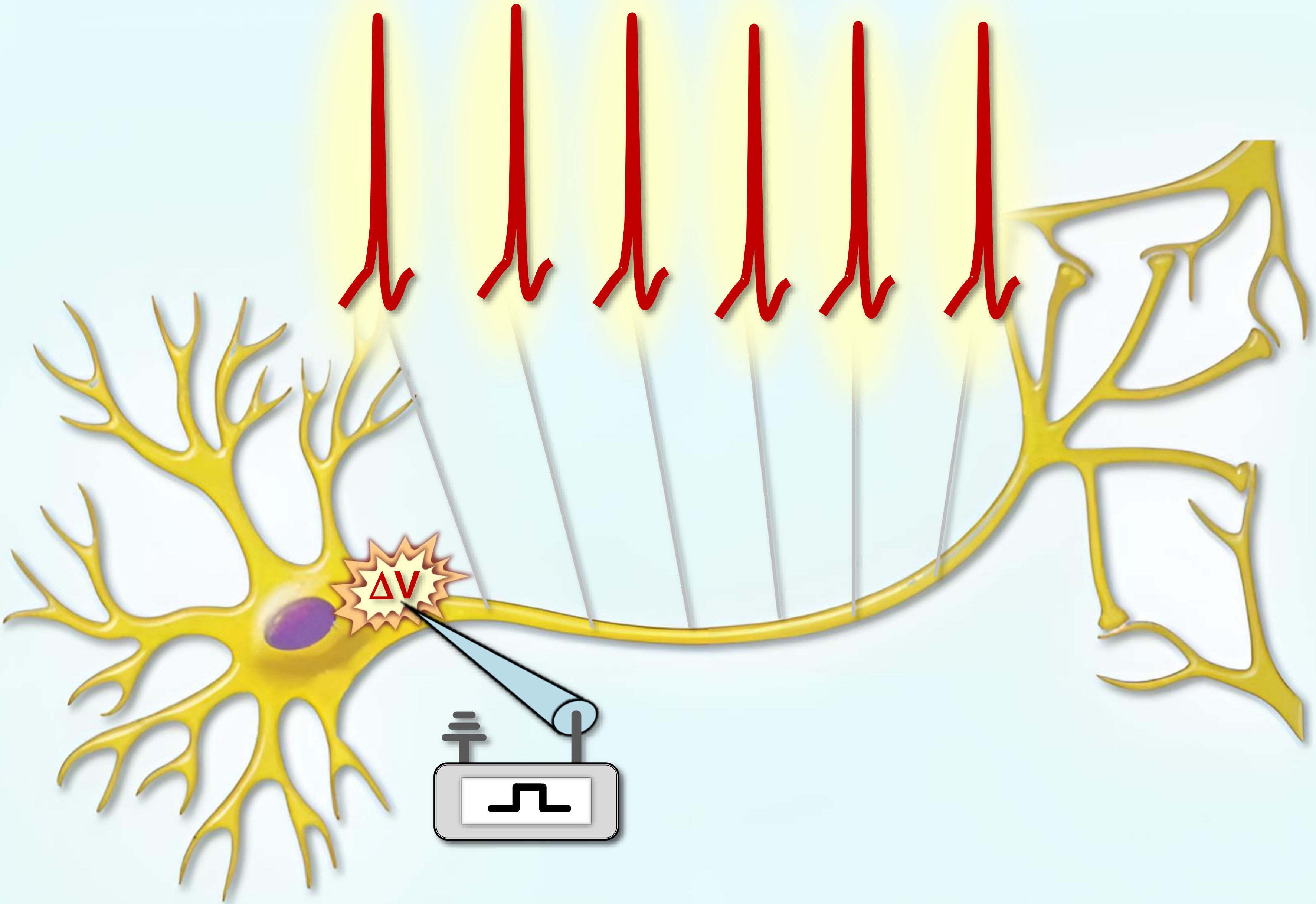
- A excitação inicial gera uma corrente ionica que se propaga no citoplasma.
- Parte da corrente passa através dos canais de membrana.
- A corrente diminui à medida que se propaga gerando excitações sempre menores.

$\Delta V_3 < \Delta V_2 < \Delta V_1$

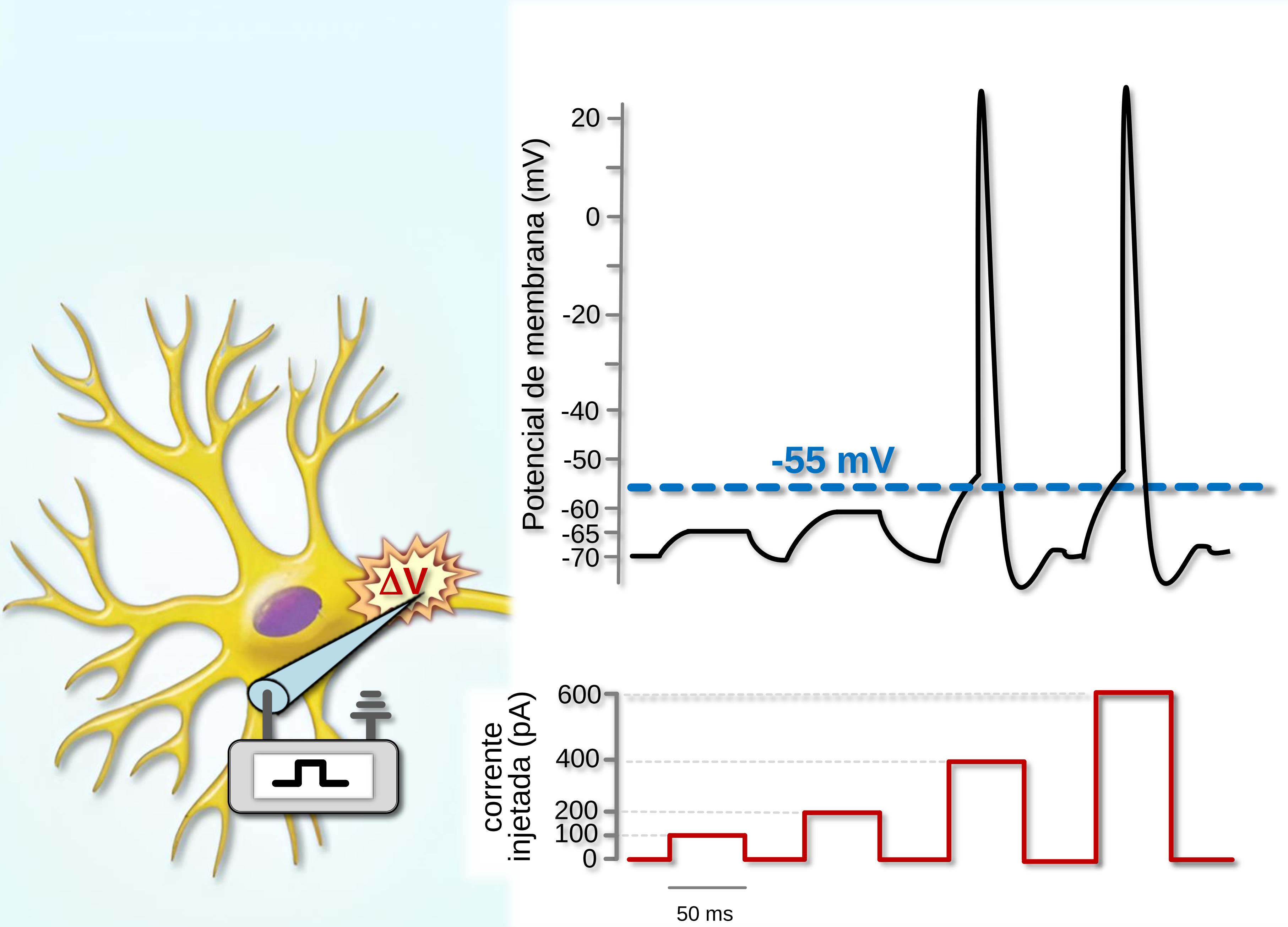


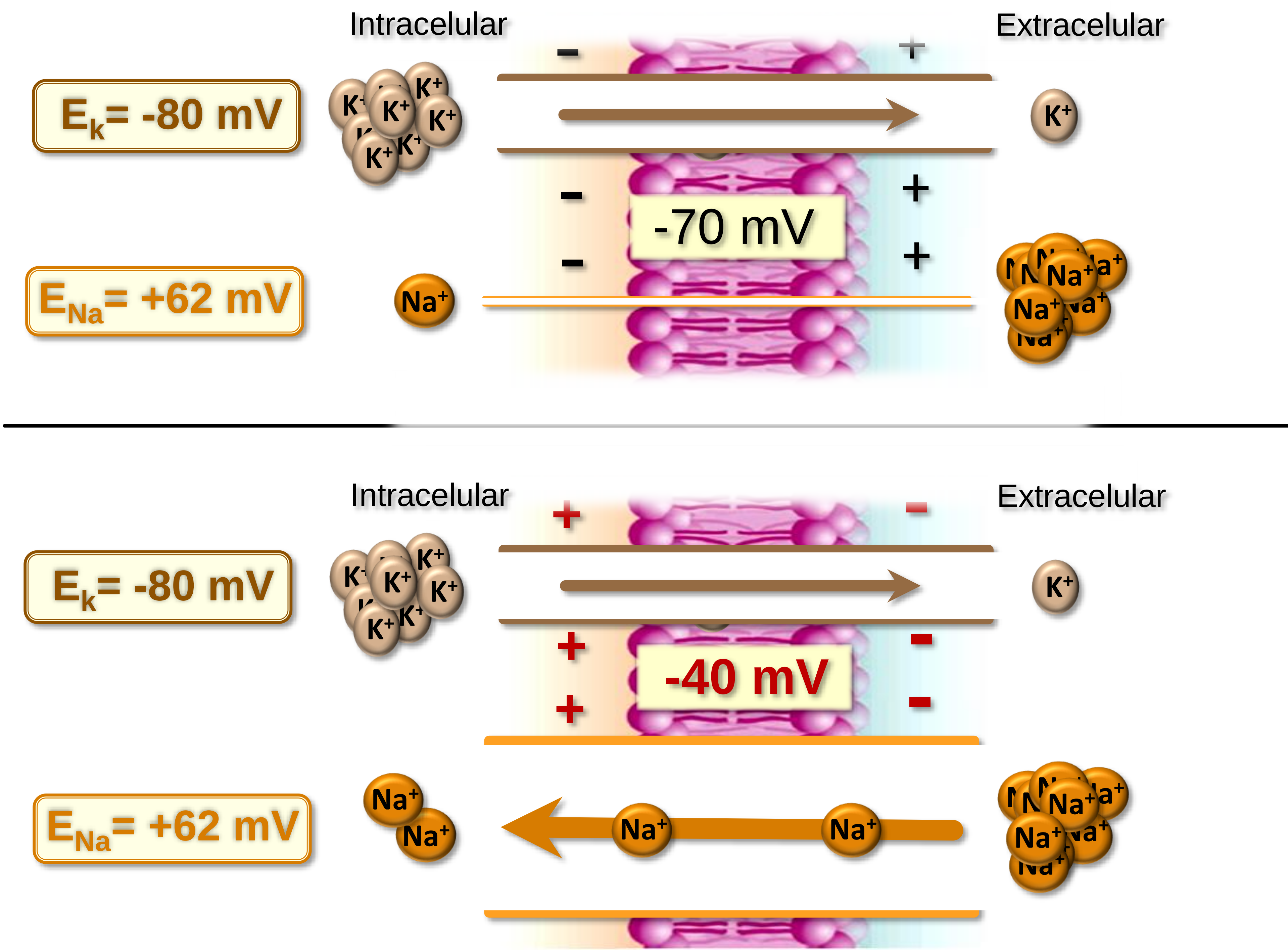
Se a condução eletrotônica fosse o único tipo de condução o impulso nunca chegaria no terminal do axônio.

Potencial de ação

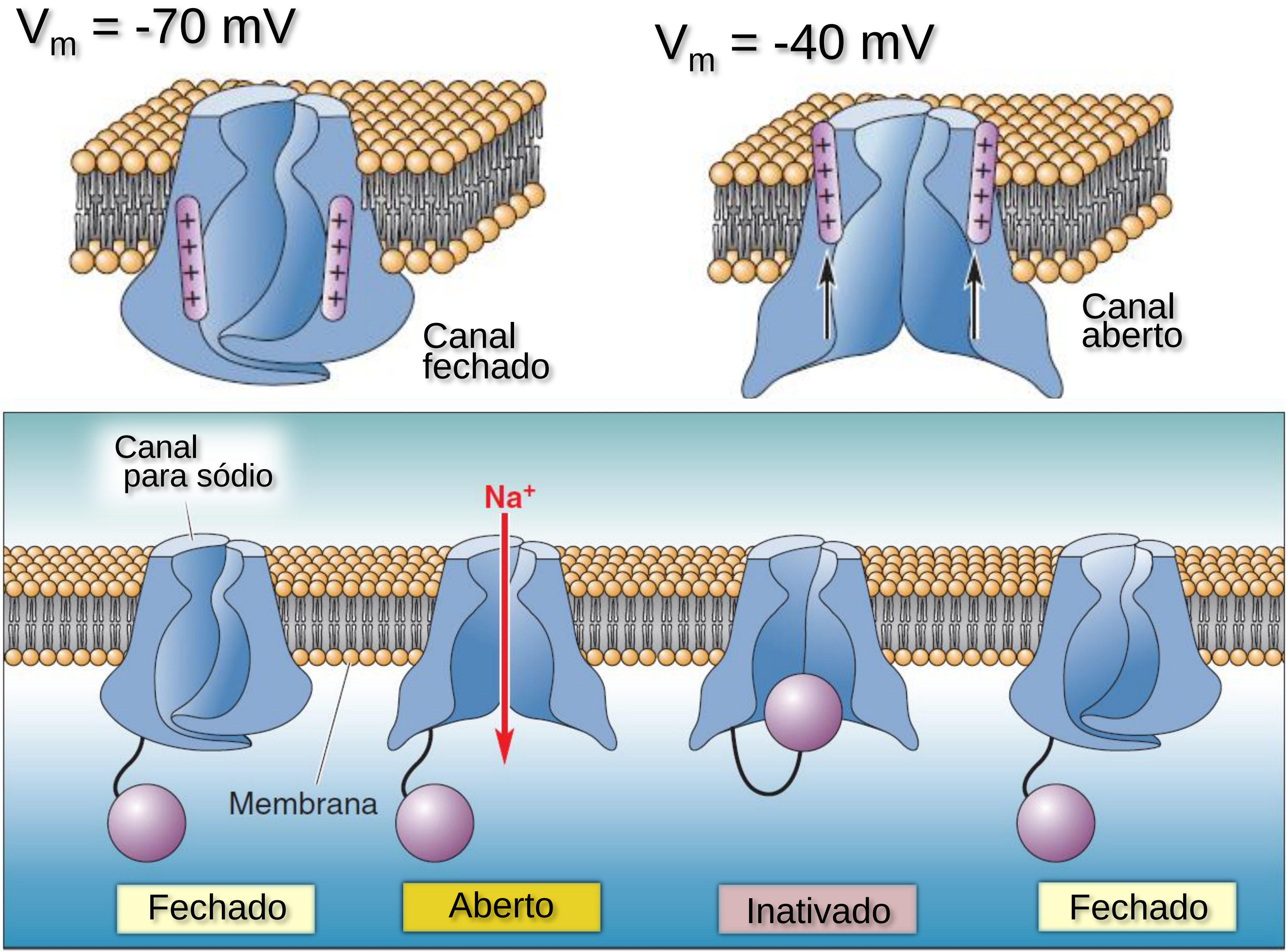


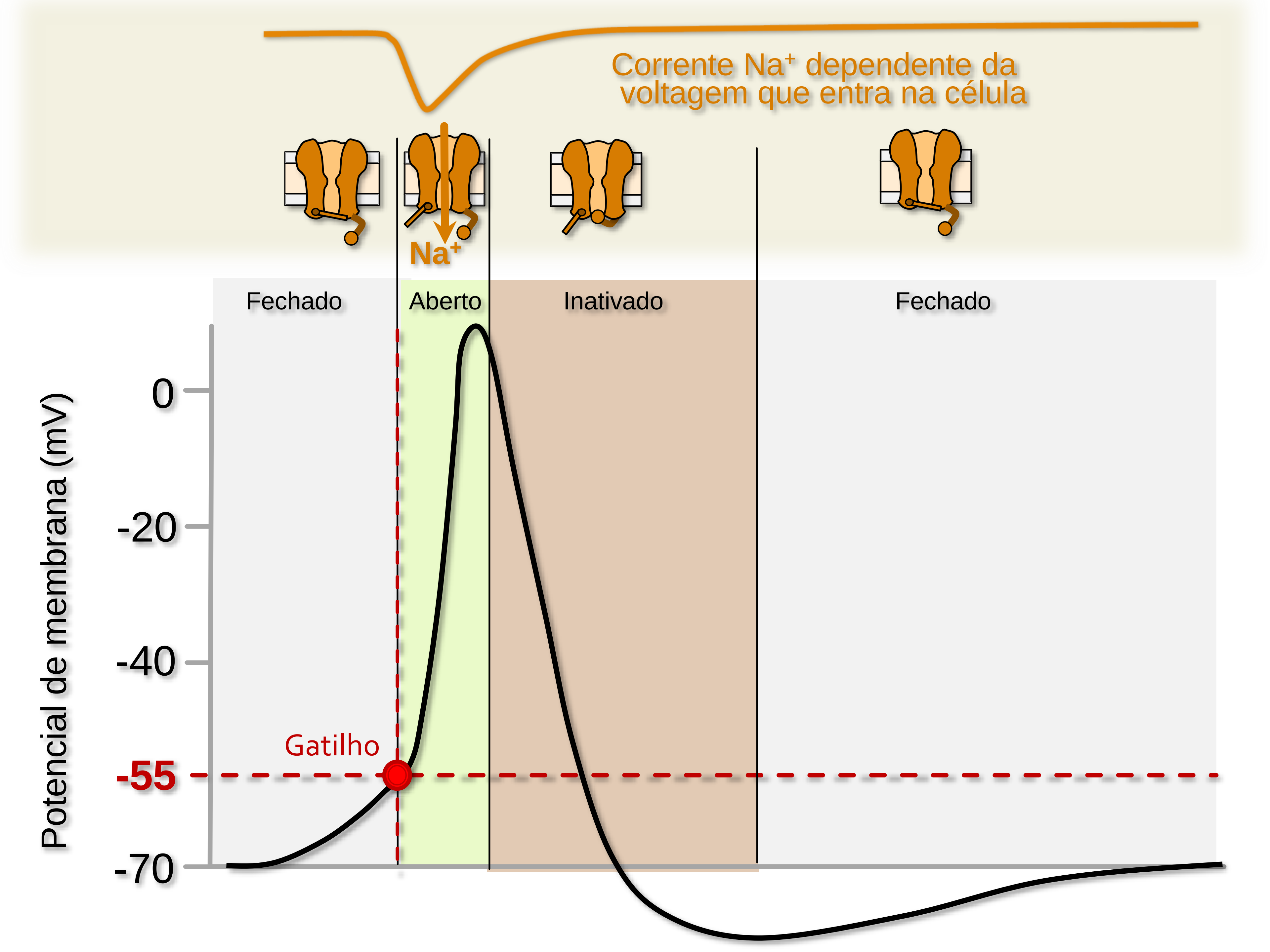
Potencial de ação



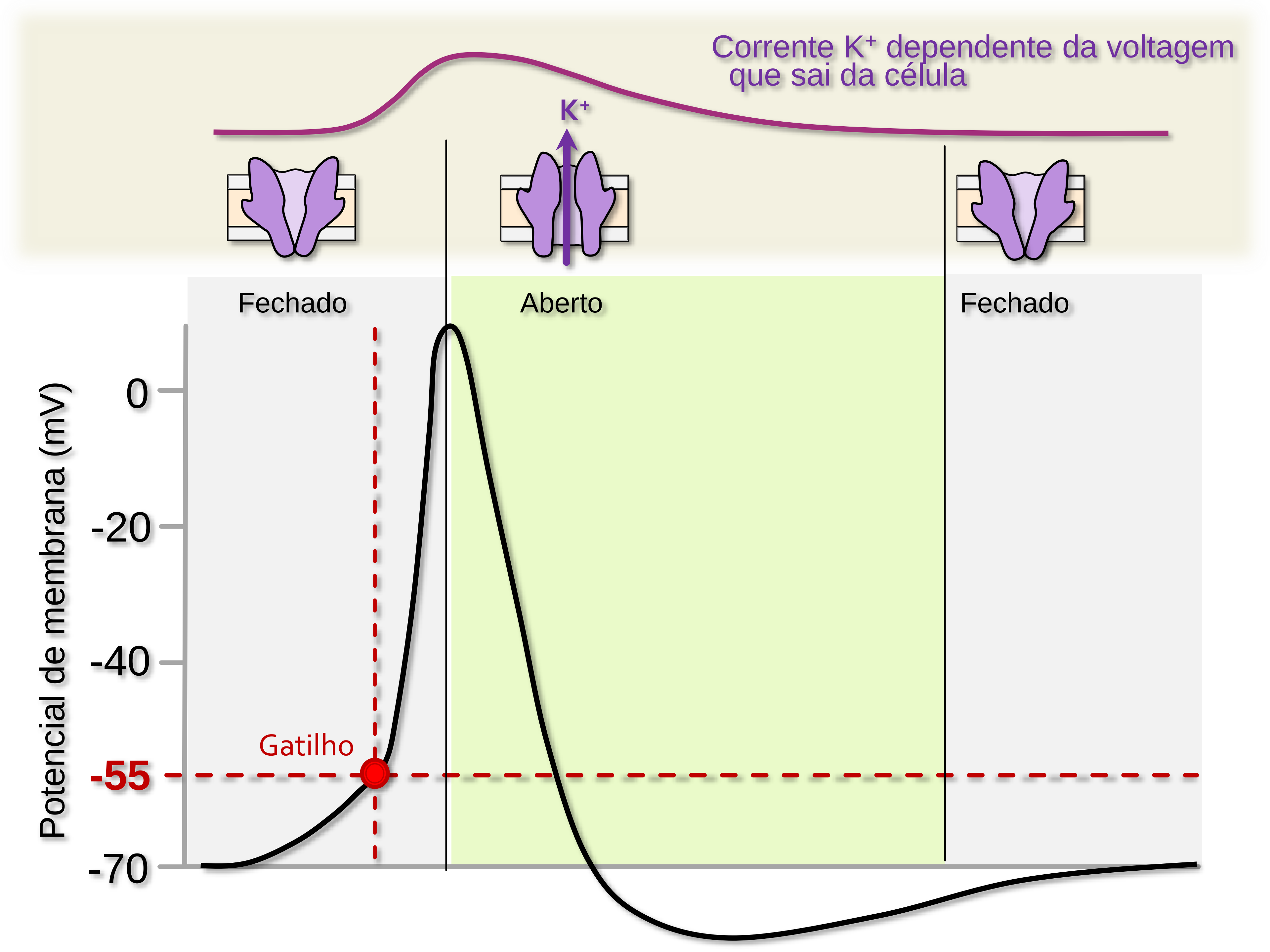


Intracelular
Extracelular
E_k= -80 mV
E_{Na}= +62 mV
K^+
Na^+
-70 mV
Intracelular
Extracelular
E_k= -80 mV
E_{Na}= +62 mV
K^+
Na^+
-40 mV

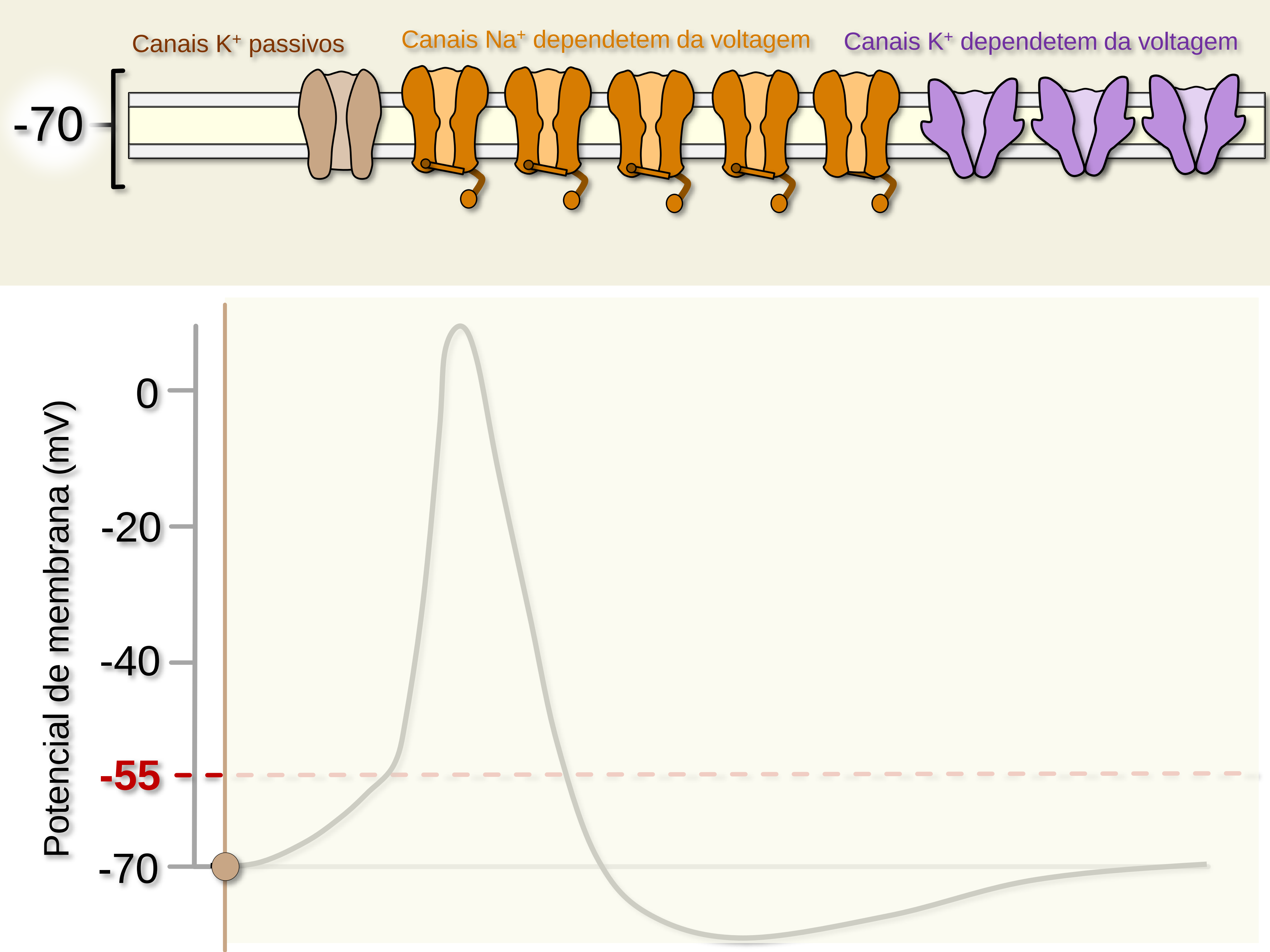

V_m = -70 mV
V_m = -40 mV
Canal fechado
Canal aberto
Canal para sódio
Na^+
Membrana
Fechado
Aberto
Inativado
Fechado



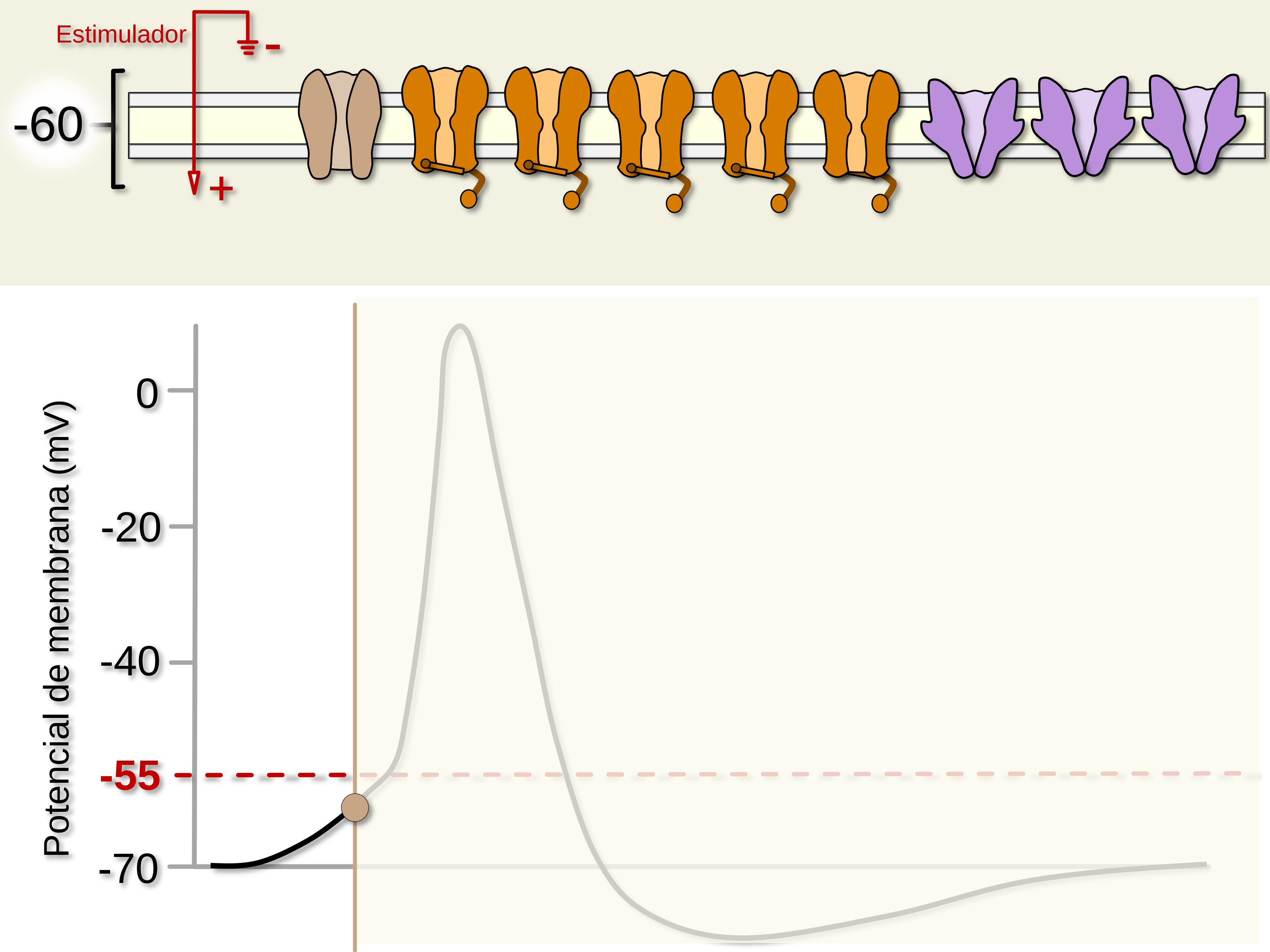
Corrente Na+ dependente da voltagem que entra na célula
Na+
Fechado
Aberto
Inativado
Fechado
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
Gatilho
-55
-70



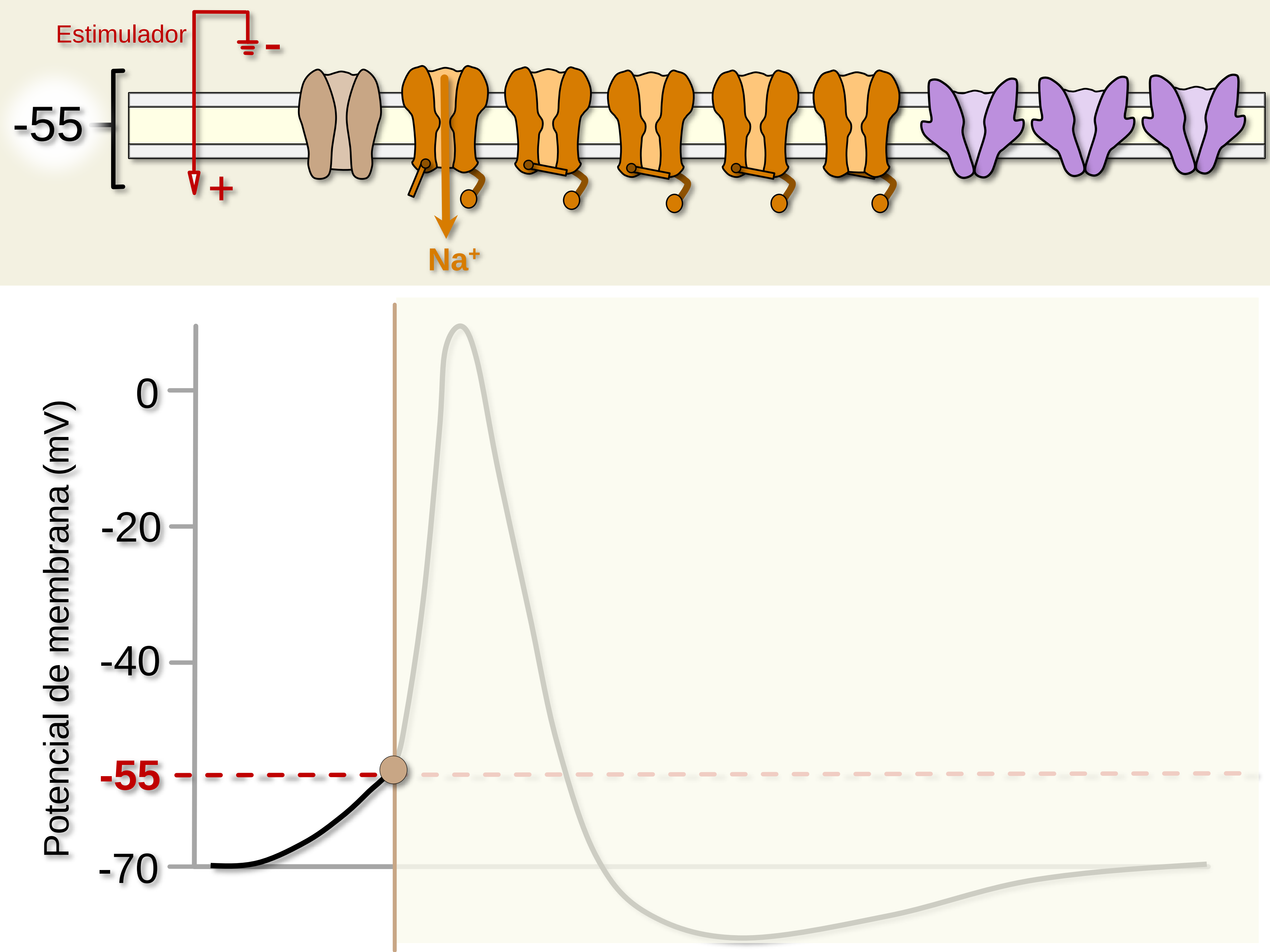
Corrente K+ dependente da voltagem
que sai da célula
K+
Fechado
Aberto
Fechado
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70
Gatilho



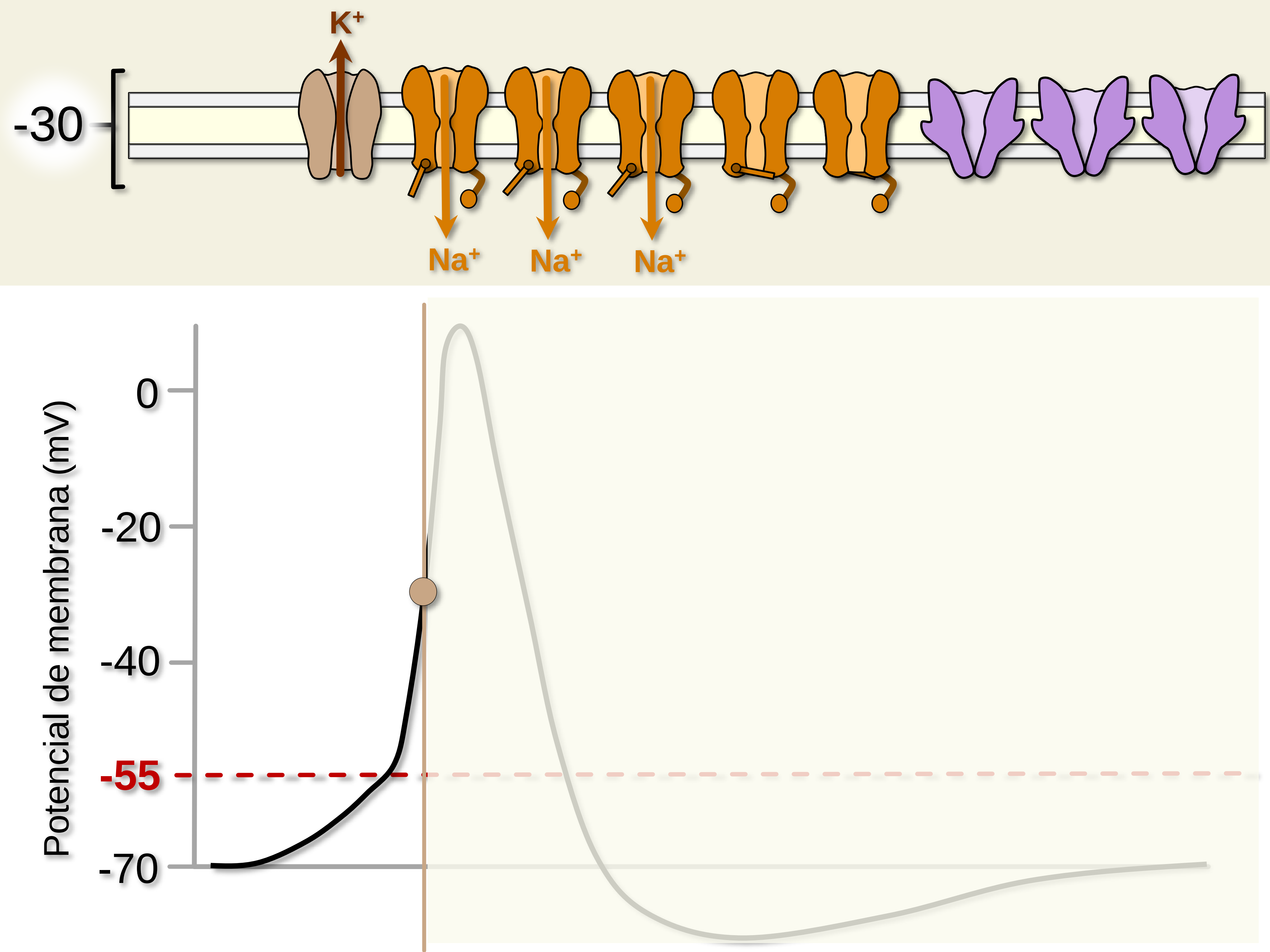
Canais K+ passivos
Canais Na+ dependetem da voltagem
Canais K+ dependetem da voltagem
-70
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70



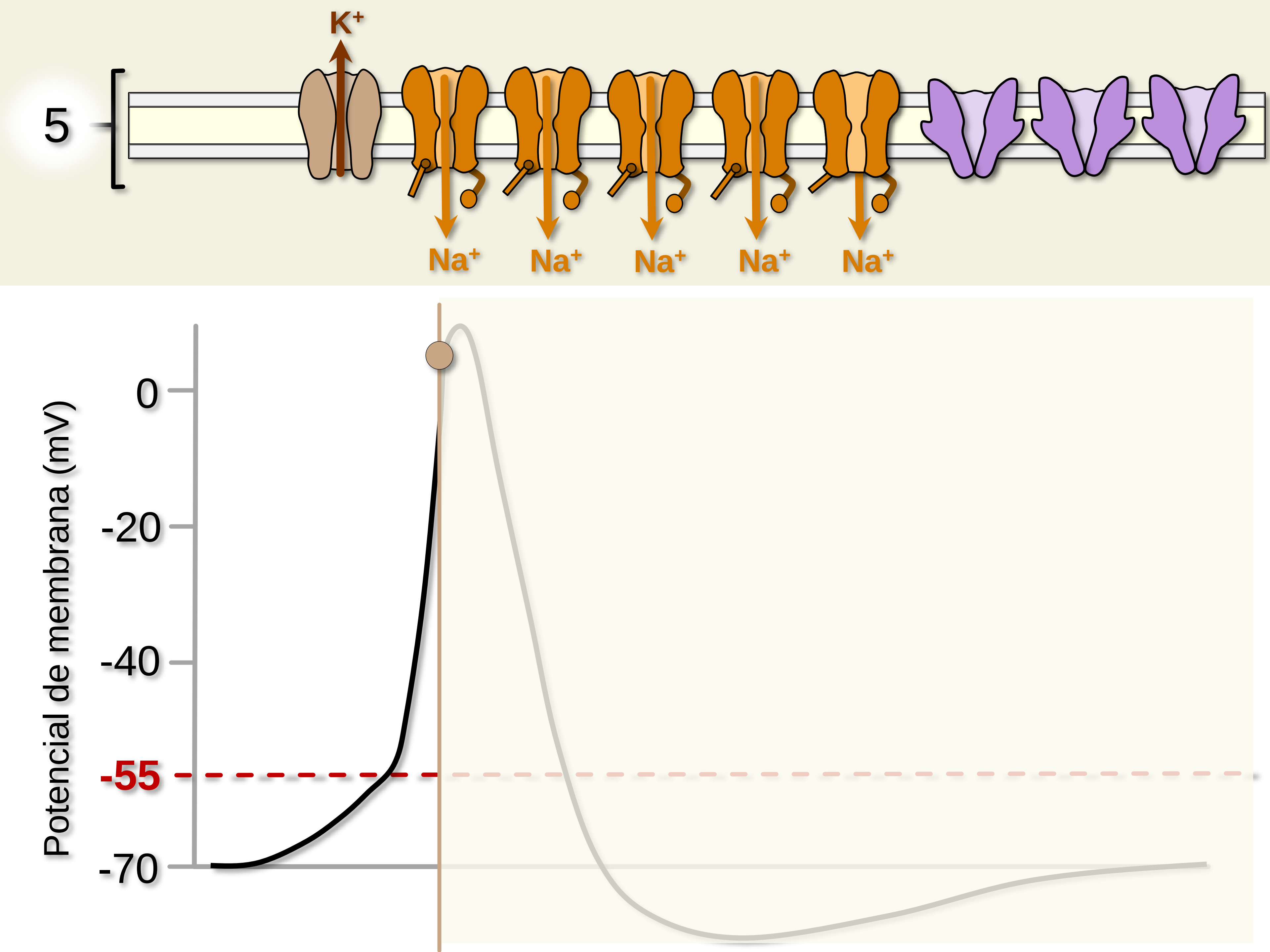
Estimulador
-
+
-60
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70

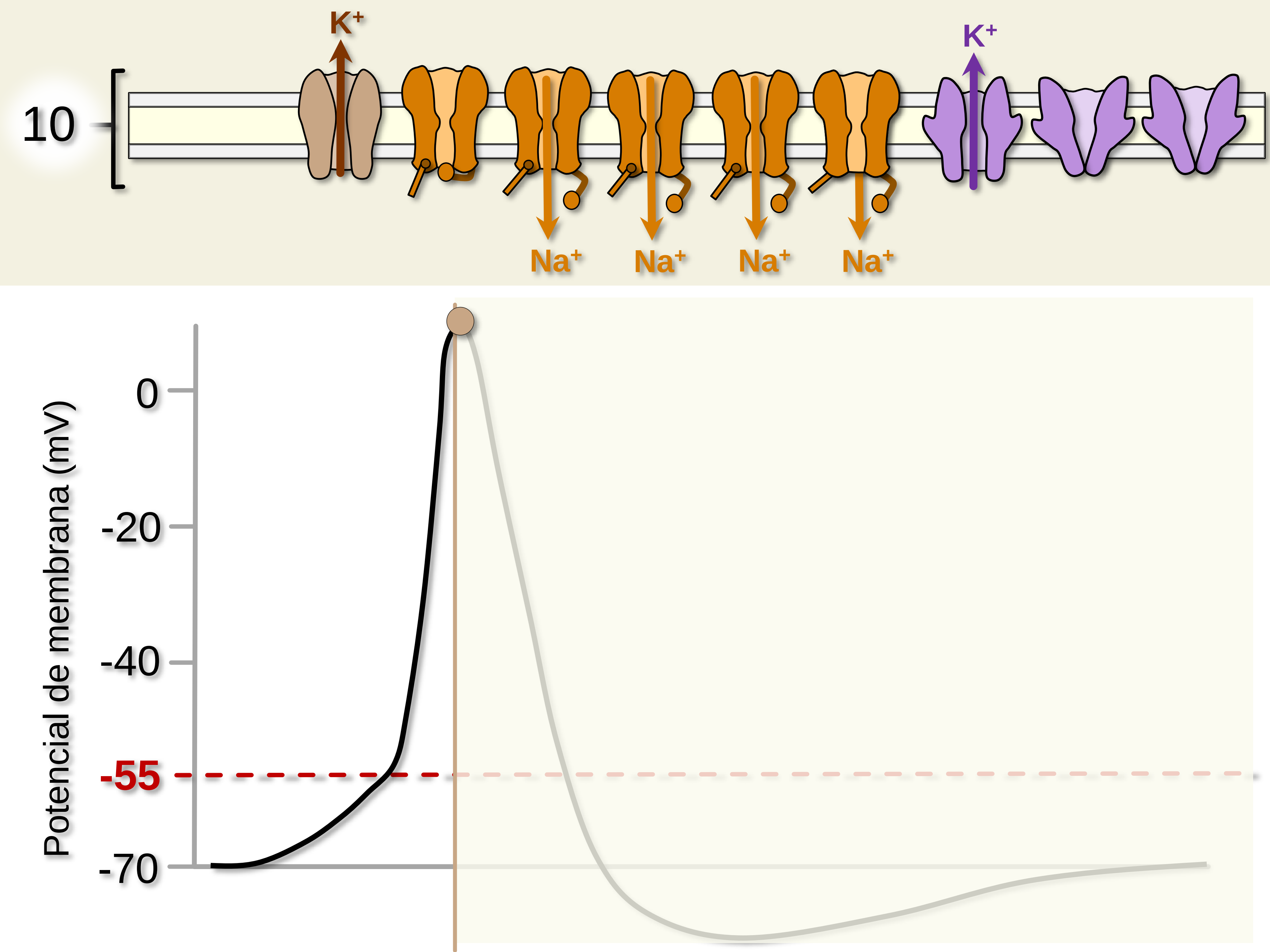


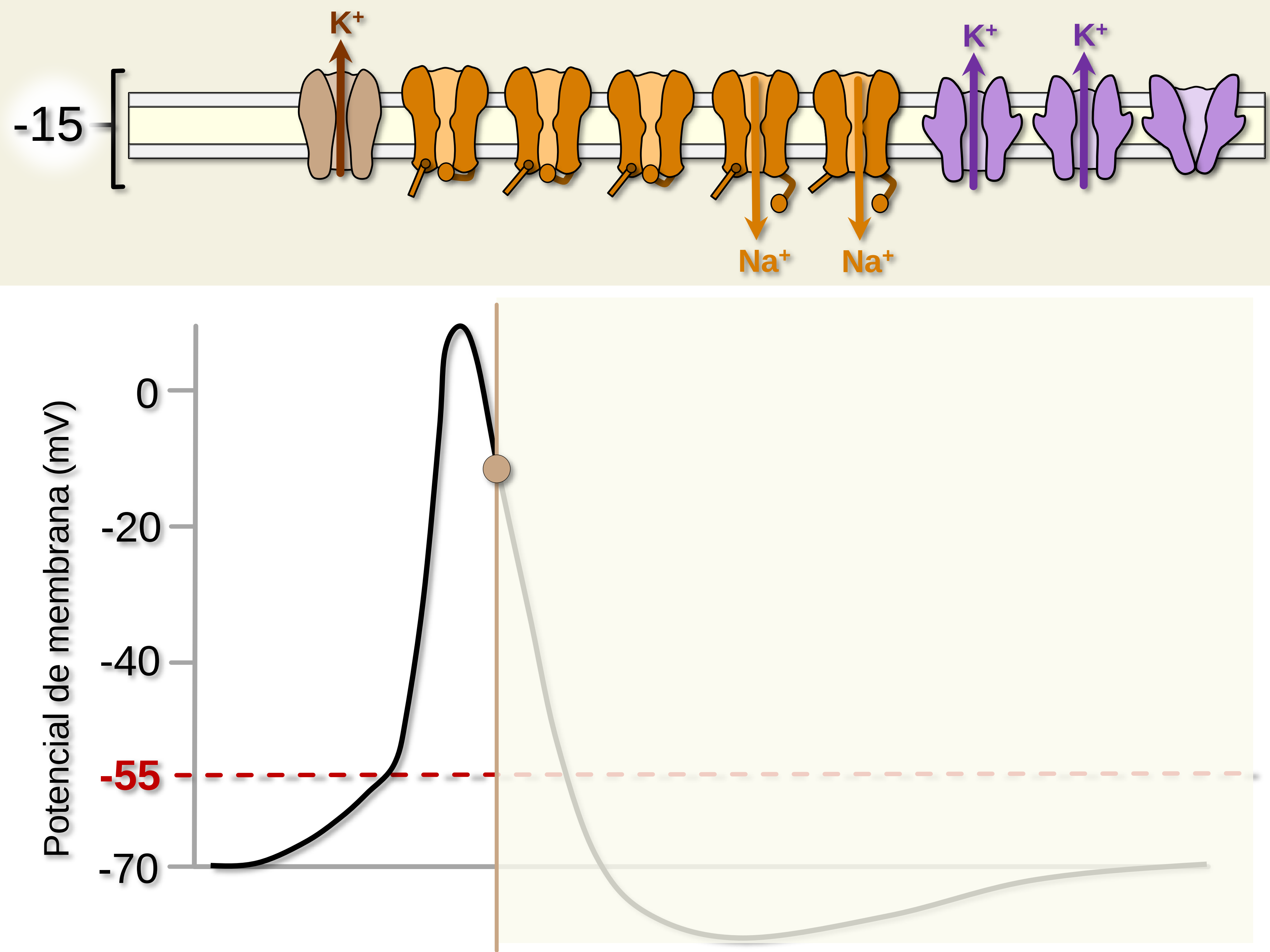
Estimulador
-
+
-55
Na+
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70



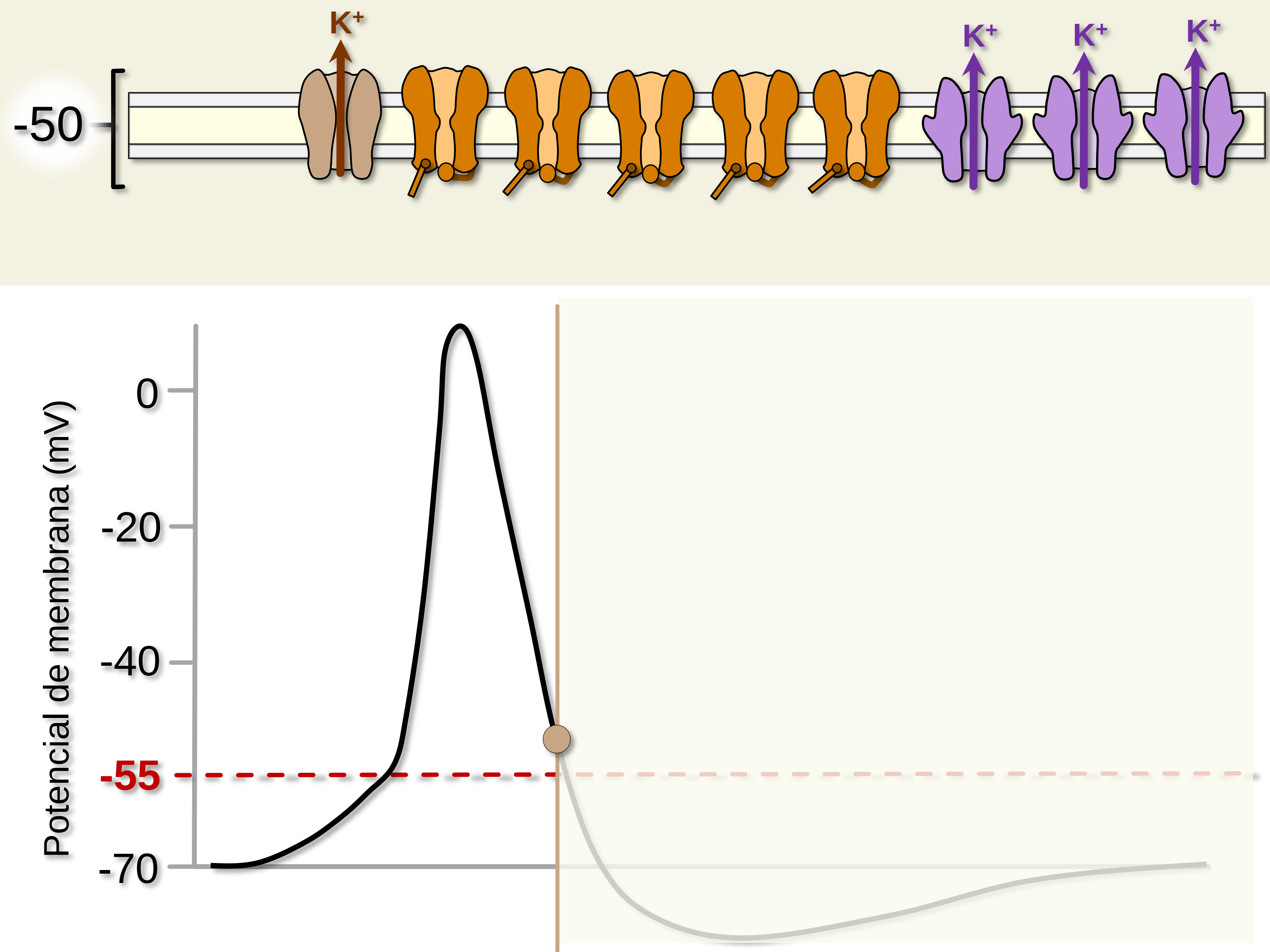
K+
-30
Na+
Na+
Na+
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70


5
K+
Na+
Na+
Na+
Na+
Na+
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70

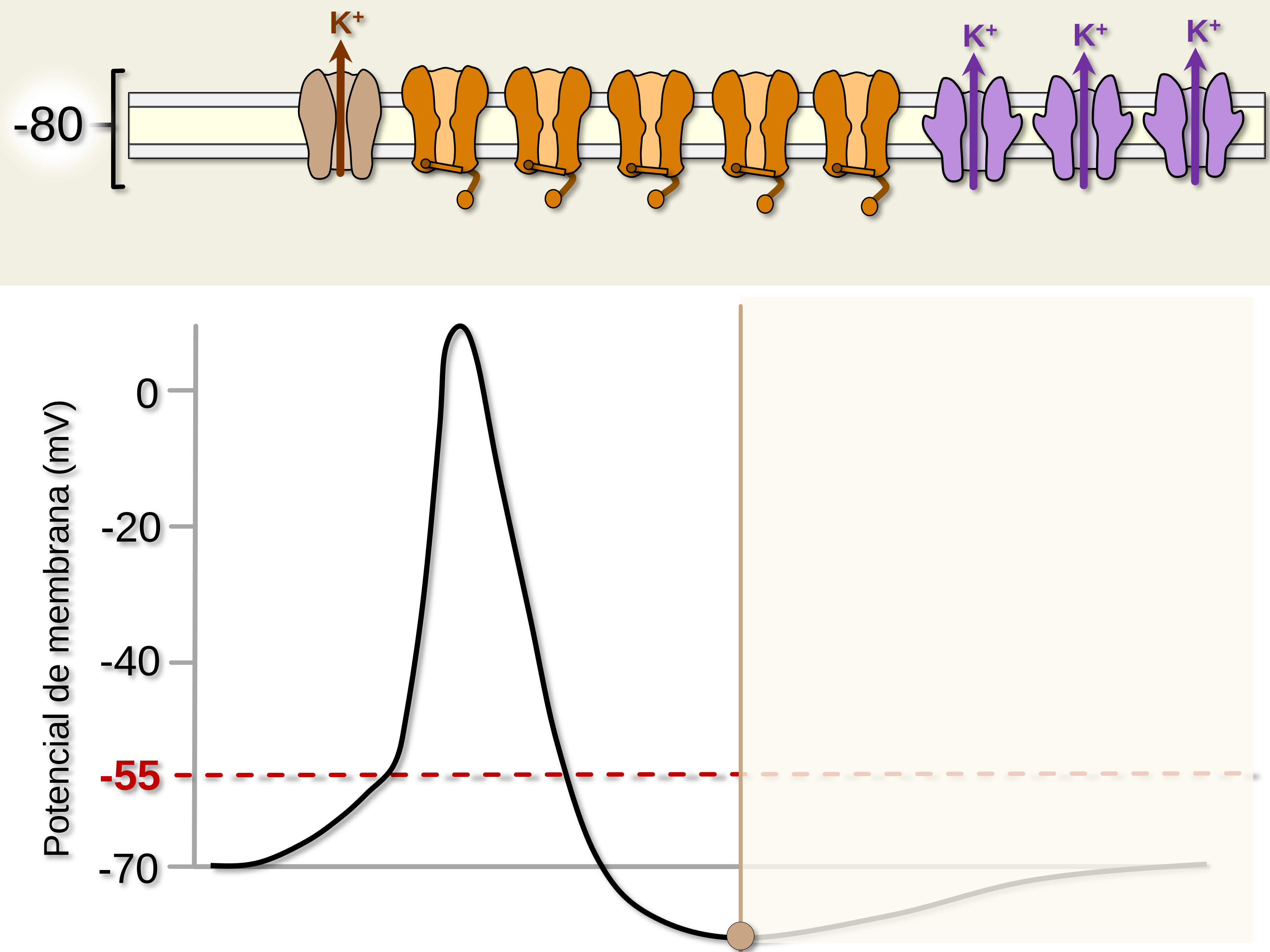

10
K+
K+
Na+
Na+
Na+
Na+
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70



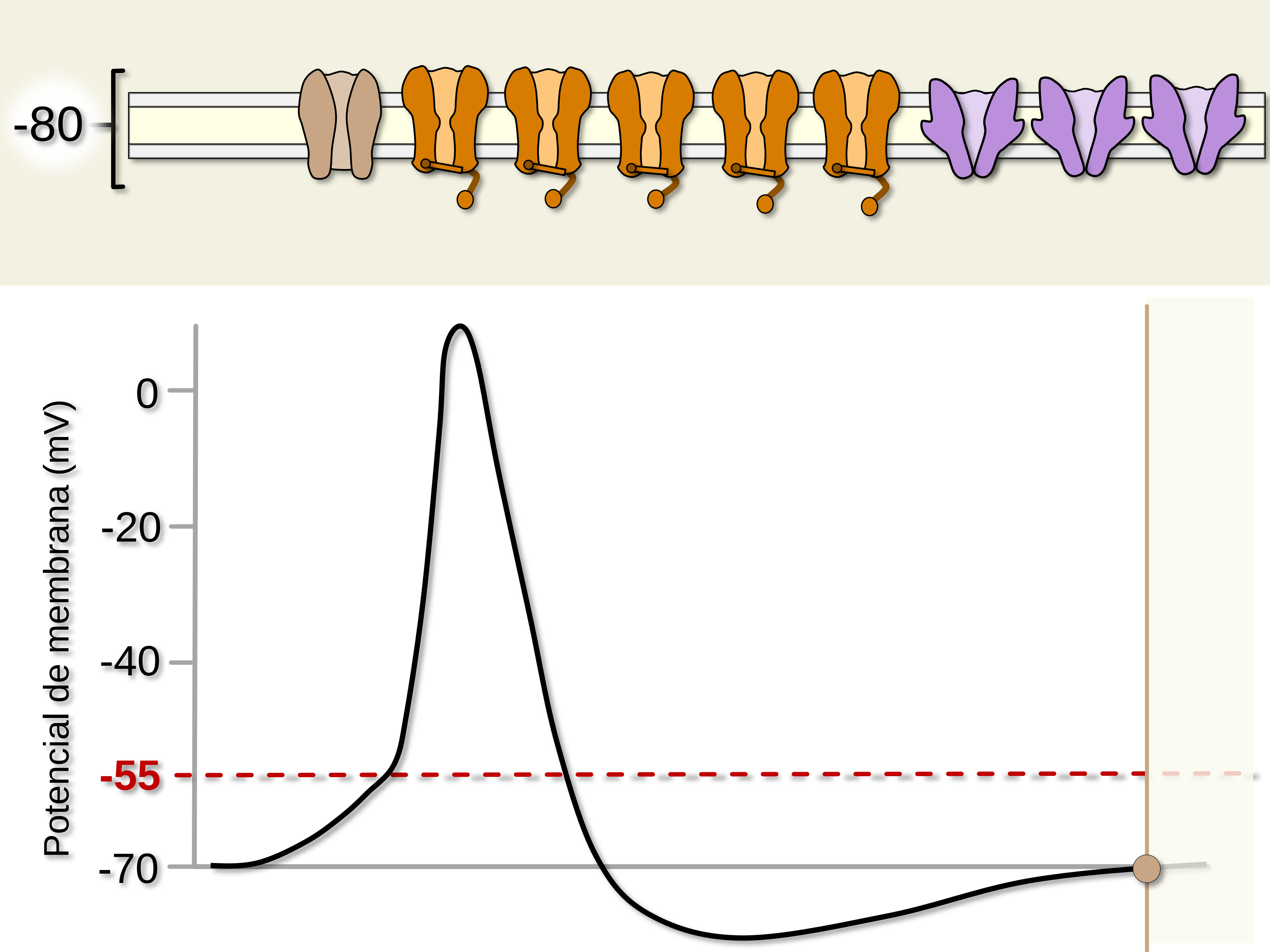
-15
K+
K+
K+
Na+
Na+
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70



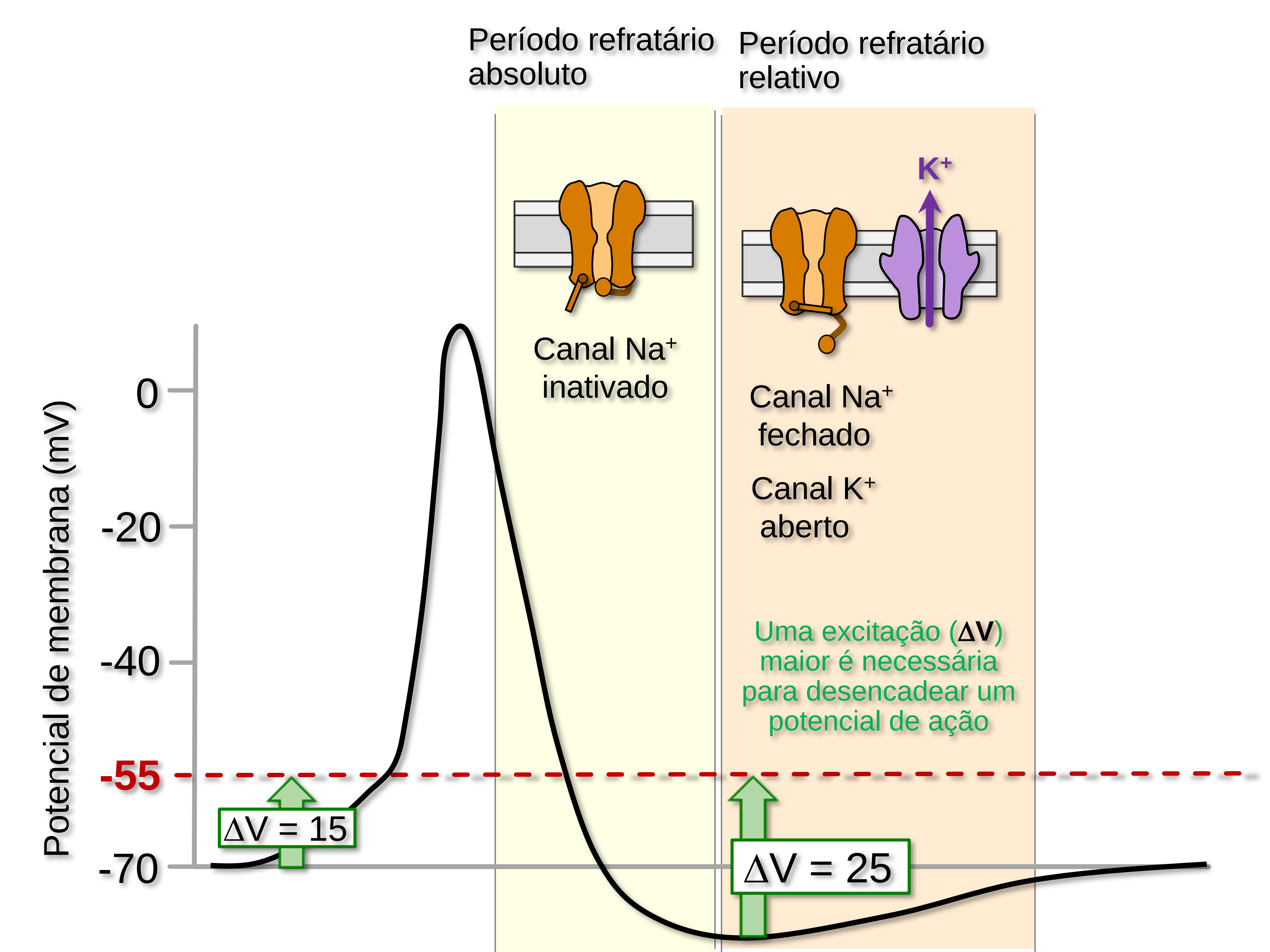
K+
K+
K+
K+
-50
0
-20
-40
-55
-70
Potencial de membrana (mV)



K+
K+
K+
K+
-80
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70



-80
Potencial de membrana (mV)
0
-20
-40
-55
-70


Período refratário absoluto
Período refratário relativo
K+
Canal Na+ inativado
Canal Na+ fechado
Canal K+ aberto
0
-20
-40
-55
-70
Potencial de membrana (mV)
Uma excitação (ΔV) maior é necessária para desencadear um potencial de ação
ΔV = 15
ΔV = 25

Condução do potencial de ação