

BIOELECTRICIDAD

Departamento de Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica de Valencia, España

Prof. José M. Ferrero

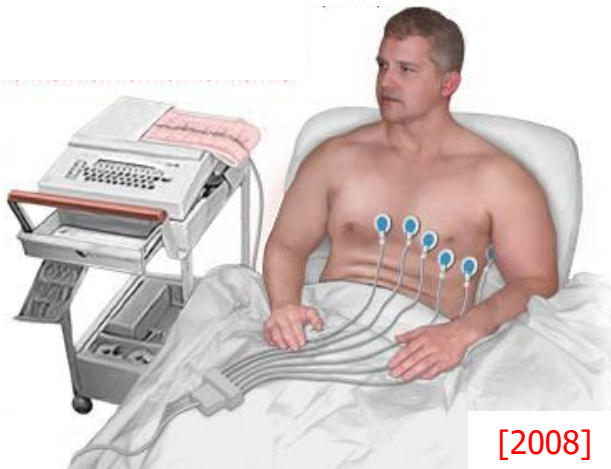


TEMA 2

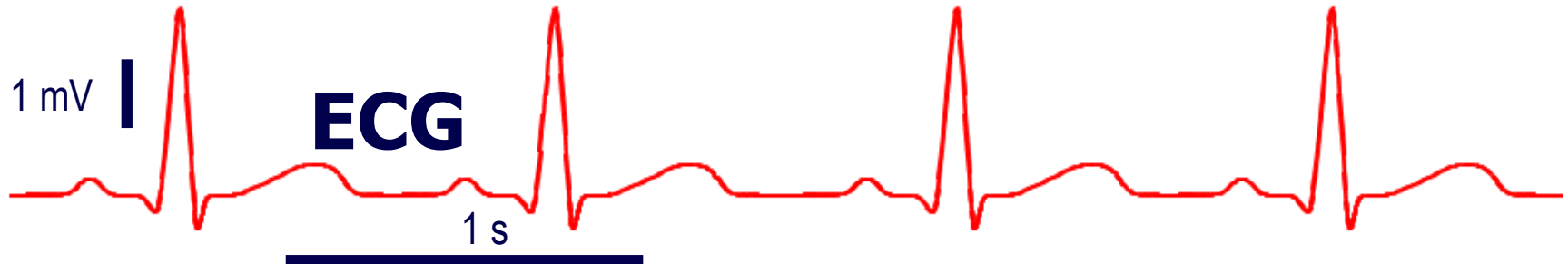
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE BIOELECTRICIDAD MULTIESCALA

- 2.1.- Naturaleza multiescala de la Bioelectricidad: de lo macro a lo micro
- 2.2.- Diversidad de canales iónicos
- 2.3.- Modelo eléctrico de una célula excitable
- 2.4.- Corrientes iónicas: difusión y campo eléctrico

Naturaleza multiescala de la bioelectricidad



El ECG es el resultado de un proceso **multi escala**...



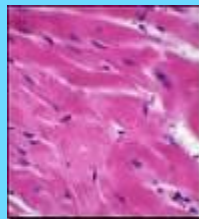
Cuerpo



Órgano



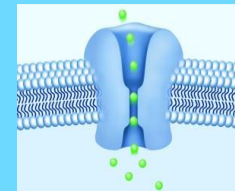
Tejido



Célula



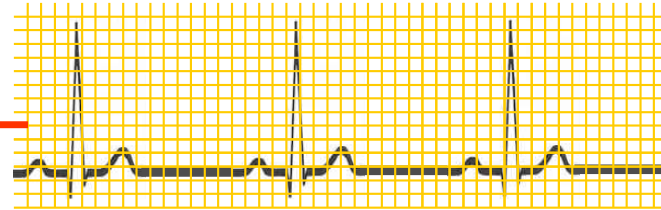
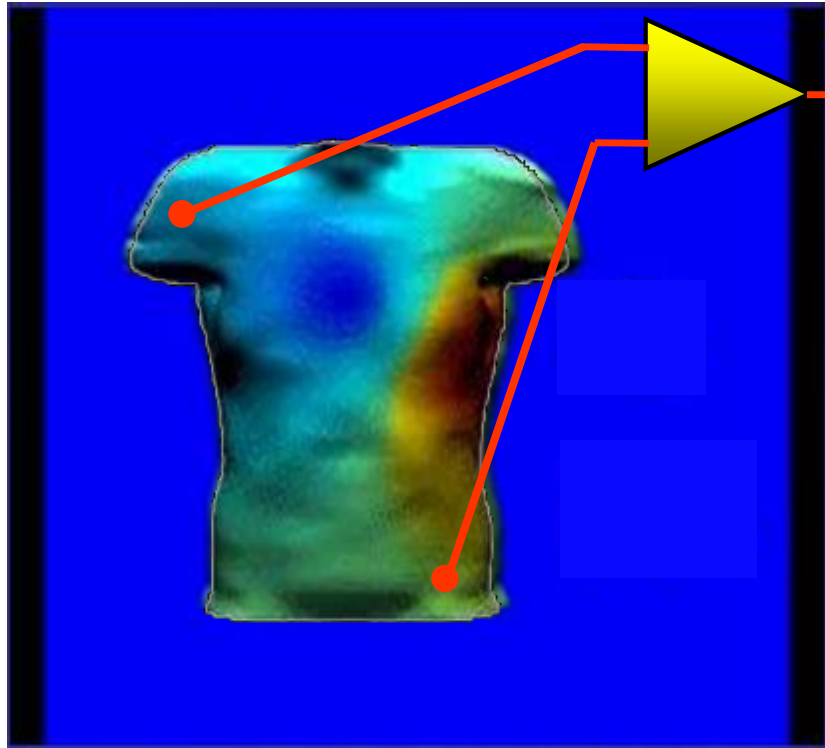
Canal Iónico



Gen



Potenciales de superficie



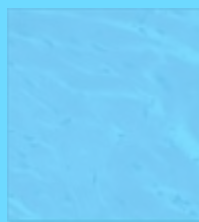
Cuerpo



Órgano



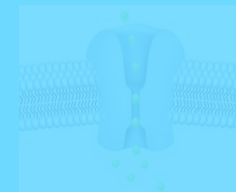
Tejido



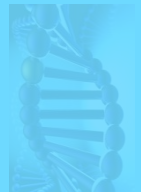
Célula



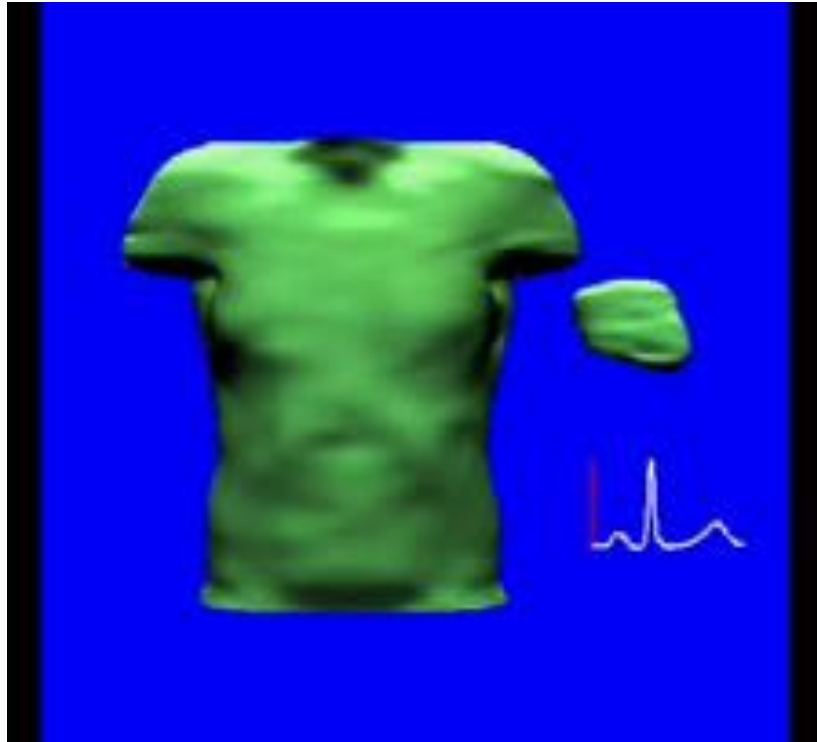
Canal Iónico



Gen

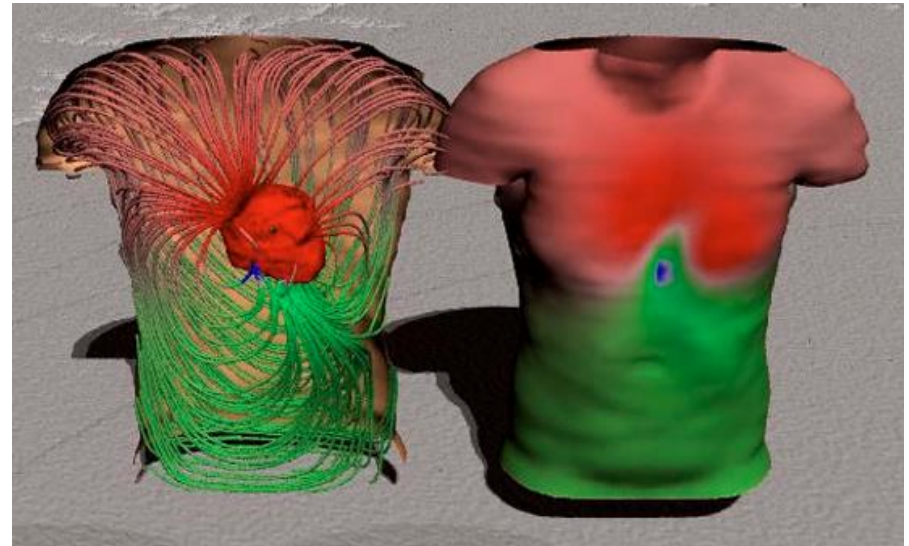


Potenciales de superficie



[P Hunter et al, 1999]

$$V = RI$$



[C Johnson et al, 1992]

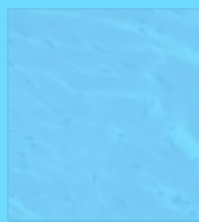
Cuerpo



Órgano



Tejido



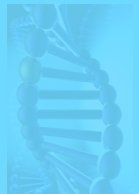
Célula



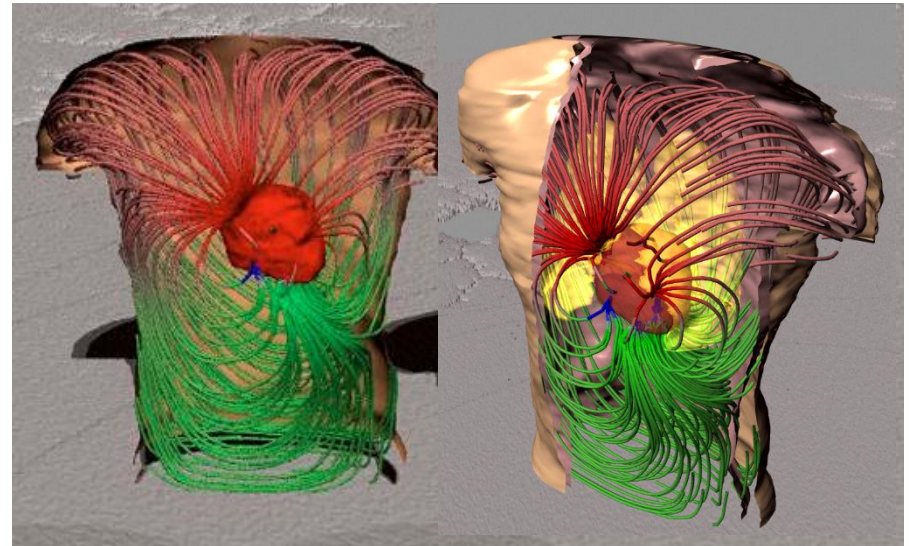
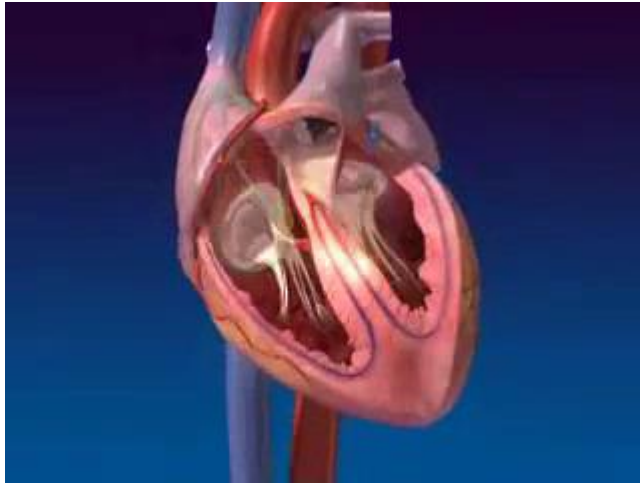
Canal Iónico



Gen



El corazón: bomba mecánica y “dispositivo” eléctrico



[C Johnson et al, 1992]

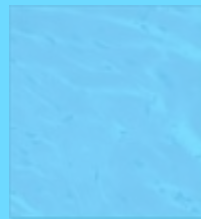
Cuerpo



Órgano



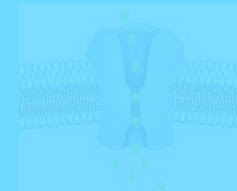
Tejido



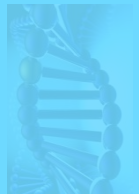
Célula



Canal Iónico

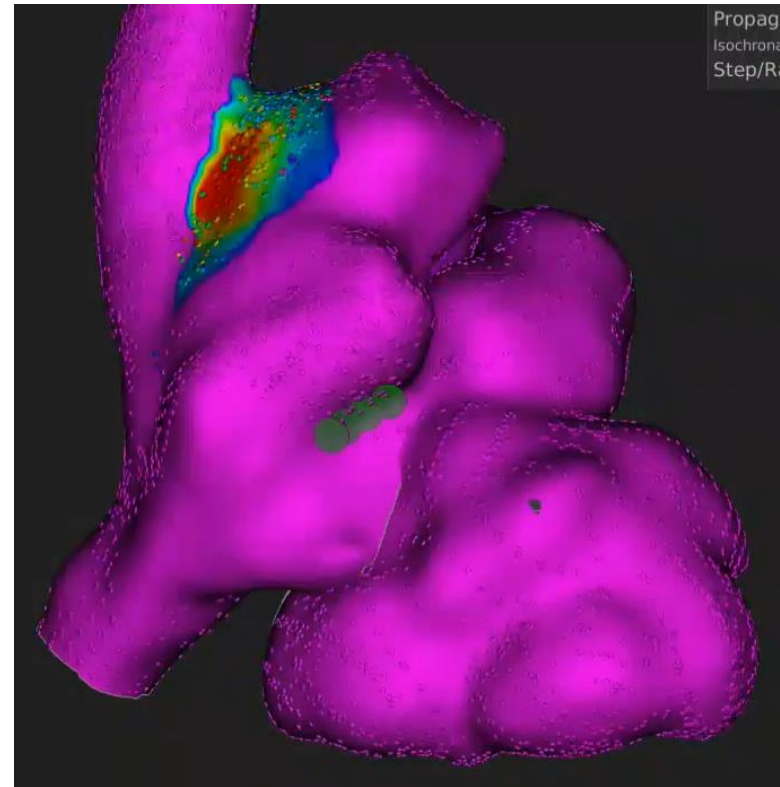


Gen



El corazón: bomba mecánica y “dispositivo” eléctrico

[cortesía del Dr. Ángel Ferrero, Hospital Clínic de Valencia]



Actividad eléctrica del miocardio

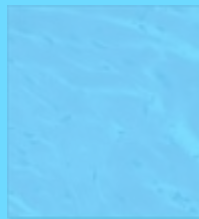
Cuerpo



Órgano



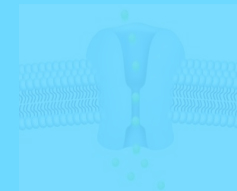
Tejido



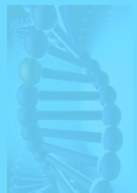
Célula



Canal Iónico

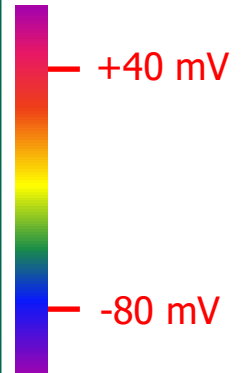
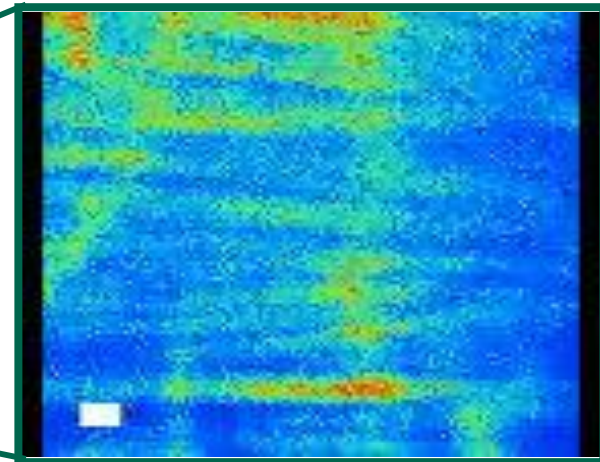
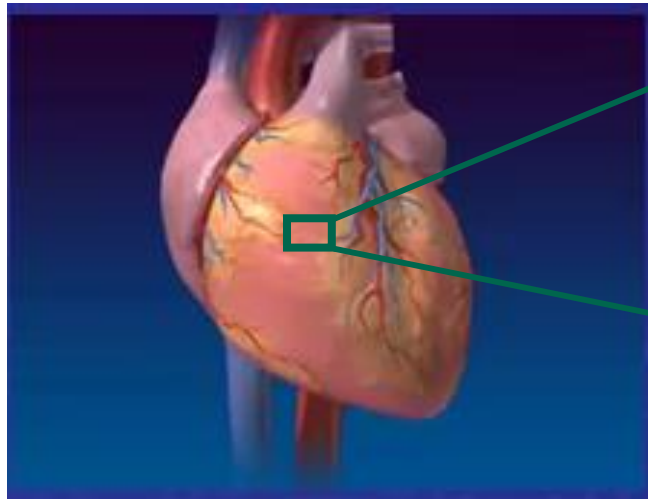


Gen



Actividad eléctrica del tejido cardiaco

(tinte sensible al voltaje)



Actividad eléctrica del miocardio

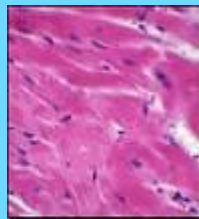
Cuerpo



Órgano



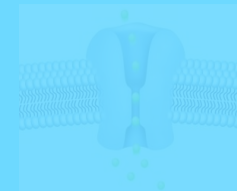
Tejido



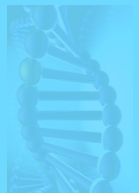
Célula



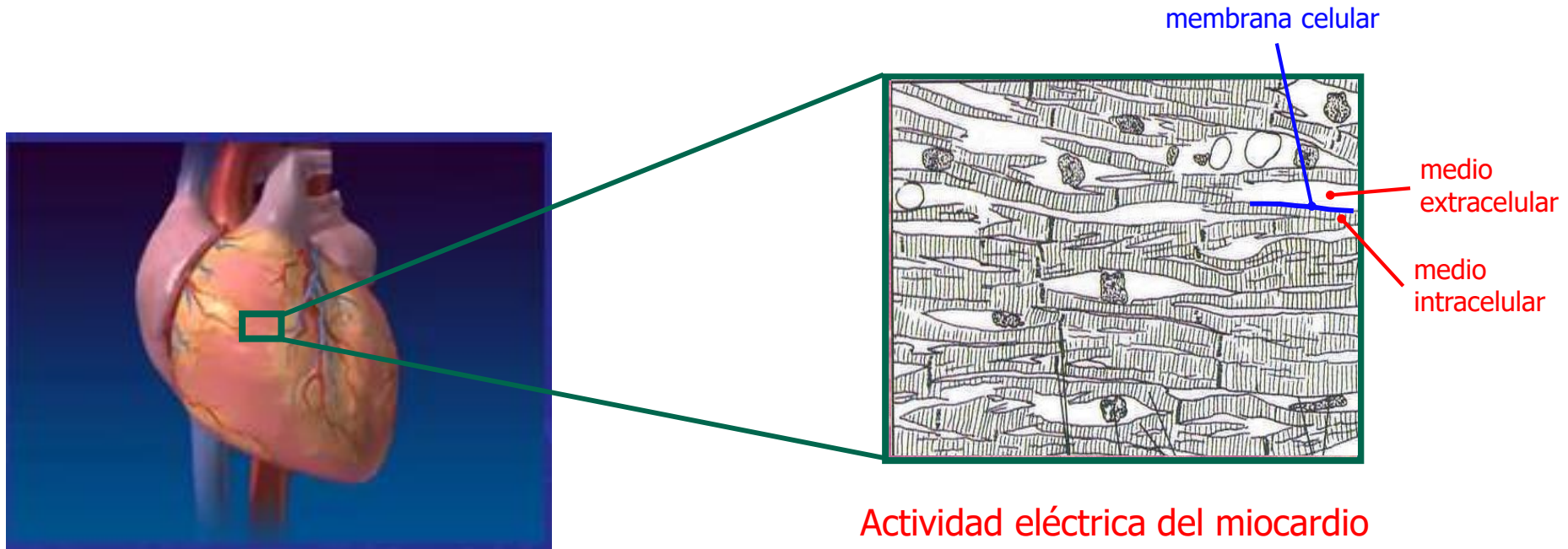
Canal Iónico



Gen



Actividad eléctrica del tejido cardiaco



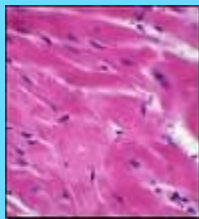
Cuerpo



Órgano



Tejido



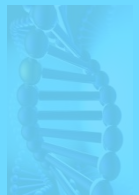
Célula



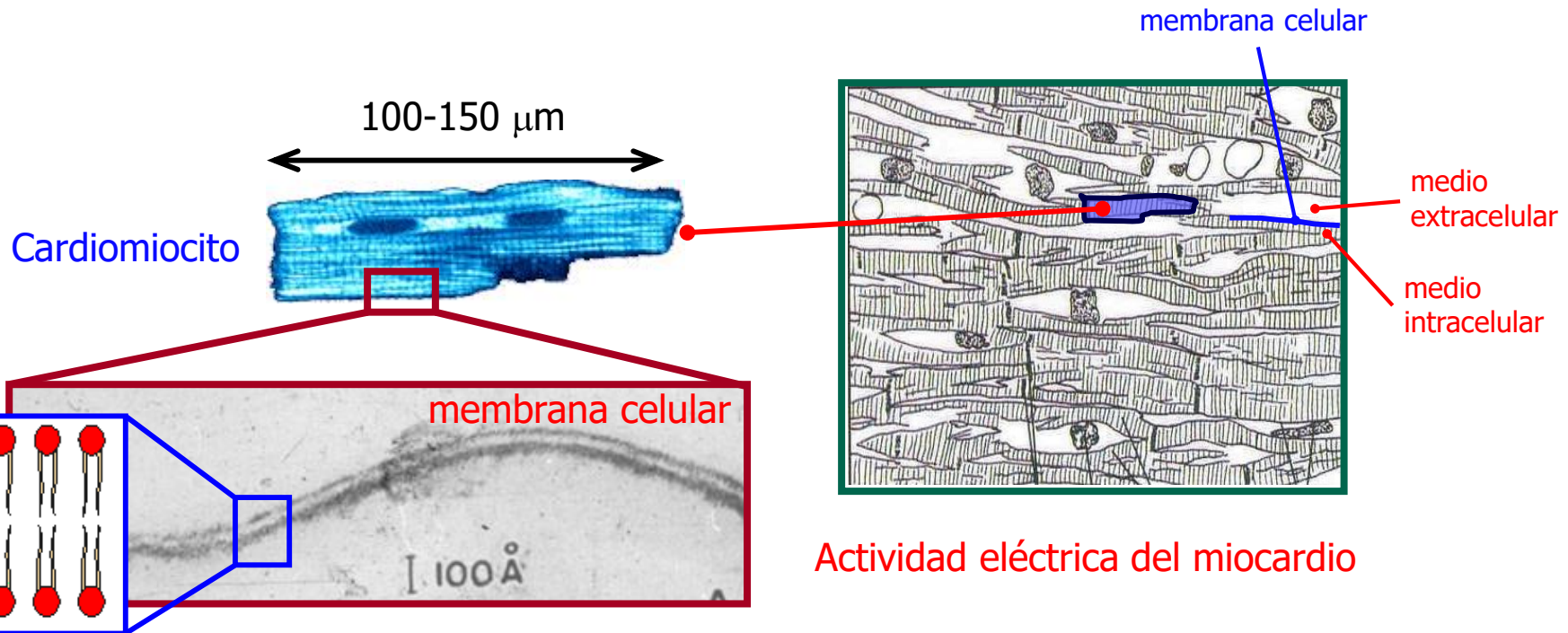
Canal Iónico



Gen



Actividad eléctrica del tejido cardiaco



Actividad eléctrica del miocardio

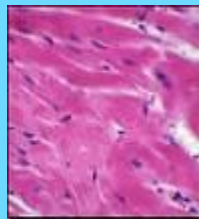
Cuerpo



Órgano



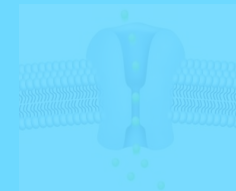
Tejido



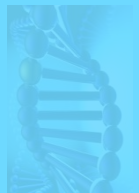
Célula



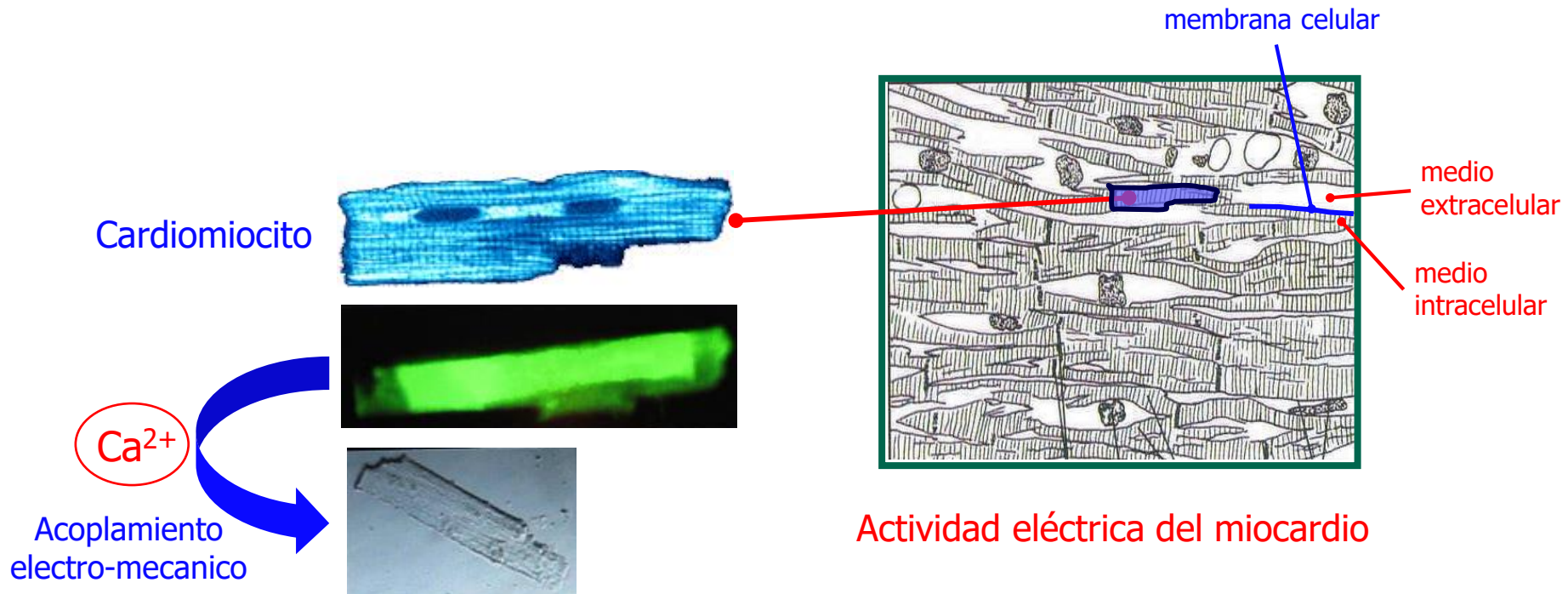
Canal Iónico



Gen



Acoplamiento Electro-Mecánico en los cardiomiocitos



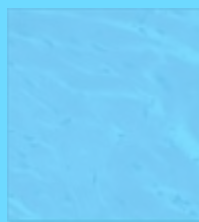
Cuerpo



Órgano



Tejido



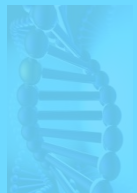
Célula



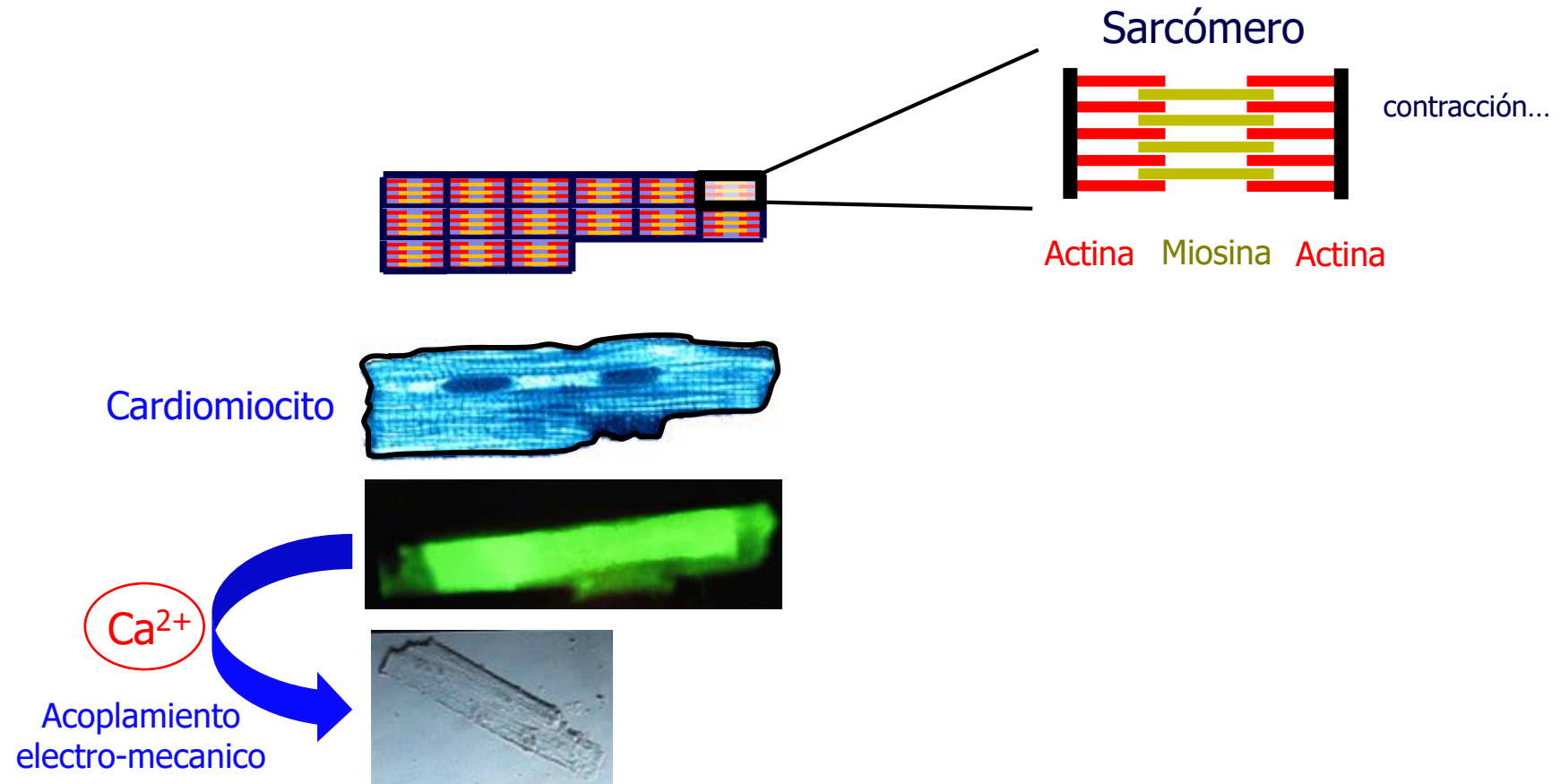
Canal Iónico



Gen



Acoplamiento Electro-Mecánico en los cardiomiocitos



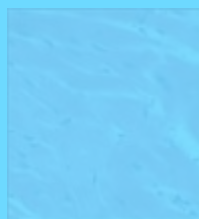
Cuerpo



Órgano



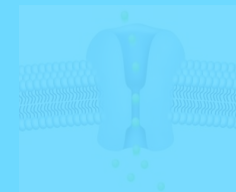
Tejido



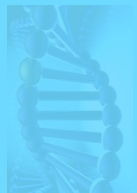
Célula



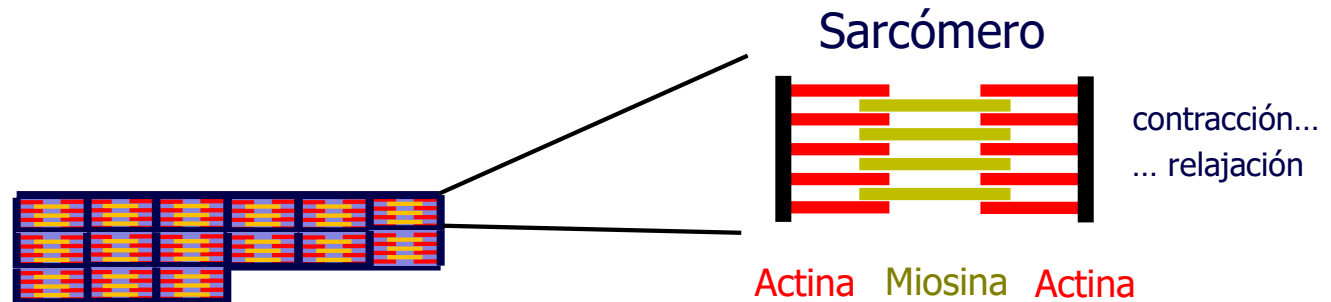
Canal Iónico



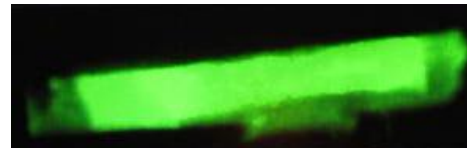
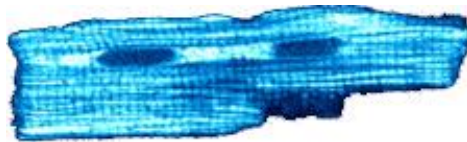
Gen



Acoplamiento Electro-Mecánico en los cardiomiocitos

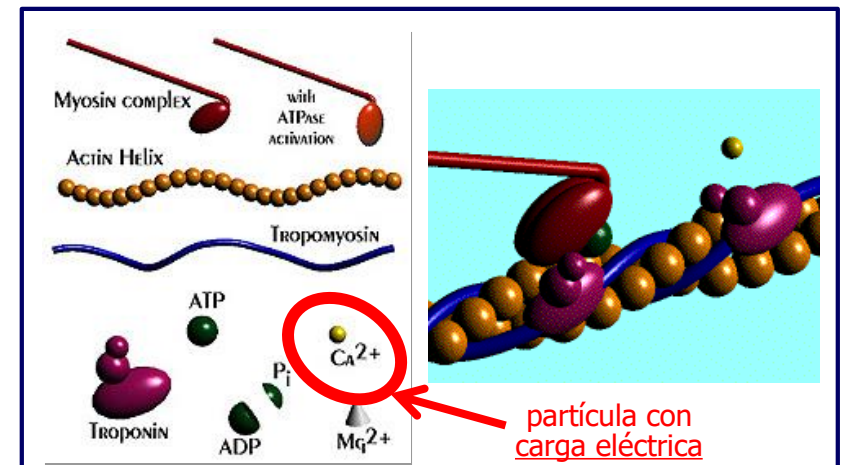


Cardiomiocito



Ca^{2+}

Acoplamiento
electro-mecánico



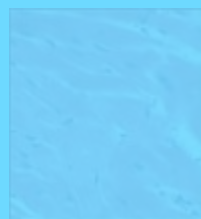
Cuerpo



Órgano



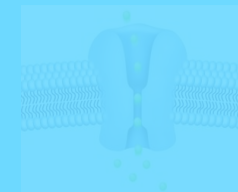
Tejido



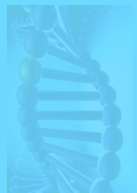
Célula



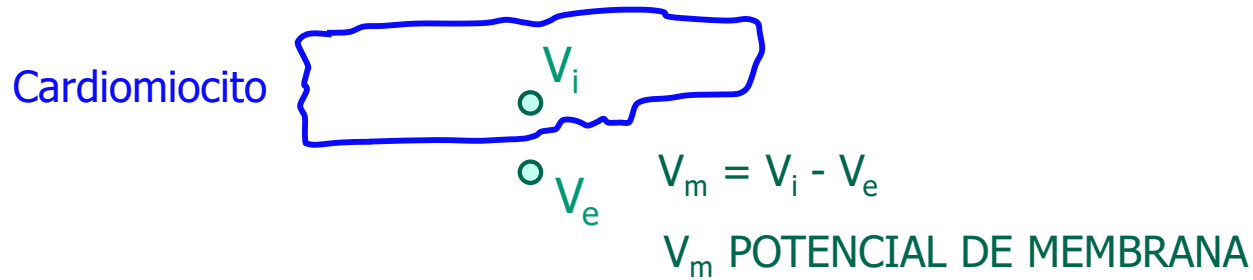
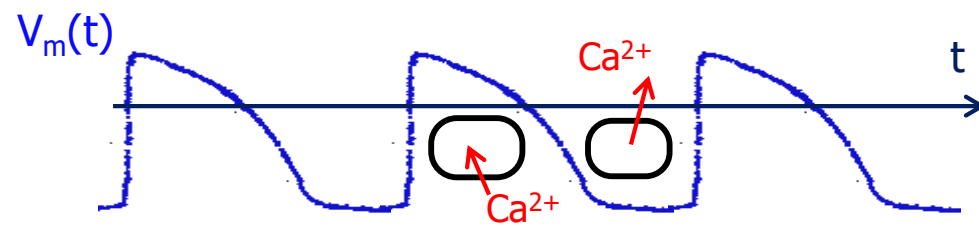
Canal Iónico



Gen



¿Cómo consigue la célula cardíaca meter y sacar calcio?



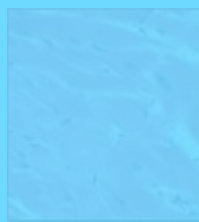
Cuerpo



Órgano



Tejido



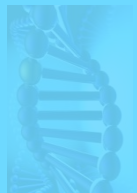
Célula



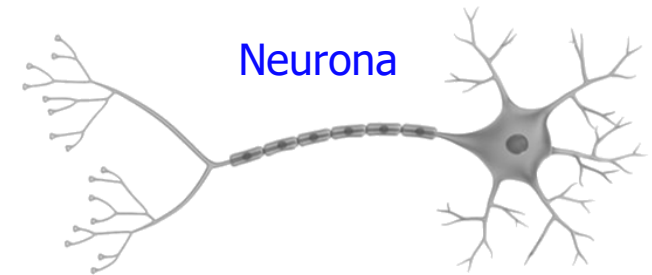
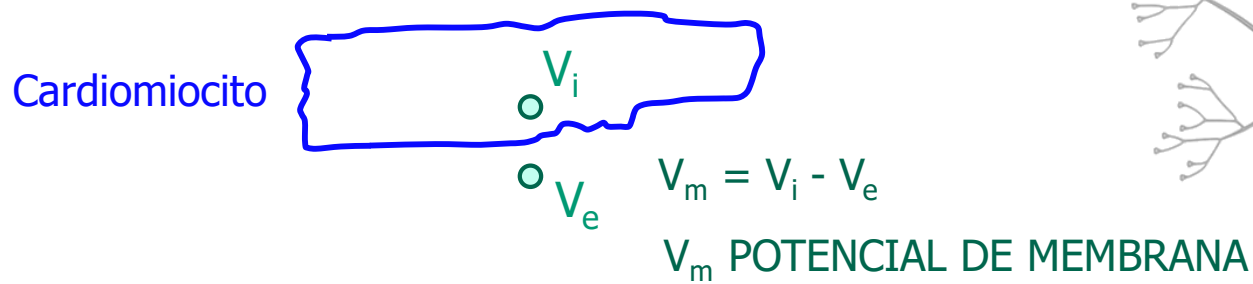
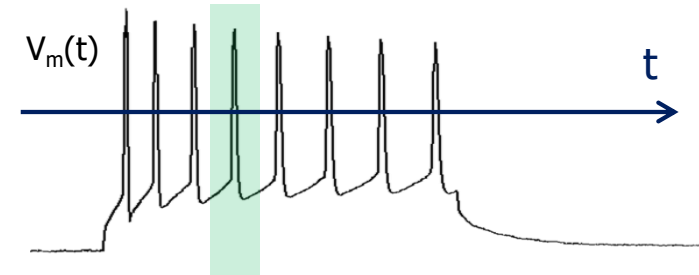
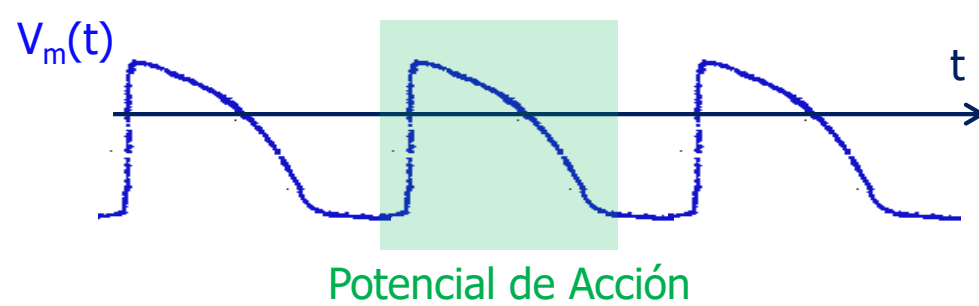
Canal Iónico



Gen



El potencial de acción



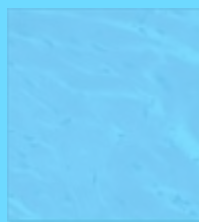
Cuerpo



Órgano



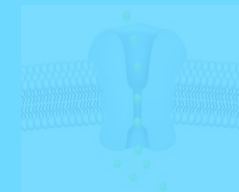
Tejido



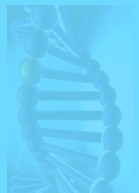
Célula



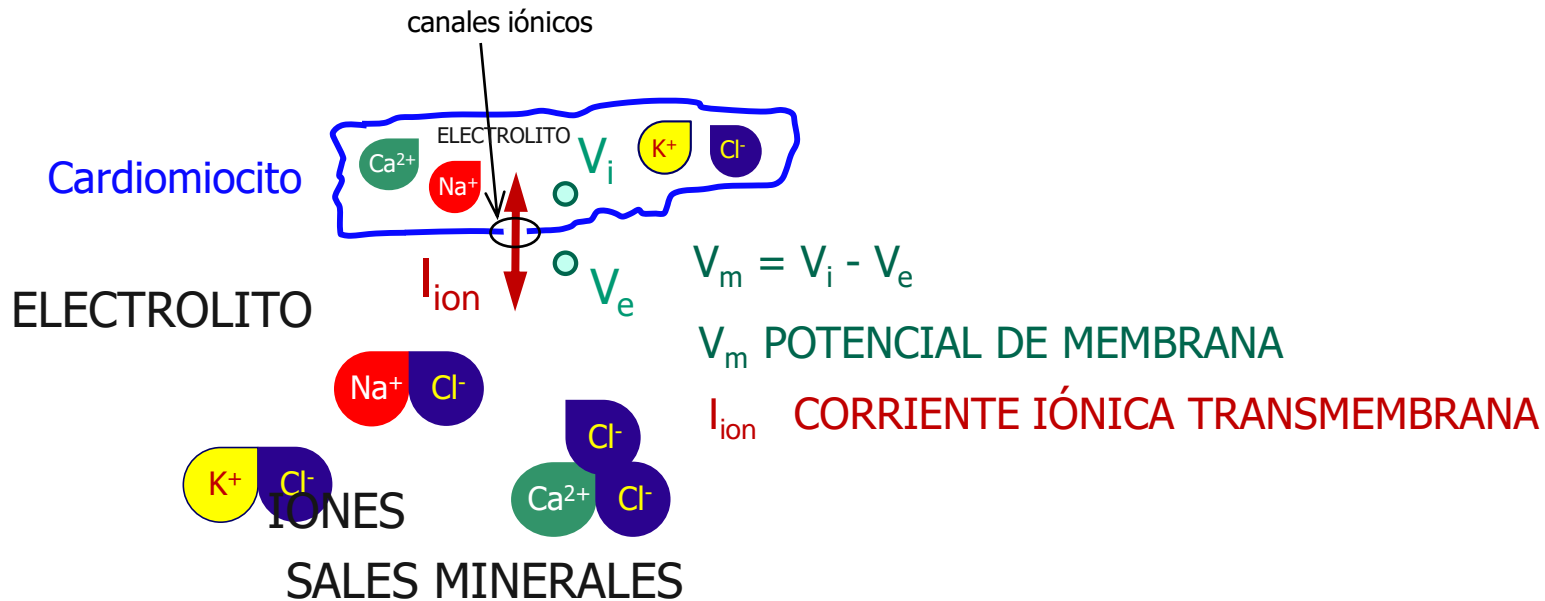
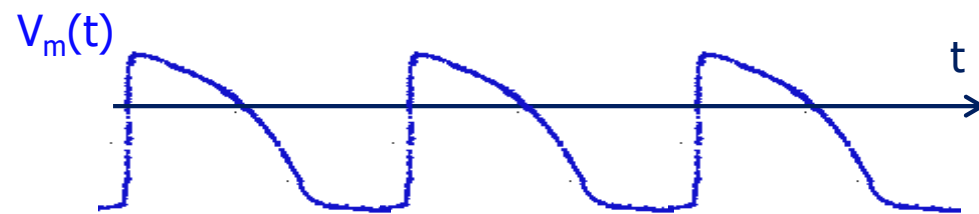
Canal Iónico



Gen



Conducción eléctrica celular



$$V = RI$$

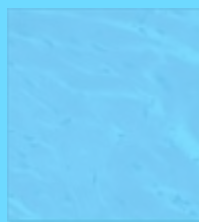
Cuerpo



Órgano



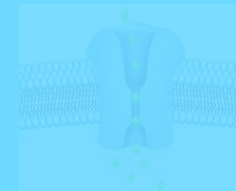
Tejido



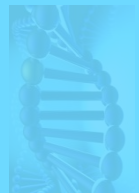
Célula



Canal Iónico



Gen



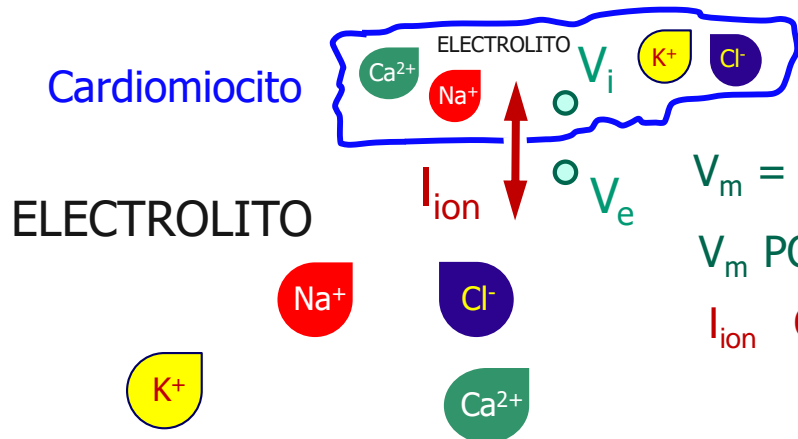
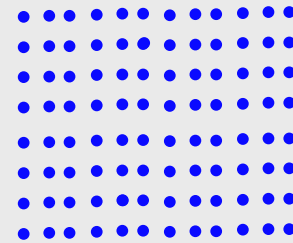
Las leyes básicas de la conducción iónica



¿Quién impulsa a moverse a los iones?

1. DIFUSIÓN

↑ concentración → ↓ concentración



$$V_m = V_i - V_e$$

V_m POTENCIAL DE MEMBRANA

I_{ion} CORRIENTE IÓNICA TRANSMEMBRANA

$$V = RI$$

A simple electrical circuit diagram showing a resistor R connected to a voltage source V and a current I flowing through it.

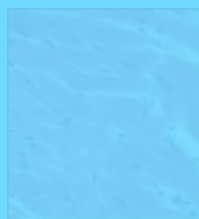
Cuerpo



Órgano



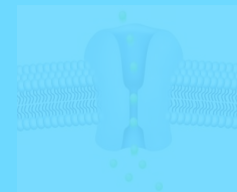
Tejido



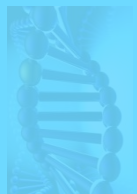
Célula



Canal Iónico



Gen



Las leyes básicas de la conducción iónica

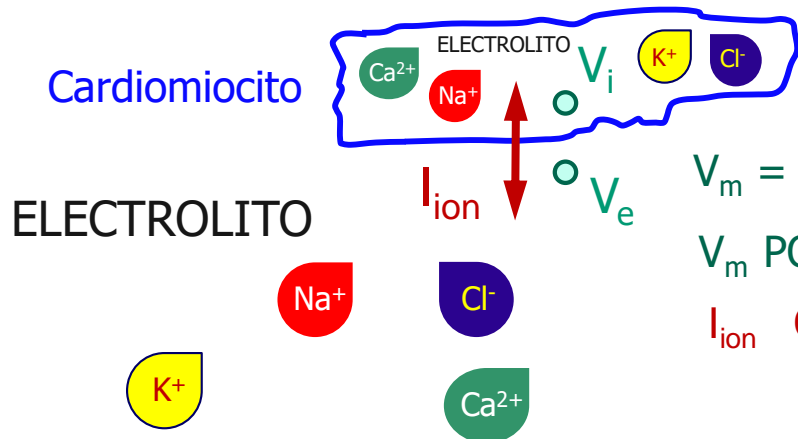
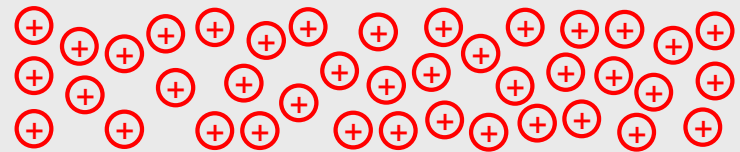


¿Quién impulsa a moverse a los iones?

1. DIFUSIÓN

2. CAMPO ELÉCTRICO

↑ potencial eléctrico V_m [+] → ↓ potencial eléctrico V_m [-]



$$V_m = V_i - V_e$$

V_m POTENCIAL DE MEMBRANA

I_{ion} CORRIENTE IÓNICA TRANSMEMBRANA

$$V = RI$$

A simple circuit diagram showing a voltage source V connected in series with a resistor R . The current I flows from the positive terminal of the voltage source through the resistor.

Cuerpo

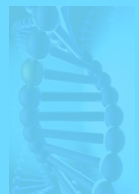
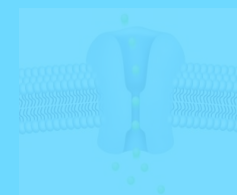
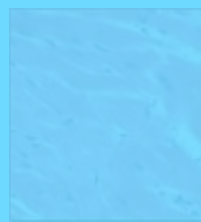
Órgano

Tejido

Célula

Canal Iónico

Gen



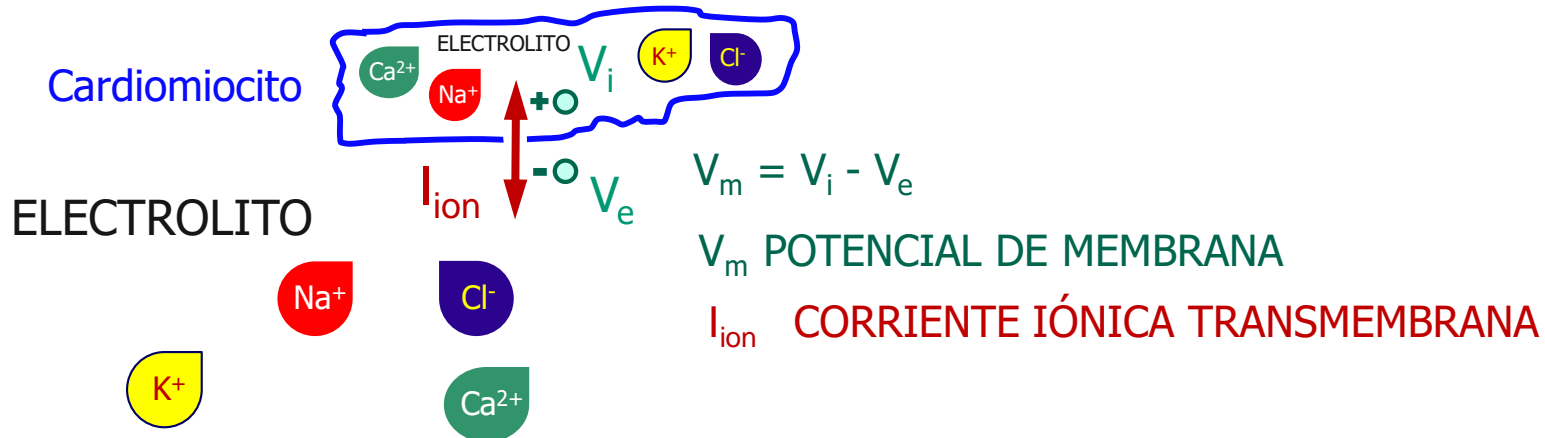
Criterio de signos en bioelectricidad



¿Quién impulsa a moverse a los iones?

1. DIFUSIÓN

2. CAMPO ELÉCTRICO



$$V = RI$$

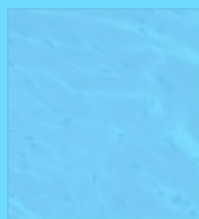
Cuerpo



Órgano



Tejido



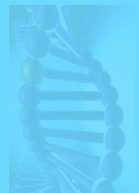
Célula



Canal Iónico



Gen



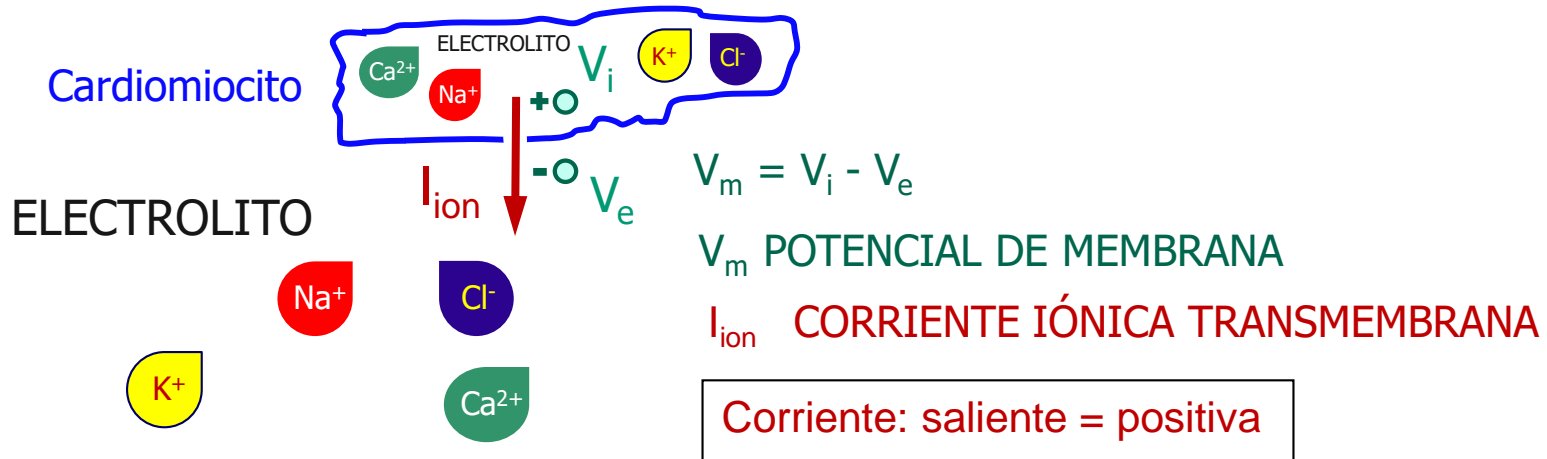
Criterio de signos en bioelectricidad



¿Quién impulsa a moverse a los iones?

1. DIFUSIÓN

2. CAMPO ELÉCTRICO



$$V = RI$$

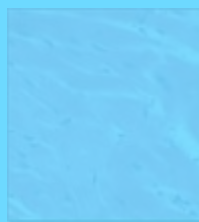
Cuerpo



Órgano



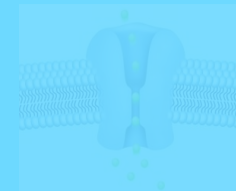
Tejido



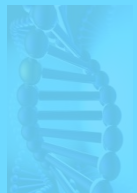
Célula



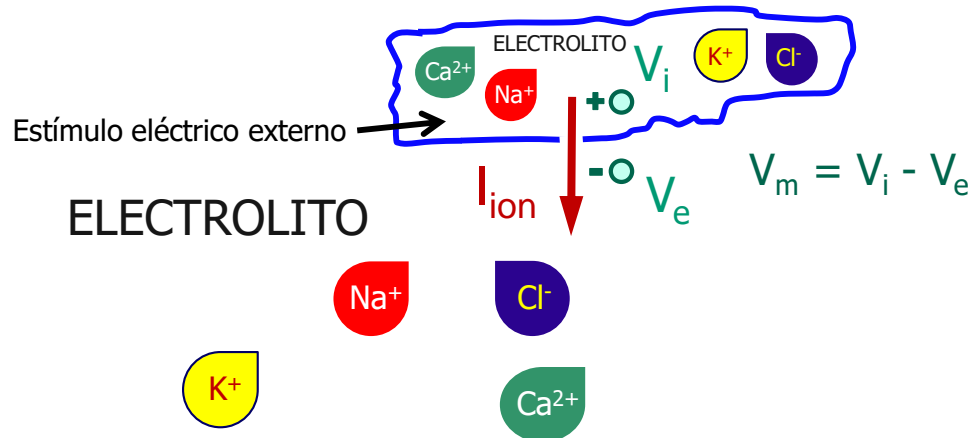
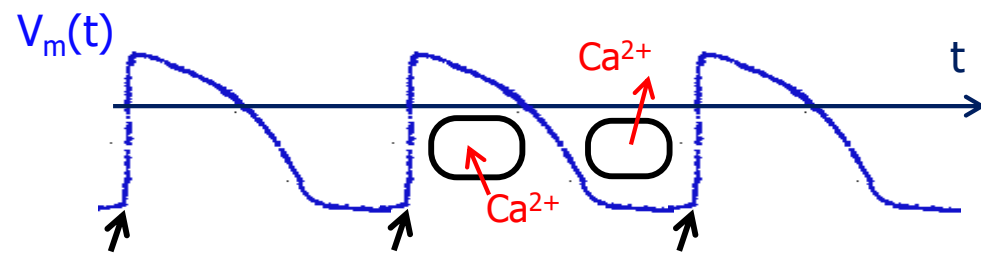
Canal Iónico



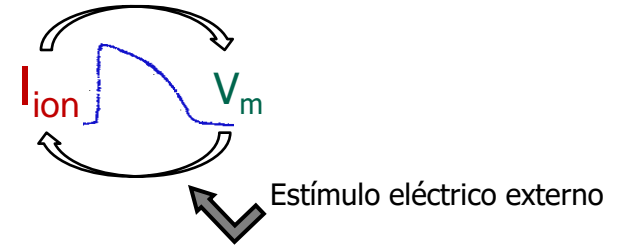
Gen



La "autogestión" del potencial de acción



- La membrana celular se "autogestiona" el disparo de potenciales de acción



- Con cada uno de ellos, entra calcio en la célula y se produce la contracción (sístole), abandonándola después para producir la relajación diástole)
- Para iniciar cada potencial de acción, la célula necesita de un breve estímulo eléctrico que viene del exterior (rítmicamente)*

* Hay excepciones

$$V = RI$$

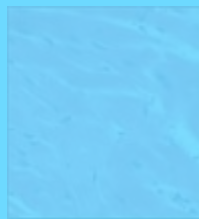
Cuerpo



Órgano



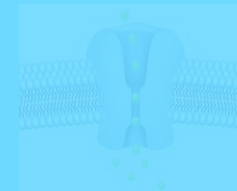
Tejido



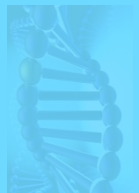
Célula



Canal Iónico



Gen



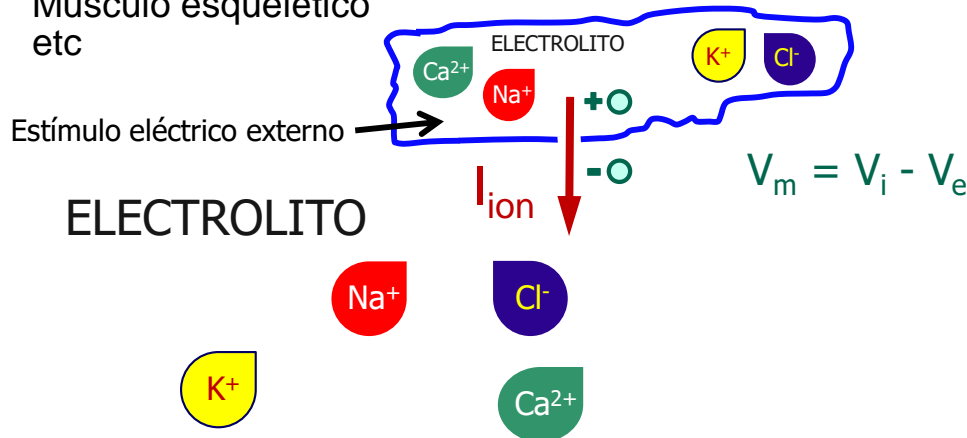
Las células excitables

En el corazón

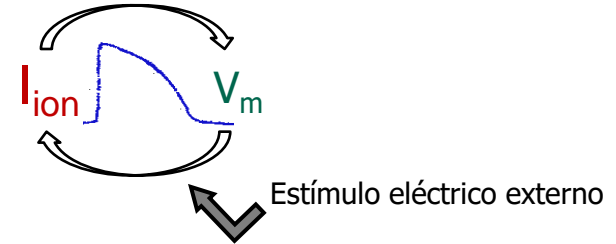
- Cardiomiocitos
- Células del sistema His-Purkinje
- Células del nodo sinusal
- Células del nodo aurículo-ventricular
- Miofibroblastos

En otros órganos

- Neuronas
- Células β del páncreas
- Músculo liso
- Músculo esquelético
- etc



- La membrana celular se "autogestiona" el disparo de potenciales de acción



- Con cada uno de ellos, entra calcio en la célula y se produce la contracción (sístole), abandonándola después para producir la relajación diástole)
- Para iniciar cada potencial de acción, la célula necesita de un breve estímulo eléctrico \uparrow que viene del exterior (rítmicamente)*

* Hay excepciones

$$V = RI$$

The circuit diagram shows a voltage source V connected in series with a resistor R . The current I flows from the positive terminal of the voltage source through the resistor.

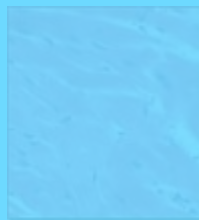
Cuerpo



Órgano



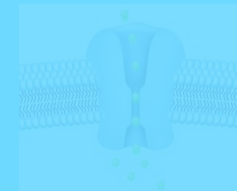
Tejido



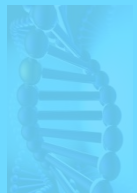
Célula



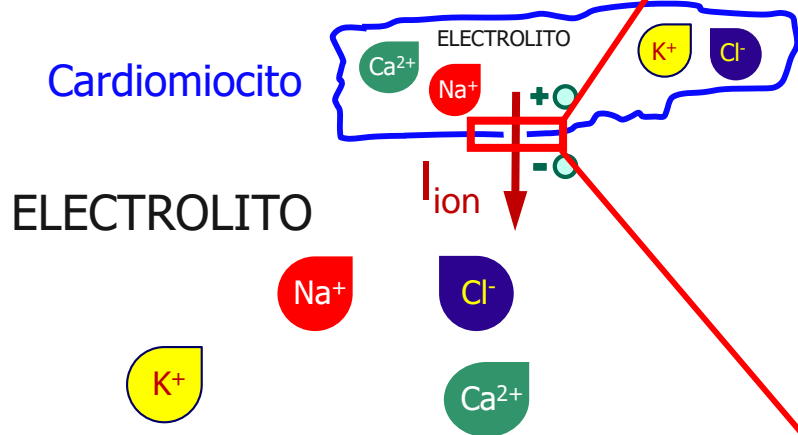
Canal iónico



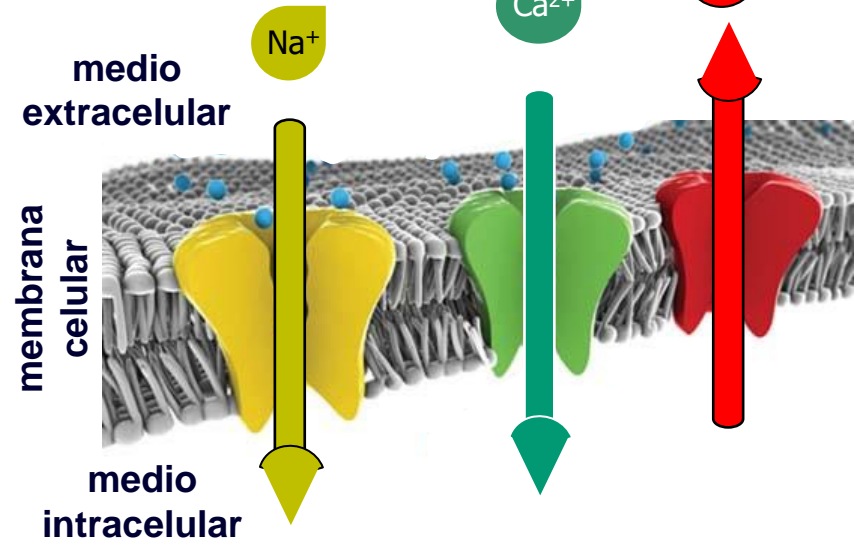
Gen



Corrientes iónicas y potencial de acción



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

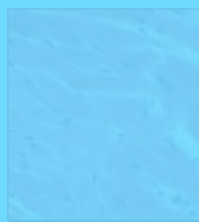
Cuerpo



Órgano



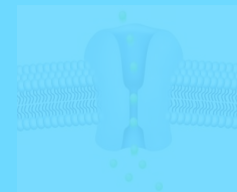
Tejido



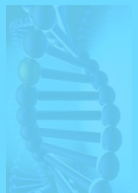
Célula



Canal Iónico

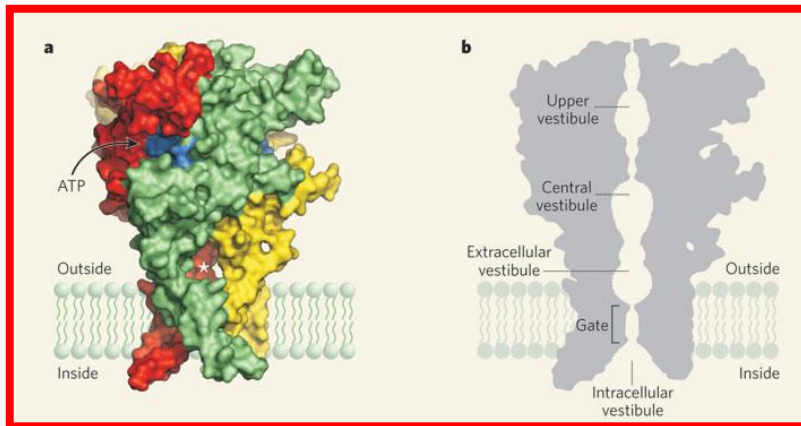


Gen



Los canales iónicos son proteínas

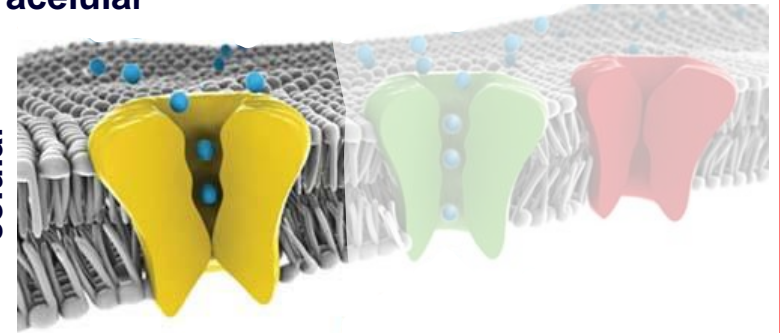
Un canal iónico es una macromolécula



Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular



medio
intracelular

La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

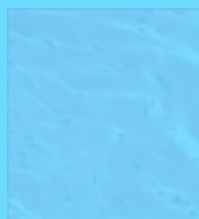
Cuerpo



Órgano



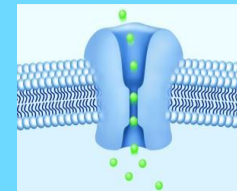
Tejido



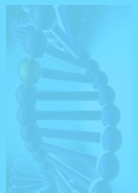
Célula



Canal Iónico



Gen

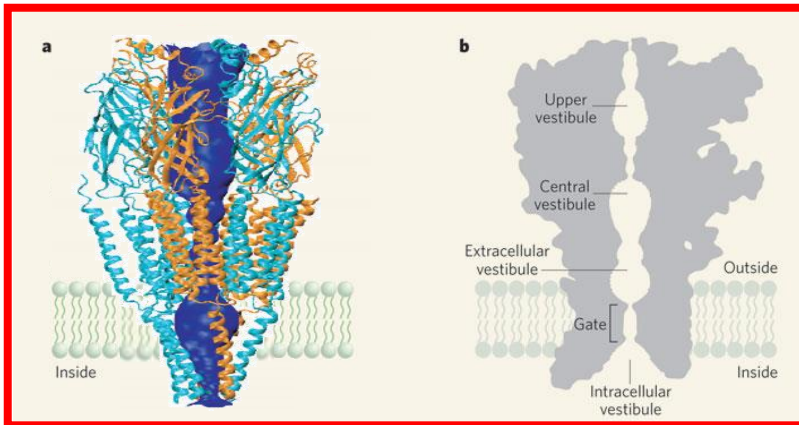


Los canales iónicos son proteínas

Estructura primaria



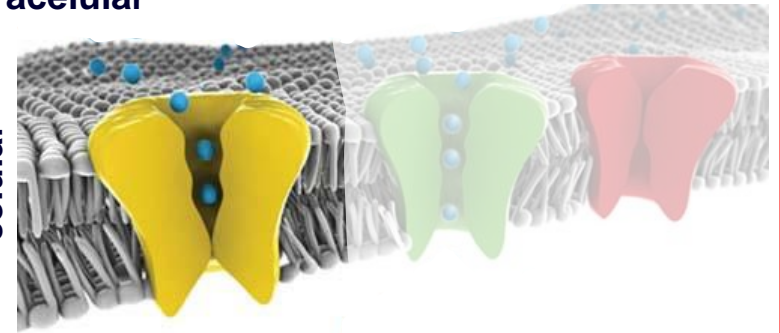
Un canal iónico es una proteína



Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular



medio
intracelular

La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

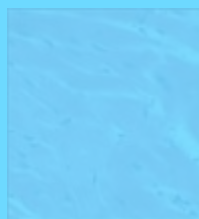
Cuerpo



Órgano



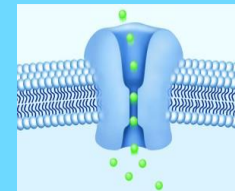
Tejido



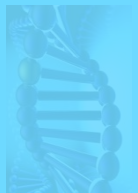
Célula



Canal Iónico



Gen

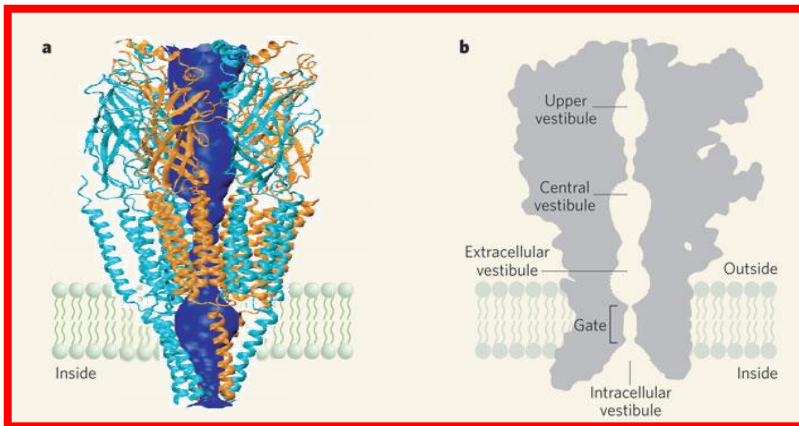


Los canales iónicos son proteínas

Estructura secundaria



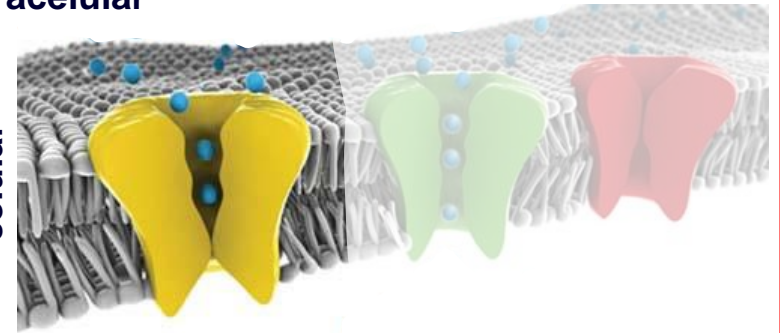
Un canal iónico es una proteína



Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular



medio
intracelular

La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

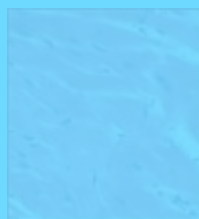
Cuerpo



Órgano



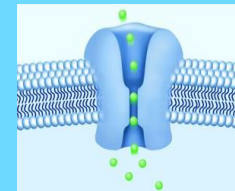
Tejido



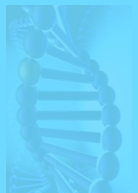
Célula



Canal Iónico



Gen

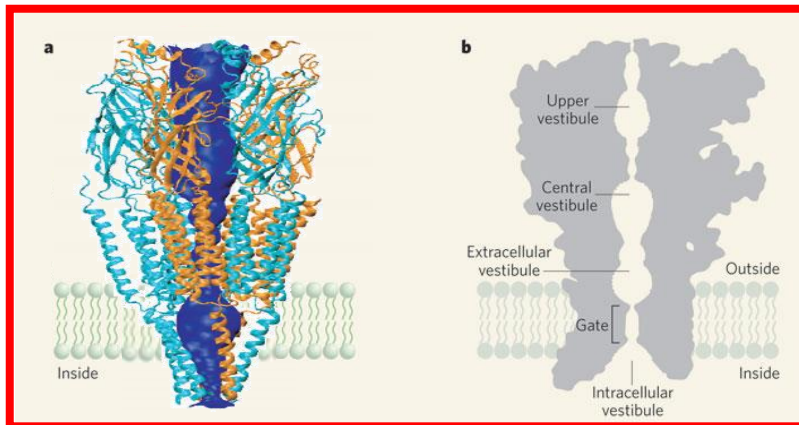


Los canales iónicos son proteínas

Estructura terciaria



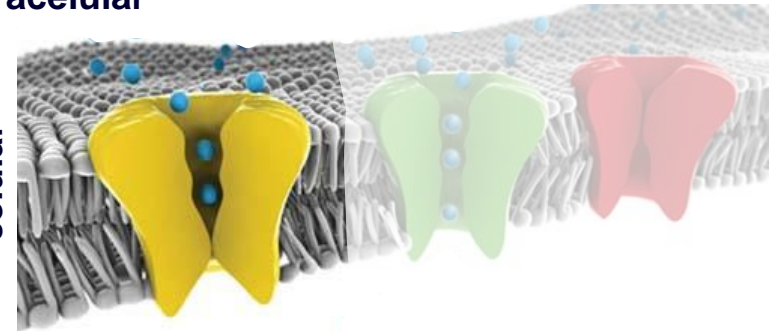
Un canal iónico es una proteína



Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular



medio
intracelular

La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

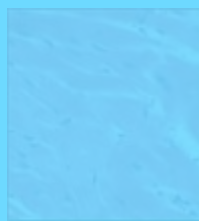
Cuerpo



Órgano



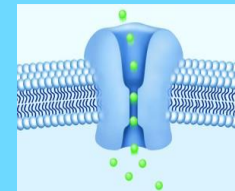
Tejido



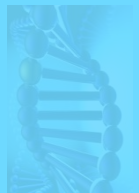
Célula



Canal Iónico



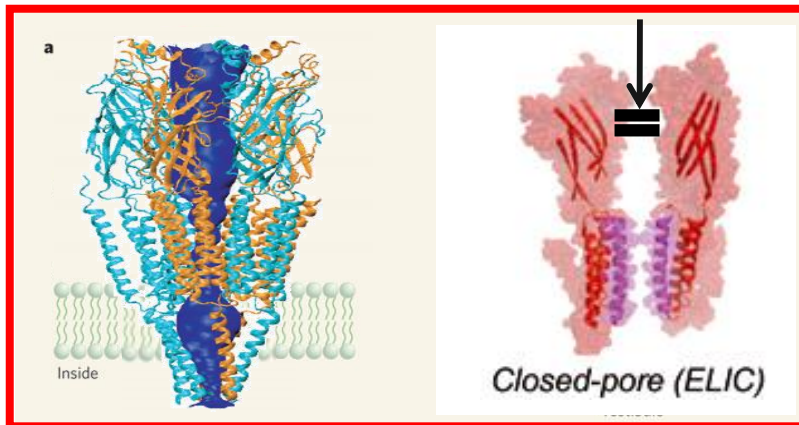
Gen



Corrientes a través de los canales iónicos: canal cerrado

Un canal iónico puede estar cerrado...

Un canal iónico es una proteína

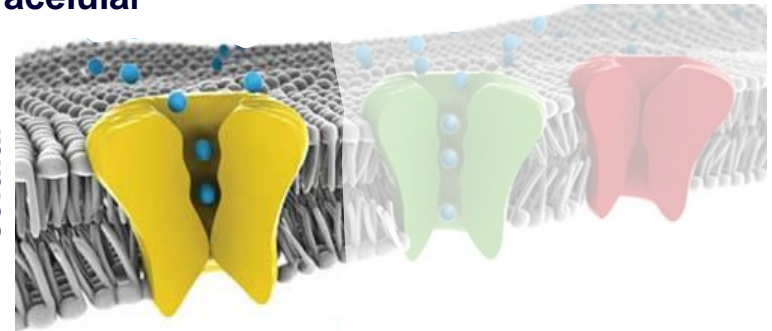


Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular

medio
intracelular



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

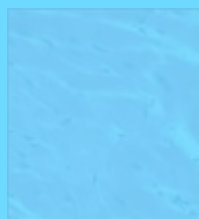
Cuerpo



Órgano



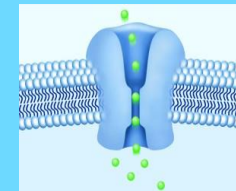
Tejido



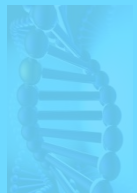
Célula



Canal Iónico



Gen

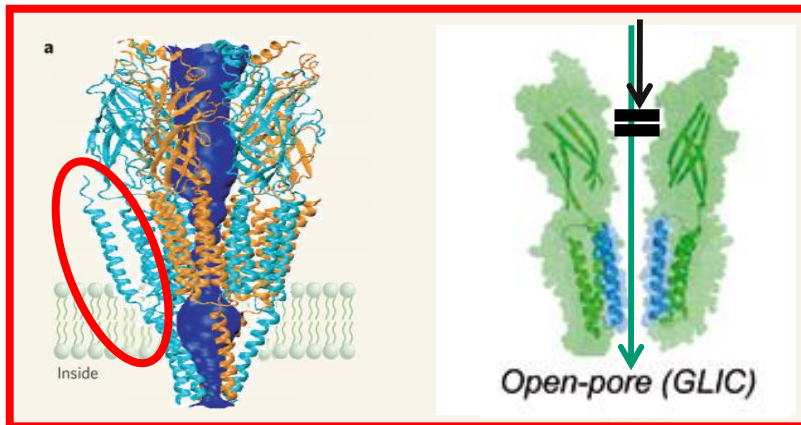


Corrientes a través de los canales iónicos: canal abierto

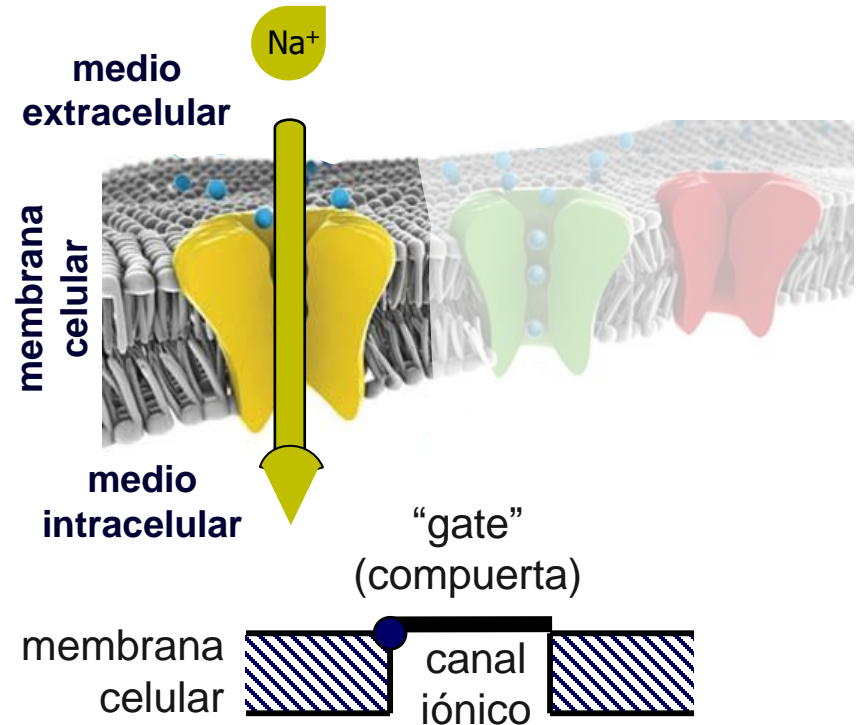
Un canal iónico puede estar cerrado...

... o puede estar abierto

Un canal iónico es una proteína



Canales Iónicos



Cuerpo

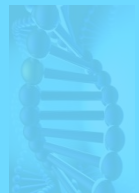
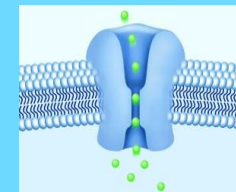
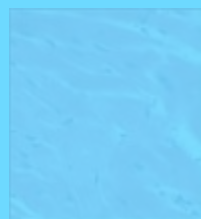
Órgano

Tejido

Célula

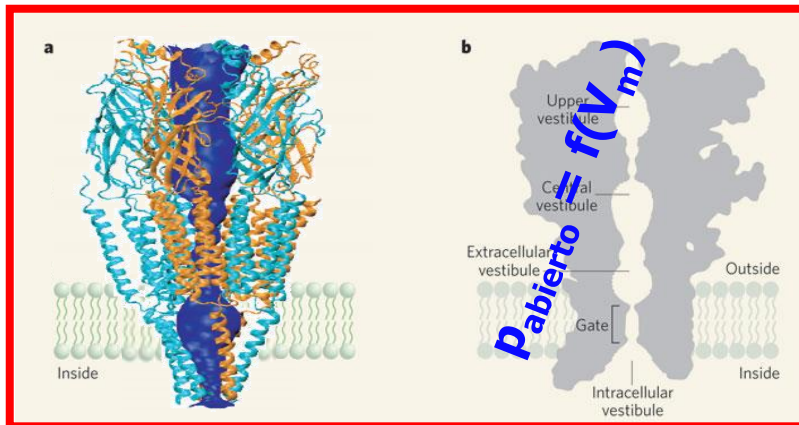
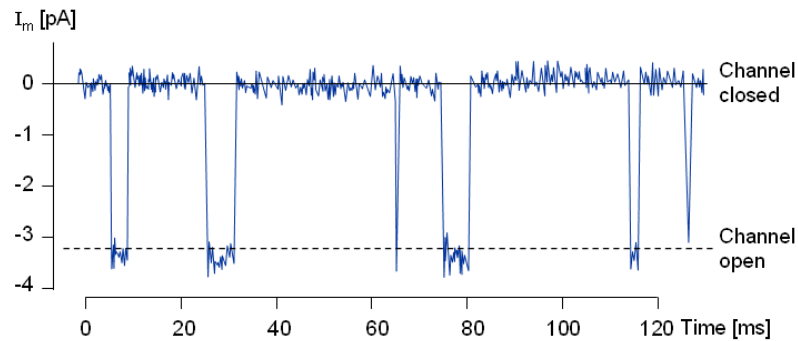
Canal Iónico

Gen

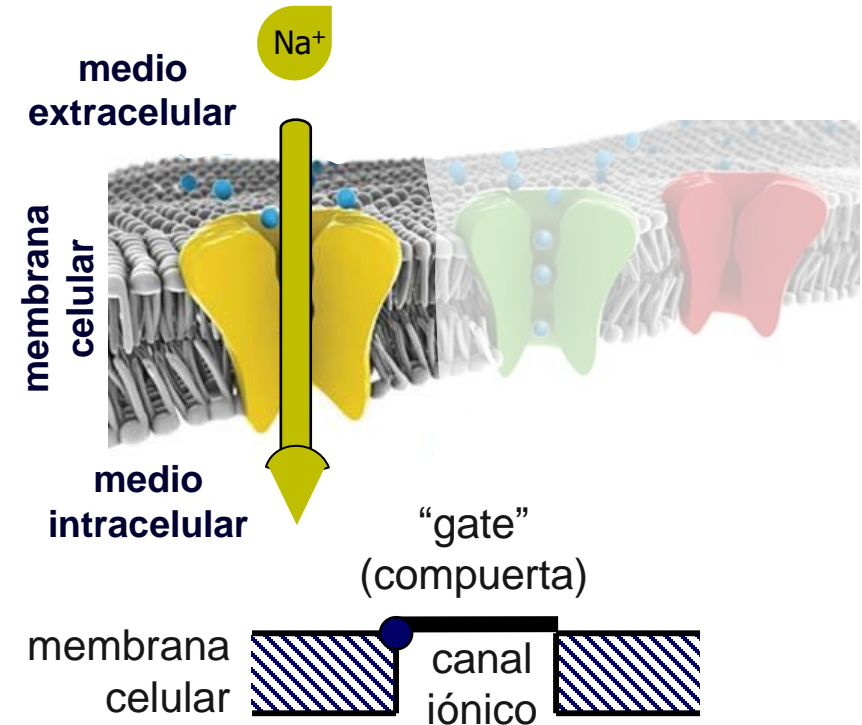


Corrientes a través de los canales iónicos

Corriente a través de un canal iónico individual (unitaria)



Canales Iónicos



Cuerpo

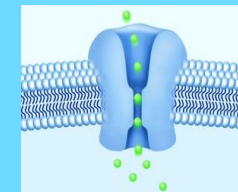
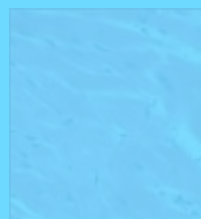
Órgano

Tejido

Célula

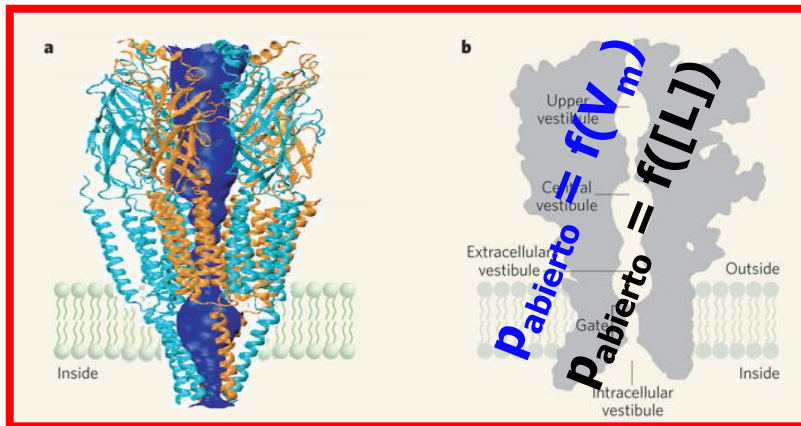
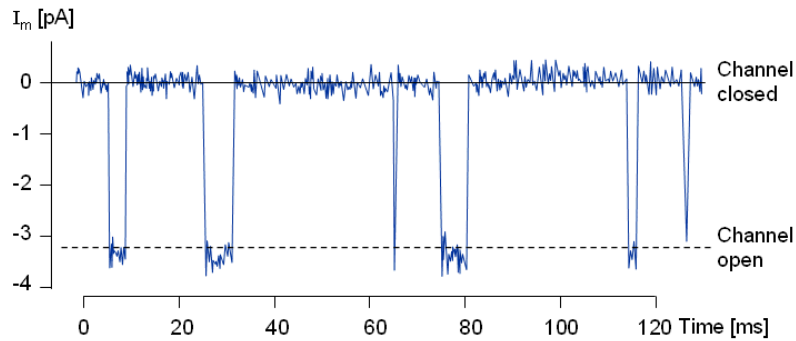
Canal Iónico

Gen

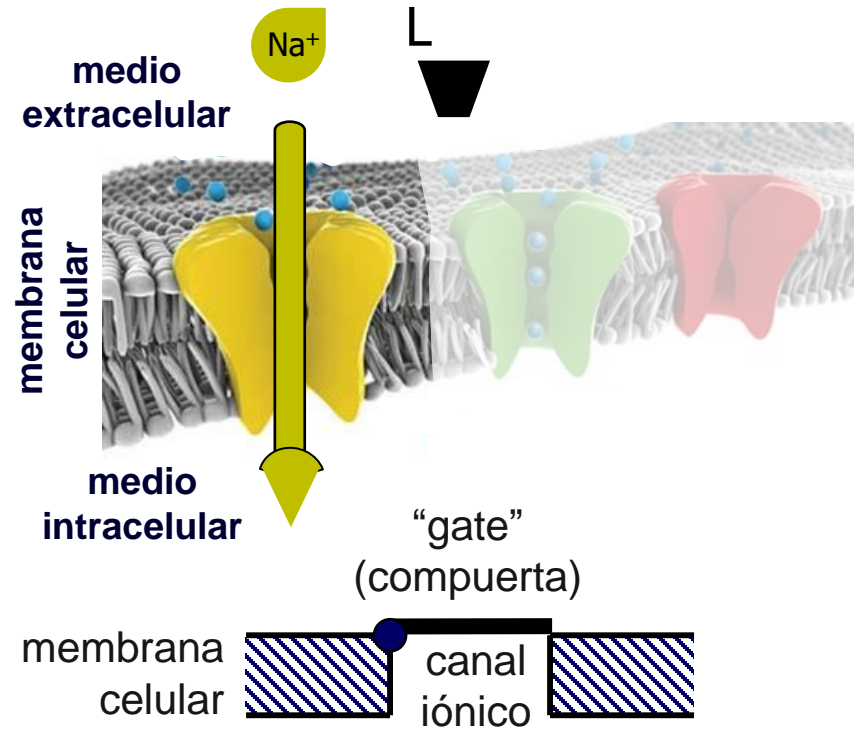


Canales iónicos y fármacos

Corriente a través de un canal iónico individual (unitaria)



Canales Iónicos



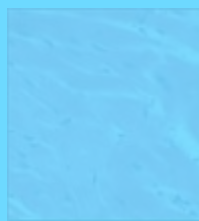
Cuerpo



Órgano



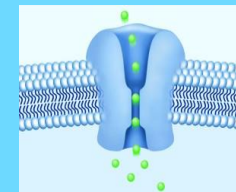
Tejido



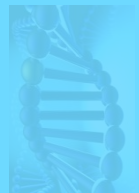
Célula



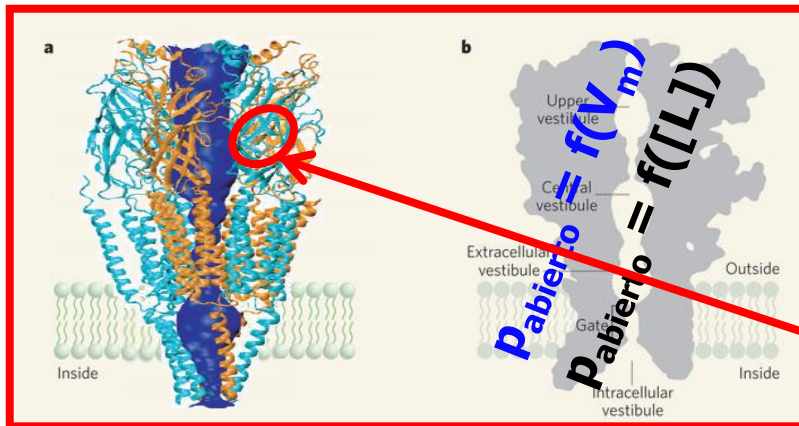
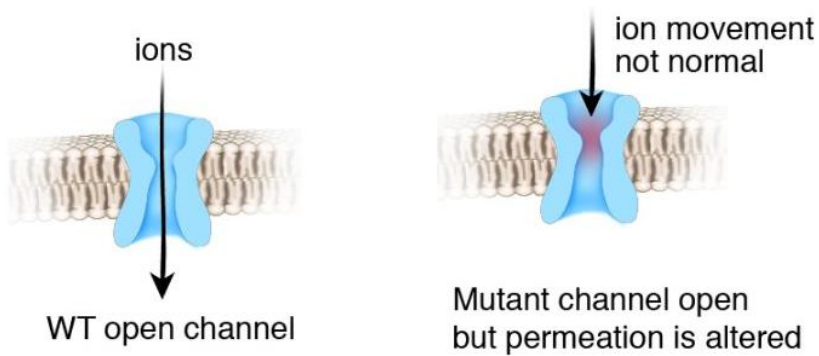
Canal Iónico



Gen



Efecto de las mutaciones sobre los canales iónicos



Canales Iónicos

medio extracelular

Na⁺

membrana celular

medio intracelular

“gate”
(compuerta)



Cuerpo

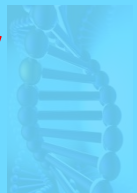
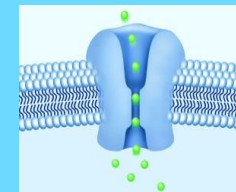
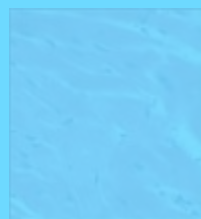
Órgano

Tejido

Célula

Canal Iónico

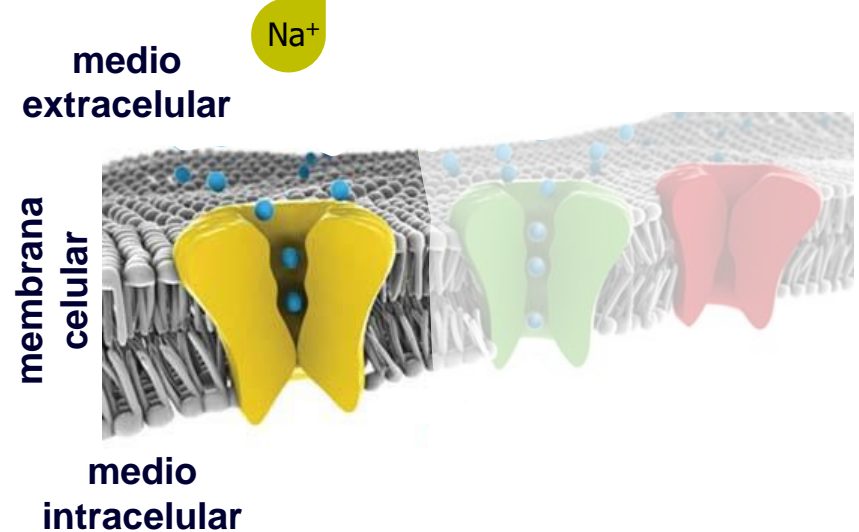
Gen



Tema 2

- 2.1.- Naturaleza multiescala de la Bioelectricidad
- 2.2.- Diversidad de canales iónicos
- 2.3.- Modelo eléctrico de una célula excitable
- 2.4.- Corrientes iónicas: difusión y campo eléctrico

Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

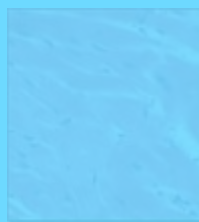
Cuerpo



Órgano



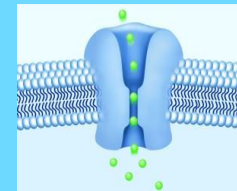
Tejido



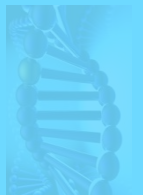
Célula



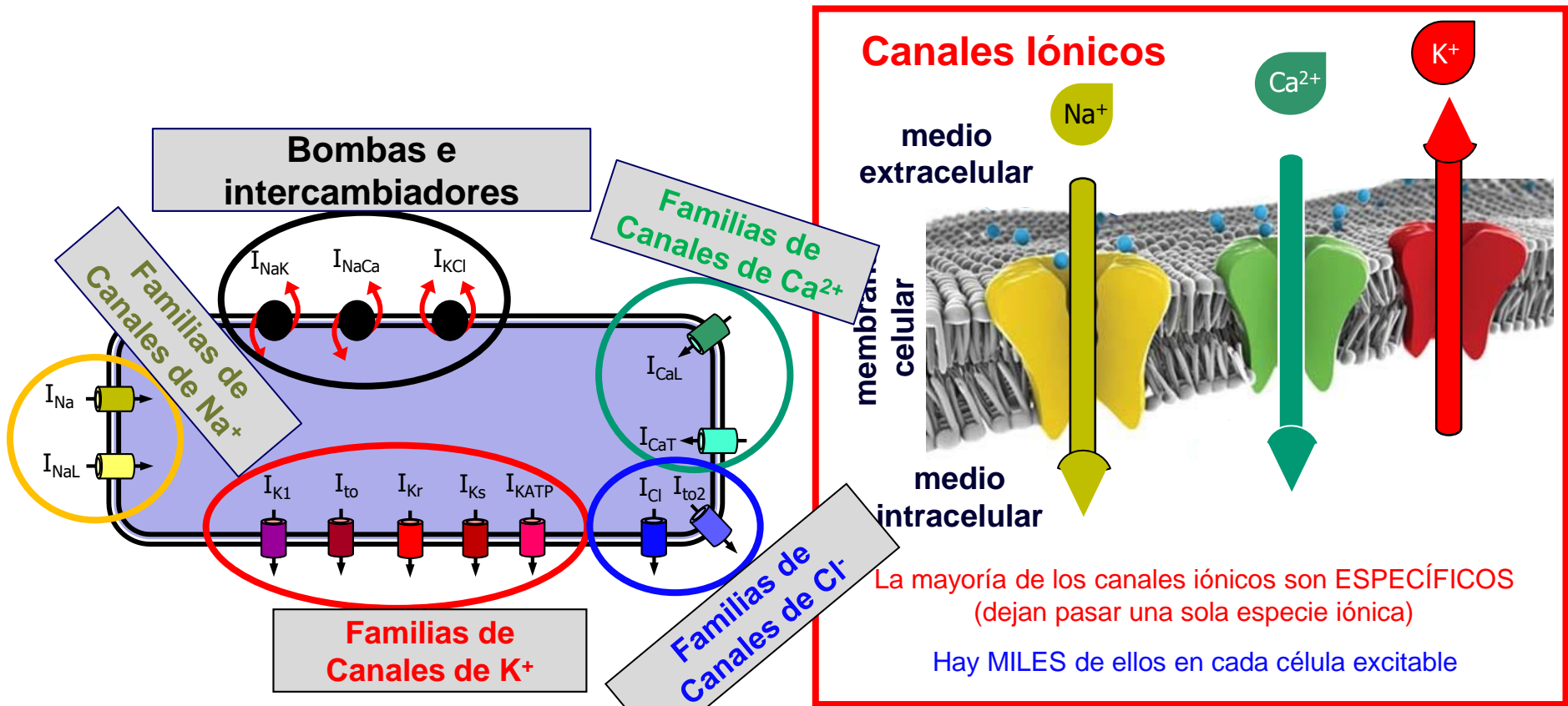
Canal Iónico



Gen



Canales iónicos: diversidad



Cuerpo

Órgano

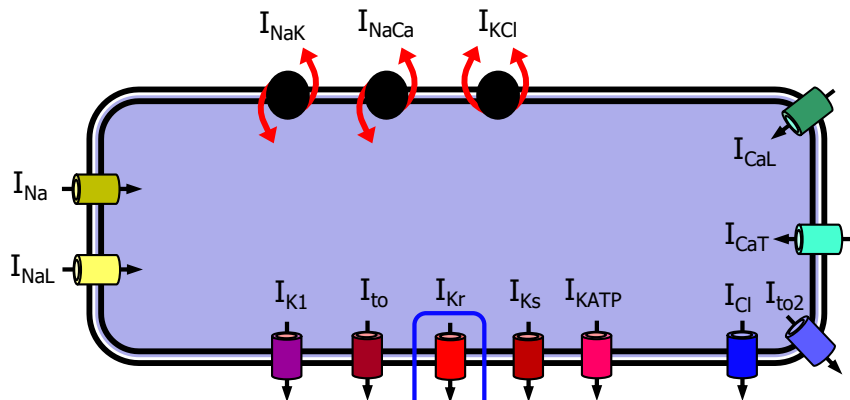
Tejido

Célula

Canal Iónico

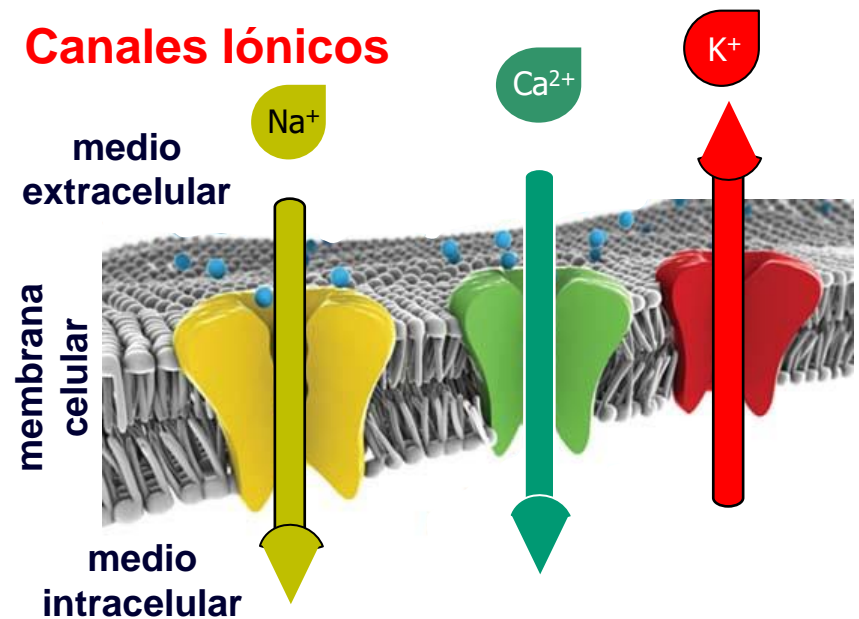
Gen

Familias/poblaciones de canales iónicos



Población (familia) de canales iónicos I_{Kr} (p. ej., 1600 canales)

Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

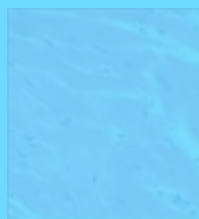
Cuerpo



Órgano



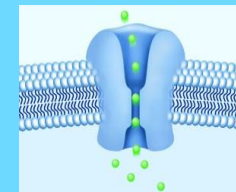
Tejido



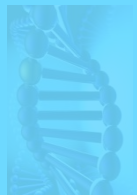
Célula



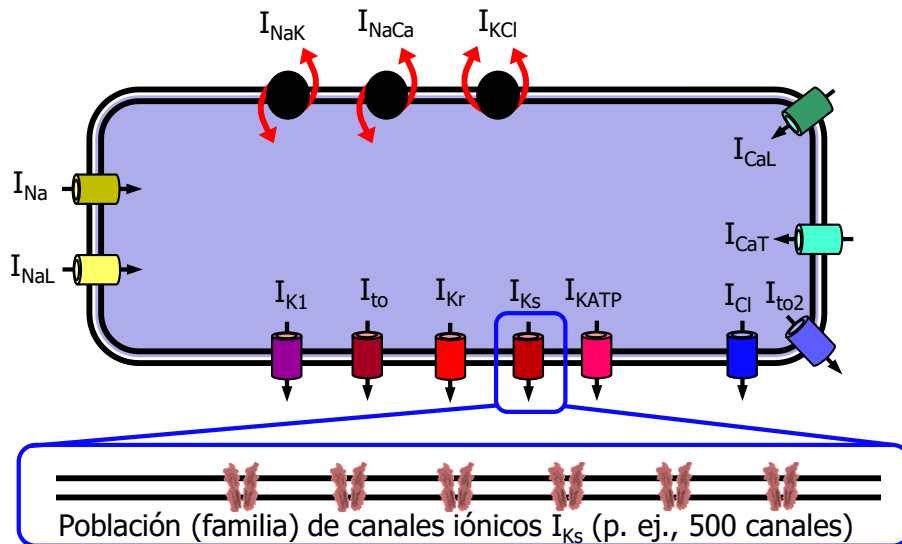
Canal Iónico



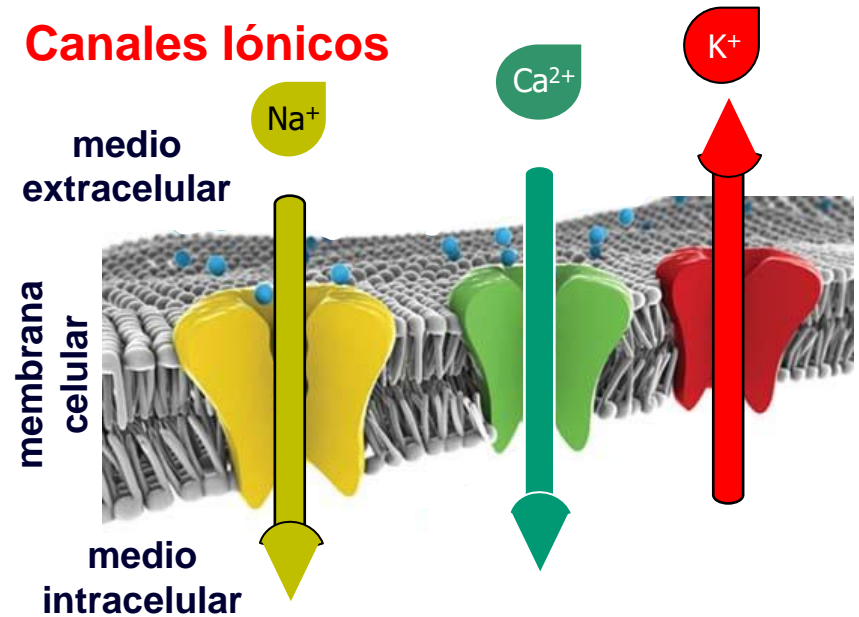
Gen



Familias/poblaciones de canales iónicos



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS**
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

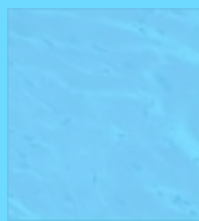
Cuerpo



Órgano



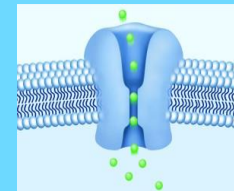
Tejido



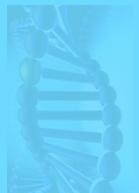
Célula



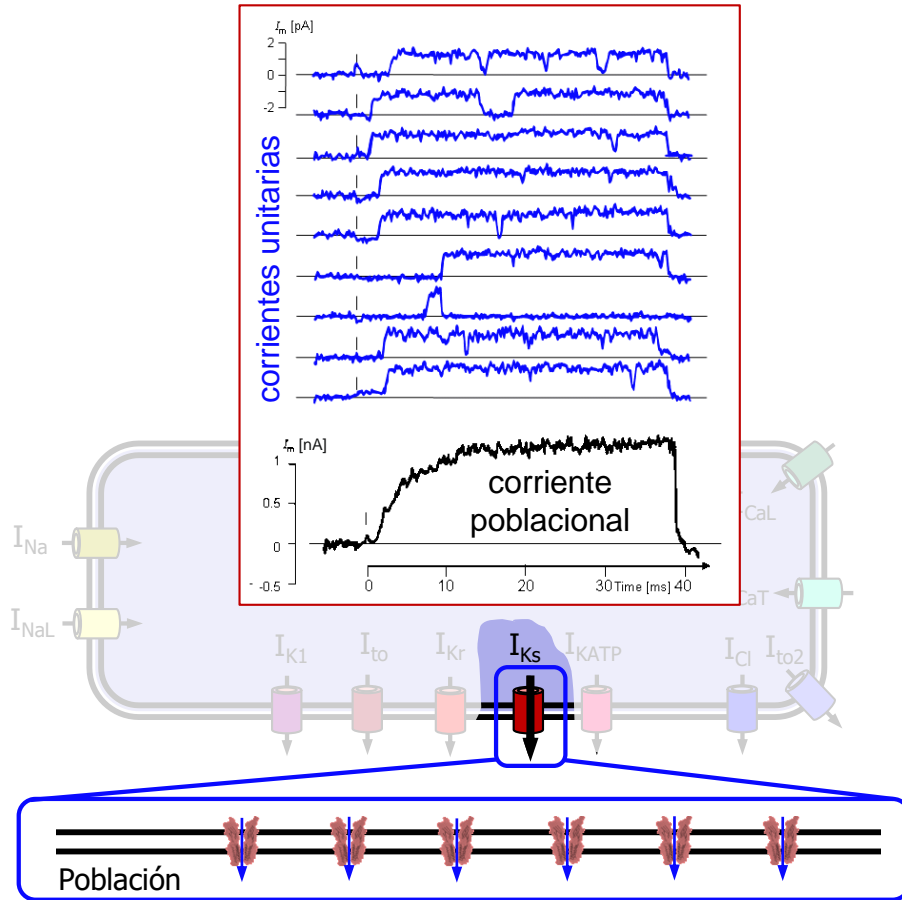
Canal Iónico



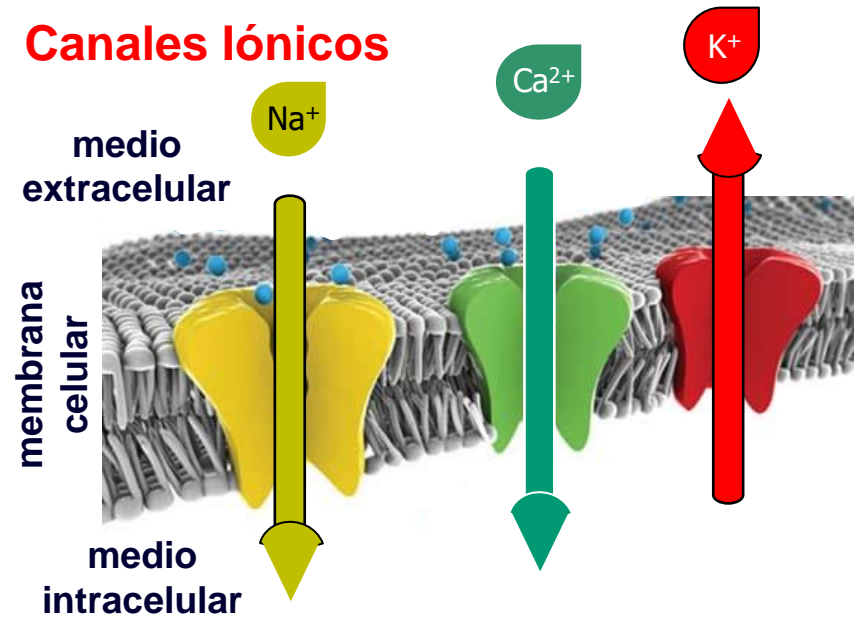
Gen



Corriente unitaria vs corriente poblacional



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

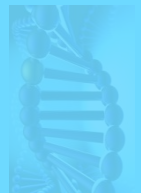
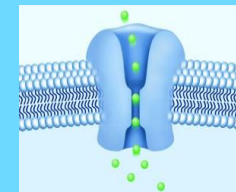
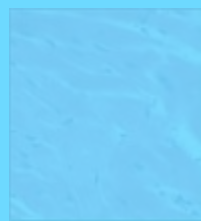
Órgano

Tejido

Célula

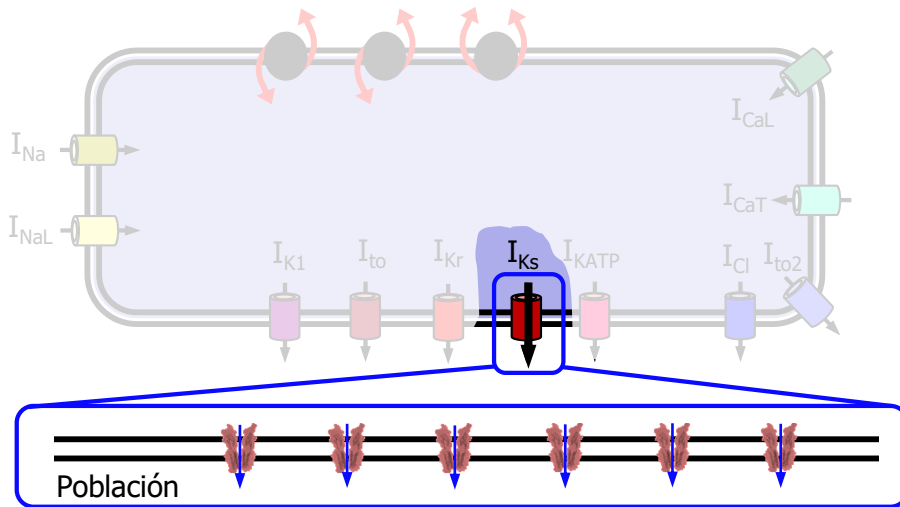
Canal Iónico

Gen

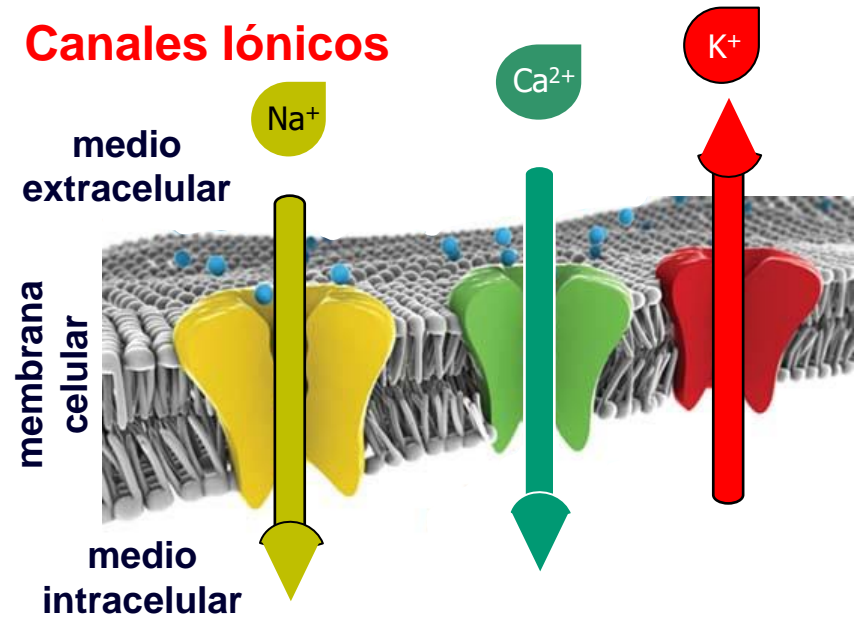


Tema 2

- 2.1.- Naturaleza multiescala de la Bioelectricidad
- 2.2.- Diversidad de canales iónicos
- 2.3.- Modelo eléctrico de una célula excitable
- 2.4.- Corrientes iónicas: difusión y campo eléctrico



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

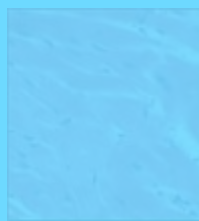
Cuerpo



Órgano



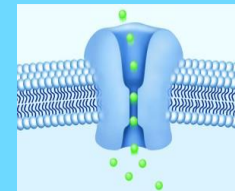
Tejido



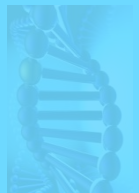
Célula



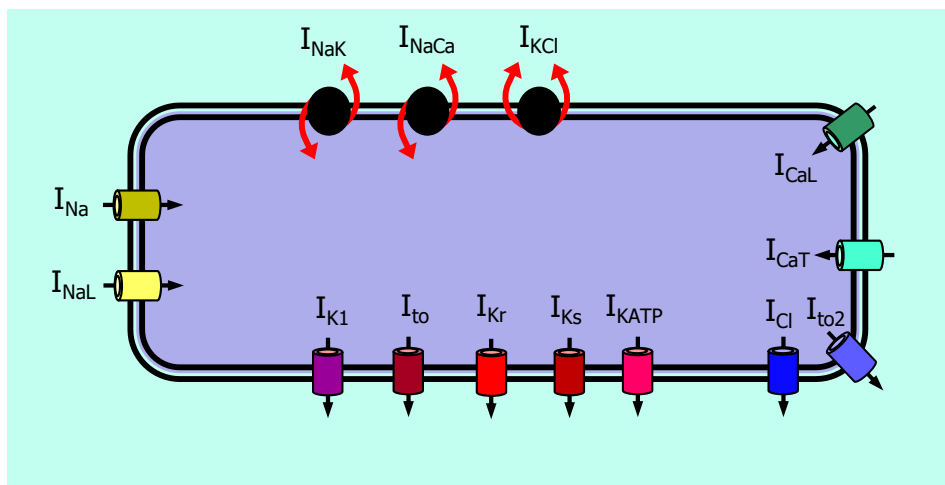
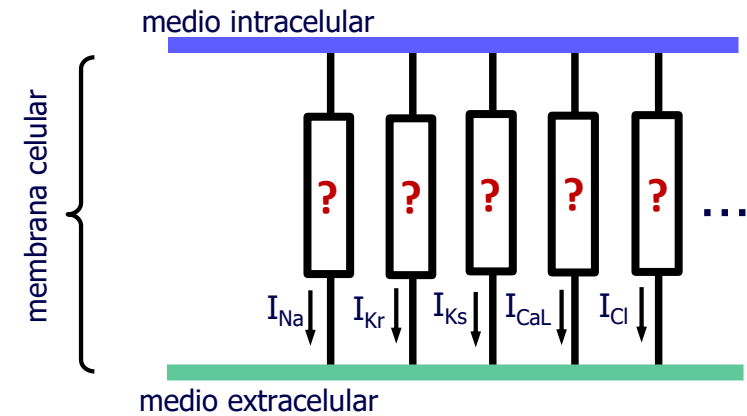
Canal Iónico



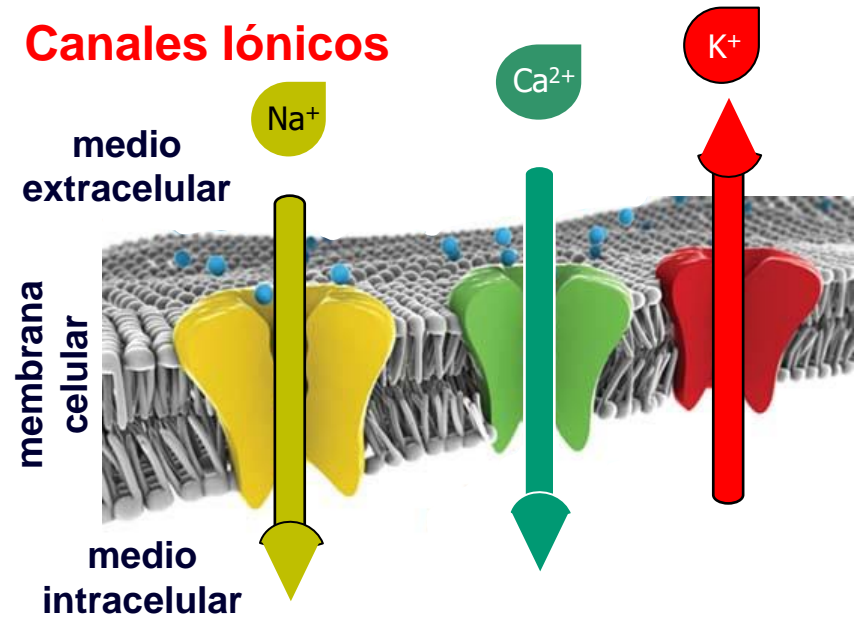
Gen



Modelo eléctrico de una célula excitable



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

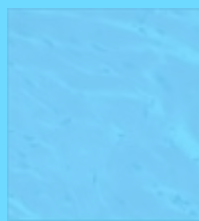
Cuerpo



Órgano



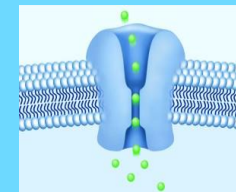
Tejido



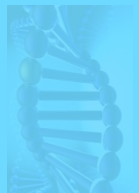
Célula



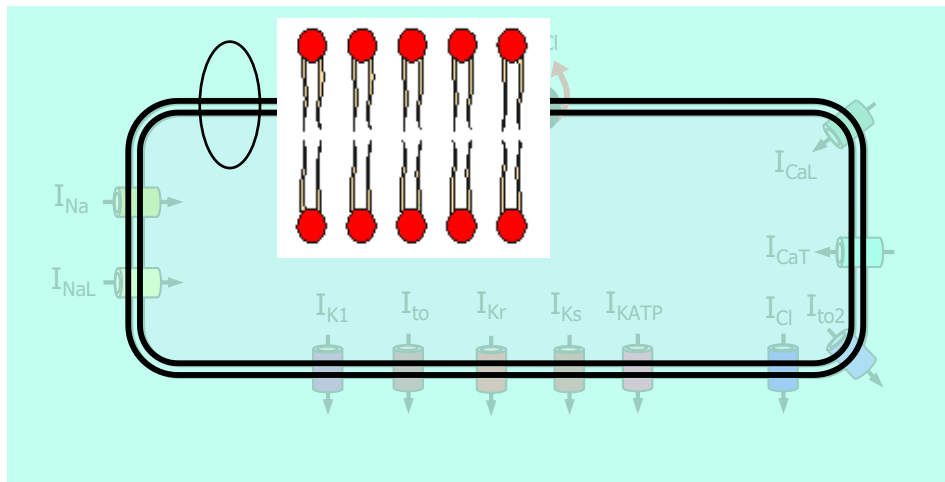
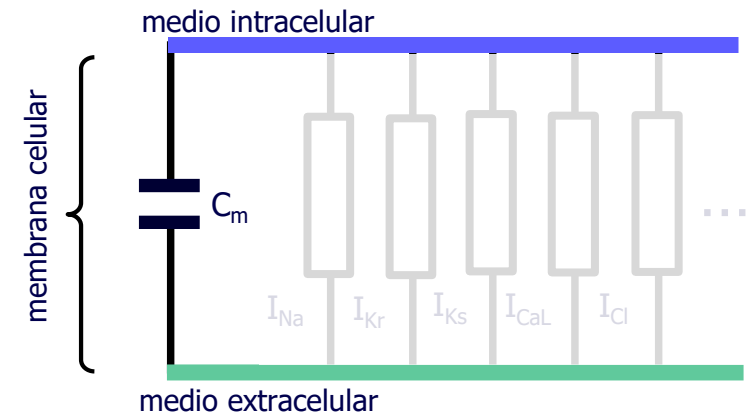
Canal Iónico



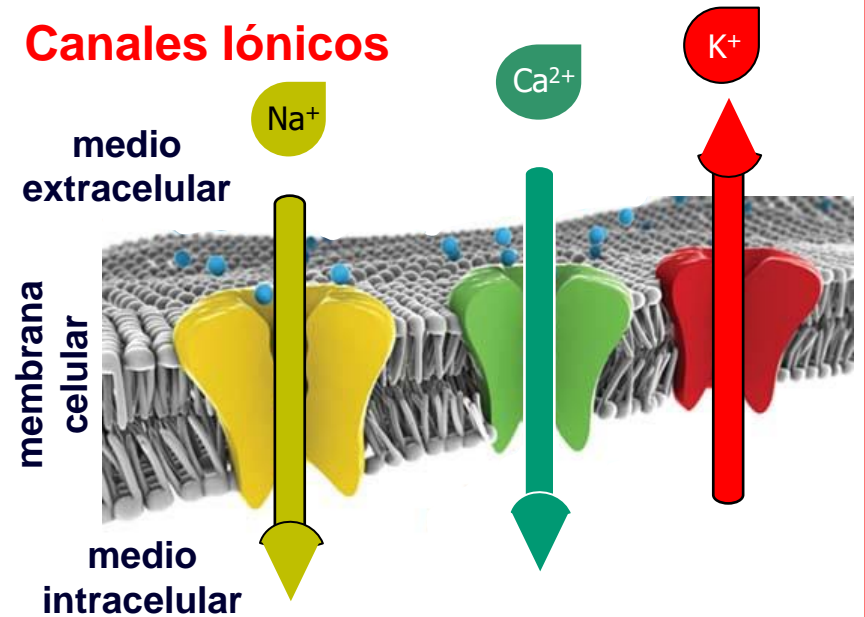
Gen



Modelo eléctrico de una célula excitable



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

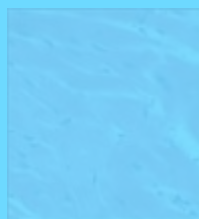
Cuerpo



Órgano



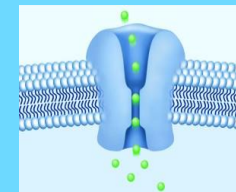
Tejido



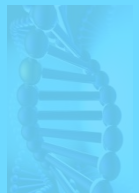
Célula



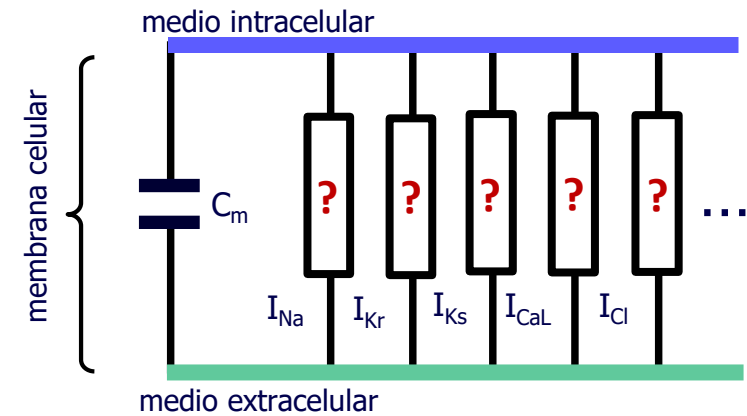
Canal Iónico



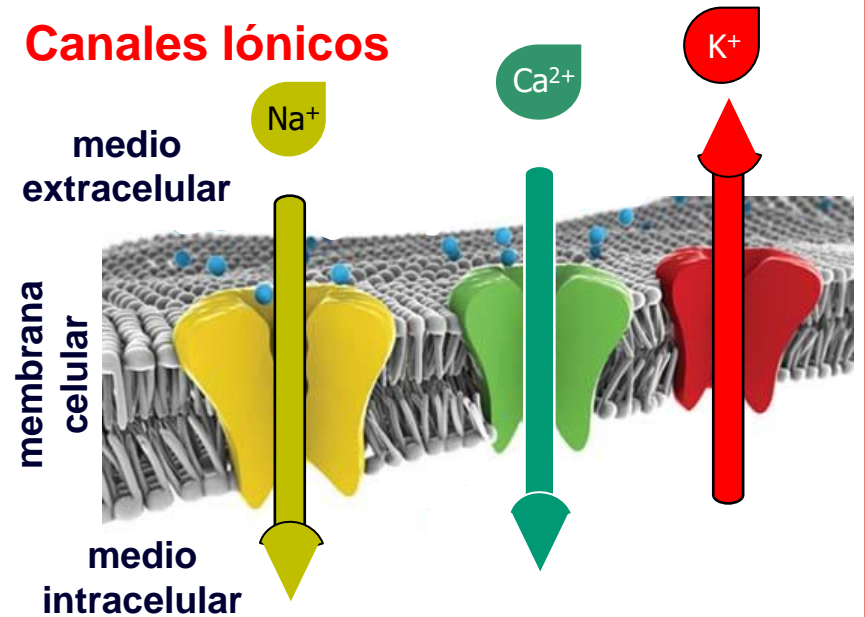
Gen



Modelo eléctrico de una célula excitable



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

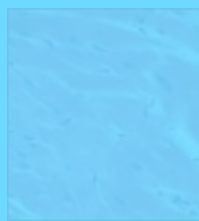
Cuerpo



Órgano



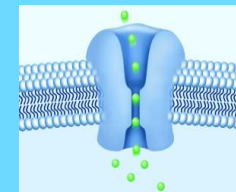
Tejido



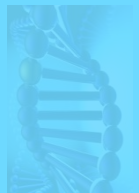
Célula



Canal Iónico



Gen



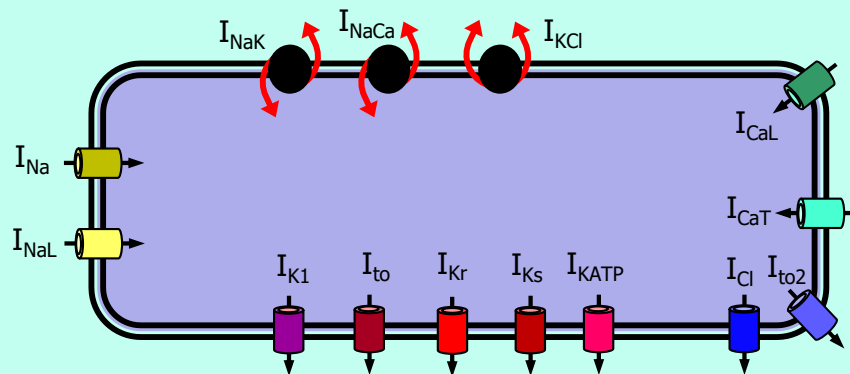
Tema 2

2.1.- Naturaleza multiescala de la Bioelectricidad

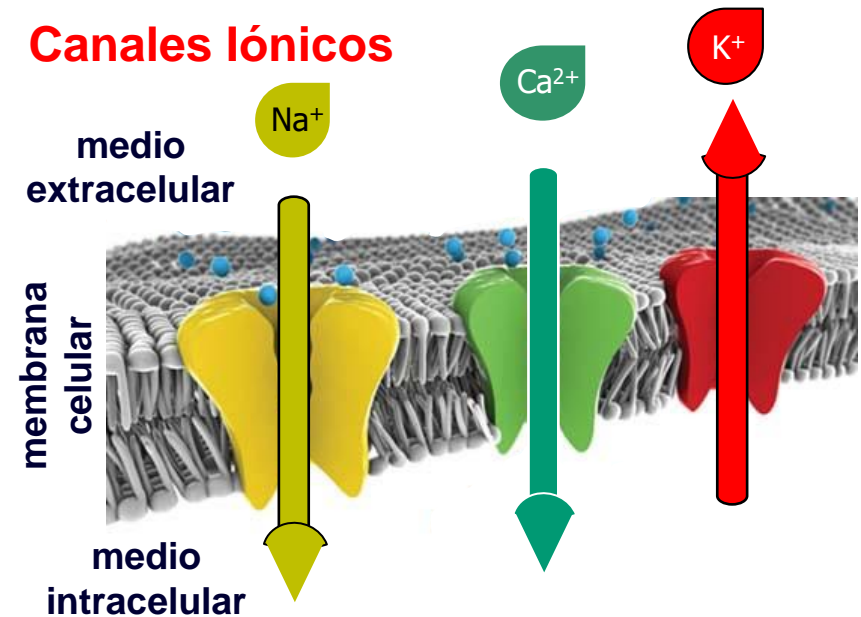
2.2.- Diversidad de canales iónicos

2.3.- Modelo eléctrico de una célula excitable

2.4.- Corrientes iónicas: difusión y campo eléctrico



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

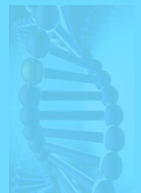
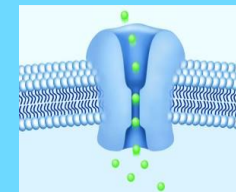
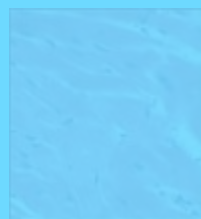
Órgano

Tejido

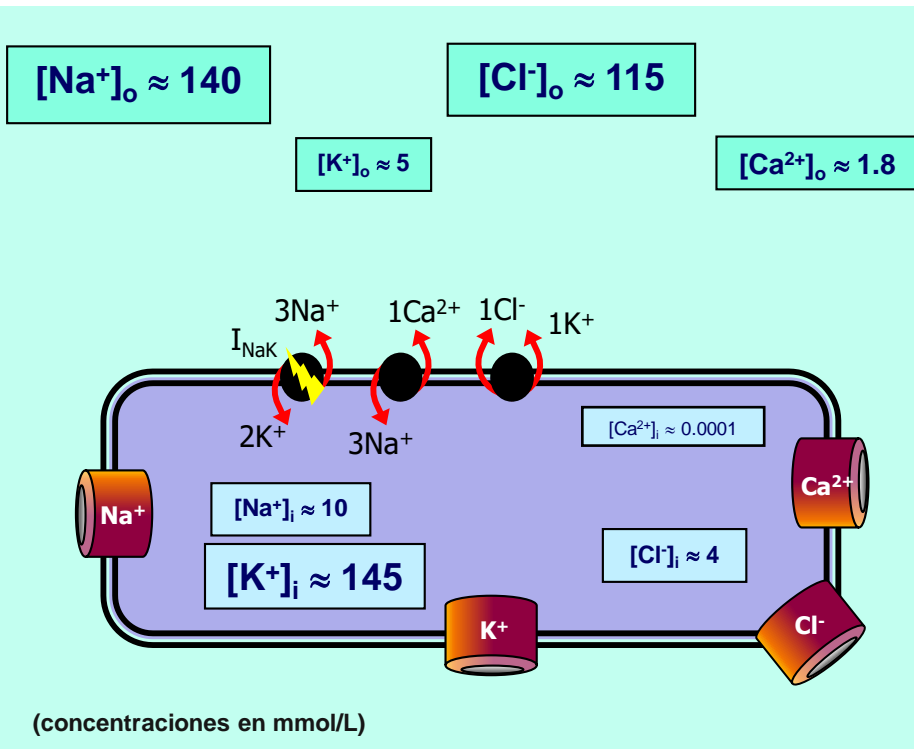
Célula

Canal Iónico

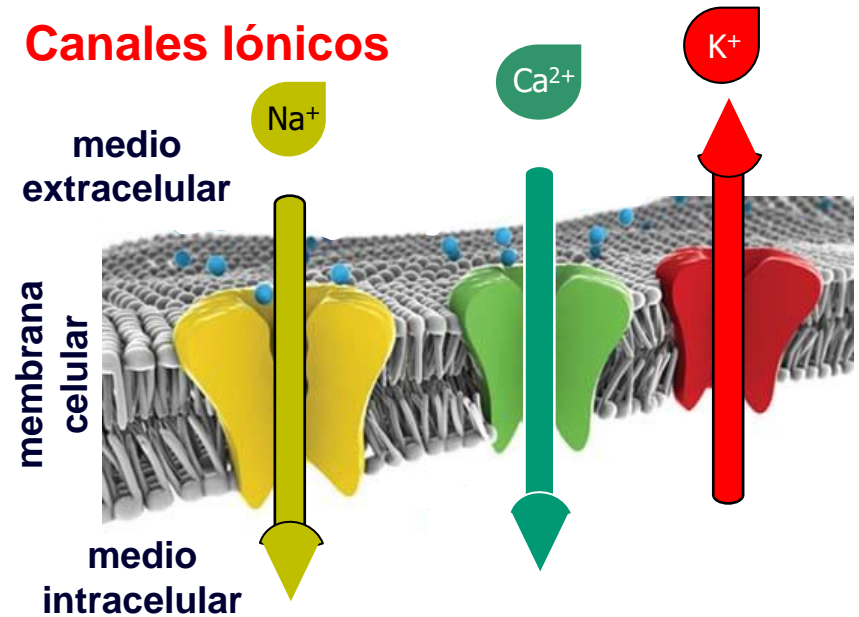
Gen



Concentraciones iónicas

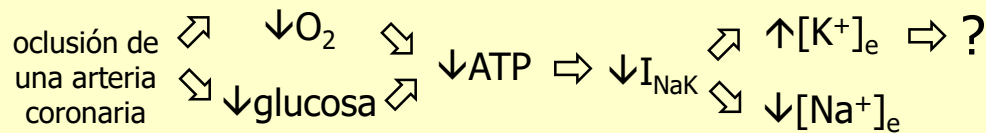


Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

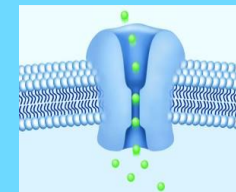


ISQUEMIA

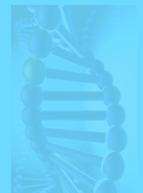
Célula



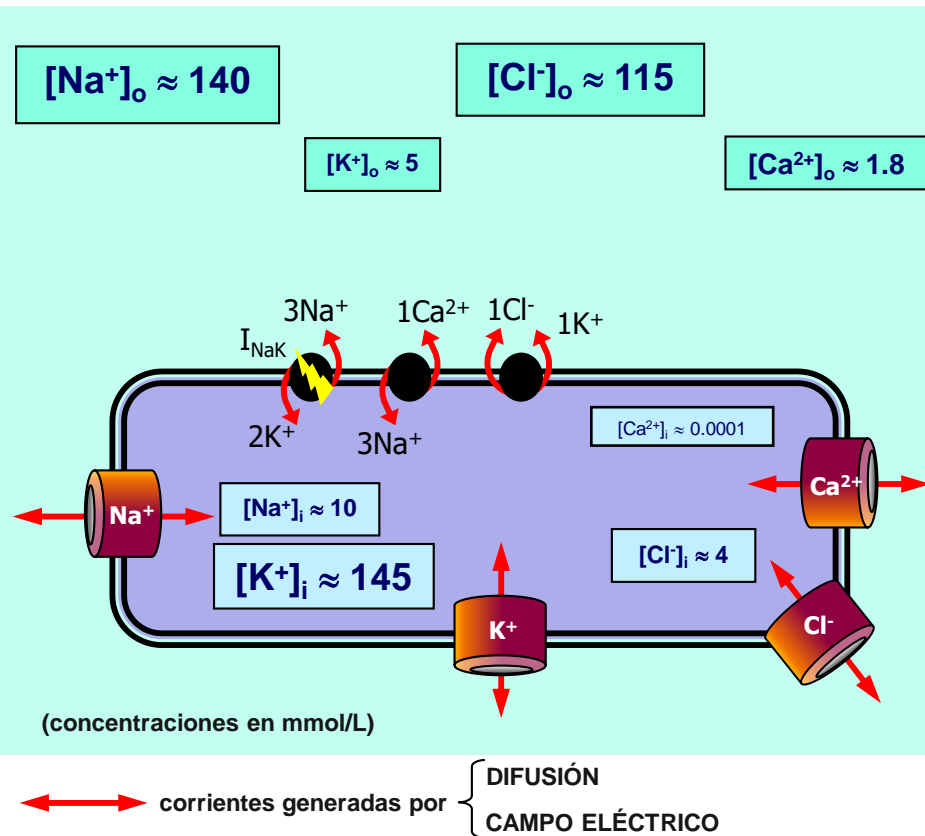
Canal Iónico



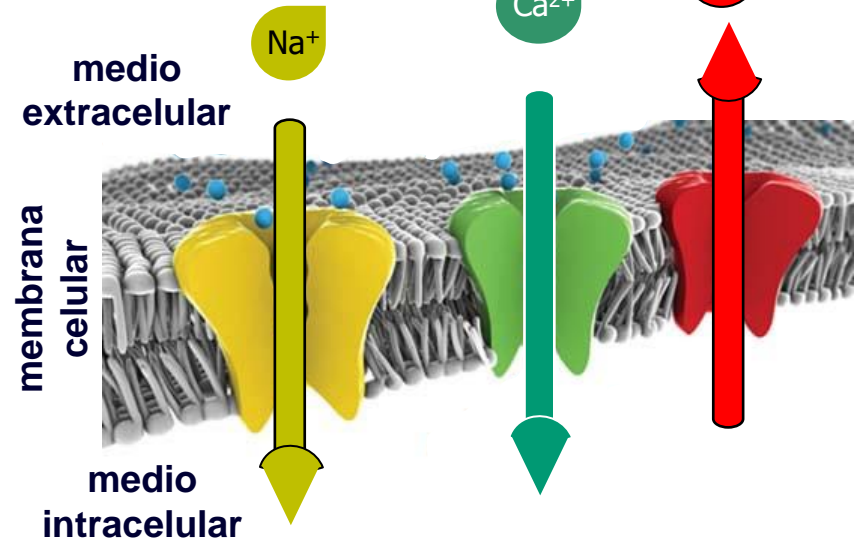
Gen



Corrientes iónicas: DIFUSIÓN y CAMPO ELÉCTRICO



Canales Iónicos



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

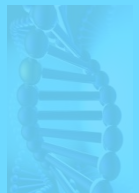
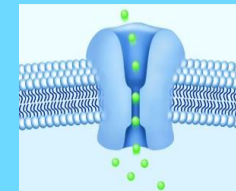
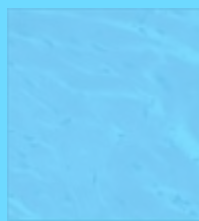
Órgano

Tejido

Célula

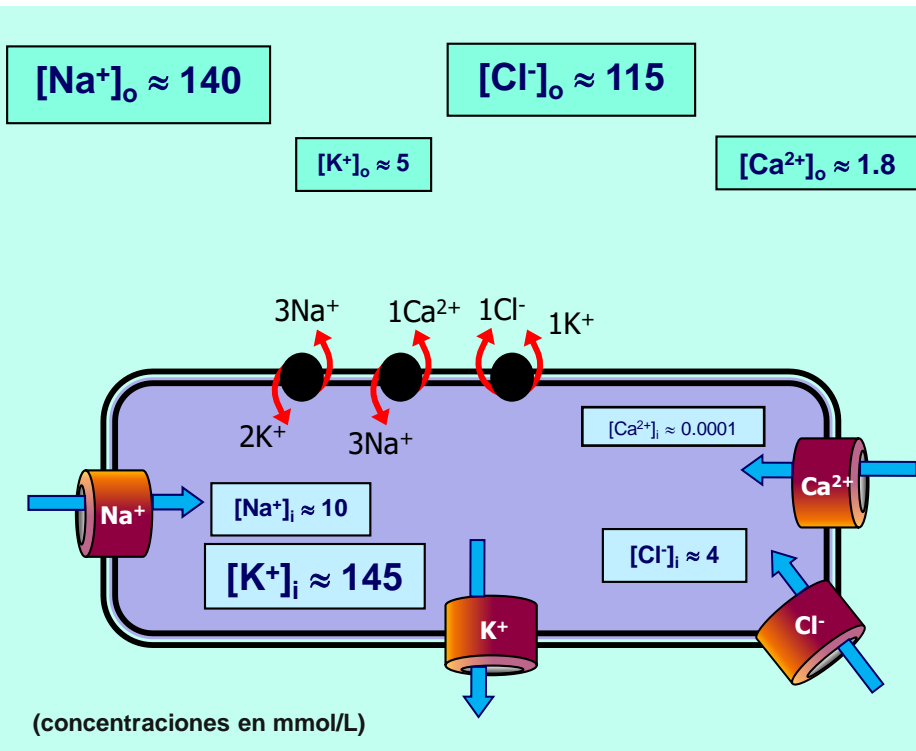
Canal Iónico

Gen



Corrientes iónicas por DIFUSIÓN

(supongamos que todos los canales iónicos están abiertos)

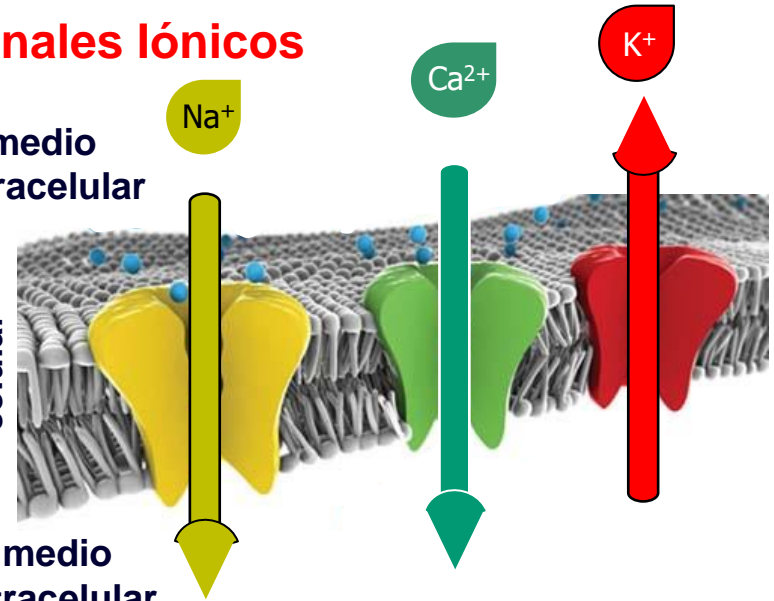


Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular



La mayoría de los canales iónicos son **ESPECÍFICOS** (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay **MILES** de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

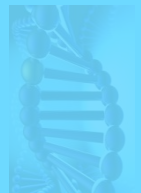
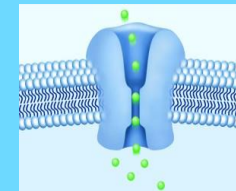
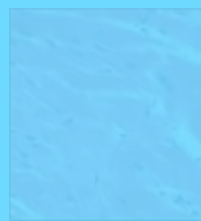
Órgano

Tejido

Célula

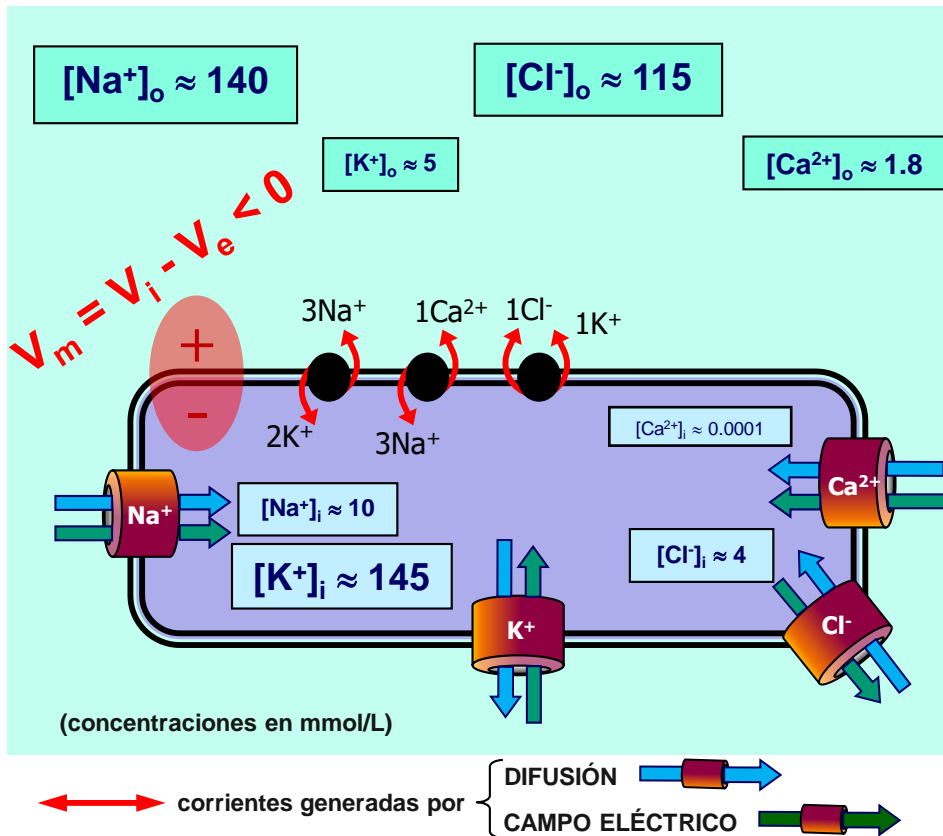
Canal Iónico

Gen



Corrientes iónicas por CAMPO ELÉCTRICO ($V_m < 0$)

(supongamos que todos los canales iónicos están abiertos)

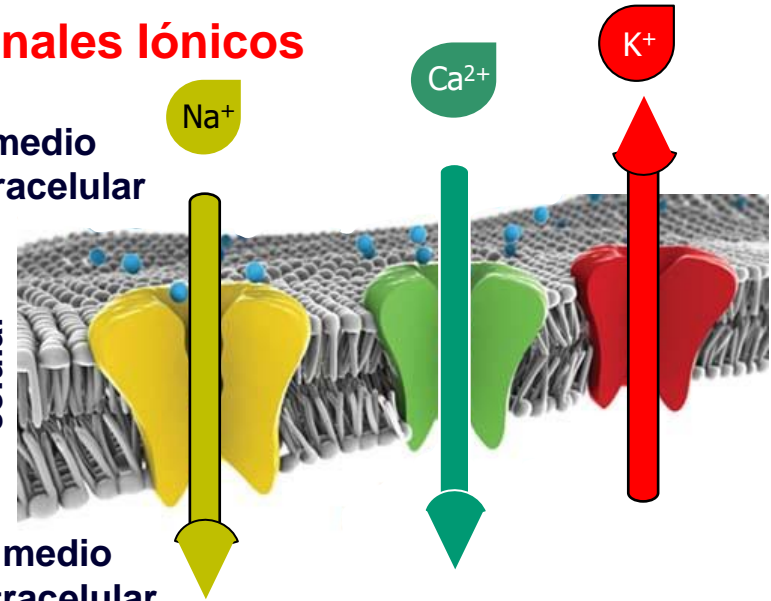


Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

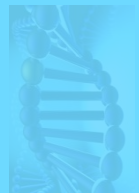
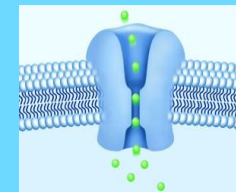
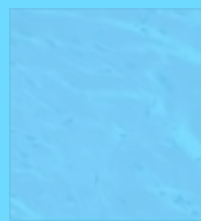
Órgano

Tejido

Célula

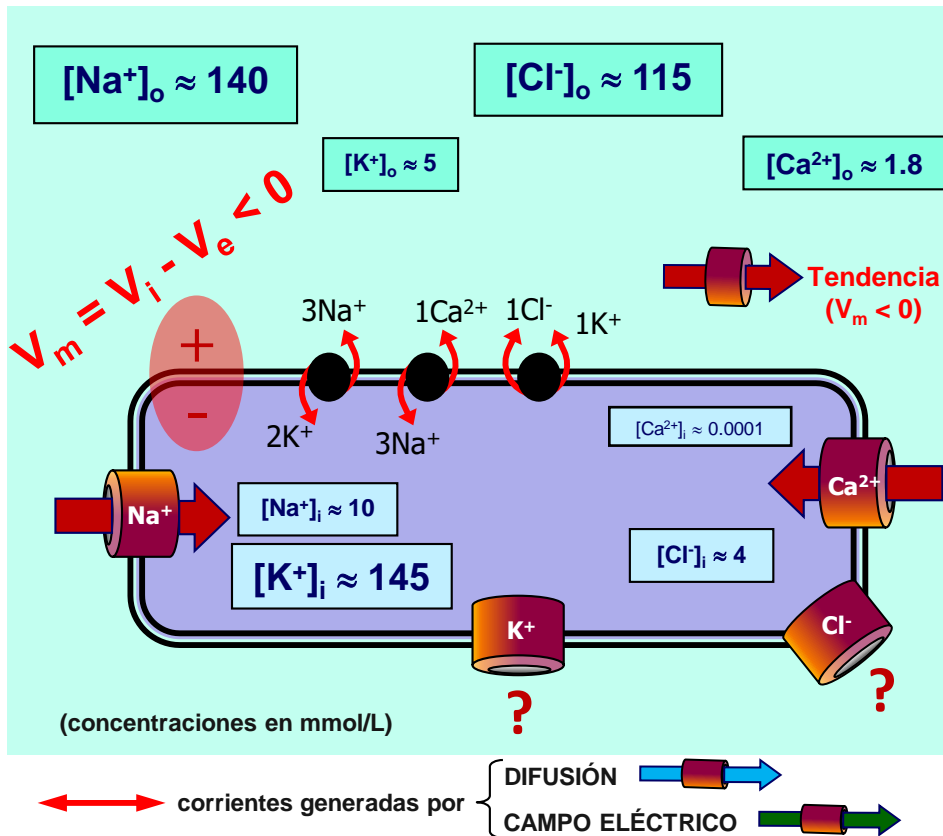
Canal Iónico

Gen



Corrientes iónicas NETAS ($V_m < 0$)

(supongamos que todos los canales iónicos están abiertos)



Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular

La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

Órgano

Tejido

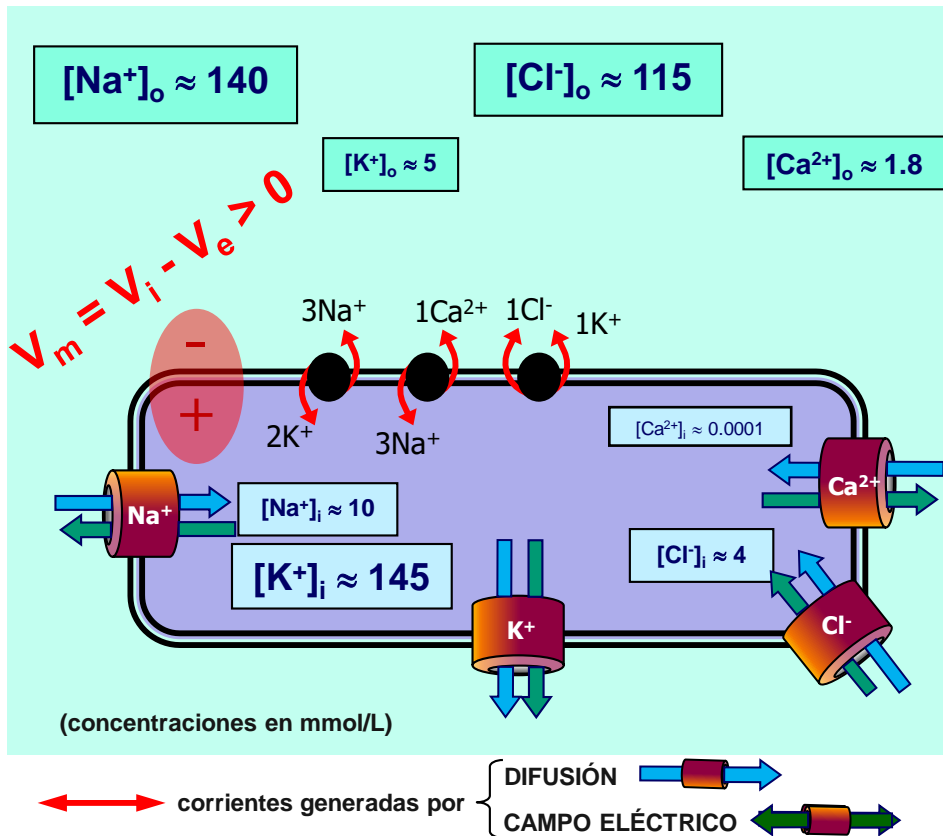
Célula

Canal Iónico

Gen

Corrientes iónicas por CAMPO ELÉCTRICO ($V_m < 0$)

(supongamos que todos los canales iónicos están abiertos)

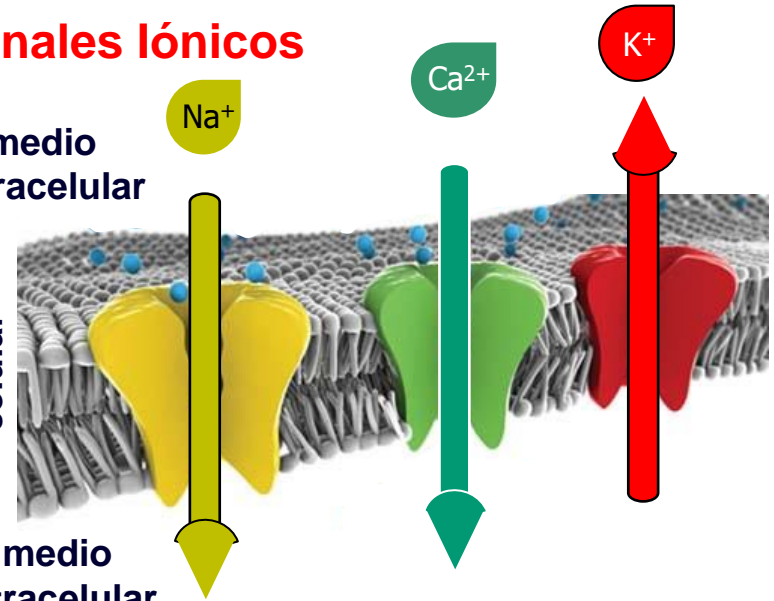


Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

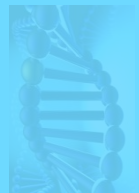
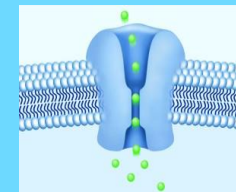
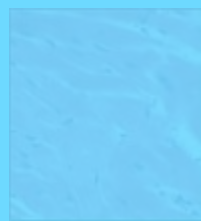
Órgano

Tejido

Célula

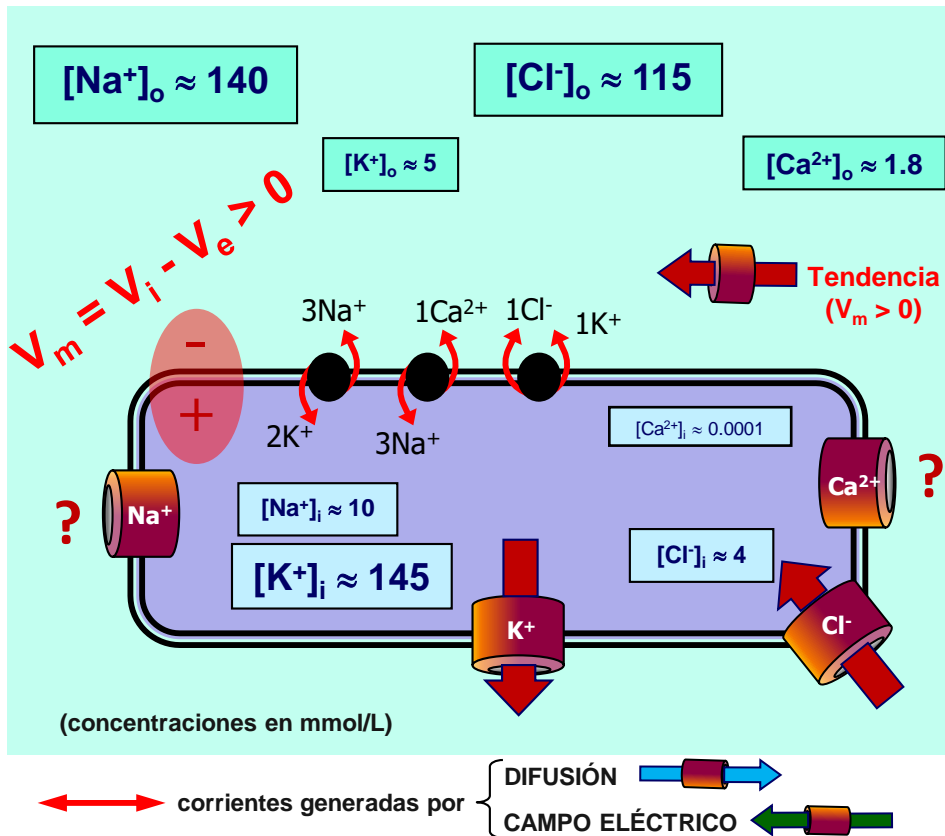
Canal Iónico

Gen



Corrientes iónicas NETAS ($V_m > 0$)

(supongamos que todos los canales iónicos están abiertos)



Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular

La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

Cuerpo

Órgano

Tejido

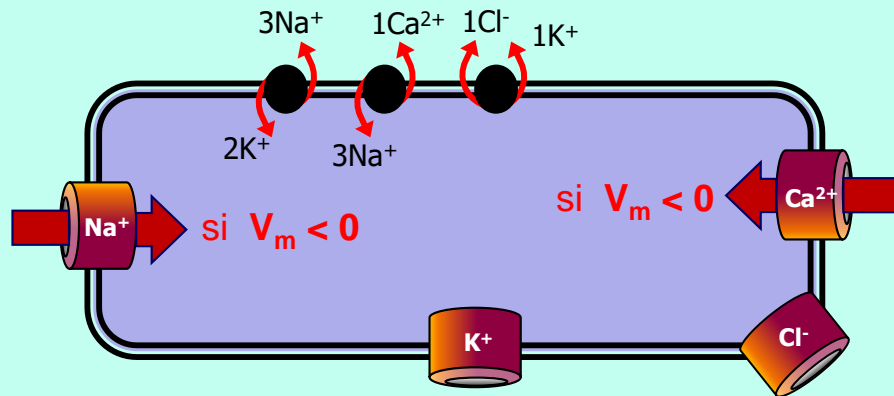
Célula

Canal Iónico

Gen

Corrientes iónicas NETAS (resumen)

RESUMEN DE TENDENCIAS

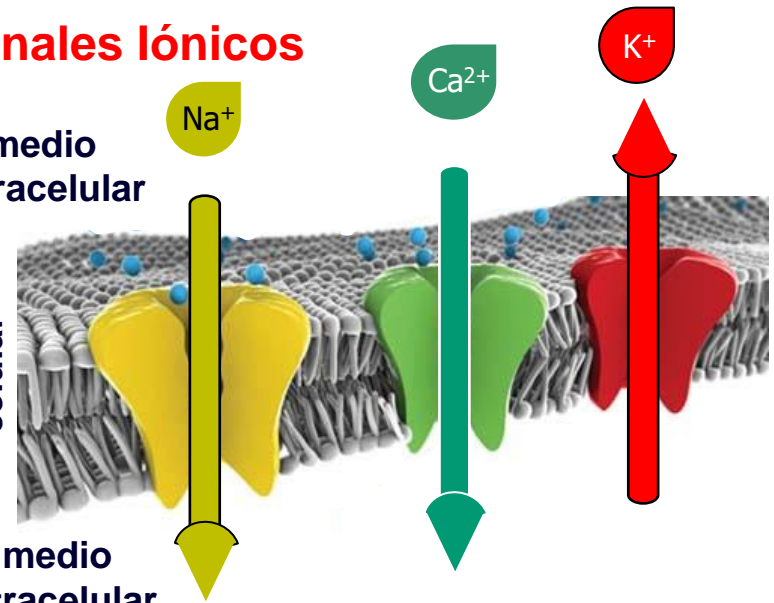


Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

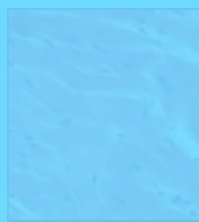
Cuerpo



Órgano



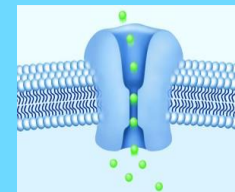
Tejido



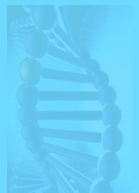
Célula



Canal Iónico

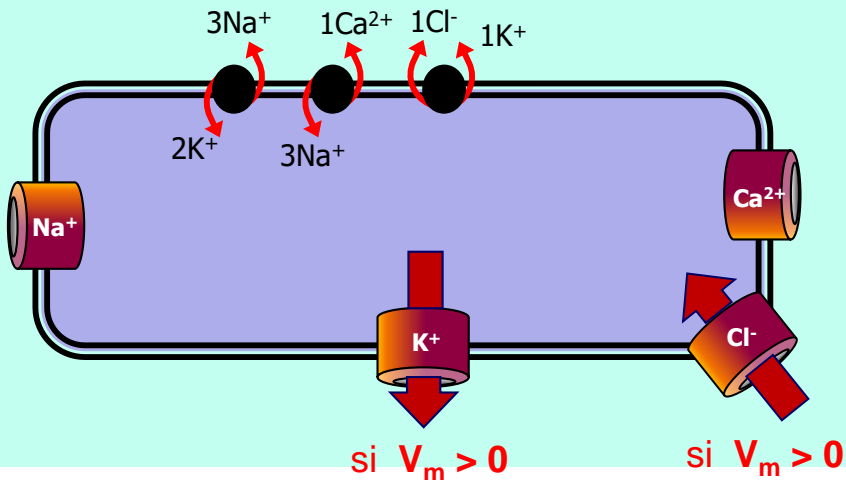


Gen



Corrientes iónicas NETAS (resumen)

RESUMEN DE TENDENCIAS

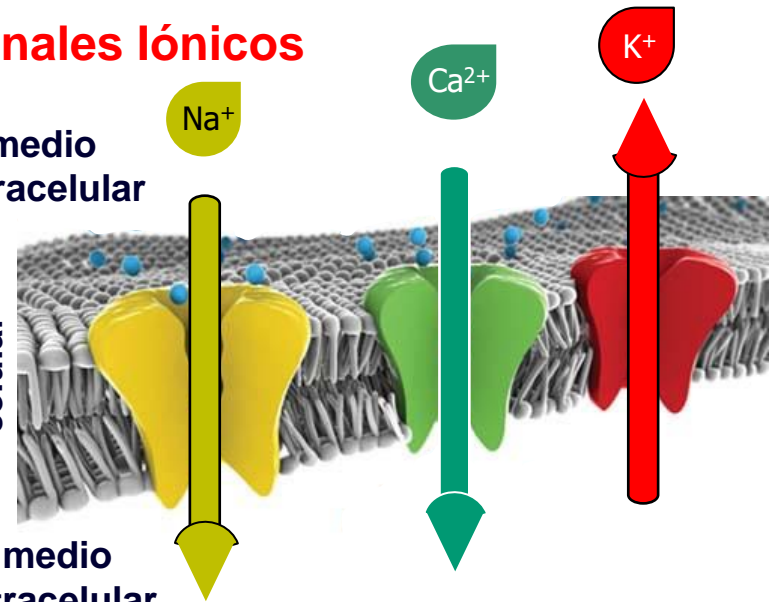


Canales Iónicos

medio extracelular

membrana celular

medio intracelular



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS (dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

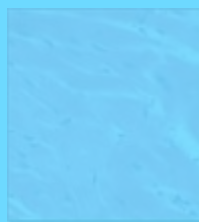
Cuerpo



Órgano



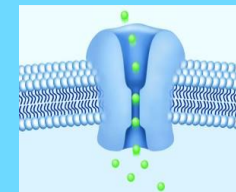
Tejido



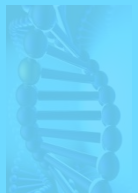
Célula



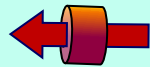
Canal Iónico



Gen

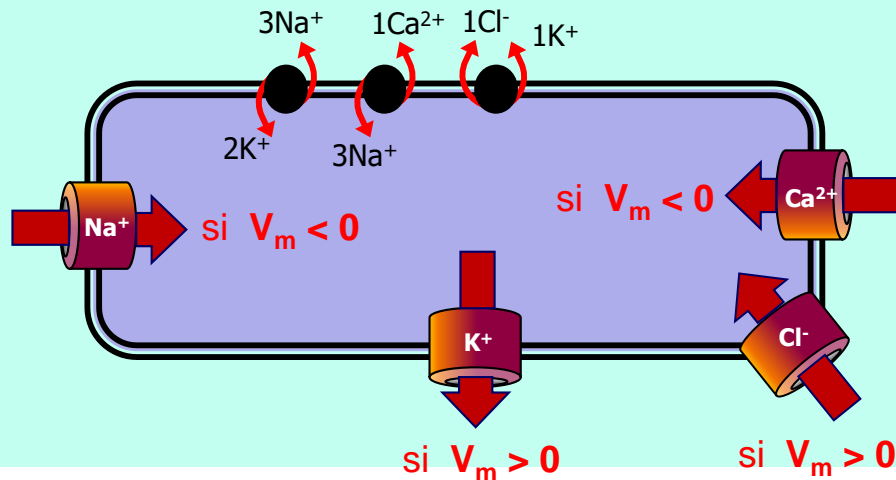


Corrientes iónicas NETAS (resumen)



RESUMEN DE
TENDENCIAS

Las cuatro especies iónicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-)
tienen vías para entrar y salir de la célula



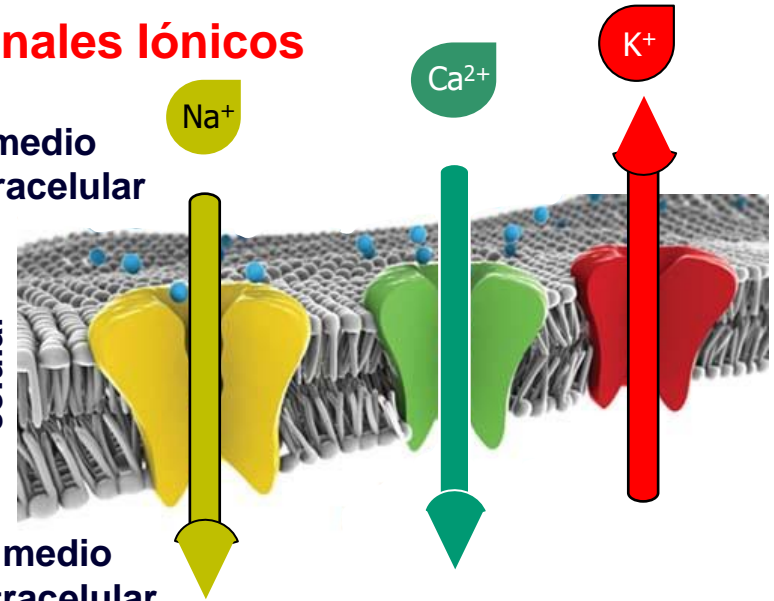
➡ EQUILIBRIO A LARGO PLAZO

Canales Iónicos

medio
extracelular

membrana
celular

medio
intracelular



La mayoría de los canales iónicos son ESPECÍFICOS
(dejan pasar una sola especie iónica)

Hay MILES de ellos en cada célula excitable

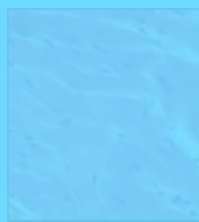
Cuerpo



Órgano



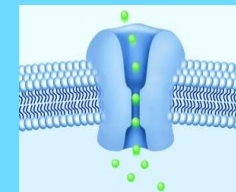
Tejido



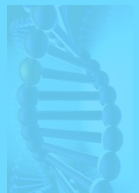
Célula



Canal Iónico



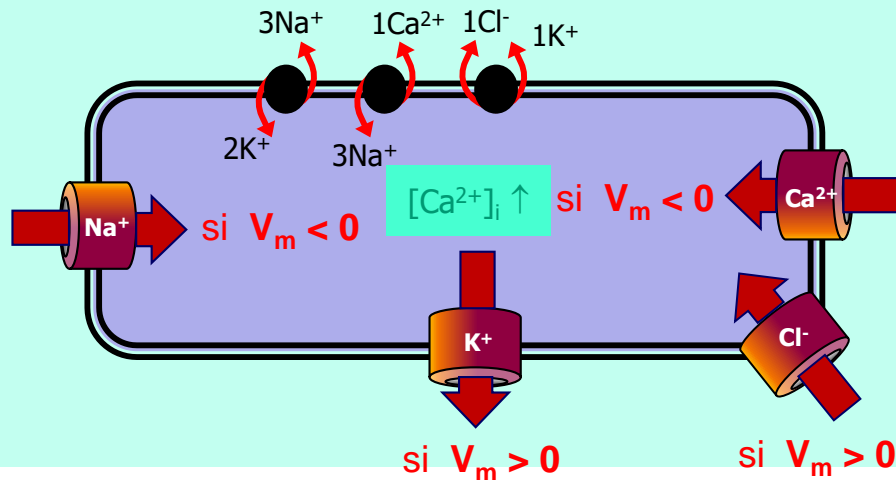
Gen



Corrientes iónicas y potencial de acción

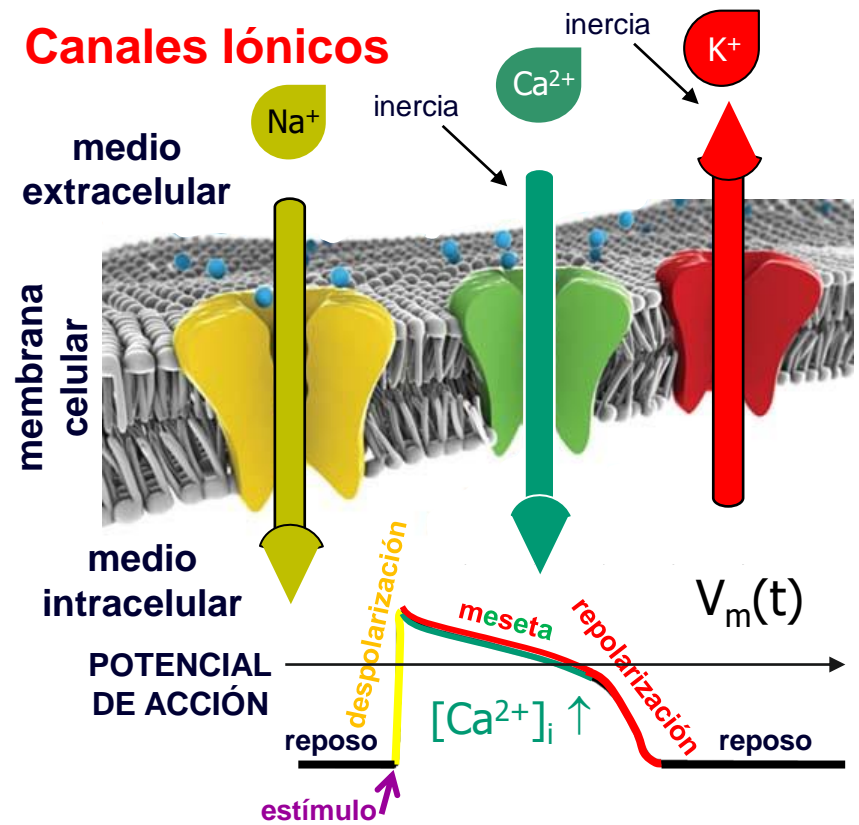
RESUMEN DE TENDENCIAS

Las cuatro especies iónicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) tienen vías para entrar y salir de la célula



➡ EQUILIBRIO A LARGO PLAZO

Canales Iónicos



Cuerpo

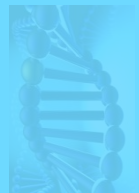
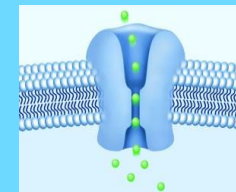
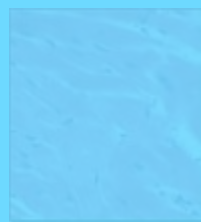
Órgano

Tejido

Célula

Canal Iónico

Gen

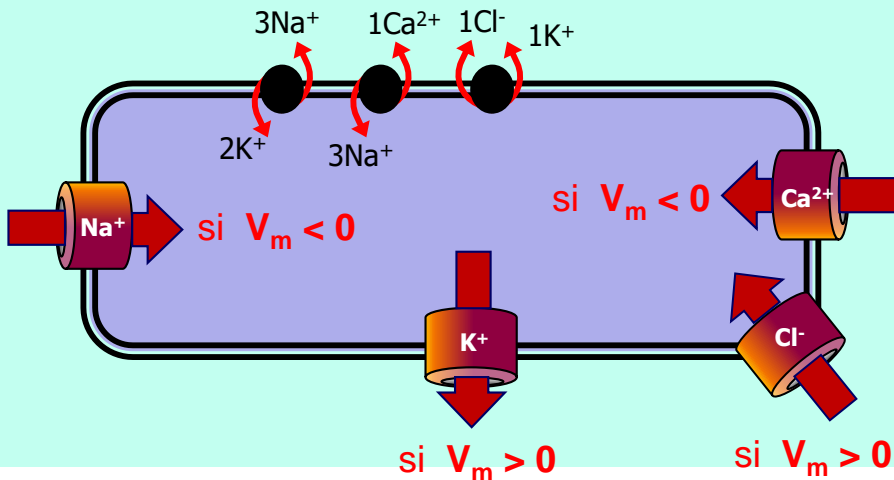


Concentraciones iónicas: homeostasis

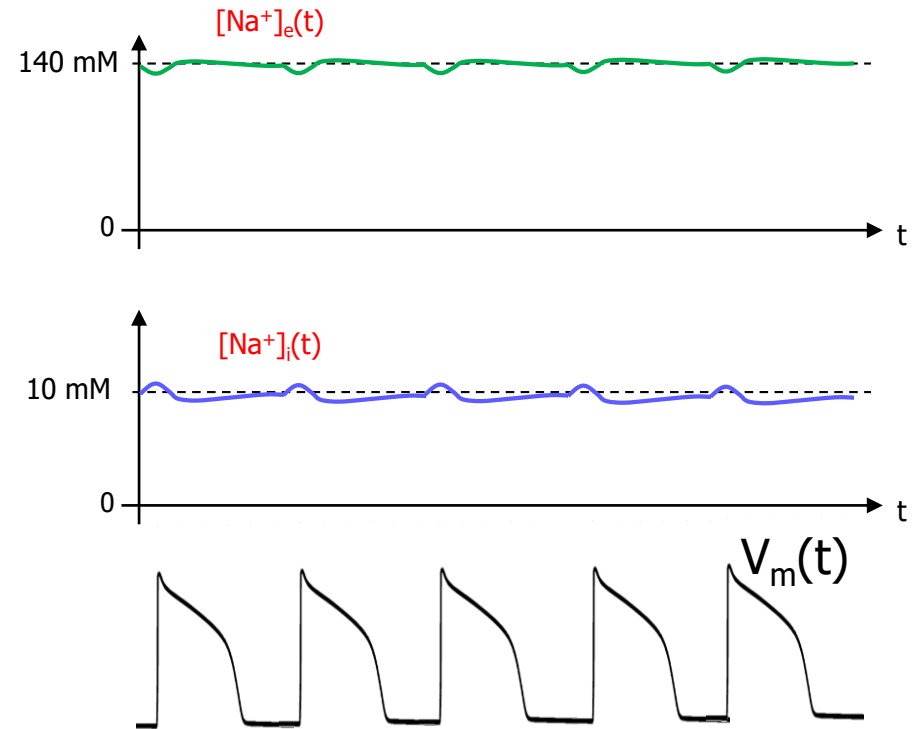


RESUMEN DE TENDENCIAS

Las cuatro especies iónicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) tienen vías para entrar y salir de la célula



➡ EQUILIBRIO A LARGO PLAZO



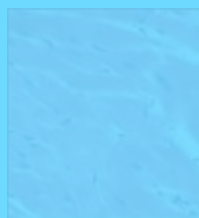
Cuerpo



Órgano



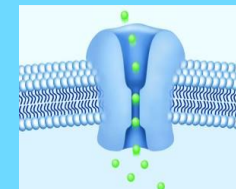
Tejido



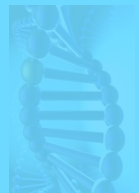
Célula



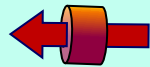
Canal Iónico



Gen

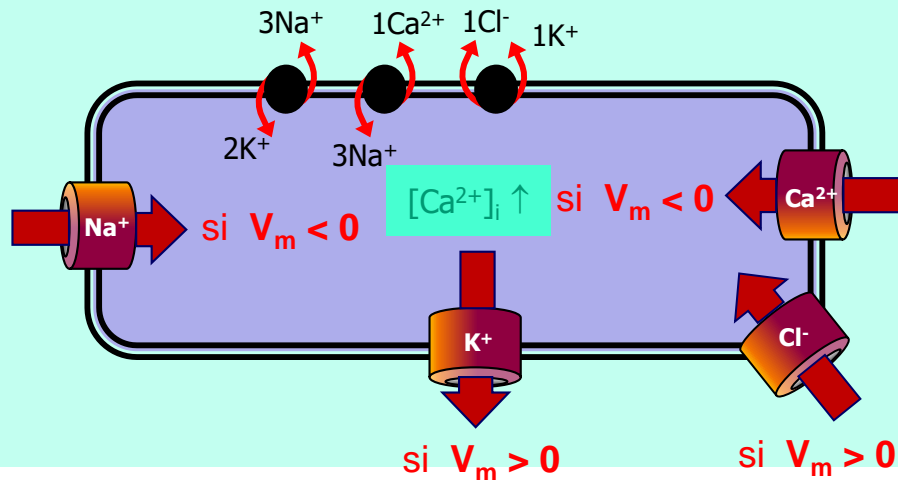


Concentraciones iónicas: los transitorios de calcio

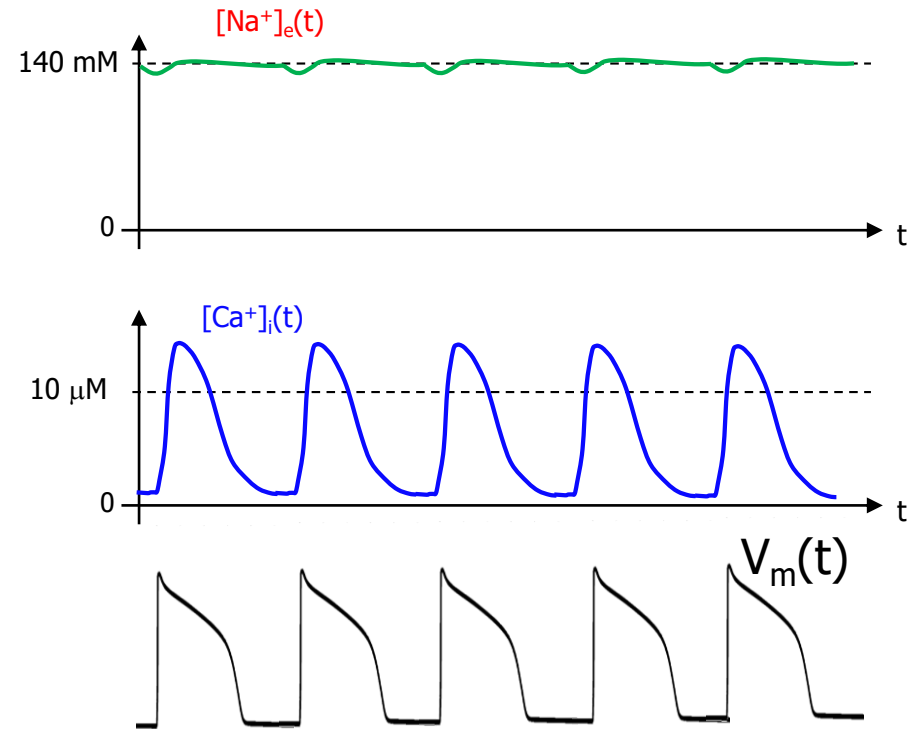


RESUMEN DE
TENDENCIAS

Las cuatro especies iónicas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-)
tienen vías para entrar y salir de la célula



EQUILIBRIO A LARGO PLAZO



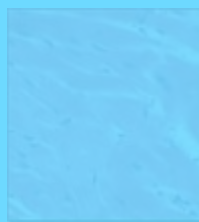
Cuerpo



Órgano



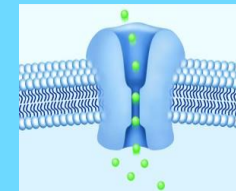
Tejido



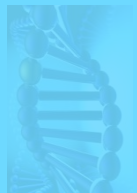
Célula



Canal Iónico



Gen



Conclusiones

- La membrana celular es eléctricamente aislante.
- Los iones pueden atravesar la membrana circulando a través de canales iónicos, intercambiadores, co-transportadores y bombas, que son proteínas incrustadas en ella y constituyen **mecanismos de conducción iónica a través de la membrana celular**.
- El **potencial de membrana** (V_m) se define como el **potencial intracelular menos el potencial extracelular** (es decir, como el potencial intracelular medido respecto al medio extracelular). La **corriente iónica saliente** de la célula se considera **positiva**.
- Los mecanismos de conducción iónica pueden ser **activos** o **pasivos** según necesiten (o no) del aporte de energía externa funcionar. Los canales iónicos, los intercambiadores y los co-transportadores son mecanismos pasivos; las bombas son mecanismos activos.
- Las bombas, los intercambiadores y los co-transportadores se encargan de establecer y mantener **gradientes de concentración** de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Cl^- a través de la membrana.
- Los **canales iónicos** poseen un **poro central** a través del cual pueden circular los iones de manera selectiva, siempre que el canal iónico esté en estado abierto.
- Las fuerzas que impulsan a los iones a través de los canales iónicos son de dos tipos: de **difusión** (debido a la diferencia de concentraciones de los iones a través de la membrana) y de **campo eléctrico** (debido a la existencia de un potencial de membrana).
- El sentido de las **fuerzas de difusión** nunca cambia a lo largo de la vida de la célula: empujan al Na^+ , Ca^{2+} y Cl^- hacia adentro y al K^+ hacia afuera. Eso es así porque las concentraciones de los iones apenas cambian en el tiempo (salvo la del calcio intracelular...)
- El sentido de las **fuerzas de campo eléctrico** cambia alternativamente durante cada potencial de acción.
- La resultante de ambas fuerzas genera las siguientes **tendencias de movimiento** en los iones: **el Na^+ y el Ca^{2+} tienden a entrar** en la célula durante el estado de reposo y al principio del potencial de acción, mientras que **el K^+ tiende a salir** de la célula en la fase intermedia del potencial de acción.
- La **bomba Na^+/K^+** extrae tres iones de Na^+ de la célula e introduce dos iones de K^+ , en ambos casos en contra del gradiente de concentración. Por ello, necesita energía, que extrae de la desfosforilación del ATP. **Es el mecanismo básico de extracción de Na^+ e introducción de K^+ de la célula**.
- El **intercambiador $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$** extrae un ion de Ca^{2+} de la célula e introduce tres iones de Na^+ . Para mover el Ca^{2+} en contra de su gradiente de difusión aprovecha el gradiente de concentración favorable del Na^+ . Por ello, no necesita energía externa. **Es el mecanismo básico de extracción de Ca^{2+} de la célula**.
- El **co-transportador K^+/Cl^-** extrae un ion de K^+ y uno de Ca^{2+} de la célula. Para mover el Cl^- en contra de su gradiente de difusión aprovecha el gradiente de concentración favorable del K^+ . Por ello, no necesita energía externa. **Es el mecanismo básico de extracción de Cl^- de la célula**.

Bibliografía

- Electrofisiología básica de la membrana celular
 - Capítulo 3 de [1] (especialmente punto 3.9)
 - Capítulo 2 de [2] (especialmente punto 2.2.2)
 - Capítulo 3 de [3] (especialmente puntos 3.1 y 3.2)
- Mecanismos de transporte iónico y concentraciones iónicas
 - Capítulo 3 de [1]
 - Capítulo 3 de [2] (especialmente punto 3.5)
 - Capítulo 2 de [3]
- Ecuaciones del transporte iónico por difusión y campo eléctrico
 - Capítulo 3 de [1] (especialmente punto 3.2 a 3.8)
 - Capítulo 3 de [2] (especialmente punto 3.2 y 3.4)
 - Capítulo 2 de [3] (especialmente punto 2.3 y 2.4)
- Potencial de equilibrio
 - Capítulo 3 de [1] (especialmente punto 3.13)
 - Capítulo 3 de [2] (especialmente punto 3.2.4)
 - Capítulo 2 de [3] (especialmente punto 2.5)
- Circuito eléctrico equivalente de un canal iónico y de la membrana celular
 - Capítulo 3 de [1] (especialmente punto 3.13)
 - Capítulo 3 de [2] (especialmente punto 3.4)
 - Capítulo 4 de [3] (especialmente punto 4.3)

[1] Bioelectricity. A quantitative approach. R Plonsey & R Barr. Ed. Springer, 2007

[2] Bioelectromagnetism. J Malmivuo & R Plonsey. Ed. Oxford University Press, 1995

[3] Bioelectrónica. Señales bioeléctricas. JM Ferrero, JM Ferrero, J Saiz & A Arnau Ed. SP-UPV, 1994

