

# Eye tracker for SSVEP-based BCIs

Dr. Omar Mendoza, Santiago Yeomans

*Departamento de Ciencias Computacionales, Tecnológico de Monterrey*

*Guadalajara, México*

omendoza83@tec.mx

A01251000@tec.mx

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se conocen múltiples enfermedades que afectan la movilidad de quien las padece. Una de las más conocidas es la esclerosis lateral amiotrófica; también conocida como ELA o la enfermedad de Hawking. La esclerosis lateral amiotrófica es una enfermedad progresiva del sistema nervioso que afecta las células nerviosas en el cerebro y la médula espinal, y causa la pérdida del control muscular. La ELA a menudo comienza con contracciones espontáneas musculares y debilidad en una extremidad o dificultad para hablar. Eventualmente, la ELA afecta el control de los músculos necesarios para moverse, hablar, comer y respirar. Hasta el día de hoy no existe cura para esta enfermedad mortal.[1] Se estima que en el mundo aproximadamente 5 de 1000 personas sufren de esclerosis lateral amiotrófica. [2] Otra enfermedad que afecta drásticamente el movimiento de quien la padece es la tetraplejía. La tetraplejía, también conocida como cuadriplejía, es una parálisis causada por una enfermedad o lesión que tiene como consecuencia la pérdida parcial o completa del uso de las cuatro extremidades y del torso. La paraplejía es similar con la diferencia de que no afecta a los brazos. La pérdida suele ser sensorial y motora, es decir, hay una falta de sensibilidad y de capacidad de control. [3]

Ya sea que estemos hablando de la esclerosis lateral amiotrófica o de la tetraplejía, al día de hoy hay millones de personas en el mundo que han perdido la movilidad y la capacidad de comunicarse; En algunos casos la pérdida del control de los músculos puede ser tan grave, que el paciente llega a controlar solamente el movimiento de sus ojos, perdiendo el movimiento en el resto del cuerpo.

Con el propósito de darles un canal de comunicación a todas aquellas personas que han perdido el habla debido a la esclerosis lateral amiotrófica, nacen los sistemas de seguimiento de ojos e interfaces cerebro computadora. El sistema de seguimiento de ojos consiste en un cámara especial que lanza rayos infrarrojos a los ojos del que está mirando la imagen sujeto de análisis. La dirección que siguen estos rayos va de la pupila del usuario al monitor que está mirando, permitiendo de esta forma calcular con precisión qué punto está mirando en la pantalla. [4] Estos sistemas de seguimiento de

ojos son sumamente precisos, pero presentan un problema importante, están lejos de ser accesibles para el público general. Un sistema de seguimiento de ojos puede llegar a costar hasta medio millón de pesos mexicanos. De acuerdo al sitio web iMotions, el precio promedio para un sistema de seguimiento de ojos está alrededor de los 17,500 dólares americanos, [5] haciéndolos prácticamente imposible de masificar. Una alternativa son las interfaces cerebro computadora basadas en estímulos visuales. De acuerdo al sitio Bitbrain una interfaz cerebro computadora “es un sistema que establece la comunicación directa entre el cerebro y un ordenador. La actividad eléctrica, producida cuando las neuronas se disparan para comunicarse entre sí, se procesa y decodifica en comandos que se envían a un dispositivo para llevar a cabo una acción deseada.” [6] Las interfaces cerebro computadora como canal de comunicación presentan 3 problemas principales:

- Generan un alto número de falsos positivos.
- Presentan errores de clasificación.
- El tiempo de respuesta es alto.

Este proyecto nace con el objetivo de dar solución a las problemáticas presentadas anteriormente para sistemas de seguimiento de ojos e interfaces cerebro computadora. Mediante el uso de una webcam común y corriente que podemos encontrar en cualquier dispositivo, se busca evaluar un sistema de seguimiento de ojos ya desarrollado. De ser satisfactorios los resultados, se integrará el sistema de seguimiento de ojos en una interfaz cerebro computadora para combinar ambos sistemas y crear un sistema híbrido que elimine la obtención de falsos positivos de una BCI, reduzca los errores de clasificación y mejore el tiempo de respuesta, y sin la necesidad de utilizar equipo profesional para el seguimiento de los ojos.

## II. MÉTODOS

El sistema que utilizaremos para evaluar y sobre el cual desarrollaremos múltiples experimentos para conocer las capacidades y limitaciones de un sistema de seguimiento de ojos, y evaluar una posible integración futura con una interfaz cerebro computadora es WebGazer.

WEBGAZER

WebGazer.js es una librería de seguimiento de ojos, que utiliza webcams comunes y corrientes para inferir la posición en la que los visitantes de una página web están mirando en tiempo real. El modelo de seguimiento de ojos contiene modelos de aprendizaje que la ayudan a auto calibrarse solamente con observar a un usuario interactuar con el sitio web y entrena un mapeo entre las características de los ojos y la posición en la pantalla. [7]

Webgazer está escrita enteramente en javascript y con unas pocas líneas de código puede ser integrada en cualquier sitio web. Webazer corre completamente en el buscador del lado del cliente, por lo que ningún tipo de información de video tiene que ser enviada a algún servidor para ser procesada, y requiere el consentimiento del usuario para poder acceder a la webcam del usuario. [7]

El proceso que realiza webgazer para determinar el punto en la pantalla que el usuario está viendo es:

#### *1. Detección de referencias faciales:*

El primer paso en el proceso de seguimiento de ojos es detectar el rostro de la persona a quien se le van a seguir los ojos. Webgazer utiliza la librería de código abierto de Google para aprendizaje automatizado, Tenserflow, [8] para encontrar el rostro del usuario de la aplicación. Una vez encontrado el rostro, se determina la posición de las referencias fáciles más comunes como la nariz, boca, ojos, cejas, etc.

#### *2. Extracción de rasgos de los ojos:*

Una vez que se encontró un rostro para seguir y se identificaron las referencias de la cara, la siguiente etapa es extraer la información de los ojos. Primero, se reescala la imagen de cada ojo a un tamaño de 6 x 10 píxeles, posteriormente se convierte el color de la imagen a la escala de grises. Finalmente se realiza un proceso de ecualización. En esta etapa lo que se busca es ajustar el nivel de luz y brillo de la imagen. El proceso de ecualización consiste en transformar la imagen para que exista el mismo número de píxeles para cada nivel de gris de la imagen. [9]

#### *3. Calibración:*

Durante esta etapa se captura una imagen de como se ven los ojos del usuario cuando está mirando cualquier punto de la pantalla. Cada imagen pasa por las etapas descritas anteriormente. Un usuario puede calibrar el modelo al momento de dar un click en cualquier posición de la ventana mientras ve fijamente ese punto, de esa manera le estamos diciendo al webgazer que la posición en la que se dio click es el punto en la pantalla que está viendo el usuario.

#### *4. Modelo de regresión:*

Una vez que tomamos la información sobre la posición de los ojos mientras observan diferentes puntos de la ventana, se la damos a un modelo de regresión ridge, que es un tipo de regresión lineal. [10] La razón de utilizar este modelo es que es muy eficiente en cantidad de muestras, en otras palabras con una poca cantidad de observaciones puede realizar muy buenas predicciones y por que resulta muy eficiente computacionalmente, permitiendo que cualquier buscador en cualquier computadora pueda correr webgazer sin necesidad mucho poder computacional.

#### *5. Predicción:*

La última etapa de webgazer es regresar las predicciones que calculó usando la regresión ridge del paso anterior.

### III. EVALUACIÓN

Durante esta etapa del proyecto se desarrollaron y llevaron a cabo diferentes tipos de experimentos en diferentes condiciones. Estos experimentos buscan conocer mejor el funcionamiento de webgazer, conocer en qué puntos falla y en qué puntos obtenemos resultados favorables. Lo que buscamos es conocer las limitaciones de la herramienta y descubrir su potencial. Las diferentes evaluaciones se realizaron con la idea de mezclar el sistema de seguimiento de ojos con una interfaz cerebro computadora, por consiguiente las evaluaciones se enfocan en los puntos débiles de las interfaces.

Al haber realizado múltiples evaluaciones y pruebas de webgazer se obtuvo un rendimiento diferente del seguimiento de ojos dependiendo de las condiciones en las que se lleva a cabo el experimento. Variables como la iluminación en la cara de la persona, la distancia de la cara de la persona a la cámara, la posición de la cara, el ángulo de la cabeza viendo la pantalla, el desplazamiento de la cabeza del usuario durante la evaluación, entre otras variables pueden llegar a impactar significativamente el rendimiento del sistema. Otros factores como la posición de la cámara, ya sea sobre la pantalla o debajo de la pantalla, o la calidad de la webcam utilizada pueden llegar a afectar el rendimiento del modelo.

Para realizar múltiples experimentos y poder contrastar los resultados de unos con otros se definieron las siguientes condiciones de evaluación. Estas condiciones fueron elegidas para simplicidad del experimento, facilitando la replicación de las evaluaciones. Llevar a cabo un experimento con condiciones diferentes a las mostradas en este reporte, puede generar resultados ligeramente diferentes a los mostrados.

Todas las evaluaciones y pruebas se realizaron utilizando una laptop con una webcam de 720p de resolución, posicionada por encima de la pantalla. Para cada evaluación las condiciones de la habitación fueron las mismas. La habitación cuenta con acceso a luz natural mediante una ventana que se ubica enfrente

al usuario. El usuario se encontraba a contraluz. La distancia de la computadora portátil fue de 40 centímetros aproximadamente. A continuación se muestra un diagrama que describe visualmente el acomodo de la evaluación.

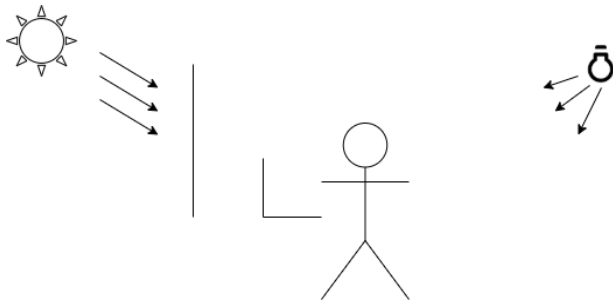


Figura 1: Acomodo de las evaluaciones.

### 1. Integración con BCI

Con el objetivo de evaluar la interfaz del sistema y su integración con una BCI. Se mostraron 4 cuadrados con números del uno al cuatro en cada una de las esquinas de la pantalla. Cada esquina simulaba una operación en una interfaz cerebro computadora. A continuación se muestra la interfaz de usuario.

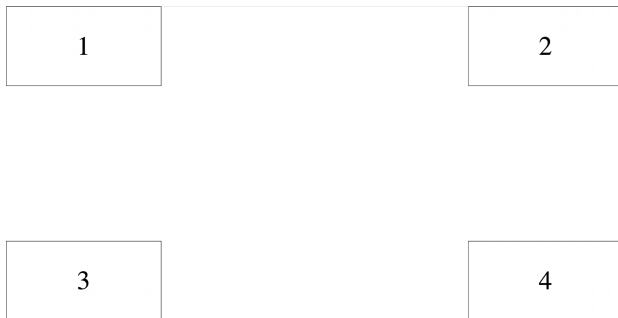


Figura 2: Evaluación para integración con BCI

Para poder realizar una operación el usuario tenía que mirar la opción deseada por 4 segundos consecutivos sin dejar de mirar la esquina deseada. Una vez cumplidos los cuatro segundos, se realiza la operación deseada. El usuario puede moverse con total libertad sobre la pantalla y seleccionar las opciones que desee la cantidad de veces que quiera.

### 2. Precisión

Esta evaluación consistía en mostrar 9 puntos de color naranja distribuidos por toda la pantalla. 4 puntos fueron posicionados en las esquinas de la pantalla, un punto en el centro del monitor y otros 4 puntos más fueron posicionados en el centro de cada lado de la ventana. Esta evaluación tiene la finalidad de darnos una mejor idea de la precisión del sistema en múltiples puntos. A continuación se muestra una captura de pantalla de la interfaz de esta evaluación.



Figura 3: Evaluación para precisión.

Para esta evaluación el usuario tuvo que fijar la vista a cada uno de los 9 puntos durante 5 segundos. En cada instante se registró la posición de la pantalla en la que el modelo predijo que miraba el usuario, posteriormente se calcula la distancia de la posición predicha al punto real para cada punto, finalmente promediamos todas las distancias calculadas para cada punto.

### 3. Tiempo de respuesta

Para esta evaluación se volvió a utilizar como base la misma interfaz de la primera evaluación (figura 2) mostrada en este documento. La evaluación consiste en que el usuario miraba cada una de las esquinas y cuando estuviera listo movería su vista lo más rápido posible a todas las otras esquinas, registrando el tiempo que tarda el sistema en moverse de un lado a otro de la pantalla.

## IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las evaluaciones fueron bastante satisfactorios, superando las expectativas que teníamos al comienzo del proyecto. A continuación se muestran los resultados para la evaluación 2 y 3.

### 1. Precisión

A continuación se muestran los resultados realizar la evaluación de precisión para cada punto.

Los resultados al observar el primer punto fueron:

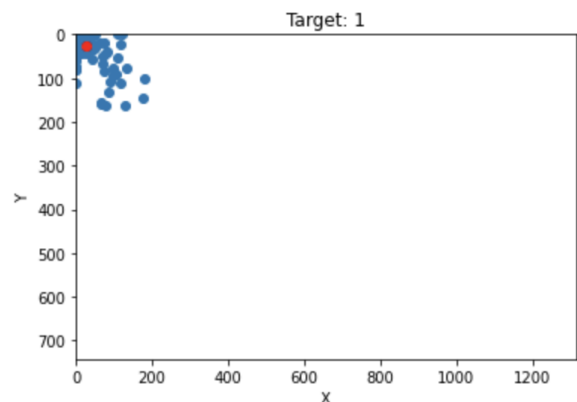


Figura 4: Resultados de precisión al punto 1.

Distancia promedio al objetivo: 143.93374436933627

Los resultados al observar el segundo punto fueron:

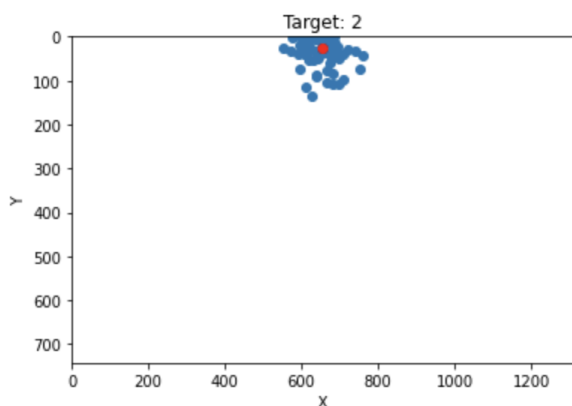


Figura 5: Resultados de precisión al punto 2.

Distancia promedio al objetivo: 48.48812954626577

Los resultados al observar el tercer punto fueron:

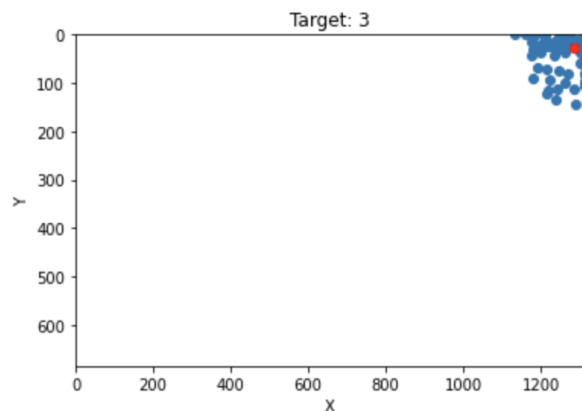


Figura 6: Resultados de precisión al punto 3.

Distancia promedio al objetivo: 66.29764884335756

Los resultados al observar el cuarto punto fueron:

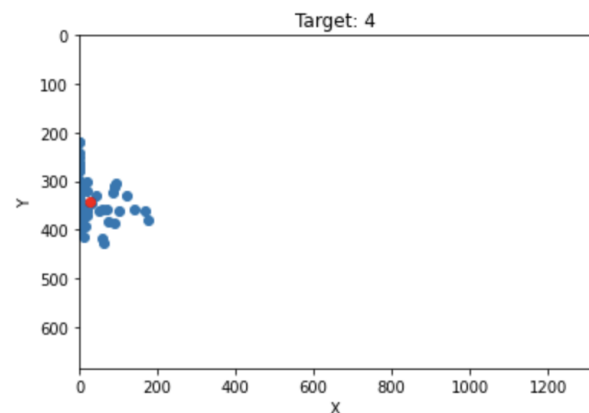


Figura 7: Resultados de precisión al punto 4.

Distancia promedio al objetivo: 57.6882748941318

Los resultados al observar el quinto punto fueron:

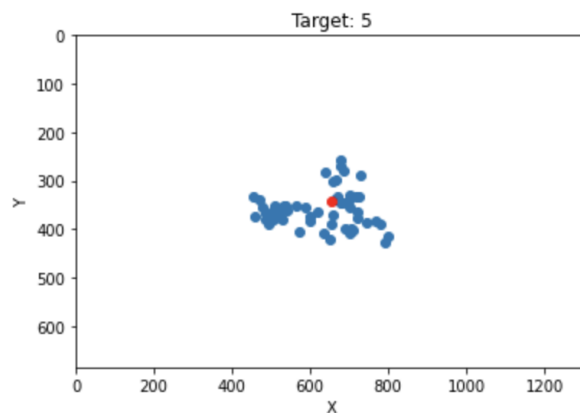


Figura 8: Resultados de precisión al punto 5.

Distancia promedio al objetivo: 100.4420091442865

Los resultados al observar el sexto punto fueron:

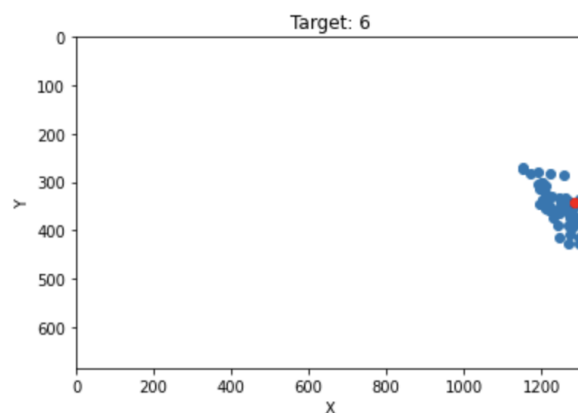


Figura 9: Resultados de precisión al punto 6.

Distancia promedio al objetivo: 63.59917595265329

Los resultados al observar el séptimo punto fueron:

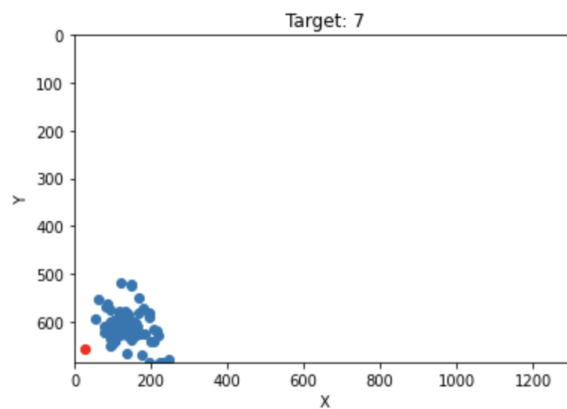


Figura 10: Resultados de precisión al punto 7.

Distancia promedio al objetivo: 131.6193922954601

Los resultados al observar el octavo punto fueron:

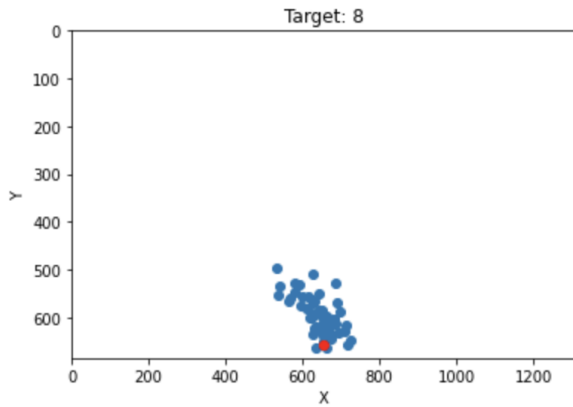


Figura 11: Resultados de precisión al punto 8.

Distancia promedio al objetivo: 77.54465773704284

Los resultados al observar el noveno punto fueron:

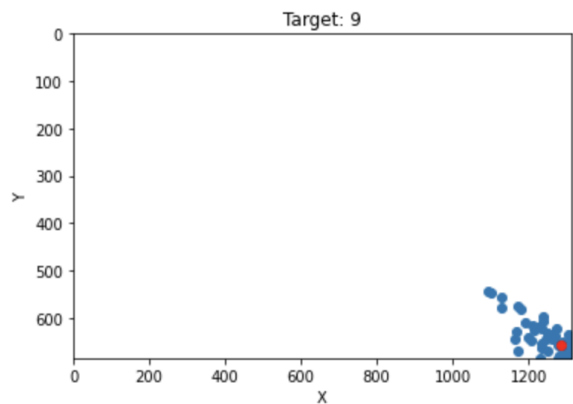


Figura 12: Resultados de precisión al punto 9.

Distancia promedio al objetivo: 61.288096593031156

### 3. Tiempo de respuesta

A continuación se muestran los resultados de la evaluación del tiempo de respuesta del sistema.

| Punto de Inicio | Punto Destino | Tiempo de respuesta (ms) |
|-----------------|---------------|--------------------------|
| 1               | 2             | 89                       |
| 1               | 3             | 92                       |
| 1               | 4             | 88                       |
| 2               | 1             | 88                       |
| 2               | 3             | 88                       |
| 2               | 4             | 89                       |
| 3               | 1             | 89                       |
| 3               | 2             | 88                       |
| 3               | 4             | 92                       |
| 4               | 1             | 88                       |
| 4               | 2             | 88                       |
| 4               | 3             | 87                       |

Tabla 1: Resultados de tiempos de respuesta.

## V. CONCLUSIONES

Al haber realizado las diferentes evaluaciones, podemos concluir que la librería webgazer para seguimiento de ojos es una gran herramienta que es una muy buena alternativa a los costosos sistemas de seguimiento de ojos de miles de dólares, que resultan muy complicados de masificar.

Con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta que webgazer tiende a ser más preciso cuando se observan puntos posicionados en la parte superior de la pantalla; esto puede estar fuertemente influenciado por la posición de la cámara.

A pesar de los buenos resultados obtenidos, webgazer es un sistemas en desarrollo y que tiene una gran área de mejora; como el funcionamiento en ambientes cambiantes. La precisión con la estima la visión del ojo es bastante buena, pero aún está muy lejos de sustituir por completo a un eye tracker profesional.

El área de dispersión es grande y eso limita las implementaciones. Webgazer no sería ideal para ser utilizado en interfaces donde se tenga muchas opciones pequeñas seguidas unas de otras, como un teclado digital, por otro lado es lo suficientemente bueno para ser utilizado en interfaces que tengan una opción en cada esquina de la pantalla.

## REFERENCIAS

- [1] Esclerosis lateral amiotrófica. (2022). [https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/amyotrophic-lateral-sclerosis/symptoms-causes/syc-20354022?utm\\_source=Google&utm\\_medium=abstract&utm\\_content=Amyotrophic-lateral-sclerosis&utm\\_campaign=Knowledge-panel](https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/amyotrophic-lateral-sclerosis/symptoms-causes/syc-20354022?utm_source=Google&utm_medium=abstract&utm_content=Amyotrophic-lateral-sclerosis&utm_campaign=Knowledge-panel). Recuperado 8 de junio de 2022, de [https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/amyotrophic-lateral-sclerosis/symptoms-causes/syc-20354022?utm\\_source=Google&utm\\_medium=abstract&utm\\_content=Amyotrophic-lateral-sclerosis&utm\\_campaign=Knowledge-panel](https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/amyotrophic-lateral-sclerosis/symptoms-causes/syc-20354022?utm_source=Google&utm_medium=abstract&utm_content=Amyotrophic-lateral-sclerosis&utm_campaign=Knowledge-panel)
- [2] Medline Plus. (s. f.). Esclerosis lateral amiotrófica (ELA). Recuperado 8 de junio de 2022, de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000688.htm#:~:text=La%20ELA%20afecta%20aproximadamente%20a, factor%20de%20riesgo%20de%20ELA.>
- [3] Sunrise Medical. (2018). Tetraplejia: causas, tratamientos y cuidados. Recuperado 8 de junio de 2022, de <https://www.sunrisemedical.es/blog/tetraplejia#:~:text=La%20tetraplejia%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida%20como, no%20afecta%20a%20los%20brazos.>
- [4] Canalles, E. (2012). ¿Qué es el “Eye Tracking” y para qué nos sirve? C2 Intelligent Solutions. Recuperado 9 de junio de 2022, de

<https://www.solucionesc2.com/que-es-el-eye-tracking-y-para-que-nos-sirve/>

- [5] Farnsworth, B. (2019). Eye Tracker Prices – An Overview of 20+ Eye Trackers. iMotions. Recuperado 9 de junio de 2022, de <https://imotions.com/blog/eye-tracker-prices/>
- [6] Bitbrain. (2022). Interfaces Cerebro-Computador. Recuperado 2022, de <https://www.bitbrain.com/es/aplicaciones/interfaces-cerebro-computador>
- [7] WebGazer.js: Democratizing Webcam Eye Tracking on the Browser. (s. f.). Brown University. Recuperado 9 de junio de 2022, de <https://webgazer.cs.brown.edu/>
- [8] Google. (s. f.). TensorFlow. TensorFlow. Recuperado 2022, de <https://www.tensorflow.org/?hl=es-419>
- [9] colaboradores de Wikipedia. (2020, 16 octubre). Ecuación del histograma. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 9 de junio de 2022, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Ecu%C3%B3n\\_del\\_histograma](https://es.wikipedia.org/wiki/Ecu%C3%B3n_del_histograma)
- [10] Wikipedia contributors. (2022, 18 mayo). Ridge regression. Wikipedia. Recuperado 9 de junio de 2022, de [https://en.wikipedia.org/wiki/Ridge\\_regression#:~:text=Ridge%20regression%20is%20a%20method,econometrics%2C%20chemistry%2C%20and%20engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/Ridge_regression#:~:text=Ridge%20regression%20is%20a%20method,econometrics%2C%20chemistry%2C%20and%20engineering).