



Conducción Nerviosa

Ariel Chernomoretz
Electromagnetismo-Optica

Flujo de información

- ✓ A lo largo del sistema nervioso la información se transmite mediante pulsos eléctricos por fibras nerviosas llamadas **axones**

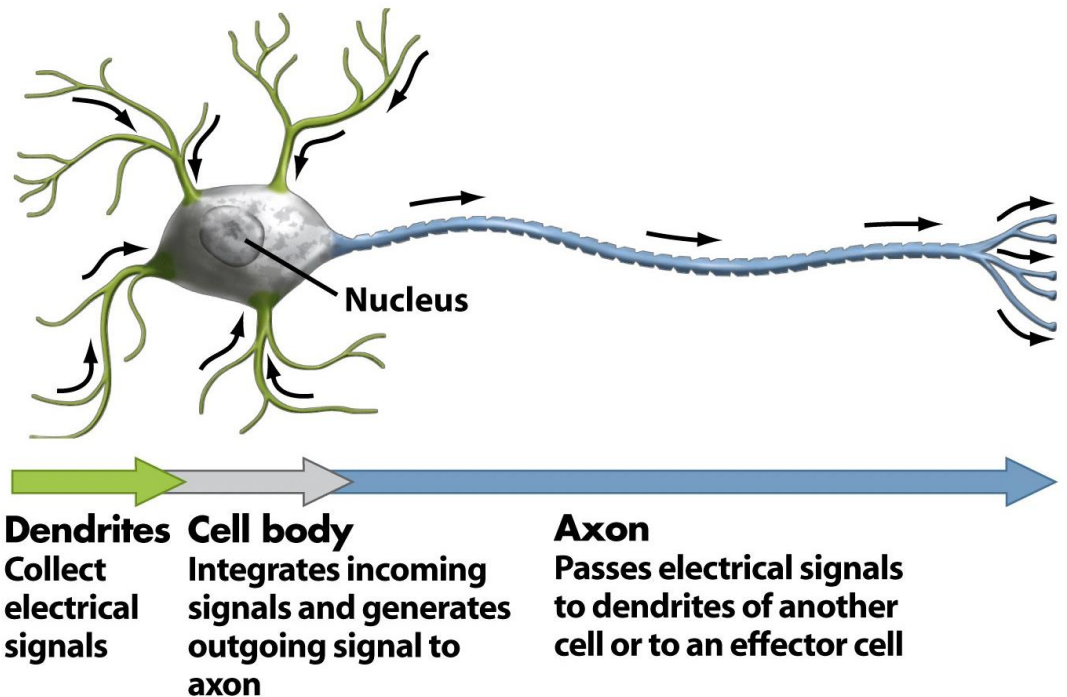
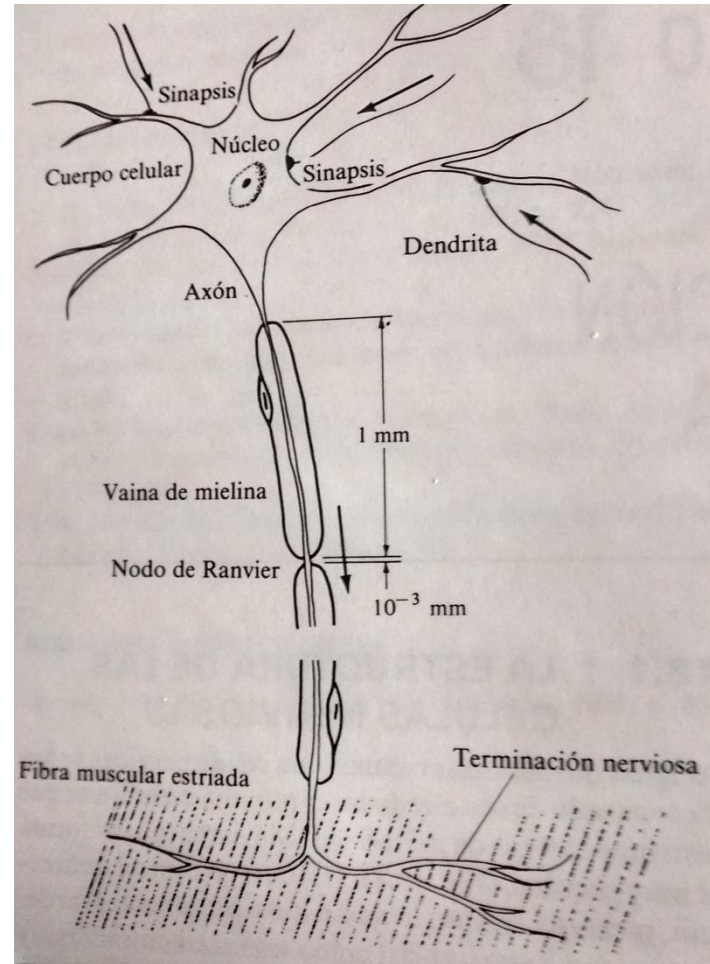


Figure 45-2b Biological Science, 2/e
© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Estructura básica

- ✓ A lo largo del sistema nervioso la información se transmite mediante pulsos eléctricos por fibras nerviosas llamadas **axones**
- ✓ Dimensiones:
1-20 micrones de diametro
 $10^{-3} - 1$ m de largo
- ✓ Recubiertas por *células de Schwann* (vainas de mielina)



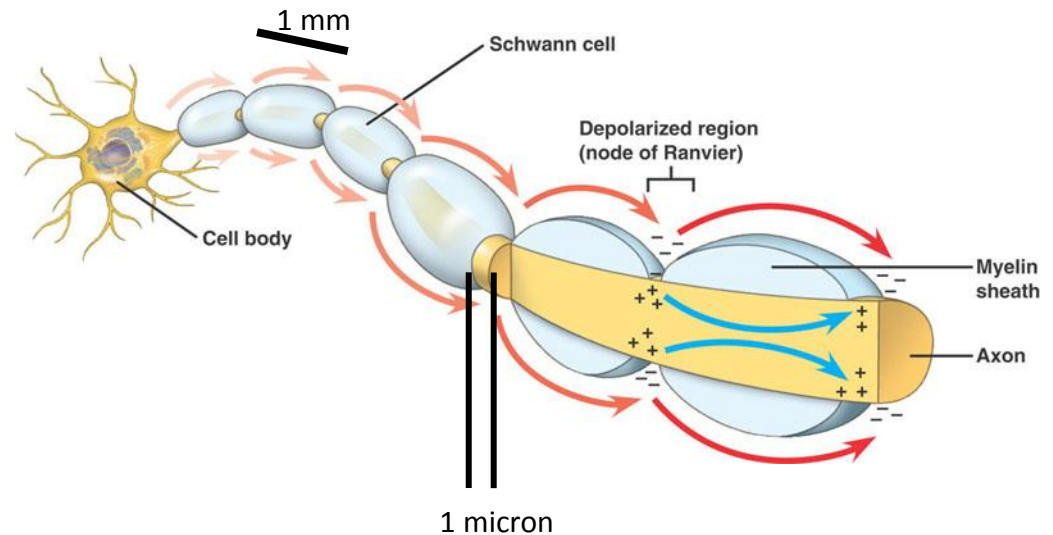
Estructura básica

✓ A lo largo del sistema nervioso la información se transmite mediante pulsos eléctricos por fibras nerviosas llamadas **axones**

✓ Dimensiones:
1-20 micrones de diametro
 $10^{-3} - 1$ m de largo

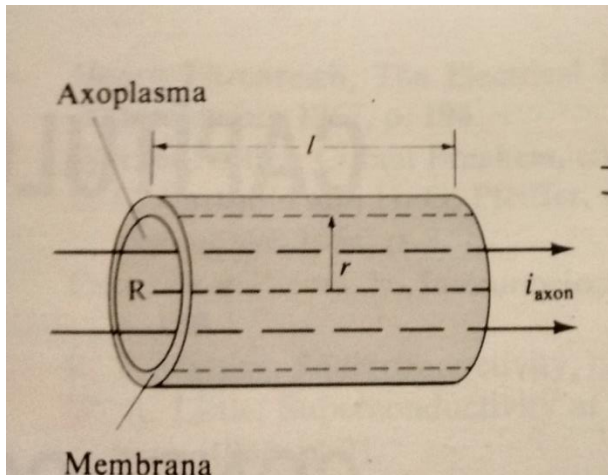
✓ Recubiertas por *células de Schwann* (vainas de mielina)

✓ Recubrimiento de mielina modifica las propiedades electricas a lo largo del axon



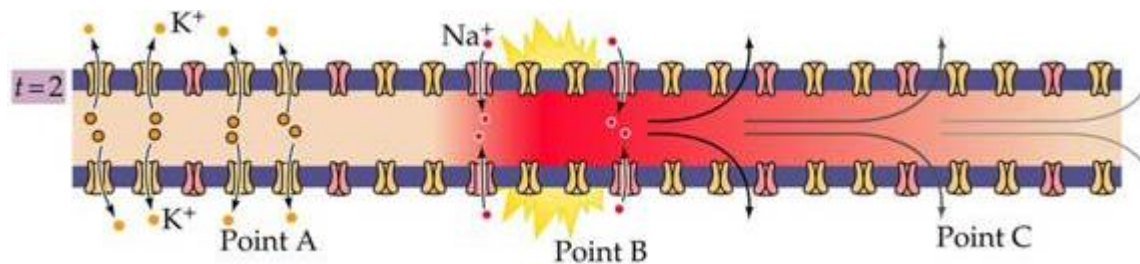
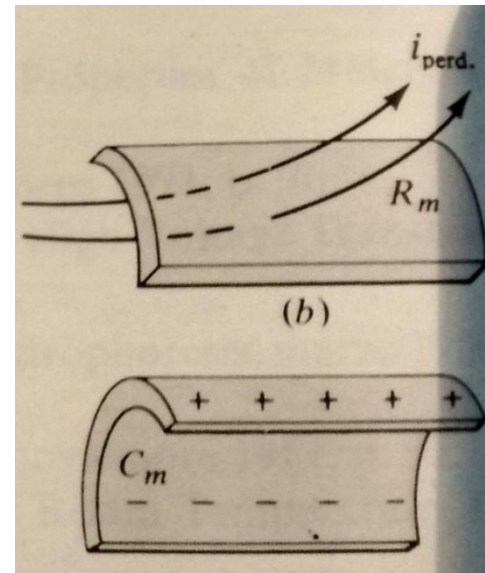
Modelo de axón

Cable conductor :
iones se mueven a lo largo del
axoplasma : i_{axon}

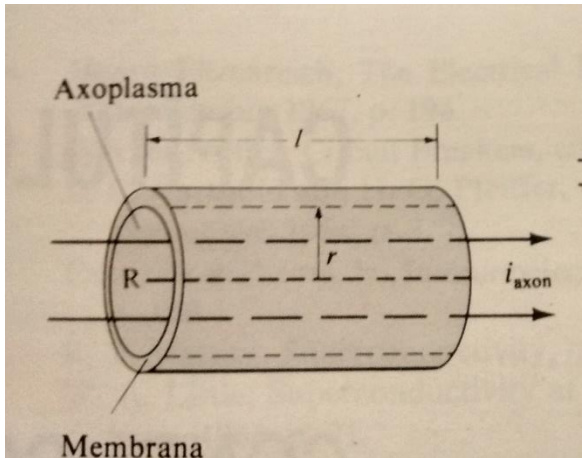


Pero tiene “perdidas”:

- iones difunden por canales en membrana: i_{perd}
- Carga acumulada a lo largo de membrana: C_m



Valores tipicos

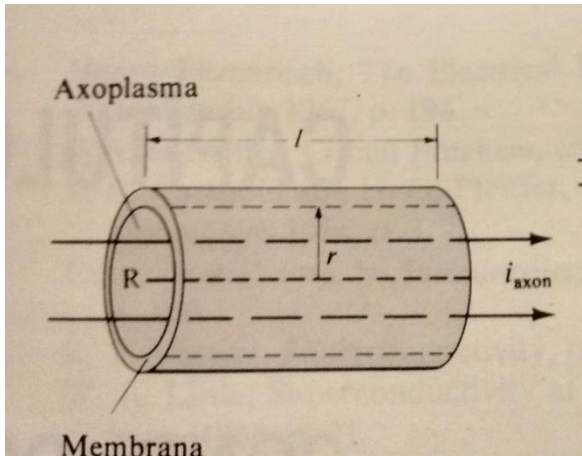


		Axon desnudo	Axon Mielina
Resistividad del axoplasma	$\rho_{axoplasma}$	2 Ω m	
Radio axon	r	5 micrones	

$$V_a - V_b = I \cdot R$$

$$R = \frac{\rho_{axoplasma} l}{\pi r^2}$$

Valores tipicos



		Axon desnudo	Axon Mielina
Resistividad del axoplasma	$\rho_{axoplasma}$	2 Ωm	
Radio axon	r	5 micrones	

$$V_a - V_b = I \cdot R$$

$$R = \frac{\rho_{axoplasma} l}{\pi r^2}$$

Resistencia que presenta 1cm de axon:

$$R = \frac{\rho_{axoplasma} l}{\pi r^2} = \frac{2 \Omega m \cdot 0.01 m}{\pi (5 \cdot 10^{-6})^2} = 2.5 \cdot 10^8 \Omega \quad \text{Enorme!!}$$

$$i \rightarrow$$

Va — Vb

1cm de axon

~

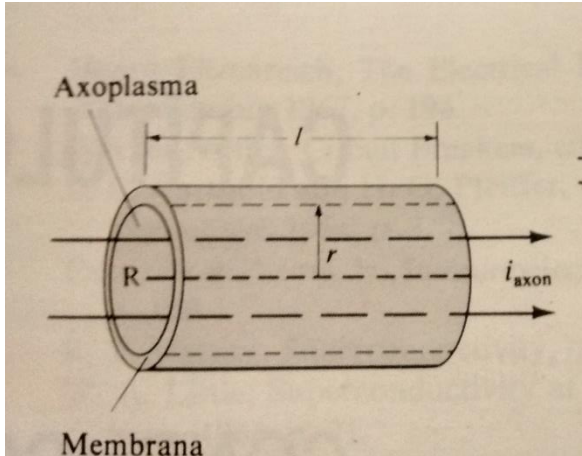
$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

$$i \rightarrow$$

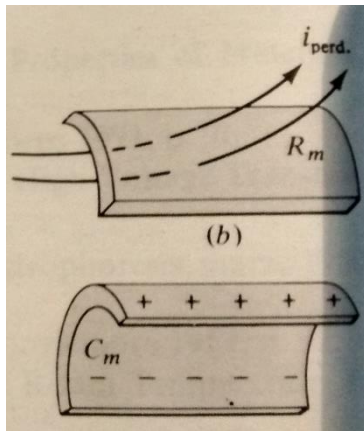
Va ————— Vb

70000km de cable de cobre ($\rho_{cobre} = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega m$)

Valores tipicos



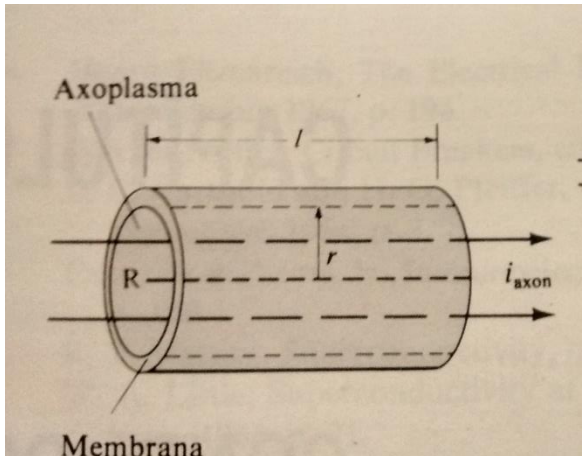
		Axon desnudo	Axon Mielina
Resistividad del axoplasma	$\rho_{axoplasma}$	2 Ωm	
Radio axon	r	5 micrones	
Resistencia por unidad area membrana	R_{memb}	0.2 Ω/m^2	40 Ω/m^2
Capacidad por unidad de area membrana	C_{memb}	10^{-2} F/m ²	$5 \cdot 10^{-5}$ F/m ²



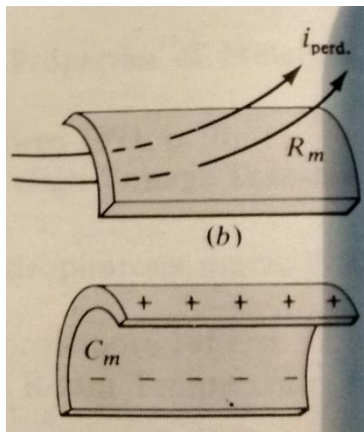
Para una membrana de largo l

$$C = C_{memb} (2 \pi r l)$$

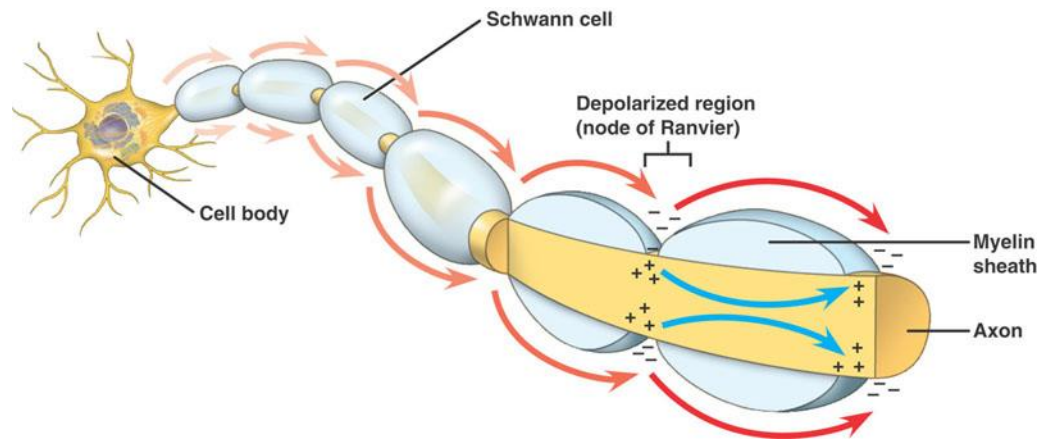
Valores tipicos



		Axon desnudo	Axon Mielina
Resistividad del axoplasma	$\rho_{\text{axoplasma}}$	2 Ωm	
Radio axon	r	5 micrones	
Resistencia por unidad area membrana	R_{memb}	0.2 Ω/m^2	40 Ω/m^2
Capacidad por unidad de area membrana	C_{memb}	10^{-2} F/m ²	$5 \cdot 10^{-5}$ F/m ²

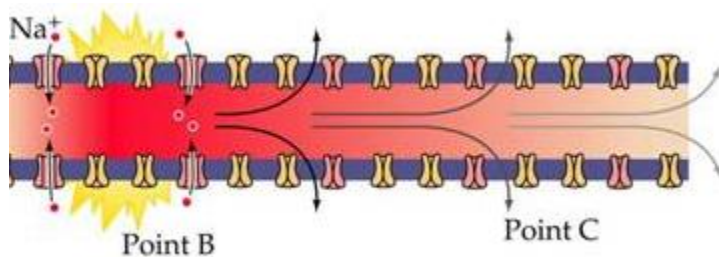
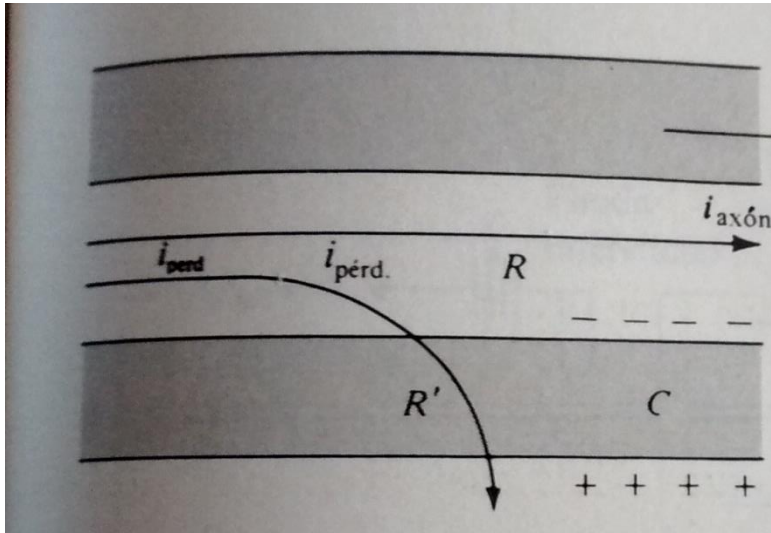


- R_{memb} aumenta 200x por recubrimiento
- C_{memb} disminuye 200x por recubrimiento



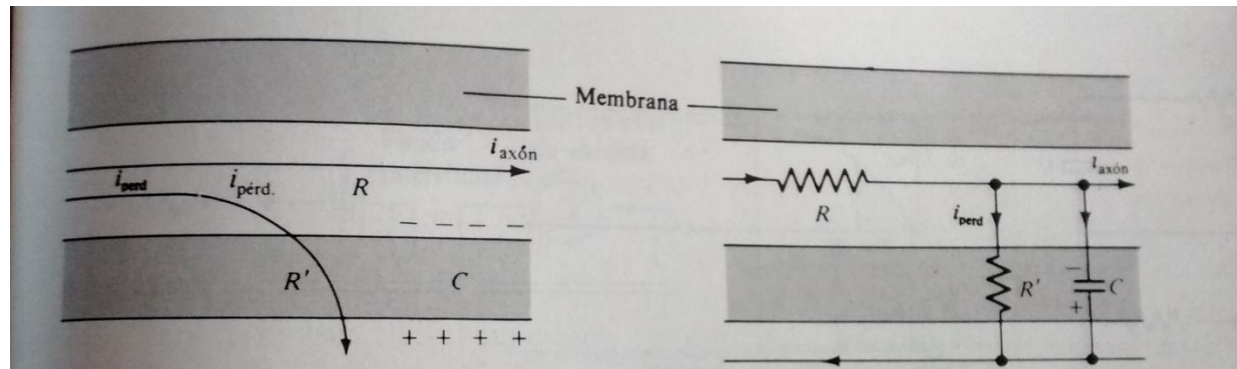
Conducción axonal para estímulos débiles

- Para estímulos eléctricos menores a cierto umbral (débiles) el axón responde como un circuito relativamente simple

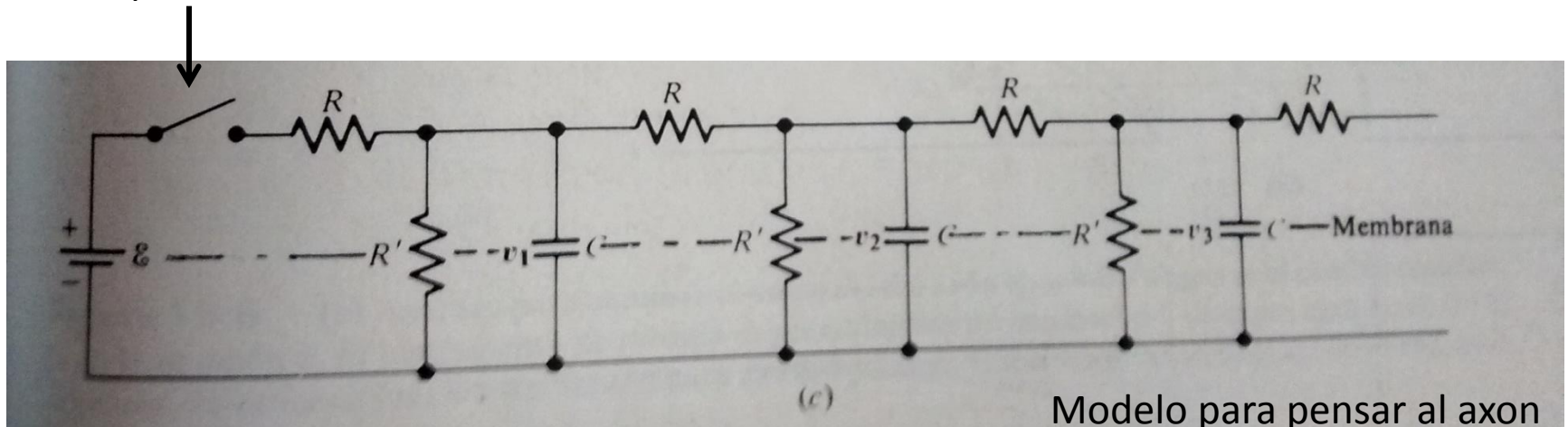


Conducción axonal para estímulos débiles

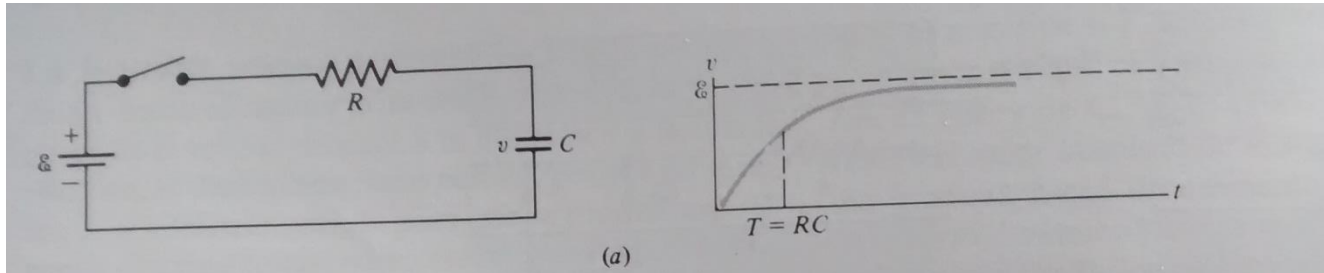
- Para estímulos eléctricos menores a cierto umbral (débiles) el axón responde como un circuito relativamente simple



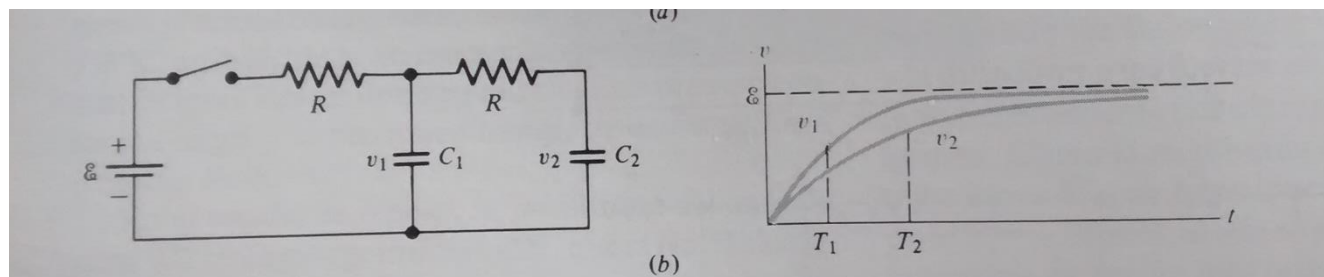
estímulo tipo escalon



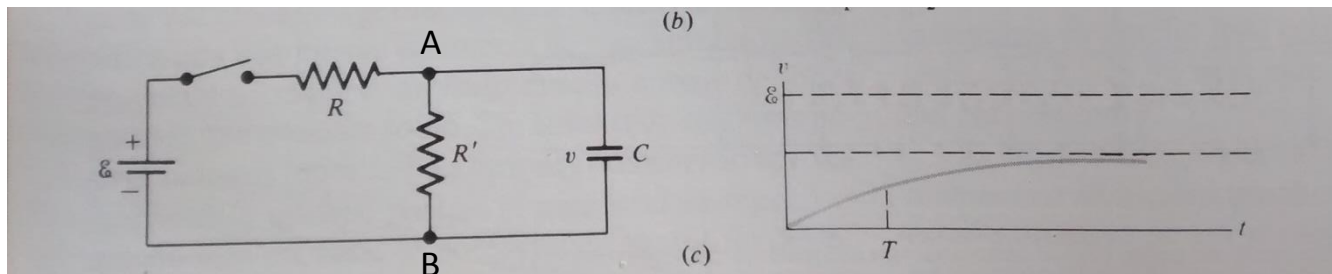
Conducción axonal para estímulos débiles



Carga de un capacitor.
Escala temporal RC



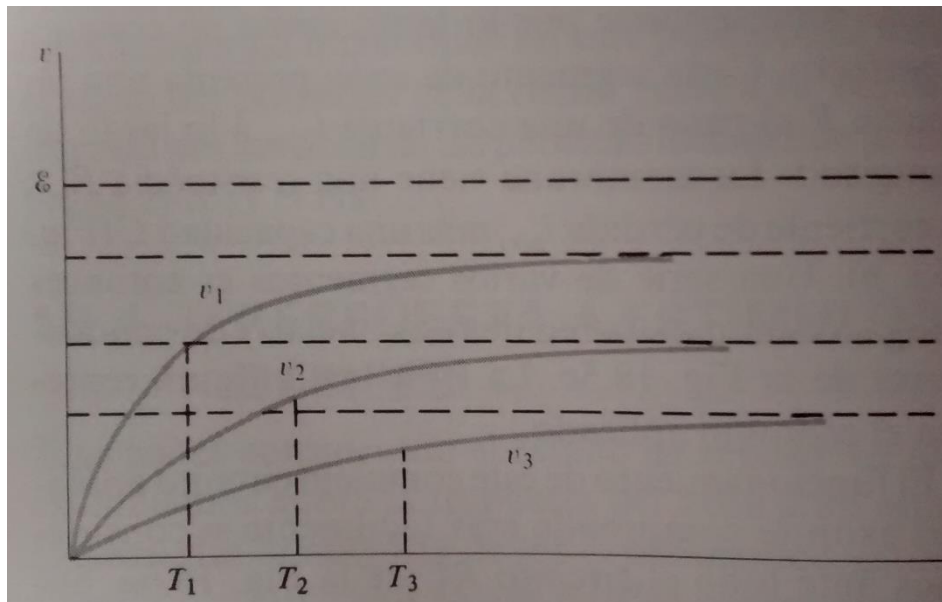
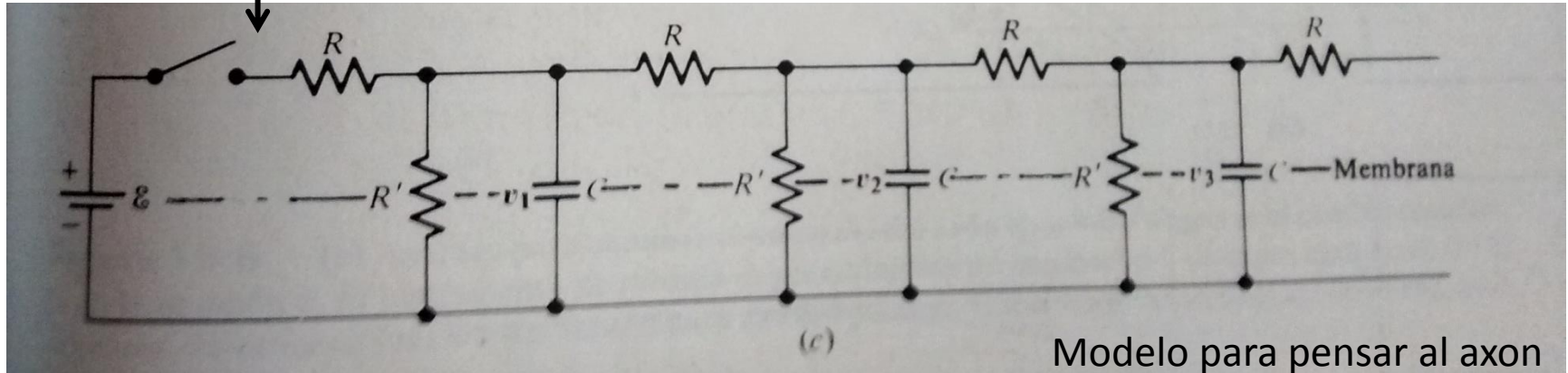
Carga de capacitores.
Escala temporal
 $R_1 C_1$ y $(R_1 + R_2) C_2$



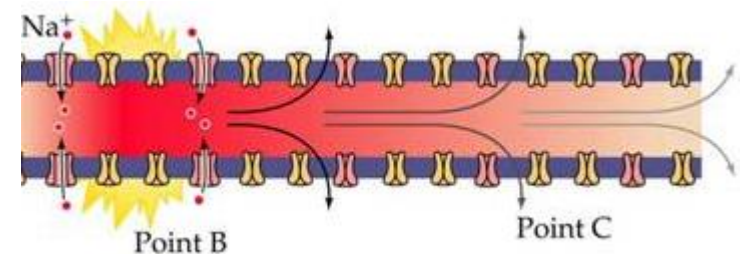
Carga de capacitor
hasta valor
asintótico menor
($V_A - V_B < \mathcal{E}$)

Conducción axonal para estímulos débiles

estímulo tipo escalón

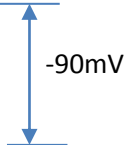


- Estímulos débiles se propagan lentamente
- se hacen paulatinamente más débiles
- desaparecen a los pocos milímetros



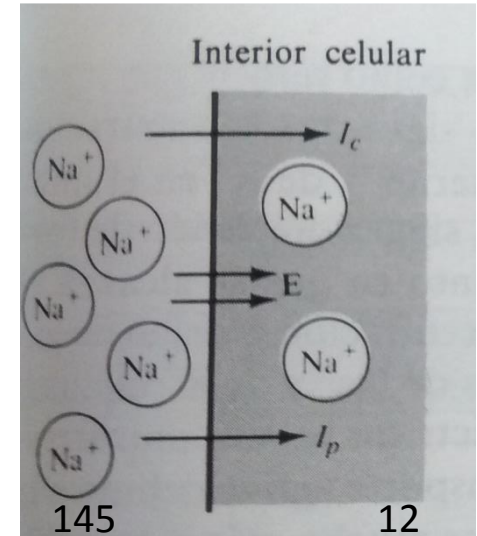
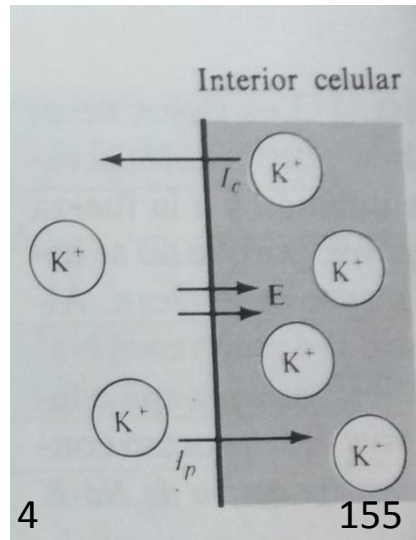
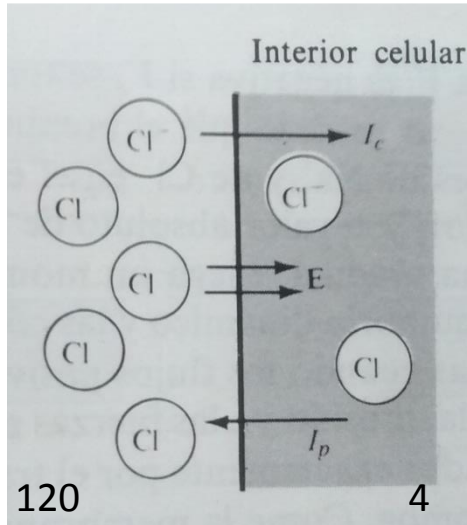
Condiciones fisiológicas

[mol/m ³]	Na⁺	145								
	K⁺	4								
	Cl⁻	120								
	Otros⁻	29								
			+	+	+	+	+	+	+	
membrana										
	Na⁺	12	-	-	-	-	-	-	-	
	K⁺	155								
	Cl⁻	4								
	Otros⁻	163								
Interior celular										



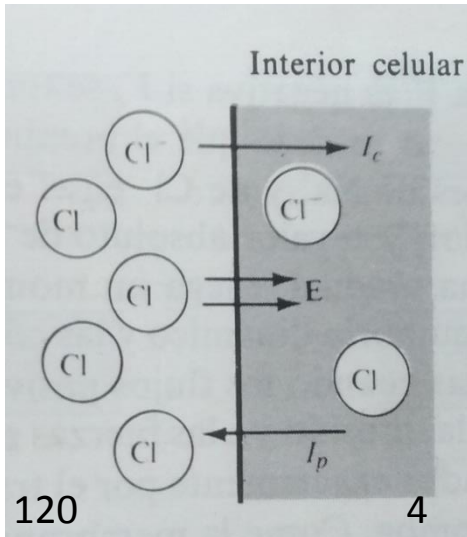
- A ambos lados de la membrana hay acumulación de carga
- Hay una diferencia de potencial $V_{int} - V_{ext} \sim -90 \text{ mV}$
- $Q = C \cdot V \sim 1/100000$ nro de iones negativos de la cel. (exceso de carga muy chico genera esa dif de potencial)

Condiciones fisiológicas...mecanismos pasivos

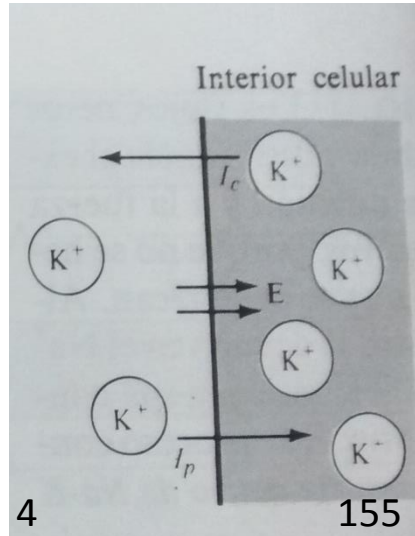


Condiciones fisiológicas...mecanismos pasivos

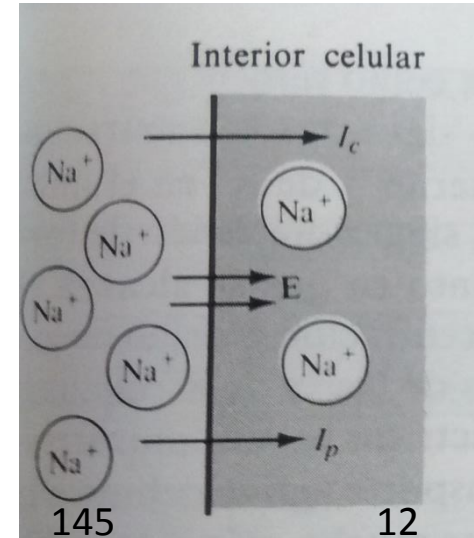
flujo por gradiente de densidad



flujo por gradiente de densidad



flujo por gradiente de densidad



flujo inducido por ΔV



flujo inducido por ΔV



flujo inducido por ΔV

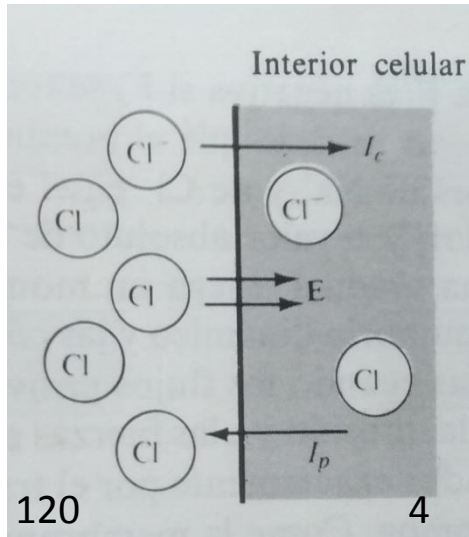
Podria ser que se compensen ambos flujos?

Ecuacion de Nerst: Balance entre trabajo electrostatico y trabajo contra el gradiente de densidad

$$q(V_i - V_o)^* = k_B T \ln \frac{n_o}{n_i}$$

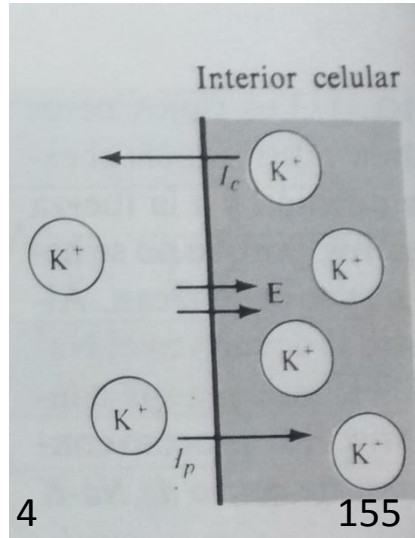
Condiciones fisiológicas... ~~mecanismos pasivos~~

flujo por gradiente de densidad



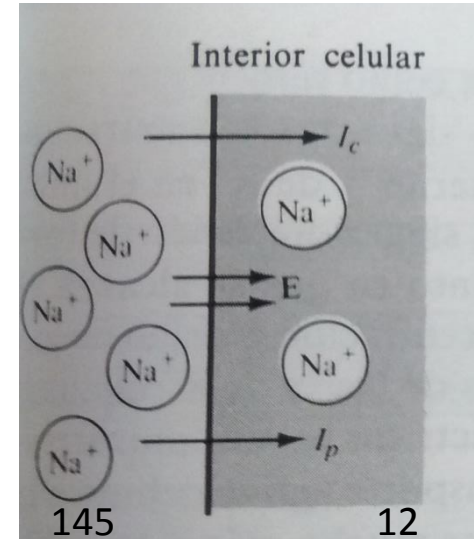
flujo inducido por ΔV

flujo por gradiente de densidad



flujo inducido por ΔV

flujo por gradiente de densidad



flujo inducido por ΔV

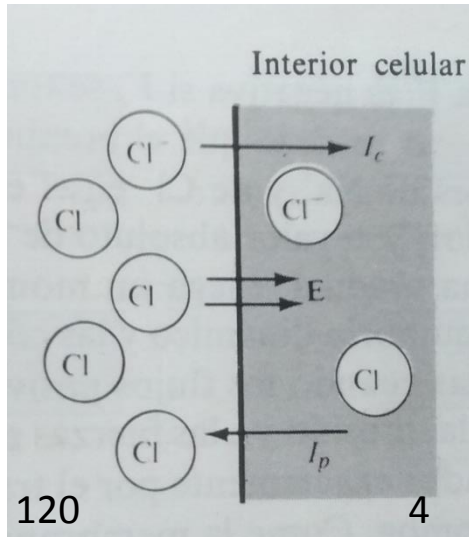
Ecuacion de Nerst: Balance entre trabajo electrostatico y trabajo contra el gradiente de densidad

$$q(V_i - V_o)^* = k_B T \ln \frac{n_o}{n_i}$$

La distribucion de Na+ interior y exterior **no es compatible** con situaciones de equilibrio inducida solamente por estos flujos... **tiene que haber algo mas...**

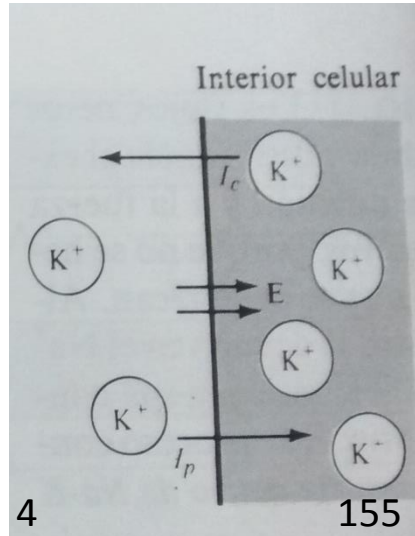
Condiciones fisiológicas... ~~mecanismos pasivos~~

flujo por gradiente de densidad



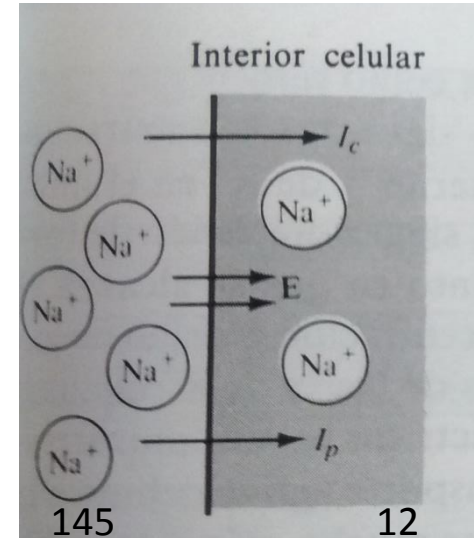
flujo inducido por ΔV

flujo por gradiente de densidad



flujo inducido por ΔV

flujo por gradiente de densidad



flujo inducido por ΔV

Ecuacion de Nerst: Balance entre trabajo electrostatico y trabajo contra el gradiente de densidad

$$q(V_i - V_o)^* = k_B T \ln \frac{n_o}{n_i}$$

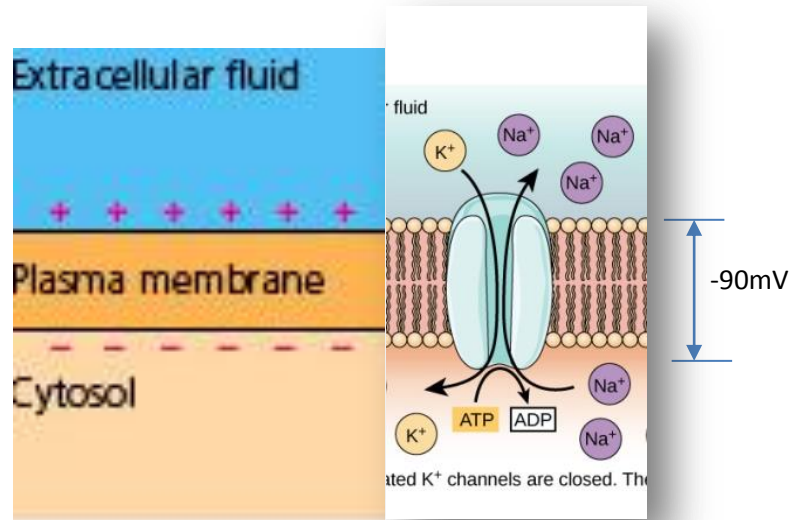
	$(V_i - V_o)^*$
Cl ⁻	-90mV
K ⁺	-98mV
Na ⁺	+66mV

El mecanismo pasivo **no alcanza** para explicar las concentraciones observadas para Na y K

Entonces...rol de las **bombas de Na-K**
Consumo de energia para mantener la dif de potencial basal de -90mV

Bombas Na-K

[mol/m ³]	Na⁺	145
	K⁺	4
	Cl⁻	120
	Otros⁻	29
	Na⁺	12
	K⁺	155
	Cl⁻	4
	Otros⁻	163



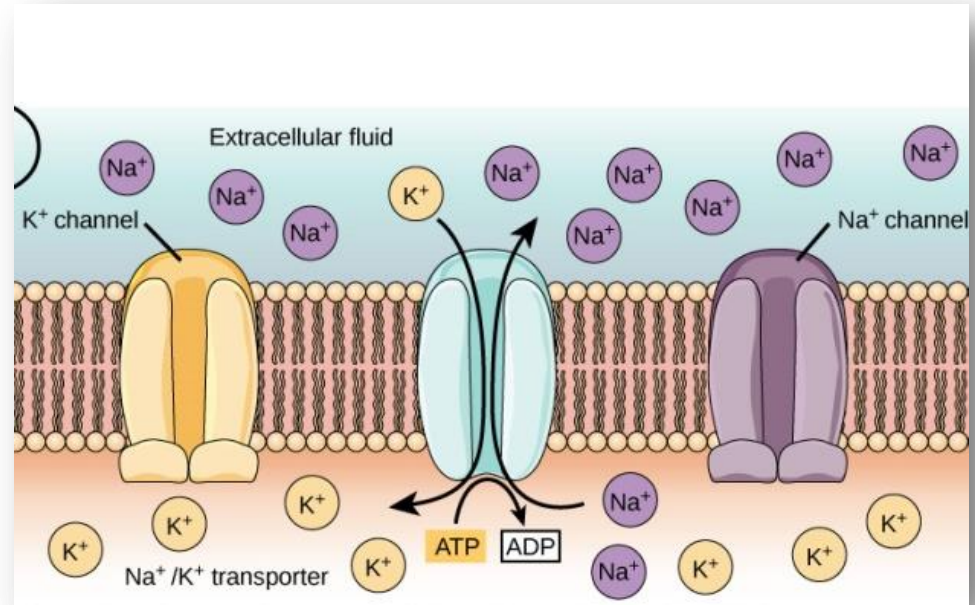
Canales Iónicos

Hay de tres tipos

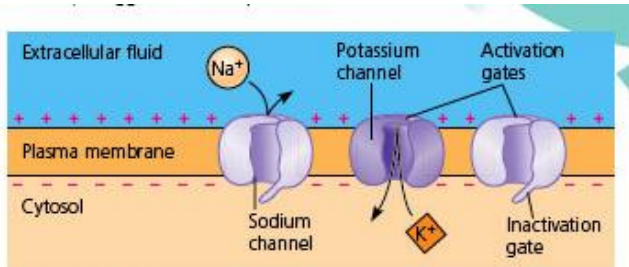
Canal K^+ / Na^+ mantiene el potencial basal, a costa de energía

Canal Na^+ (3 estados) activado por voltaje. Aumenta la permeabilidad efectiva de la membrana al Na^+

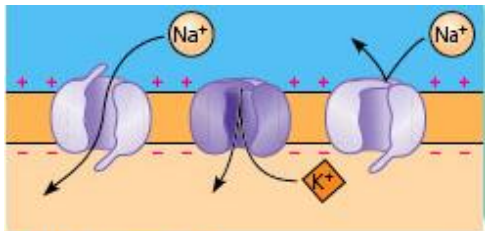
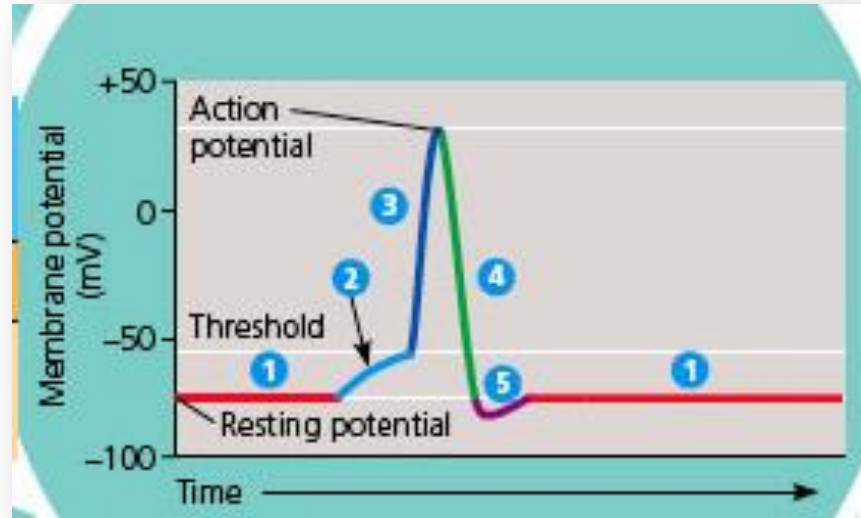
Canal K^+ (2 estados) activado por voltaje. Aumenta la permeabilidad efectiva de la membrana al K^+



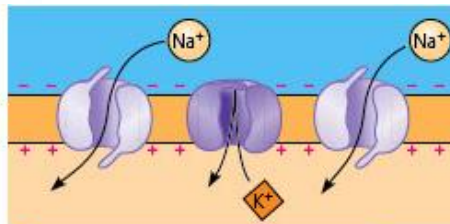
Estímulos intensos: rol no trivial de canales



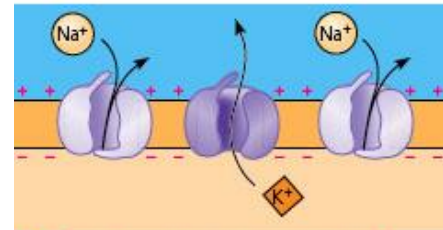
1 Resting state The activation gates on the Na^+ and K^+ channels are closed, and the membrane's resting potential is maintained.



2 Depolarization A stimulus opens the activation gates on some Na^+ channels. Na^+ influx through those channels depolarizes the membrane. If the depolarization reaches the threshold, it triggers an action potential.

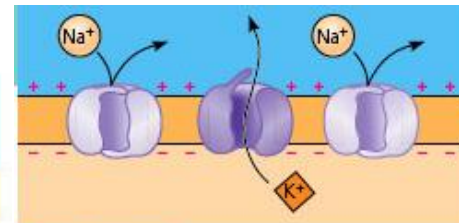


3 Rising phase of the action potential Depolarization opens the activation gates on most Na^+ channels, while the K^+ channels' activation gates remain closed. Na^+ influx makes the inside of the membrane positive with respect to the outside.



4 Falling phase of the action potential

The inactivation gates on most Na^+ channels close, blocking Na^+ influx. The activation gates on most K^+ channels open, permitting K^+ efflux which again makes the inside of the cell negative.



5 Undershoot Both gates of the Na^+ channels are closed, but the activation gates on some K^+ channels are still open. As these gates close on most K^+ channels, and the inactivation gates open on Na^+ channels, the membrane returns to its resting state.

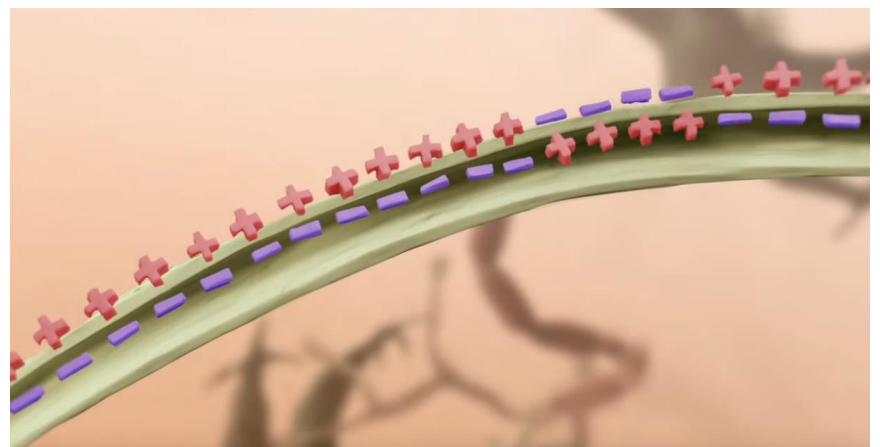
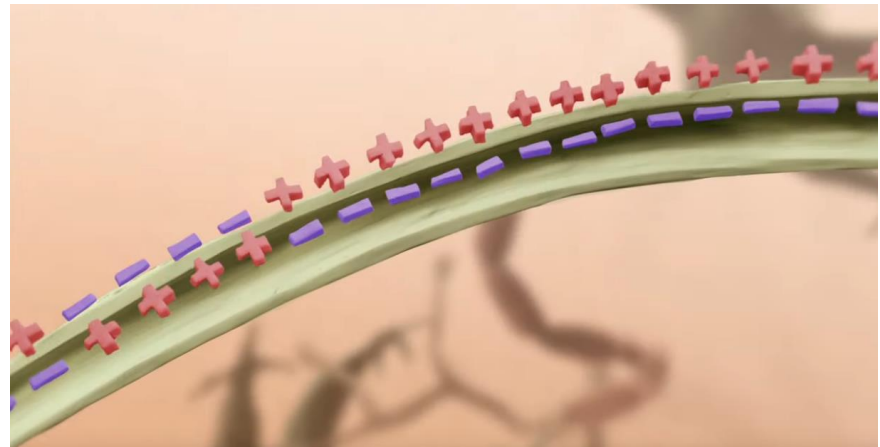
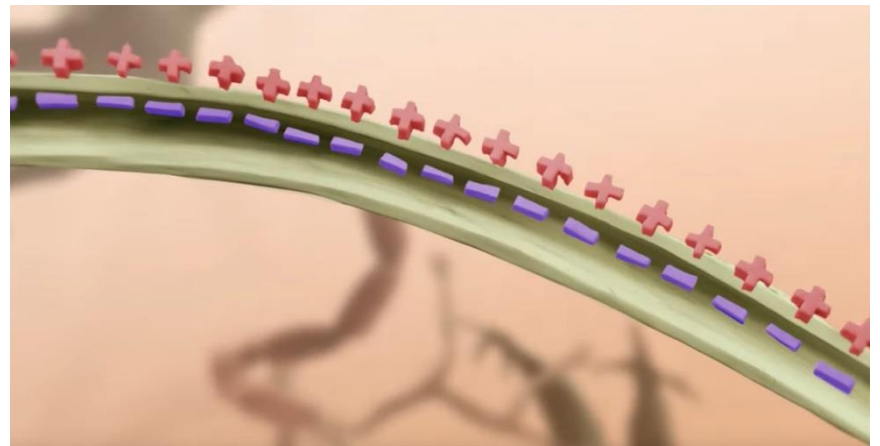
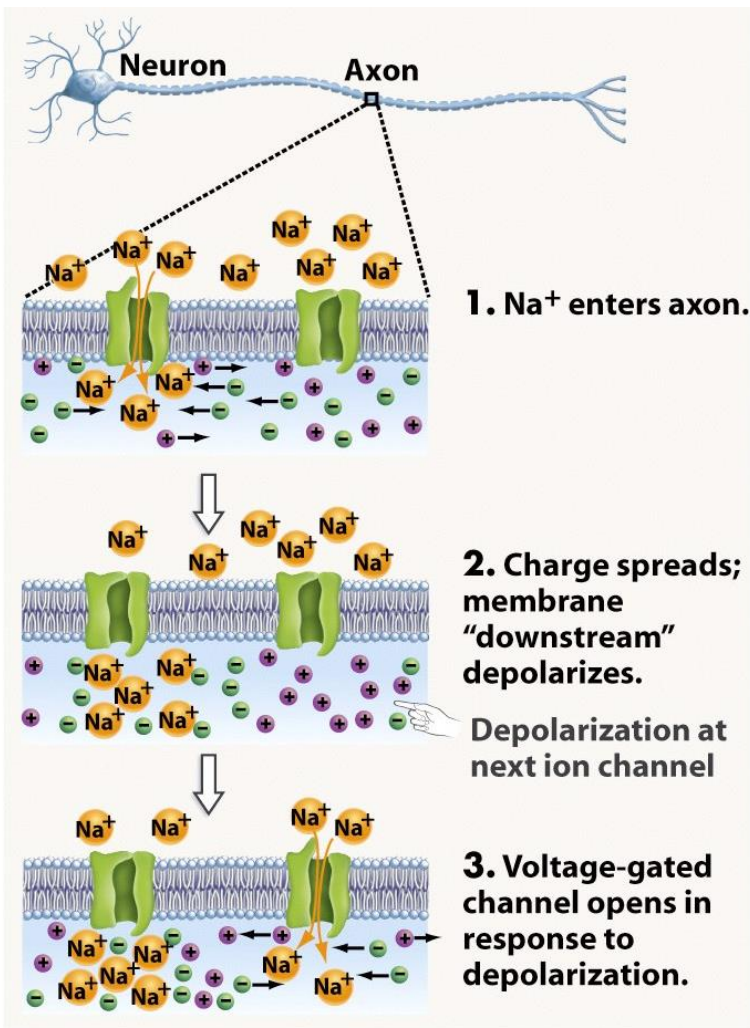
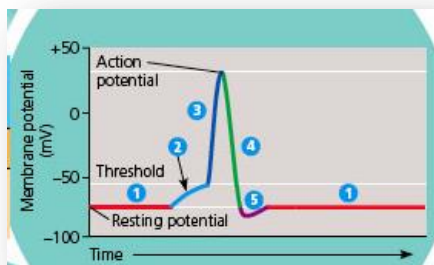
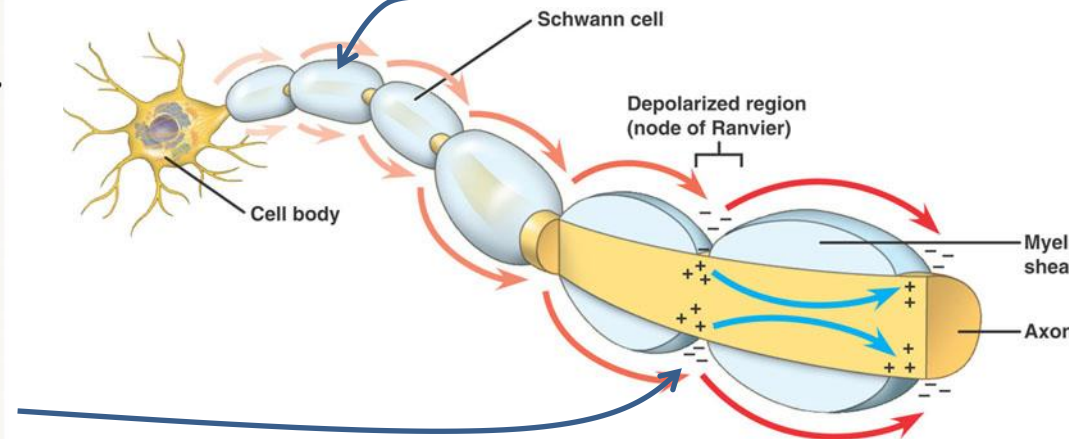
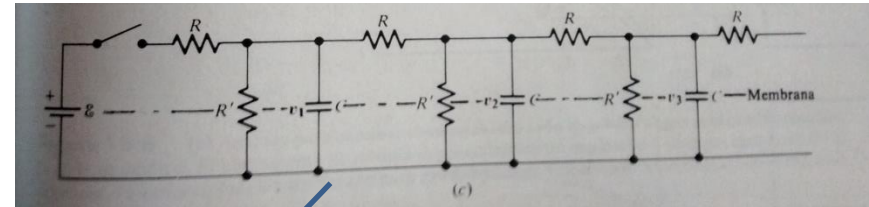
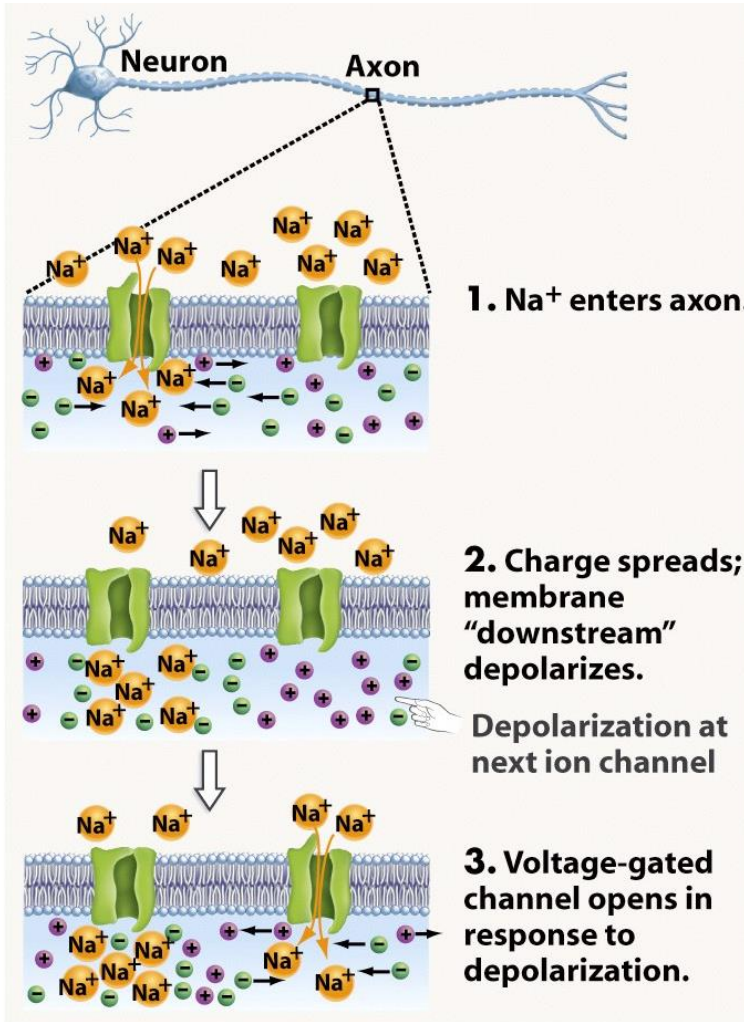


Figure 45-11a Biological Science, 2/e
© 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Estimulos intensos: propagacion



- La señal se propaga de manera pasiva en axones envueltos por células de Schwann
- Los nodos de Ranvier actúan como puntos de amplificación de la señal