

Desarrollo de interfaz cerebro-computadora para robots de servicio doméstico

Victor Hugo Sánchez Correa

Director: Dr Jesús Savage Carmona

Co-Director: Dr. Marco Antonio Negrete Villanueva

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Agradecimientos | v |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Definición y formulación del problema | 1 |
| 1.3. Hipótesis | 2 |
| 1.4. Objetivos | 2 |
| 1.5. Descripción del documento | 2 |
| 2. Antecedentes | 3 |
| 2.1. Fisiología de la neurona | 3 |
| 2.1.1. Potenciales de acción | 4 |
| 2.2. La corteza visual | 6 |
| 2.3. Electroencefalografía | 6 |
| 2.3.1. Potenciales Relacionados con Eventos | 7 |
| 2.3.2. Potenciales evocados visuales | 9 |
| 2.3.3. P300 Visual | 9 |
| 2.4. Interfaz cerebro-computadora | 9 |
| 2.5. Robots de servicio doméstico | 10 |
| 2.6. Trabajo relacionado | 11 |
| 3. Adquisición de datos | 13 |
| 3.1. Emotiv EPOC X | 13 |
| 3.2. Sincronización de estímulos y adquisición de la señal | 13 |
| 4. Tareas de detección de potenciales evocados | 15 |
| 4.1. Selección de los estímulos | 15 |
| 4.2. descripción del sistema de adquisición | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3. Conjunto de datos | 15 |
| 5. Sistema de reconocimiento de EEP P300 | 17 |
| 5.1. Detección de P300 | 17 |
| 6. Experimentos | 19 |
| 7. Integración con el robot | 21 |
| 8. Resultados | 23 |
| 9. Discusión | 25 |
| 9.1. Conclusiones | 25 |
| 9.2. Trabajo a futuro | 25 |
| Referencias | 27 |

Agradecimientos

Proyecto PAPIIT IA106520 Visión activa y robótica basada en comportamientos en el desarrollo de vehículos autónomos”

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Existen diversas condiciones que perjudican las vías neuronales que permiten el control de los músculos, como: Esclerosis lateral amiotrófica; accidente cerebrovascular del tronco encefálico; lesión cerebral o de la médula espinal; entre otras, y en los casos as severos, se puede llegar a perder casi la totalidad de la capacidad de mover los músculos voluntariamente, afectando desde el movimiento de los ojos, la respiración (Vaughan y cols., 2006).

En diversos países la población marca una tendencia a envejecer y la tasa de natalidad cada vez es más pequeña, Japón es un claro ejemplo de este fenómeno social. Una forma de mejorar la calidad de vida de personas de edad avanzada o que tienen diversas discapacidades consiste en proveer medios para que sean independientes y brinden asistencia en sus hogares (Yamamoto y cols., 2019).

1.2. Definición y formulación del problema

Personas con problemas motrices necesitan asistencia que se complica al no poder articular palabras, por lo cual se tienen que desarrollar tecnologías para que se adapten a sus necesidades y mejoren su calidad de vida. Debido a esto, se requiere la creación de una interfaz cerebro-computadora para interactuar con un robot de servicio doméstico el cual puede asistir de diversas tareas del hogar, como traer objetos, abrir la puerta, guardar las cosas en la alacena, entre otras. La interfaz debe funcionar con un hardware estándar

comercial y bajo costo para la obtención de las señales EEG.

1.3. Hipótesis

Se pueden enviar comandos a un robot de servicio doméstico a través de una interfaz cerebro-computadora mediante un sistema basado en una tarea de potenciales evocados y la detección y clasificación, mediante algoritmos de reconocimiento de patrones y aprendizaje máquina, de la onda P300.

1.4. Objetivos

- Caracterización y evaluación del sistema Emotiv Epoc X para la creación de BCI.
- Creación de un modelo para la clasificación de la P300.
- Creación de una BCI usando un sistema de grado comercial para la identificación de estímulos visuales.
- Integración de la BCI creada con un robot de servicio.

1.5. Descripción del documento

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Fisiología de la neurona

- Potenciales de acción (causado por iones K^+ , Cl^- y Na^+)
- Potencial de membrana
- Tiempos del potencial de acción

El cerebro humano esta compuesto por dos tipos de células, este par de clases pueden ser muy variadas en su estructura química y su función y son conocidas como las neuronas y glía. El origen del nombre de las células gliales se deriva del griego y significa pegamento, estas células están situadas alrededor de de ciertas partes de las neuronas. dentro de sus funciones esta ser el sostén de las neuronas y dan la forma que tiene el cerebro, separan o aíslan las neuronas entre otras (Kandel, Schwartz, Jessell, y Hernando Saudan, 2001).

Las neuronas, se puede decir que es la unidad básica del cerebro y aunque no se tiene un cálculo exacto del número de estas células que contiene el cerebro, se estima que esta en el orden de los 1,00 000 millones de células y esta compuesta por diversas partes (Bear, Connors, y , 2016).

- Soma: Esta es la parte central de la neurona con forma redonda y tiene aproximadamente $20\mu m$ de diámetro, en su interior contiene un líquido salino rico en potasio llamada citosol y diferentes estructuras como lo son el núcleo, mitocondria, aparato de Golgi entre otras.

- **Membrana neuronal:** actúa como una barrera para retener el citoplasma, tiene un grosor de aproximadamente 5 nm y contiene muchas proteínas que actúan como poros para regular las sustancias dentro de la neurona.
- **Citoesqueleto:** Estos son las estructuras que le forma o estructura a la neurona y estas estructuras están en movimiento continuo es decir no están estáticas. Las estructuras son los microtúbulos, microfilamentos y neurofilamentos.
- **Axon:** Es una estructura única en las neuronas, el cual tiene como función la transferencia de información. El axón empieza desde la zona en la que el soma se va adelgazando llamada cono axónico, se forma una parte delgada y larga, que es propiamente el axón, el cual puede extenderse desde menos de 1 mm hasta más de 1 metro de longitud, usualmente se bifurca en diferentes ramas que se conocen como colaterales axónicas y finalmente acaba en la terminal axónica o botón terminal que es como una parte inflada que llega a otras neuronas o células para pasar la información por medio de la sinapsis.
- **Dentritas:** Esta parte de la neurona como su etimología hace referencia, es la parte de la neurona que parece ramas de un árbol y tienen formas muy variadas y funcionan con una antena que tienen muchas proteínas que su función es detectar los neurotransmisores llamados receptores.

En la figura 2.1 se pueden observar las partes de la neurona previamente descritas. En esa misma figura se puede observar otra parte de la neurona llamada vaina de mielina, esta es una espiral que se forma al rededor del axón que ayuda a acelerar la propagación de los impulsos nerviosos. Esta envoltura es principalmente creada por dos tipos de células: las oligodendrogliales y las de Schwann (Bear y cols., 2016).

2.1.1. Potenciales de acción

Los potenciales de acción o impulsos nerviosos son el tipo de señal que permite la conducción de estas señales a través de los axones, estos impulsos hacen referencia a la separación que sufre la carga eléctrica que pasa por la membrana. Las características principales de estas señales es que no disminuyen con la distancia y tienen una duración y amplitud fija y la información

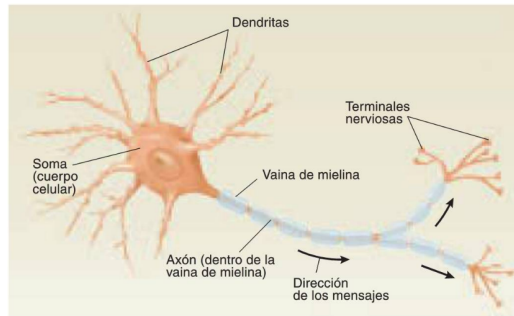


Figura 2.1: Partes de la neurona (Carlson, 2013)

esta codificada en con la frecuencia , distribución y el número de neuronas que se disparan gracias a estos potenciales (Bear y cols., 2016).

Este impulso es creado gracias a los iones que son moléculas que tienen una carga eléctrica neta (Bear y cols., 2016), gracias a esta diferencia de cargas se juntan las moléculas y forman enlaces iónicos, los más importantes en este sentido son el cationes sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y el anión cloro (Cl^-). Estos iones pueden ser disueltos con agua y se tiene una membrana que separa una región a otra con poros que solo permiten el flujo de ciertos iones se genera una diferencia de concentración entre cada lado de la membrana y esto crea un flujo de iones hasta que se estabiliza o igualan las concentraciones de los dos lados, que se le conoce como gradiente de concentración, con lo cual se produce una flujo de iones o carga eléctrica.

El potencial de membrana o voltaje de membrana puede que este en reposo o que no lo este cuando se genera un potencial de acción. Cuando este voltaje al interior del axón que esta en reposo es aproximadamente -70mV (Carlson, 2013), pero cuando se genera un potencial de acción este voltaje se vuelve positivo teniendo siempre una reacción como la que se muestra en la figura 2.2, en la cual se puede ver una fase en el cual el voltaje haciende hasta 0 mV , a la parte que esta con un voltaje positivo que llega al rededor de los 40 mV se le conoce como sobre disparo. Después vuelve a descender el voltaje o a re polarizarse pero este descenso llega un poco mas abajo del potencial de reposo, a esta parte se le conoce por subdisparo o poshiperpolarización. Por último se vuelve a llegar al reposo aproximadamente 2 ms después de que el potencial de acción se presentó. Esta respuesta solo puede ser lograda con una frecuencia máxima de 1000 Hz , una vez que se empieza uno de estos potenciales no es posible de generar otro en menos de 1 ms y a esto se le

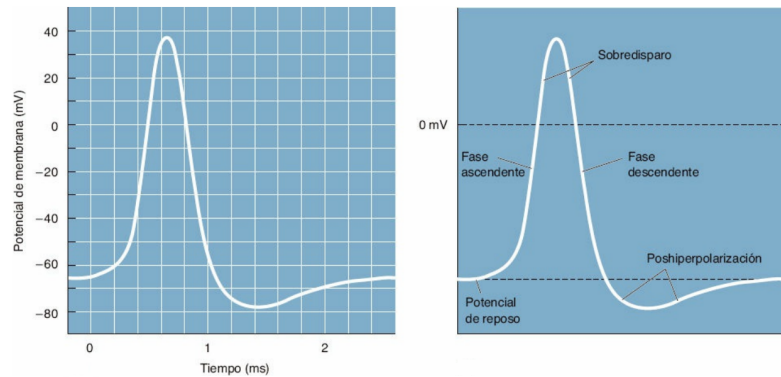


Figura 2.2: Potencial de acción (Bear y cols., 2016)

conoce como periodo refractario absoluto de una neurona.

2.2. La corteza visual

- Nervio óptico
- Pathways visual
- Regiones de Broca relacionadas con la corteza visual

2.3. Electroencefalografía

La electroencefalografía (EEG, por sus siglas en inglés) es un método utilizado para la recolección de señales del cerebro humano (Paszkiel, 2020), que se ha usado para diagnosticar diversas enfermedades, evaluar ciclos de aprendizaje, sueño y desordenes de aprendizaje y monitorear ciertas respuestas durante cirugías diferentes cirugías, por mencionar algunos usos. Es un método no invasivo que consiste en la detección y registro de la actividad eléctrica del cerebro, la cual es captada por electrodos que son posicionados en el cuero cabelludo. Estos captan el potencial eléctrico o voltaje en la piel proveniente de la actividad neuronal y lo amplifican, teniendo al final de este proceso un electroencefalograma (Paszkiel, 2020).

Este tipo de señales tiene un alta resolución temporal, pero baja resolución espacial, no tienen ni amplitud ni frecuencia constante y dependiendo

de la actividad cerebral realizada se pueden distinguir diferentes tipos de señales como: Alfa, Beta, Gamma, Delta, Theta, entre otras. Los valores de estas señales oscilan de 3 a 50 μV . Los electrodos son posicionados de acuerdo con el sistema internacional llamado 10-20, el cual consiste en posicionar los electrodos de acuerdo a medidas y marcas del cráneo (Herbert, 1958).

Este sistema se compone de 5 puntos que se miden desde el nacimiento al nacimiento: pre-frontal (Fp), frontal (F), central (C), parietal (P), occipital (O). Del nacimiento al punto pre-frontal es el 10 % de la distancia, del punto pre-frontal al frontal 20 %, del frontal al central 20 %, del central al parietal 20 %, del parietal al occipital 20 %, como se observa en la figura 2.3a. Desde el punto central hacia la base se ponen a 20 % de la distancia como se muestra en la figura 2.3b y por último se traza una línea anterior posterior que pase por los lóbulos temporales y se aplica la regla del 10-20 10 % de la distancia del nacimiento al Fp y después 20 % sucesivamente pasando por el frontal, temporal, temporal y occipital como lo muestra la figura 2.3c. se agrega un subíndice numérico para indicar la posición del electrodo, la z representa al número cero que se refiere a la línea central, los números pares indican que están en el derecho y los números impares indican que están en el hemisferio izquierdo como se muestra en la figura 2.3d (Homan, 1988). Actualmente se han hecho modificaciones para aumentar el número de sensores hasta 32,64,128 y más.

Es importante mencionar que voltaje generado por una sola neurona es muy pequeño, debido a que debe de pasar por varias capas de no nervioso, como lo son las meninges el líquido cefalorraquídeo, los huesos del cráneo y piel antes poder alcanzar el electrodo, como se muestra en la figura 2.4. cuando muchas neuronas son activadas al mismo tiempo (miles de ellas), la suma de todas estas voltajes generan una señal que puede ser percibida por el sensor. Los sensores o electrodos son más que unas placas de metal conectadas por cables que se posicionan sobre el cuero cabelludo y que gracias a algún mecanismo que disminuye la resistencia, como lo puede ser una solución salina o un gel conductor. logran medir esta variación de voltaje en esa parte donde fue colocado.

2.3.1. Potenciales Relacionados con Eventos

Los Potenciales Relacionados con Eventos también conocidos como Potenciales Evocados (ERPs) son respuestas *time-locked* que ocurren en el cerebro un tiempo determinado después de un evento que puede ser tanto externo

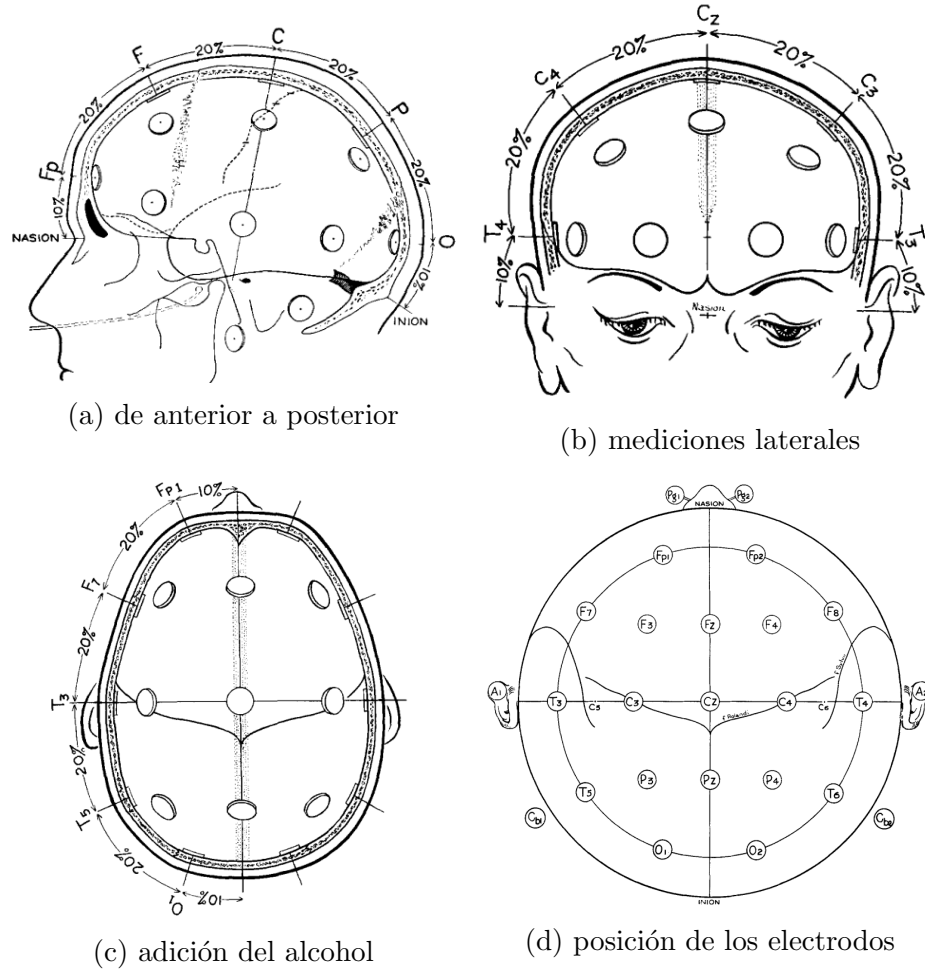


Figura 2.3: sistema 10-20

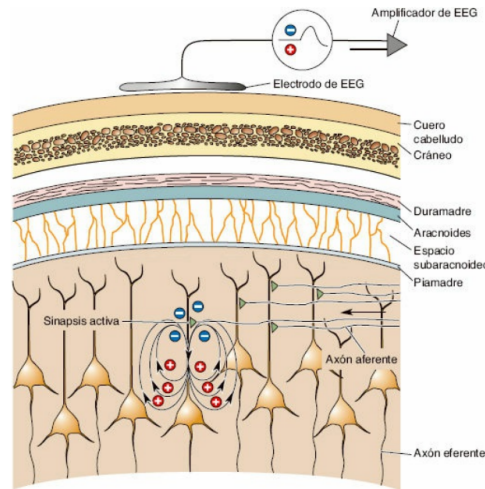


Figura 2.4: Capas que se deben de atravesar para detectar el voltaje de las neuronas (Bear y cols., 2016)

como interno. Una forma de clasificarlos puede ser la siguiente: Eventos relacionados a la sincronización (ERSs) o desincronización (ERDs), Potencial visualmente evocado (VEP), Potencial lento cortical (SCP) y Potencial de la neurona (Hassanien, 2015).

2.3.2. Potenciales evocados visuales

2.3.3. P300 Visual

2.4. Interfaz cerebro-computadora

Una interfaz cerebro-computadora o BCI (por sus siglas en inglés) es un sistema que permite a la actividad encefálica (EEG) controlar computadoras o dispositivos externos sin la necesidad de usar nervios o músculos periféricos (Hassanien, 2015). Este tipo de interfaces permiten a las personas con enfermedades o condiciones neuromusculares la mejora de su calidad de vida, debido a que les brinda acceso a las distintas tareas que una computadora y sus dispositivos periféricos pueden realizar. Estas funciones pueden ir desde en entretenimiento con la reproducción de video, audio; herramientas para su aprendizaje como lectura de libros; herramientas de comunicación como:

llamadas telefónicas, procesadores de texto o sintetizadores de voz.

Las BCI se pueden describir como sistemas de técnicas de procesamiento de señales para obtener las ondas con las cuales se trabaja y técnicas de inteligencia artificial para realizar la clasificación de éstas, como se puede apreciar en la figura 2.5, donde se describe en forma sencilla el flujo de trabajo de este tipo de interfaces.

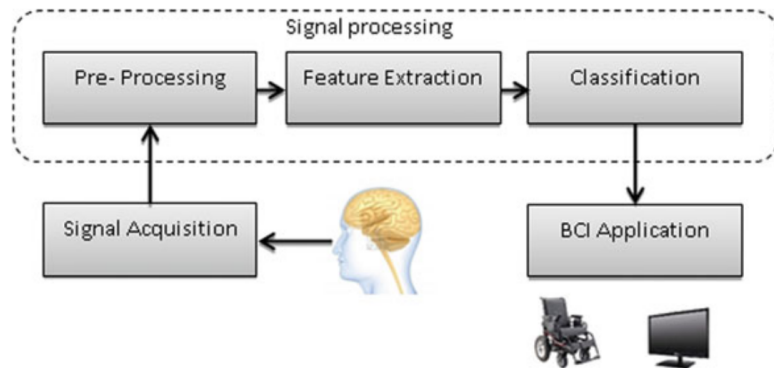


Figura 2.5: Funcionamiento de una BCI (Hassanien, 2015)

mindspeller

2.5. Robots de servicio doméstico

Un robot de servicio se define como aquel robot que tiene la capacidad de realizar tareas útiles para los humanos excluyendo las aplicaciones de automatización industrial (*ISO 8373:2012(en), Robots and robotic devices — Vocabulary*, s.f.) y estos robots pueden desempeñarse en diversos escenarios. En el contexto de una casa existen competencias como Robocup@Home que tiene como objetivo el desarrollo de este tipo de robots para servir y asistir en aplicaciones domesticas (Matamoros y cols., 2019). En este tipo de competencias se crean pruebas en las cuales el humano y el robot tiene que interactuar y se evalúan diversas formas de poder dar ordenes al robot. Una de las formas más comunes es el uso del procesamiento de lenguaje natural por voz, en el cual se dice un comando que el robot es capaz de interpretar y llevar acabo, pero también se explora el poder darle estas instrucciones a través de estímulos visuales, como códigos QR o mediante gestos.

Los habitantes en un hogar pueden tener diferentes necesidades dado que pueden ser de diversas edades y con diferentes padecimientos. Un robot con este fin es el Human Support Robot mejor conocido como HSR que fue diseñado por Toyota Motors Corporation, el cual fue creado dado la necesidad que tienen países como Japón, donde la tasa de nacimiento se ha convertido en un problema (Yamamoto y cols., 2019) , en el cual no habrá suficientes jóvenes para poder cuidar o atender a las personas mayores y tiene como objetivo mejorar la calidad de vida y proveerles ayuda. El problema viene cuando estas personas a las que se les va a brindar soporte tienen problemas motrices que incluso pueden afectar el habla, con lo cual se explorará el uso de interfaces cerebro-computadora para personas con este tipo de condiciones.

Algunos robots que se encargan de esto es el robot “Takeshi” que es un HSR cuyo software se desarrolla en el laboratorio de Biorrobotica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (Savage, Vazquez, y cols., 2018) y el robot “Justina”, robot diseñado creado y programado en el mismo laboratorio, es un robot de servicio en desarrollo para interactuar en ambientes complejos y realizar las tareas que una persona le pueda pedir (Savage, Martell, y cols., 2018).

2.6. Trabajo relacionado

Capítulo 3

Adquisición de datos

3.1. Emotiv EPOC X

El Emotiv EPOC X Es un electroencefalógrafo diseñado realizar investigación en el cerebro humano, este permite que la investigación sea escalable y provee acceso a información de grado profesional de la información cerebral de una manera sencilla para usarse [citar manual](#), este dispositivo no es de grado médico. Tiene en total 14 sensores con dos referencias en las posiciones: AF3, AF4, F3, F4, FC5, FC6, F7, F8, T7, T8, P7, P8, O1, O2. Puede tener una resolución de 14 o 16 bits por canal en su convertidor A/D, usa almohadillas que se humectan con solución salina, incluye una unidad de medición inercial de 9 ejes, se puede conectar vía USB y Bluetooth, una carga de batería puede usarse hasta por 9 horas, la frecuencia de muestreo puede ser de 128 o 256 muestras por segundo, en la figura 3.1 se puede observar el dispositivo.

3.2. Sincronización de estímulos y adquisición de la señal

- Plantear la importancia de la sincronización entre el despliegue del estímulo y la adquisición
- Posibles fuentes de retraso: frame rate de la pantalla, latency del usb
- Jitter (desfases variables)



Figura 3.1: Emotiv EPOC X (imagen tomada de <https://www.emotiv.com/headset-extracted-compressed/>)

- Diagrama de tiempos
- Canal de triggers, cómo funciona y para qué sirve.

Capítulo 4

Tareas de detección de potenciales evocados

- 4.1. Selección de los estímulos
- 4.2. descripción del sistema de adquisición
- 4.3. Conjunto de datos

Capítulo 5

Sistema de reconocimiento de EEP P300

5.1. Detección de P300

Capítulo 6

Experimentos

- Bitácora
- Participantes
- tipo de experimento
- mencionar consentimiento informado, confidencialidad, datos abiertos.

Capítulo 7

Integración con el robot

Capítulo 8

Resultados

Capítulo 9

Discusión

9.1. Conclusiones

9.2. Trabajo a futuro

Referencias

- Bear, M. F., Connors, B. W., y P., Michael A. (2016). *Neurociencia: la exploración del cerebro*. Barcelona: Wolters Kluwer. (OCLC: 962500561)
- Carlson, N. R. (2013). *Fisiología de la conducta (11a. ed.)*. Distrito Federal: Pearson Educación. Descargado 2021-10-22, de <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4722089> (OCLC: 961453254)
- Hassanien, A. E. (Ed.). (2015). *Brain-computer interfaces: current trends and applications* (n.º 74). Cham: Springer.
- Herbert, H. J. (1958, mayo). Report of the committee on methods of clinical examination in electroencephalography: 1957. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10(2), 370–375. Descargado 2021-09-09, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013469458900531> doi: 10.1016/0013-4694(58)90053-1
- Homan, R. W. (1988, diciembre). The 10-20 Electrode System and Cerebral Location. *American Journal of EEG Technology*, 28(4), 269–279. Descargado 2021-09-09, de <https://doi.org/10.1080/00029238.1988.11080272> (Publisher: Taylor & Francis eprint: <https://doi.org/10.1080/00029238.1988.11080272>) doi: 10.1080/00029238.1988.11080272
- ISO 8373:2012(en), *Robots and robotic devices — Vocabulary*. (s.f.). Descargado 2021-09-12, de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., y Hernando Saudan, A. (2001). *Principios de neurociencia*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España. (OCLC: 48097047)
- Matamoros, M., Rascon, C., Wachsmuth, S., Alexander, A. W., Kummert, J., Hart, J., ... St-Pierre, M. (2019). RoboCup@Home Rules and Regulations. , 92.

- Paszkiel, S. (2020). *Analysis and Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interfaces* (Vol. 852). Cham: Springer International Publishing. Descargado 2021-09-07, de <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-30581-9> doi: 10.1007/978-3-030-30581-9
- Savage, J., Martell, R., Estrada, H., Cruz, J., Negrete, M., Marquez, J., ... Cruz, J. (2018). *Pumas@Home 2019 Team Description Paper*.
- Savage, J., Vazquez, E., Silva, E., Hernandez, J., Sarmiento, A., y Nakayama, A. (2018). *DSPL Pumas@Home 2019 Team Description Paper*.
- Vaughan, T., McFarland, D., Schalk, G., Sarnacki, W., Krusienski, D., Sellers, E., y Wolpaw, J. (2006, junio). The wadsworth BCI research and development program: at home with BCI. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 14(2), 229–233. (Conference Name: IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering) doi: 10.1109/TNSRE.2006.875577
- Yamamoto, T., Terada, K., Ochiai, A., Saito, F., Asahara, Y., y Murase, K. (2019, abril). Development of Human Support Robot as the research platform of a domestic mobile manipulator. *ROBOMECH Journal*, 6(1), 4. Descargado 2021-09-12, de <https://doi.org/10.1186/s40648-019-0132-3> doi: 10.1186/s40648-019-0132-3