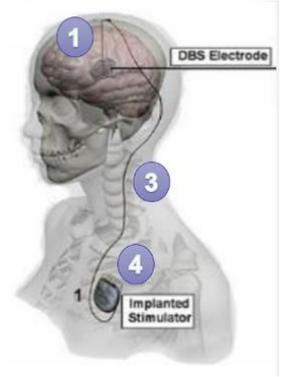


PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS NEURONAS

Las neuronas son las únicas células del organismo capaces de generar y transmitir el impulso nervioso, y lo hacen mediante corrientes eléctricas que se propagan por todo el organismo [1]. La neuro-estimulación es una técnica médica que se emplea para estimular artificialmente neuronas que están dañadas o tienen un comportamiento “anormal” que es preciso controlar o sincronizar. Para ello se dispone de unos dispositivos denominados electrodos, que son unos pequeños elementos metálicos que suministran corrientes eléctricas al exterior, y que, al colocarse en contacto directo con las neuronas, provocan en ellas una reacción similar a la de la llegada de un impulso nervioso: la logran estimular.



Problema: Una neurona es una célula con propiedades eléctricas diferentes a las del resto de células del cuerpo humano. Cuando está en reposo tiene un potencial eléctrico de unos -70 mV y es capaz de generar una señal eléctrica que se transmite a las demás neuronas que la rodean si el potencial en su membrana se ve incrementado hasta -50 mV . Por otra parte, la membrana de la neurona se comporta como un capacitor y tiene un valor de capacitancia específica de $1\mu\text{F}/\text{cm}^2$. Se pide: **a)** Calcula la densidad de carga necesaria que ha de atravesarla para lograr que se estimule. **b)** Si el tiempo que la neurona mantiene abiertos sus canales para que la corriente fluya es de $60\ \mu\text{s}$, ¿Cuál debe ser la mínima densidad de corriente que salga de los electrodos para lograr la estimulación? **c)** Suponiendo que tenemos un electrodo de 6 mm^2 , se conoce que para que las neuronas no sufran daño, éste no puede superar una densidad de carga de $30\ \mu\text{C}/\text{cm}^2$ si se tiene encendido $60\ \mu\text{s}$. Según esto, ¿sería seguro para el paciente si lo programamos con la intensidad de corriente de 2 mA ?

a) La relación entre la capacidad, la carga y el potencial de un condensador es:

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = C \cdot V$$

Para estimular la neurona se han de pasar de -70 mV a -50 mV , es decir debe haber una diferencia de potencial de:

$$\Delta V = V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}} = -50\text{ mV} - (-70\text{ mV}) = 20\text{ mV}$$

En un capacitor con las características del enunciado supone una densidad de carga ρ_q de:

$$\rho_q = \frac{Q}{S} = \frac{C \cdot \Delta V}{S} = C_s \cdot \Delta V = 10^{-6} \frac{\text{F}}{\text{cm}^2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 20 \frac{\text{nC}}{\text{cm}^2}$$

b) La relación entre la carga y la intensidad de corriente es:

$$Q = I \cdot t \rightarrow I = \frac{Q}{t}$$

Donde t es el tiempo que dura la corriente. Por tanto, en este caso la densidad de intensidad de corriente ρ_I necesaria, por unidad de superficie, es:

$$\rho_I = \frac{\rho_q}{t} = \frac{20 \text{ nC/cm}^2}{60 \mu\text{s}} = \frac{2 \cdot 10^{-8} \text{ C/cm}^2}{60 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 3.33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{A}}{\text{cm}^2} = 3.33 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

c) Una intensidad de corriente de 2 mA durante 60 μs supone una carga total Q de:

$$Q = I \cdot t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

Esta carga ha de liberarse a través de la superficie del electrodo. Como el dispositivo tiene un área de 6 mm^2 , ($6 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2$), corresponde a una densidad de carga ρ_{qe} de:

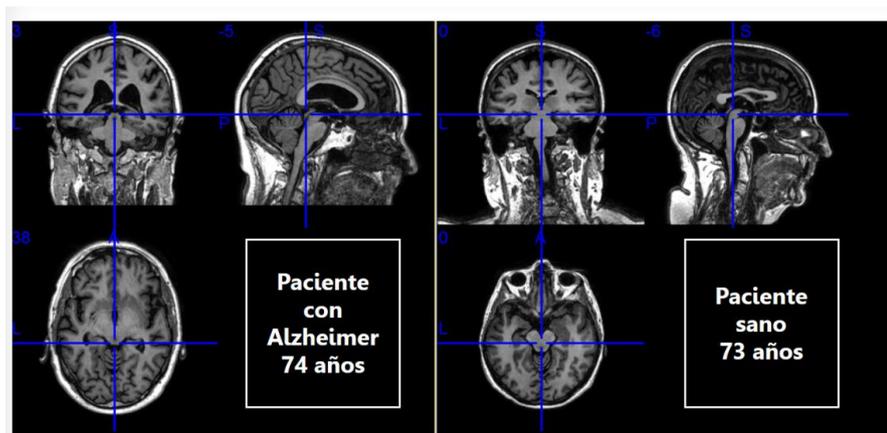
$$\rho_{qe} = \frac{Q}{S} = \frac{1.2 \cdot 10^{-7} \text{ C}}{6 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{cm}^2} = 2 \frac{\mu\text{C}}{\text{cm}^2}$$

Al ser ésta menor que el límite de 30 $\mu\text{C/cm}^2$ que se había establecido como umbral para el daño neuronal, el tratamiento con dichos parámetros sí que sería válido.

Ampliación:

El comportamiento eléctrico de la neurona es un tema sobre el que se trabaja mucho en investigación, pues es la base de buena parte de nuestra fisiología. En la actualidad, puede encontrarse una amplia documentación sobre cómo funcionan las neuronas: la transmisión del impulso nervioso gracias a la generación de potenciales de acción en toda la elongación de la neurona debido al paso de una corriente iónica a través de los canales que se encuentran en su membrana [2]. Buena parte de la interacción es eléctrica y por ello es interesante conocer esas propiedades de las neuronas (sin menospreciar la parte química en la que los neurotransmisores son los “protagonistas”)

En cuanto a la parte más relacionada con la aplicación médica, conseguir estimular las neuronas ha sido un logro enorme para la Biofísica. Se lleva a cabo ya desde el siglo XVIII y su mentor fue el médico, físico y fisiólogo Luigi Galvani, que experimentaba en la cerca de su casa con extremidades de rana muerta, impartiendoles corrientes eléctrica hasta lograr que se movieran.



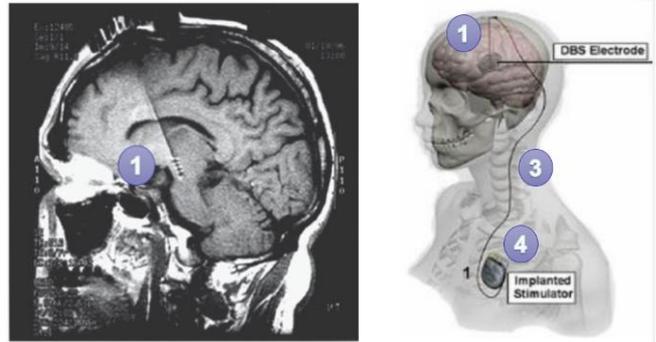
El tema más pionero en este campo es la neuro-estimulación cerebral. Consiste en la implantación directa del electrodo en la zona afectada por alguna patología dentro del propio cerebro. Cada enfermedad está localizada en un área y se puede identificar por anomalías funcionales o anatómicas que en la actualidad se detectan mediante encefalografías,

resonancias o TAC¹s cerebrales. Por ejemplo, en la imagen adjunta se observa que, en la misma posición, el paciente con Alzheimer tiene mucho más volumen de zona “oscura”, que se identifica con líquido cefalorraquídeo.

¹ TAC son las siglas de Tomografía Axial Computarizada, una técnica de imagen médica.

También puede causarse la enfermedad porque no hay una secreción correcta de neurotransmisores. En cualquier caso, estas patologías hacen que haya una deficiencia o comportamiento anormal y descontrolado de las neuronas circundantes. La solución: la neuro-estimulación o estimulación cerebral profunda, DBS de sus siglas en inglés: Deep Brain Stimulation [3].

Esta es una imagen real de un paciente con el electrodo implantado (1). El dispositivo tiene un diámetro de cerca de 1.5 mm . La segunda corresponde a todo el dispositivo, que atraviesa el cerebro y el cráneo, para unirse a un cable (3) que recorre toda la cabeza y la nuca hasta el omoplato, donde suele situarse la batería (4) que le suministra la energía.



Un caso de aplicación en el que se está trabajando especialmente debido a que los tratamientos farmacológicos no son siempre adecuados es el tratamiento de la Enfermedad del Parkinson [5].

[1] *"Propiedades Eléctricas Pasivas de las Neuronas"* Oscar Javier Escobar-Soto. Universidad Nacional de Colombia

[2] Página web del Instituto de Educación Secundaria Ramón Pignatelli. Explicación sobre el sistema nervioso.

[3] *"20 things to know about Deep Brain Stimulation"* Erwin B. Montgomery, JR. Oxford University Press. 2015

[4] *"A Shocking Way to Fix the Brain"* MIT Technology Review (2015)

[5] *"Tratando el Parkinson. DBS."* Parkinson Disease Foundation. 2012

Silvia Ronda Peñacoba

[Problemas de Física de Materiales y de Física Biomédica para Bachillerato](#)