

BIOELECTRICIDAD

La bioelectricidad se estudia desde dos puntos de vista:

- a) Como la fuente de energía eléctrica en el interior de las células
- b) Como la corriente electrolítica (o corriente iónica) debido a los campos eléctricos en el exterior de la célula.

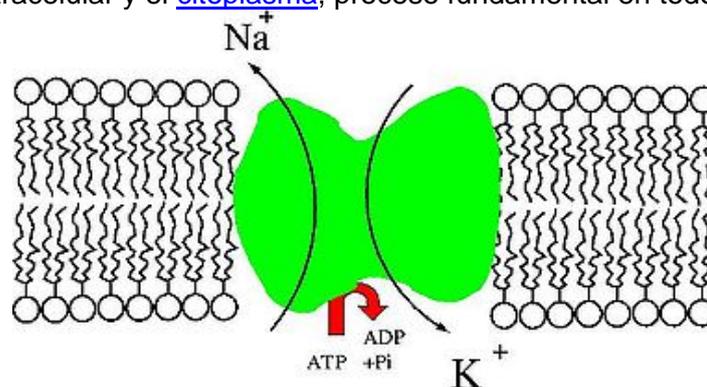
Los líquidos intra y extracelular no tienen la misma composición, sus concentraciones son distintas, tal como se indica en la siguiente tabla.

IÓN	CONCENTRACIÓN (mol/m ³)	
	Líqu. Extracelular	Líqu. Intracelular
Na ⁺	145	12
K ⁺	4	155
Cl ⁻	120	4
(otros)	29	163

Las células son las fuentes fundamentales de los potenciales bioeléctricos, entendiéndose como tales a las diferencias de potencial existentes entre el interior y exterior de la célula.

1. BOMBA SODIO-POTASIO

La **bomba sodio-potasio** es una [proteína](#) de [membrana](#) fundamental en la [fisiología](#) de las [células](#) que se encuentra en todas nuestras [membranas celulares](#). Su función es el [transporte](#) de los [iones](#) inorgánicos más importantes en [biología](#) (el sodio y el potasio) entre el medio extracelular y el [citoplasma](#), proceso fundamental en todo el [reino animal](#).



Na⁺-K⁺-ATPasa.

Descubrimiento

Esta [proteína](#) la caracterizó el danés [Jens Skou](#) por casualidad en los años 50', y por ello recibió el [premio Nobel](#) en [1997](#). Desde entonces la investigación ha determinado muchos de los aspectos tanto de la estructura y funcionamiento de la [proteína](#), como de su función en la [fisiología](#), de tremenda importancia en [medicina](#).

Funcionamiento y estructura

Estructura proteica

La bomba sodio potasio ATP(adenin-tri-fosfatido) es una proteina transmembrana que actúa como un transportador de intercambio antiporte (transferencia simultánea de dos diferentes direcciones) que hidroliza ATP. Es una ATPasa de transporte tipo P, es decir, sufre fosforilaciones reversibles durante el proceso de transporte. Está formada por dos subunidades, alfa y beta, que forman un tetrámero integrado en la membrana. La subunidad alfa está compuesta por ocho segmentos transmembrana y en ella se encuentra el centro de unión del ATP que se localiza en el lado citosólico de la membrana. También posee dos centros de unión bilaterales al extracelulares y tres centros de unión al intracelulares que se encuentran accesibles para los iones en función de si la proteína está fosforilada. La subunidad beta contiene una sola región helicoidal transmembrana y no parece ser esencial para el transporte ni para la actividad.

Funcionamiento

El funcionamiento de la bomba electrogénica de Na^+/K^+ (sodio-potasio) , se debe a un cambio de conformación en la proteína que se produce cuando es fosforilada por el ATP. Como el resultado de la [catálisis](#) es el movimiento transmembrana de [cationes](#), y se consume [energía](#) en forma de ATP, su función se denomina transporte activo. La demanda energética es cubierta por la molécula de ATP, que al ser [hidrolizada](#), separa un grupo [fosfato](#), generando [ADP](#) y liberando la energía necesaria para la actividad [enzimática](#). En las [mitocondrias](#), el ADP es fosforilado durante el proceso de [respiración](#) generándose un reservorio continuo de ATP para los procesos celulares que requieren energía. En este caso, la energía liberada induce un cambio en la conformación de la proteína una vez unidos los tres cationes de sodio a sus lugares de unión intracelular, lo que conlleva su expulsión al exterior de la [célula](#). Esto hace posible la unión de dos iones de potasio en la cara extracelular que provoca la desfosforilación de la ATP, y la posterior traslocación para recuperar su estado inicial liberando los dos iones de potasio en el medio intracelular.

Los procesos que tienen lugar en el transporte son:

1. Unión de tres Na^+ a sus sitios activos.
2. Fosforilación de la cara [citoplasmática](#) de la bomba que induce a un cambio de conformación en la proteína. Esta fosforilación se produce por la transferencia del grupo terminal del ATP a un residuo de [ácido aspártico](#) de la proteína.
3. El cambio de conformación hace que el Na^+ sea liberado al exterior.
4. Una vez liberado el Na^+ , se unen dos moléculas de K^+ a sus respectivos sitios de unión de la cara extracelular de las proteínas.
5. La proteína se desfosforila produciéndose un cambio conformacional de ésta, lo que produce una transferencia de los iones de K^+ al [citosol](#).

Funciones

La bomba de sodio-potasio es crucial e imprescindible para que exista la vida [animal](#) ya que tiene las funciones expuestas a continuación. Por ello se encuentra en todas las membranas celulares de los animales, en mayor medida en [células](#) excitables como las células nerviosas y células musculares donde la bomba puede llegar a acaparar los dos tercios del total de la energía en forma de ATP de la célula.

Mantenimiento de la osmolaridad y del volumen celular

La bomba de Na^+/K^+ juega un papel muy importante en el mantenimiento del volumen celular. Entre el interior y el exterior de la célula existen diferentes niveles de [concentración](#). Como quiera que la bomba extrae de la célula más [moléculas](#) de las que introduce tiende a igualar las [concentraciones](#) y, consecuentemente, la [presión osmótica](#). Sin la existencia de la bomba, dado que los solutos orgánicos intracelulares, a pesar de contribuir en sí mismos poco a la presión osmótica total, tienen una gran cantidad de

solutos inorgánicos asociados, la concentración intracelular de estos (que generalmente son iones) es mayor que la extracelular. Por ello, se produciría un [proceso osmótico](#), consistente en el paso de agua a través de la [membrana plasmática](#) hacia el interior de la célula, que aumentaría de volumen y diluiría sus componentes. Las consecuencias serían catastróficas ya que la célula podría llegar a reventar (proceso conocido como [lisis](#)).

Transporte de nutrientes

El gradiente producido por el Na^+ impulsa el transporte acoplado (activo secundario) de la mayoría de nutrientes al interior de la célula. Lo que quiere decir que el fuerte gradiente que impulsa al [sodio](#) a entrar en la célula (véase más adelante) es aprovechado por [proteínas](#) especiales de membrana para "arrastrar" otros solutos de interés utilizando la energía que se libera cuando el sodio se introduce en la célula.

Potencial eléctrico de membrana

Esta bomba es una [proteína](#) electrogénica ya que bombea tres iones [cargados](#) positivamente hacia el exterior de la célula e introduce dos iones positivos en el interior celular. Esto supone el establecimiento de una [corriente eléctrica](#) neta a través de la [membrana](#), lo que contribuye a generar un [potencial eléctrico](#) entre el interior y el exterior de la célula ya que el exterior de la célula está cargado positivamente con respecto al interior de la célula. Este efecto electrogénico directo en la célula es mínimo ya que sólo contribuye a un 10% del total del potencial eléctrico de la membrana celular. No obstante, casi todo el resto del potencial deriva indirectamente de la acción de la bomba de sodio y potasio, y se debe en su mayor parte al potencial de reposo para el potasio.

Mantenimiento de los gradientes de sodio y potasio

Impulsos nerviosos

La [concentración](#) intracelular de sodio es 5-15 mM mientras que la extracelular es mucho mayor (145 mM). Sin embargo, las concentraciones intra y extracelulares de [potasio](#) son 140 mM y 5 mM respectivamente. Esto nos indica que hay un fuerte [gradiente electroquímico](#) que impulsa a las dos sustancias a moverse: el [sodio](#) hacia dentro y el [potasio](#) hacia fuera de la célula. Como la membrana es impermeable a estos solutos, controlando la entrada y salida de estas sustancias (principalmente), la célula genera cambios de concentración de iones a ambos lados de la membrana, y como los iones tienen carga eléctrica, también se modifica el potencial a su través. Combinando estos dos factores, las células de un organismo son capaces de transmitirse [señales eléctricas](#) (véase: [potencial de acción](#)) y comunicarse entre ellas, paso fundamental para la evolución del [reino animal](#).

La bomba de Na^+/K^+ contribuye a equilibrar el potencial de membrana y mantener el potencial de reposo (es decir, las concentraciones constantes a ambos lados) cuando el [impulso nervioso](#) ya se ha transmitido. Este impulso nervioso hace que los canales de Na^+ se abran generando un desequilibrio en la membrana y despolarizándola. Cuando el impulso ha pasado los canales de Na^+ se cierran y se abren los de K^+ . Para que el potencial de membrana vuelva a su estado normal la bomba de Na^+/K^+ empieza a funcionar haciendo que la membrana del axón vuelva a su estado de reposo (sacando el sodio que entró y metiendo el potasio que salió).

Transducción de señales

Recientemente se ha descubierto que, independientemente de su función de transporte iónico, la bomba tiene una función como [receptor](#) de señales. Así, se ha descrito en [miocitos](#) de rata en cultivo una modificación en el ritmo de crecimiento tanto celular como [mitótico](#) cuando se añaden al medio análogos de [ouabaína](#) que actúan sobre la proteína. Este cambio no se debe a la modificación de las concentraciones iónicas sino a proteínas, señal que actúa en la cascada de las [MAP](#) quinasas.

Farmacología

La bomba de sodio-potasio encontrada en la células del [corazón](#) es una diana importante para los glucósidos cardiacos (como [digoxina](#) y [ouabaína](#)), drogas inotrópicas ampliamente usadas en la clínica para incrementar la fuerza de contracción.

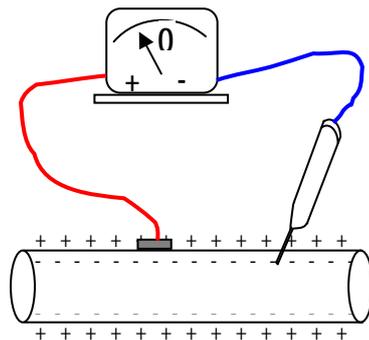
Referencias

1. B. Alberts y col. Biología Molecular de la Célula, 3ª ed., Editorial Omega, 1998, pp. 34-39, 78, 94.
2. A Lehninger. Principios de Bioquímica. 3ª ed., Editorial Omega, 2001, pp. 67-69, 80, 84.

Obtenido de "http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sodio-potasio"

2. POTENCIAL DE REPOSO

Es la diferencia de potencial existente entre el interior y el exterior de una célula en reposo. Este potencial se debe a la desigual distribución de iones entre el líquido intracelular y extracelular. El potencial de membrana se detecta introduciendo un microelectrodo que atraviesa la membrana celular y aplicando otro en la superficie, siendo negativo el interior respecto al exterior (ver figura). Por convenio el potencial V_0 del fluido extracelular se toma igual a cero y el de líquido intracelular, de un axón por ejemplo, es $V_i = -90\text{mV}$.



3. POTENCIAL DE NERNST

El [potencial de Nernst](#) está definido como el nivel de potencial de difusión a través de una membrana que se opone directamente a la [difusión](#) neta de un [ion](#) en particular a través de la misma. Dicho potencial está en el interior de la membrana y se asume que el [líquido extracelular](#) se mantiene a un potencial eléctrico de cero voltios si la temperatura corporal es la adecuada (aproximadamente 37 °C).

Es el potencial de equilibrio de un ión para el cual no hay flujo neto de dicho ión a través de la membrana celular. Este potencial se calcula con la fórmula:

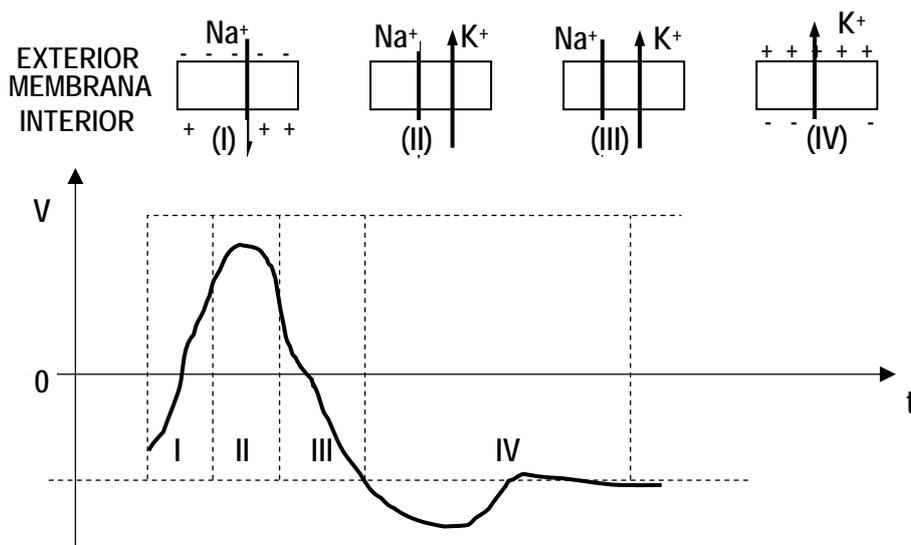
$$V_i - V_0 = \frac{K_B T}{q} \ln \frac{C_e}{C_i}$$

Donde $K_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ es la constante de Boltzmann, T la temperatura absoluta, q la carga del ión, C_e y C_i las concentraciones en el exterior e interior de la célula.

4. POTENCIAL DE ACCIÓN.

Es la alteración del potencial de reposo de una célula por acción de un estímulo superior al umbral, dando lugar a la sucesión de la despolarización y repolarización de la membrana celular (ver figura) y se explican de la siguiente manera:

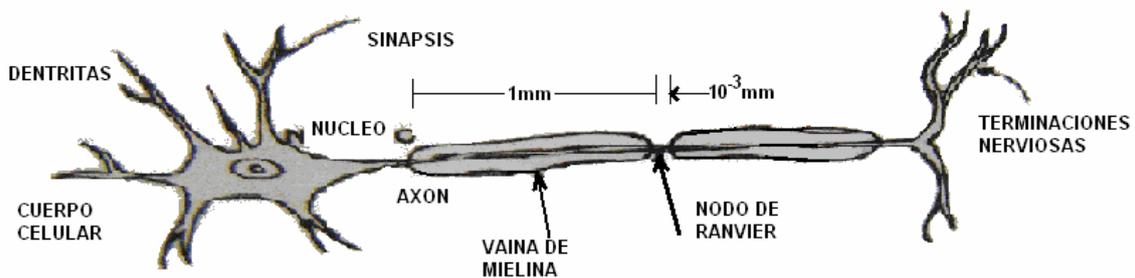
- a) Durante el estado de reposo no circula ninguna corriente a través de la membrana. Al actuar es estímulo, superior al umbral, la permeabilidad del sodio aumenta transitoriamente; una corriente de iones de Na^+ penetra en el interior de la célula cambiando la carga de la membrana (despolarización y fase ascendente del potencial de acción). Poco después se presenta una subida de la permeabilidad del K^+ ; la corriente externa de K^+ que de este modo se produce ocasiona el regreso del potencial de membrana al de reposo (repolarización y fase descendente del potencial de acción).



- b) El regreso del potencial al valor de reposo depende de dos mecanismos: *por un lado, la nueva disminución que se presenta durante la larga despolarización, de la permeabilidad del Na^+ y en segundo lugar, el aumento desencadenado en forma retardada por la despolarización, de la permeabilidad del potasio; ambos mecanismos producen un restablecimiento de la relación $P_k = P_{\text{Na}}$ y con ellos un reingreso al valor de reposo.*

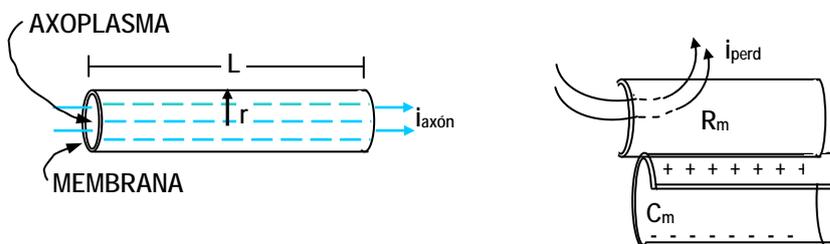
ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE LA CÉLULA NERVIOSA

La información que se transmite en el cuerpo humano se hace mediante pulsos eléctricos en las fibras nerviosas denominadas axones. Los axones tienen diámetros comprendidos entre 1 y 20 μm y pueden ser bastante largos. La vaina de mielina que rodea a algunos axones reduce la capacidad eléctrica. Cada vaina de mielina, formada por células de Schwann, tiene aproximadamente 1mm de longitud, pero la distancia entre vainas de mielina sucesivas es 1 μm . En estos espacios celulares, denominados nodos de Ranvier, el axón está en contacto directo con el líquido extracelular (o intersticial). Precisamente, en estos nodos se lleva a cabo la amplificación de los pulsos nerviosos en un nervio revestido de mielina.



RESISTENCIA ELECTRICA DEL AXON

Suponiendo que el axón consiste de una membrana cilíndrica que tiene un líquido conductor (el axoplasma), la corriente puede viajar a lo largo del axón en este fluido y también puede escapar a través de la membrana (figura a).



La resistencia R de una longitud L determinada de axón al paso de la corriente $i_{\text{axón}}$ es:

$$R = \rho_a \frac{L}{A}$$

Donde ρ_a es la resistividad del axoplasma y A el área de su sección transversal.

La resistencia de la unidad de área de la membrana a la corriente de pérdida i_{perd} se denota por R_m (figura b) y la resistencia de pérdida para una superficie de área A' es:

$$R' = \frac{R_m}{A'} = \frac{R_m}{2\pi rL}$$

La distancia $L = \lambda$ para la cual las resistencias R y R' son iguales se llama **parámetro espacial** y se calcula con la fórmula

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m r}{2\rho_a}}$$

Este parámetro indica que distancia recorre una corriente antes que la mayor parte de ella se pierda a través de la membrana.

CAPACIDAD ELECTRICA DE UN AXÓN. La membrana celular es muy fina por lo cual una pequeña sección parece casi plana y a ambos lados de ella se acumulan cargas eléctricas de signo opuesto (figura c)

La carga por unidad de superficie dividida por la diferencia de potencial resultante es la capacidad eléctrica por unidad de área:

$$C_m = \frac{Q_m}{\Delta V}$$

Un trozo de axón de longitud L y radio r tiene un área $A = 2\pi rL$ y su capacidad es:

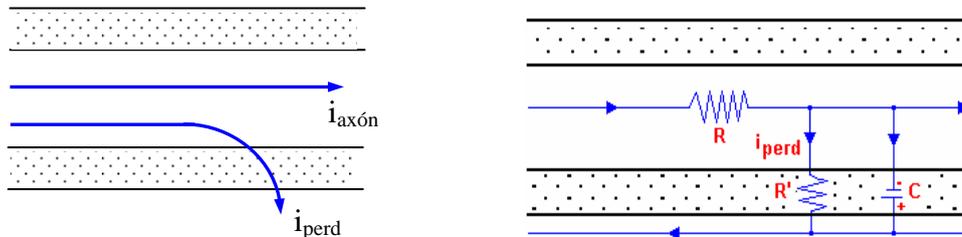
$$C = C_m (2\pi rL)$$

Las resistencias R_m , capacidades C_m y resistividades del axón con y sin mielina se muestran en la siguiente tabla

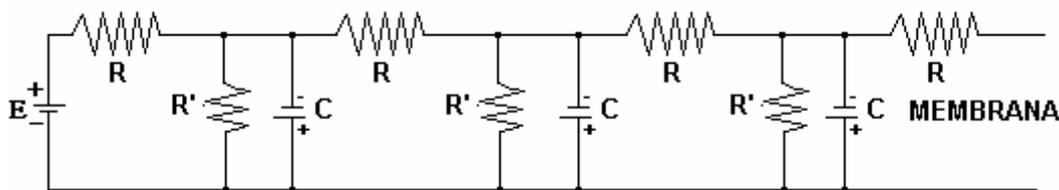
Tabla A

MAGNITUD	AXÓN CON MIELINA	AXÓN SIN MIELINA
Resistividad del axoplasma, ρ_a	$2 \Omega \cdot m$	$2 \Omega \cdot m$
Capacidad por unidad área de membrana, C_m	$5 \times 10^{-5} \text{ F/m}^2$	10^{-2} F/m^2
Resistencia por unidad de área de membrana, R_m	$40 \Omega \cdot m^2$	$0.2 \Omega \cdot m^2$
Radio, r	$5 \times 10^{-6} \text{ m}$	$5 \times 10^{-6} \text{ m}$

CIRCUITO ELECTRIC DEL AXÓN, El circuito análogo del axón puede desarrollarse dividiéndolo en muchos segmentos cortos. El fluido extracelular tiene una resistencia eléctrica muy pequeña y puede considerarse como un conductor perfecto. Cada segmento de axón presenta una resistencia R debido al fluido intracelular (o axoplasma) al paso de la corriente $i_{axón}$ a lo largo de su longitud. La membrana tiene una resistencia R' a una corriente de pérdida i_{perd} más una capacidad C .



Una serie de varios segmentos de axón es entonces análoga a la compleja red de resistencias y condensadores mostrados en la siguiente figura. La *fem* del circuito representa el estímulo aplicado.



RESPUESTA DEL AXÓN A ESTIMULOS DEBILES.

Cuando un estímulo inferior al umbral actúa sobre un axón sin mielina, se produce un pulso que recorre el axón y se atenúa después de pocos milímetros. En el lugar del estímulo, $x=0$, el potencial V_i cambia lentamente de -90mV a -60mV ; para otros valores de x los potenciales cambian más lentamente alcanzando un potencial final entre estos extremos.

Si la diferencia entre el potencial de reposo y el potencial final en $x = 0$ es V_d , entonces la diferencia a una distancia x es:

$$V(x) = V_d e^{-x/\lambda}$$

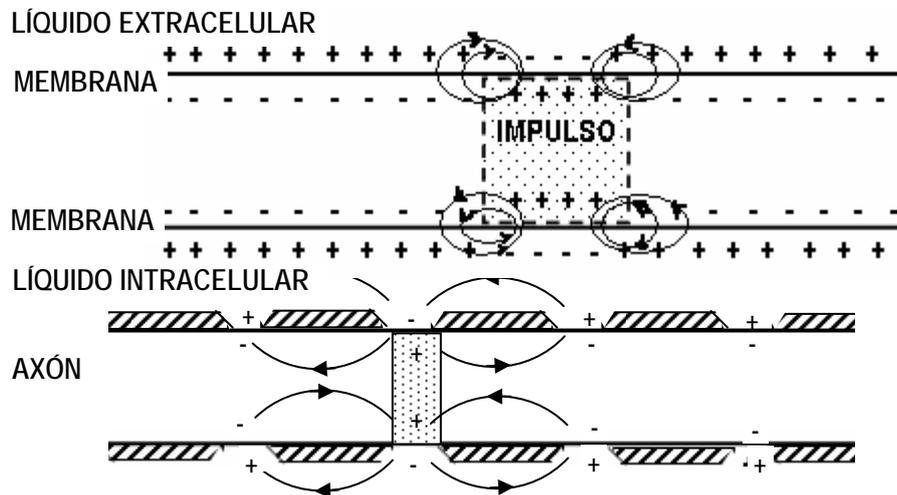
donde λ es el parámetro espacial y x la distancia entre el estímulo y el punto en consideración.

Por el contrario, cuando un estímulo superior al umbral actúa sobre un axón se produce un pulso que recorre la longitud del axón sin atenuación.

IMPULSO NERVIOSO

El impulso nervioso es un potencial de acción que se propaga a lo largo del axón de una célula nerviosa. En la siguiente figura se representa la conducción del impulso en las fibras nerviosas mielínicas y amielínicas. En el punto estimulado, las membranas se despolarizan al hacerse más permeables al Na^+ . Cuando el potencial de membrana se acerca al potencial de equilibrio del Na^+ , aparece una diferencia de potencial entre esa región particular y una región vecina, inactiva, de la membrana, donde el potencial es próximo al potencial de equilibrio de K^+ .

A consecuencia de la diferencia de potencial entre esas dos regiones pasa una corriente local entre la región activa y la inactiva, por el líquido intracelular, hasta descargar la membrana. La corriente regresa nuevamente a la región activa por el líquido extracelular, a través de la membrana. Esta corriente local reduce la carga de la membrana en la región activa.



La velocidad de propagación del impulso en una fibra miélinica es:

$$V = \frac{X}{\tau}$$

Donde X es la distancia entre dos nodos sucesivos y τ el tiempo necesario para reducir la carga de la membrana y aumentar por encima del umbral el potencial en el segundo nodo:

$$\tau = RC = \rho_a C_m \frac{X^2}{r}$$

Aquí, $X=10^{-3}$ m, r el radio del axón y los valores de ρ_a y C_m se dan en la tabla A.

BIOELECTROMAGNETISMO

Bioelectromagnetismo (a veces denominado parcialmente como **bioelectricidad** o **biomagnetismo**) es una rama de las ciencias biológicas que estudia el fenómeno consistente en la producción de [campos magnéticos](#) o [eléctricos](#) producidos por [seres vivos](#), aunque estos dos conceptos van fuertemente unidos, ya que toda [corriente eléctrica](#) produce un campo magnético. Los ejemplos de este fenómeno incluyen el [potencial eléctrico](#) de las [membranas celulares](#) y las [corrientes eléctricas](#) que fluyen en [nervios](#) y [músculos](#) como consecuencia de su [potencial de acción](#). No debe confundirse con la [bioelectromagnética](#), que se ocupa de los efectos de una fuente externa de electromagnetismo sobre los organismos vivos, ni con el estudio de la [magnetorrecepción](#), la percepción del campo magnético por parte de los seres vivos.

Las células biológicas usan gradientes electrostáticos para almacenar [energía metabólica](#), para realizar trabajo o [desencadenar cambios internos](#), e intercambiarse señales. El *bioelectromagnetismo* es la corriente eléctrica producida por potenciales de acción junto con los [campos magnéticos](#) que generan a través del fenómeno del [electromagnetismo](#).

El bioelectromagnetismo se estudia principalmente a través de las técnicas de [electrofisiología](#). A fines del siglo XVIII, el [médico](#) y [físico italiano](#) [Luigi Galvani](#) registró por primera vez el fenómeno de la contracción de un músculo de cadáver mientras disecaba una [rana](#) en una mesa donde había realizado experimentos con [electricidad](#). Galvani acuñó el término **electricidad animal** para denominarlo, mientras que actualmente se denomina [galvanismo](#). Galvani y sus contemporáneos consideraron que la activación muscular era resultado de un fluido eléctrico o sustancia presente en el [nervio](#).

El bioelectromagnetismo es un aspecto de todos los [seres vivos](#), incluidas todas las plantas y los animales.

Información

- [Bioelectromagnetism Portal](#), incluye el texto completo de Malmivuo, Jaakko, y Robert Plonsey, "*Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*". Oxford University Press, Nueva York - Oxford. 1995

Obtenido de "<http://es.wikipedia.org/wiki/Bioelectromagnetismo>"