



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

**Aplicación de tecnologías basadas en
inteligencia artificial para tratamiento
de la espasticidad por causas
neurológicas**

UNIVERSIDAD NEBRIJA GRADO EN
INGENIERÍA INFORMÁTICA
MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO

José María Fernández Gómez

15/10/2024



UNIVERSIDAD
NEBRIJA

**Aplicación de tecnologías basadas en
inteligencia artificial para tratamiento de
la espasticidad por causas neurológicas**

UNIVERSIDAD NEBRIJA GRADO EN

Ingeniería Informática

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO

José María Fernández Gómez

15/10/2024

Nieves Cubo Mateo

Don/Dña. José María Fernández Gómez autoriza a que el presente trabajo se guarde y custodie en los repositorios de la Universidad Nebrija y además SI autoriza a su disposición en abierto.

Dedicatoria:

Quisiera dedicar este trabajo a todos los profesionales, estudiantes, terapeutas y demás personas que me han acompañado en mi camino de recuperación, sin ellos nada de esto hubiera sido posible, desde el día 4 de marzo de 2023, hasta la fecha presente.

Personal del Hospital Clínico San Carlos:

- DRA. Sara de Miguel Especialista en medicina intensiva en Hospital Clínico San Carlos
- Personal de la UCI de politrauma del Hospital Clínico San Carlos en especial Lucía y David
- NRCA. Rebeca Perez Alfayate
- Alejandro Casanova Lozano (Y su estudiantes en prácticas Ines)
- Personal de enfermería y celadores del hospital clínico Hospital Clínico San Carlos en especial Lucía

Personal del Hospital Fundación San José

- Fisioterapeuta Noemí Cuadrado Hospital Fundación San José
- Adrián Pericacho Albarrán Terapeuta Ocupacional Hospital Fundación San José
- DR Carlos Veliz Hospital Fundación San José

Personal del CEADAC(Centro Estatal de Atención al Daño Adquirido Cerebral)

- DRA Susana Pajares
- NPsIC Amor Bize López
- Gema María Dávila Terapeuta Ocupacional CEADAC
- Miguel Moreno Mateos Terapeuta Ocupacional CEADAC
- Sheila Albarrán García Terapeuta Ocupacional CEADAC
- Puerto Méndez Timón Fisioterapeuta CEADAC
- Eduardo Rueda Medina Fisioterapeuta CEADAC
- Juan Manuel Barroso Timón Fisioterapeuta CEADAC
- Mónica Martínez Terapeuta Ocupacional CEADAC
- Personal de enfermería CEADAC
- DR. Carlos González Alted
- Marta Fernández Timón Fisioterapeuta CEADAC

Y en particular, el agradecimiento más profundo y sincero es para los miembros de mi familia que han sido los acompañantes a tiempo completo de todo este proceso, y sin los cuales no habría sido posible nada de esto

Índice

Dedicatoria:.....	4
Índice	5
Glosario de términos.....	7
Índice de ilustraciones	8
Índice de tablas.....	9
Resumen	11
Abstract	11
1. Introducción	13

Comentado [NCM1]: Falta portada, te pongo sugerencia

1.1.	Motivación	13
1.2.	Antecedentes	13
1.2.1.	Estado del arte.....	14
1.2.2.	Necesidad detectada	14
1.3.	Objetivos	15
1.3.1.	Objetivos específicos	15
1.4.	Requisitos técnicos.....	15
2.	Marco teórico	16
2.1.	Daño cerebral adquirido	16
2.2.	Espasticidad	16
2.3.	Electromiografía	16
2.4.	Modelo de Inteligencia Artificial.....	20
2.5.	20
3.	Metodología	20
4.	Proyecto	20
4.1.	Resumen de contribuciones y productos desarrollados	20
4.2.	Planificación temporal	21
4.3.	Recursos empleados	22
4.4.	Trabajo desarrollado.....	22
5.	Resultados y discusión	23
6.	Conclusiones	23
6.1.	Valoración personal	24
6.2.	Líneas futuras.....	24
	Bibliografía.....	25
	ANEXOS.....	32

Glosario de términos

- **DCA: Daño Cerebral Adquirido:** El Daño Cerebral Adquirido es una lesión repentina en el cerebro. Se caracteriza por su aparición brusca y por el conjunto variado de secuelas que presenta según el área del cerebro lesionada y la gravedad del daño. Estas secuelas provocan anomalías en la percepción y en la comunicación, así como alteraciones físicas, cognitivas y emocionales. (Federación Española de Daño Cerebral, 2024)
- **EMG: Electromiografía:** La electromiografía (EMG) y los estudios de conducción nerviosa son pruebas que verifican qué tan bien están funcionando los músculos y los nervios que los controlan. Estos nervios controlan los músculos enviando señales eléctricas para que se muevan. A medida que los músculos reaccionan contrayéndose, emiten señales eléctricas, que luego se pueden medir. (clevelandclinic, 2023)
- **IA/AI:** La inteligencia artificial (IA) es un conjunto de tecnologías que permiten que las computadoras realicen una variedad de funciones avanzadas, incluida la capacidad de ver, comprender y traducir lenguaje hablado y escrito, analizar datos, hacer recomendaciones y mucho más. (Google Cloud, s.f.)
- **ACV:Accidente Cerebro-Vascular:** Un accidente cerebrovascular sucede cuando el flujo de sangre a una parte del cerebro se detiene. Algunas veces, se denomina "ataque cerebral". (MedilnePlus, 2023)
- **TCE: Traumatismo Craneo-encefálico:** Daño cerebral generalmente producido por un impacto directo o por un mecanismo de movimientos de aceleración o desaceleración, que conlleva una disfunción cerebral que no siempre es visible en las pruebas de imagen. Es la causa más frecuente de daño cerebral en las personas jóvenes y mayores de nuestra sociedad.
- **RMS: "Root Mean Square": (Root Mean Square - media de la raíz cuadrada)** El valor medio efectivo de una forma de onda. Se utiliza como una medida del nivel general del sonido en lugar de medir sólo por los picos. (Universiad Complutense de Marid, s.f.)
- **ECG: Electrocardiograma:** "Un electrocardiograma (ECG) es un procedimiento simple, indoloro y rápido que registra la actividad eléctrica de su corazón. Cada vez que el corazón late, una señal eléctrica circula a través de él. La señal activa las cuatro cámaras de su corazón para que se contraigan (aprieten) al ritmo correcto para que su corazón pueda bombear sangre a su cuerpo." (MedilnePlus, s.f.)

Índice de ilustraciones

Comentado [NCM2]: Los codigos y las tablas deben tener su propio índice

Ilustración 1: Electromiografía de un reflejo espástico en estiramiento..... 16

Ilustración 2: Ejemplode toma de electromiografía..... 16

Índice de tablas

No table of figures entries found.

Resumen

En el presente informe se pretende dejar constancia y explicar, desde un punto de vista de la ingeniería, cómo se podrían aplicar diversas tecnologías, en particular, basadas en inteligencia artificial, en pacientes que sufrieran de síntomas de espasticidad por causas neuromusculares tras un daño cerebral adquirido, el proyecto podría ser ampliable a pacientes con algún trastorno neurológico distinto a un daño cerebral adquirido(DCA) que provocara también espasticidad en ciertos grupos musculares. Lo previamente mencionado se pretende enfocar desde el análisis de datos de señales provenientes de electromiografías para su posterior modelación y posible tratado.

Abstract

In this report, the aim is to document and explain, from an engineering perspective, how various technologies particularly those based on artificial intelligence could be applied to patients suffering from symptoms of spasticity due to neuromuscular causes following acquired brain injury. This project could potentially be extended to patients with neurological disorders other than acquired brain injury (ABI) that also result in spasticity in certain muscle groups.

The focus will be on the analysis of electromyographic signal data for subsequent modeling and processing.

1. Introducción

[En este primer capítulo se deben introducir los antecedentes, las bases conceptuales y las justificaciones del proyecto. Algunas de las cuestiones a tratar en esta sección son las siguientes:

- ¿Cuál es la situación actual del tema a tratar?
- ¿Por qué es el tema que se trata en este estudio es relevante?
- ¿Cuáles son las actuales limitaciones?
- ¿Qué aporta este estudio con relación a las limitaciones identificadas?
- ¿Cuál es la contribución principal del trabajo?
- ¿Cuál ha sido el producto final obtenido?]

1.1. Motivación

La motivación principal por la que este ha sido el tema elegido radica en la situación en la que el estudiante (José María Fernández) se encuentra. El estudiante se sufrió un DCA en el mes de marzo del pasado año 2023, en su proceso de rehabilitación, pudo empaparse de conocimientos relacionados con el ámbito de la neurología y la medicina de rehabilitación, e inspirado por los avances producidos en estos campos y también en los campos de la inteligencia artificial, se decidió tratar de unificar ambos y tratar de reducir un complejo conjunto de patologías, en unos síntomas que pudieran cuantificables, extraíbles, medibles y posteriormente tratados con tecnologías basadas en inteligencia artificial.

1.2. Antecedentes

La espasticidad es una condición médica o trastorno motor que se caracteriza por una hipertonía muscular, en los grupos musculares afectados, lo cual implica una contracción de dichos músculos permanente y en muchas ocasiones errática y espontánea. Esto es observable cuando en el estiramiento de los músculos afectados, se aprecia un aumento en la rigidez y la resistencia de este a lo largo de dicho estiramiento. Esta condición médica dificulta en muchas ocasiones el movimiento, y el control de este de manera normal lo cual implica unas limitaciones notables en la autonomía y calidad de vida de las personas afectadas. (P. García-Ruiz Espiga, 2018)

1.2.1. Estado del arte

La espasticidad, hoy en día, se trata de varias formas, en función de su gravedad, origen, músculos afectados y otras muchas variables que son específicas de cada caso.

Si bien la gran mayoría de casos, en las etapas tempranas de la rehabilitación, requieren de terapia física y manual por parte de profesionales cualificados, fisioterapeutas, médicos rehabilitadores o terapeutas ocupacionales, las terapias basadas en tecnología están comenzando a implantarse ahora.

Como testimonio personal, podría añadir que, en el Centro estatal de Atención al daño adquirido cerebral, del cual tuve la oportunidad de ser usuario, se emplean nuevas tecnologías basadas en la informática o en tecnologías electrónicas como apoyo a un tratamiento personalizado e individualizado siempre basado en la supervisión y apoyo de un profesional. Y, con ánimo de poder mejorar estos tratamientos, e comenzó a idear maneras en las que las nuevas tecnologías podrían aplicarse a un problema de salud que podría beneficiarse mucho de innovaciones y avances. La gran mayoría de tratamientos observados, experimentados y que tuve la oportunidad de consultar allí con los médicos se basan en terapia farmacológica, a través de medicamentos como el baclofeno, dantroleno o la tizanidina (M.P. Sáinz-Pelayo, 2020), también se puede tratar a través de la inyección de toxina botulínica de tipo A (Documento de Consenso Mitos y evidencias en el empleo de la toxina botulínica: neurofarmacología y distonías P. García-Ruiz Espiga, s.f.)

1.2.2. Necesidad detectada

El daño cerebral adquirido es una lesión que afecta a más de 435.400 personas en España (fedace, s.f.)

Las secuelas a nivel tanto físico como neuropsicológico pueden ser permanentes y tremendamente incapacitantes. Hoy en día, las terapias más efectivas siguen siendo de origen manual y basado en terapeutas, que, si bien ofrece resultados positivos en muchos de los casos, nunca suele darse una recuperación totalmente completa. Por otro lado, el punto donde mayores déficits suele haber, una vez el paciente ya entra en la fase crónica, suele ser en el ámbito de la rehabilitación física, esto a su vez viene dado por los trastornos de espasticidad muscular, que si bien existen tratamientos a largo plazo para ellos, no implican una solución definitiva ni perfecta.

1.3. Objetivos

- Se pretende encontrar relaciones entre señales ampliamente conocidas y tratables con señales electromiográficas.
- Se pretende encontrar valores característicos de señales electromiográficas espásticas.
- Se pretenden introducir una primera versión de un modelo de inteligencia artificial que sea capaz de analizar señales

1.3.1. Objetivos específicos

- Detectar valores característicos de señales electromiográficas provenientes de pacientes espasticidad
- Creación de un modelo de Inteligencia artificial que sea capaz de distinguir entre señales electromiográficas de personas sanas de los mismos valores provenientes de pacientes de espasticidad.

1.4. Requisitos técnicos

Para la realización de este proyecto se requiere una gran cantidad de datos de pacientes tanto sanos como con patologías asociadas al daño cerebral o enfermedades neurodegenerativas, estos datos deben haber sido extraídos de ambos grupos para la comparación y el análisis de estos por herramientas basadas en Inteligencia Artificial. También se necesita un sistema físico que sea capaz de soportar las altas cargas computacionales que requiere un modelaje y entrenamiento de Inteligencia Artificial.

2. Marco teórico

2.1. Daño cerebral adquirido

El daño cerebral adquirido es una lesión del cerebro que se origina de manera repentina, brusca y/o espontánea como la federación española de daño cerebral adquirido lo define, puede y suele dejar en la persona afectada una serie de secuelas variadas dependiendo de la gravedad y área del cerebro que se ha visto afectada. Entre este tipo de secuelas, destacan tres grandes grupos, las afecciones a nivel cognitivo, motor y sensorial. (fedace, s.f.).

2.2. Espasticidad

Se refiere a músculos tensos y rígidos. También se puede llamar tensión inusual o aumento del tono muscular. Los reflejos (por ejemplo, un reflejo rotuliano) son más fuertes o exagerados. La afección puede interferir con la actividad de caminar, el movimiento, el habla y muchas otras actividades de la vida cotidiana. (medlineplus, s.f.)

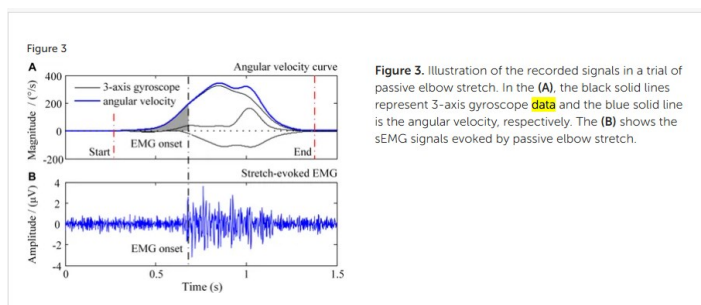


Figure 3. Illustration of the recorded signals in a trial of passive elbow stretch. In the (A), the black solid lines represent 3-axis gyroscope data and the blue solid line is the angular velocity, respectively. The (B) shows the sEMG signals evoked by passive elbow stretch.

Ilustración 1: Electromiografía de un reflejo espástico en estiramiento

2.3. Electromiografía

La electromiografía (EMG) y los estudios de conducción nerviosa son pruebas que verifican qué tan bien están funcionando los músculos y los nervios que los controlan. Estos nervios controlan los músculos enviando señales eléctricas para que se muevan. A medida que los músculos reaccionan contrayéndose, emiten señales eléctricas, que luego se pueden medir. (medlineplus, s.f.)

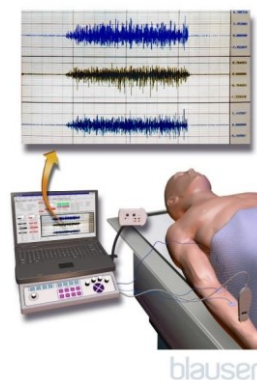


Ilustración 2: Ejemplo de toma de electromiografía

2.4. Filtrado de señales

2.4.1. Señal

“Una función (t, x, \dots) que lleva información acerca del proceso físico o matemático al que

“Variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información” (*Real Academia Española* ©, 2024)

En el caso que concierne a este proyecto, se define señal como el conjunto de valores relacionados sostenidos en el tiempo medible y que transmiten algún tipo de información

2.4.2. Señal electromagnética

“El movimiento ondulatorio consiste en la propagación de una propiedad física o una perturbación (variación de alguna magnitud física) descrita por un cierto campo, a través de un medio. El campo que describe la propiedad física puede ser: Un campo electromagnético (caso de ondas electromagnéticas).

“El movimiento ondulatorio consiste en la propagación de una propiedad física o una perturbación (variación de alguna magnitud física) descrita por un cierto campo, a través de un medio.”
(Universidad de Córdoba)

En el caso que concierne a este proyecto se define señal electromagnética como una propagación de una perturbación en un campo electromagnético.

2.4.3. Señal electromiográfica

La electromiografía como se ha explicado previamente es un estudio cuantitativo de la respuesta eléctrica de un músculo, es eficaz a la hora de evaluar patologías tanto nerviosas como musculares.

Este tipo de prueba es capaz de extraer el estado de los músculos y los nervios que controlan dichos músculos. Al ser una señal de naturaleza eléctrica, entraría dentro del grupo mencionado previamente.

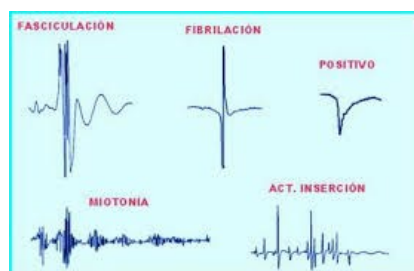
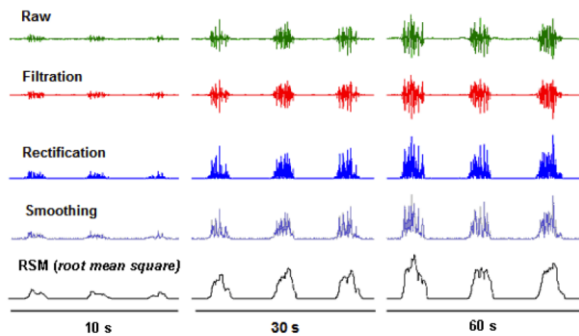


Ilustración 3: Ejemplo de patologías diagnosticadas por E.M.G.

2.4.4. Ejemplos de electromiografías



(Contreras, 2014)

En esta imagen observamos el tratamiento de señales electromiográficas. En la primera señal, se puede observar los datos extraídos sin tratar. Se puede apreciar cómo, aún siendo extraídos de un individuo sano, son señales con una alta variación y unos rangos de frecuencias poco estables, lo cual es de esperar teniendo en cuenta que son señales naturales, no generadas artificialmente.

Lo que es interesante de esta imagen, y se tendrá en cuenta para la realización del desarrollo principal es cómo, a través de la operación estadística de la media de la raíz cuadrada, RMS por sus siglas en inglés. A partir de ahora se hará referencia a este valor estadístico con sus siglas. Este valor es de gran utilidad en el análisis de señales ya que mide el valor efectivo de la onda, en lugar de medir los picos, dando como resultado una señal más tratable y manejable, respetando los valores originales.

2.4.5. Señal electrocardiográfica

Una señal electrocardiográfica es el resultado medido de una prueba de electrocardiograma (ECG)

Es una prueba que registra la actividad del corazón a nivel de actividad eléctrica, lo que, en casos normales, inicia una contracción muscular. En el caso del corazón dando lugar a una contracción del miocardio. A través de esta prueba, se puede analizar la frecuencia cardíaca, la fuerza y sincronización de las señales eléctricas y la constancia de estas. Esta prueba es muy útil en este contexto ya que gracias a ella se podría predecir, observar y estudiar un potencial riesgo de arritmias, o previamente mencionados, errores en la sincronización y/o frecuencia de los latidos.

(Medlineplus, s.f.)

2.4.6. Relación

La relación entre todas las familias de señales previamente mencionadas se hace evidente cuando entendemos que tanto las señales electromiográficas como las señales electrocardiográficas son un tipo de señal electromagnética, se ha decidido explicar de manera separada para mayor claridad y como antecedente para poder establecer relaciones a la hora de su posterior tratamiento y filtrado.

En este desarrollo se ha tratado de establecer un símil entre señales que, de manera cotidiana y regular son filtradas, moduladas y, en general tratadas, con un grado de conocimiento y éxito altamente elevado como podrían ser señales de radio, móviles y audio, entre otras.

2.5. Modelo de Inteligencia Artificial

Un modelo de IA es un programa que ha sido entrenado en un conjunto de datos para reconocer ciertos patrones o tomar ciertas decisiones sin más intervención humana. Los modelos de inteligencia artificial aplican distintos algoritmos a las entradas de datos relevantes para lograr las tareas, u outputs, para los que han sido programados. (IBM, s.f.)

2.6. Filtrado de señales por IA

3. Metodología

[En este capítulo se debe indicar la metodología implementada. Es indispensable explicar y justificar el por qué se ha aplicado dicha metodología.

En adición, se recomienda hacer uso de una representación gráfica (diagrama, por ejemplo) que estructure de manera visual las diferentes fases y subfases que presenta la metodología implementada, lo cual permitirá estructurar las diferentes secciones del presente capítulo.]

4. Proyecto

[Este capítulo hace referencia al proyecto implementado.

4.1. Resumen de contribuciones y productos desarrollados

- Establecimiento de relaciones entre distintas señales eléctricas fisiológicas.
- Representación de dichas señales
- Modelo de datos
- Generación de señales similares

4.2. Planificación temporal

2024

Tarea	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Lluvia de ideas								
Consultas Iniciales								
Primeros pasos De código								
Código inicial VHDL								
Cambio de enfoque a Inteligencia Artificial								
Obtención de datos								
Análisis de los datos								
Primeras líneas de código y formateo de datos								

2025

Tarea	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Creación del primer modelo							
Entrenamiento del modelo							
Primeras predicciones							
Obtención de resultados							
Ajustes finales							

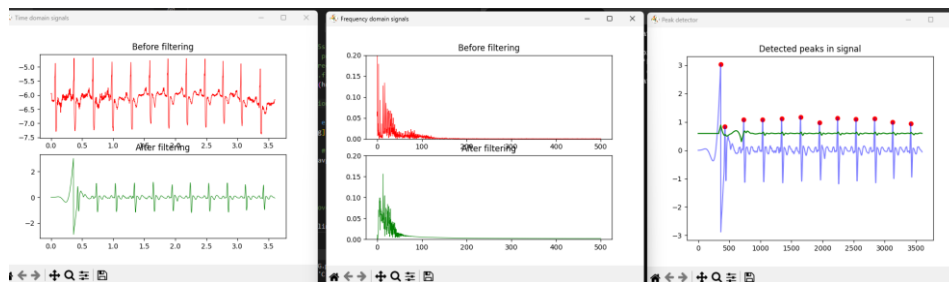
4.3. Recursos empleados

[Se debe incluir todos aquellos recursos que han sido requeridos para la correcta implementación del trabajo. Por ejemplo, equipos, programas, periféricos, utilización de software libre, versión empleada, precio de las licencias, etc.

4.4. Trabajo desarrollado

Como primer punto se decidió establecer relaciones entre señales ya conocidas y que son ampliamente tratadas y filtradas de manera cotidiana, como lo podían ser señales electromagnéticas o de radio para poder realizar operativas similares sobre señales electromusculares. Se hallaron varios tipos de tratamiento de señales ruidosas, y se pudo encontrar un proyecto que conseguía filtrar señales de electrocardiogramas, que, pese a no ser una señal idéntica a una electromiográfica, y no representan magnitudes idénticas, si que están estrechamente relacionadas, al registrar señales eléctricas que tienen un impacto directo sobre un músculo o grupo muscular.

En la siguiente imagen se puede observar el resultado del análisis de dichas señales electrocardiográficas y como, con el análisis de datos es capaz de filtrar y detectar picos. Esto es tremendamente útil para el proyecto a desarrollar ya que al detectar picos en una señal electromiográfica ruidosa.



Este proyecto ha sido extraído de: <https://github.com/tejas97/ECG-Signal-Processing>

Creado por: Tejas Arlimatti

Modificado por José María Fernández para su aplicación en EMGs

Se deberá incluir la valoración económica cuando corresponda.

5. Resultados y discusión

[Se deben presentar los resultados obtenidos. Los resultados y su correspondiente análisis se deben presentar en base a las diferentes fases indicadas en el capítulo anterior. Acto seguido, se debe discutir los resultados obtenidos en el contexto del proyecto. Es decir, ¿se han alcanzado los objetivos definidos para este trabajo? ¿Se han resuelto las cuestiones planteadas al inicio del presente trabajo? ¿Se han cubierto las necesidades identificadas que se deseaban tratar en el estudio?]

6. Conclusiones

[Este capítulo debe incluir una descripción detallada de las conclusiones del trabajo y una reflexión crítica del alcance de los objetivos del proyecto.]

6.1. Valoración personal

[En esta sección se debe incluir una valoración personal del trabajo realizado.]

6.2. Líneas futuras

[Por último, se deben incluir aquellos aspectos pendientes a tratar en el proyecto que no han podido aplicarse en esta iteración.]

Bibliografía

- (RSNA), R. S., & (ACR), A. C. (s.f.). *Magnetoencefalografía*. Recuperado el 8 de enero de 2023, de Radiologyinfo.org: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/meg>
- Adesanya, I. (2021). *UNet architecture breakdown*. Recuperado el 12 de abril de 2023, de Kaggle.com: <https://www.kaggle.com/code/prvnkmr/unet-architecture-breakdown>
- Alberca, A. S. (2022). *La librería Numpy*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Aprende con Alf: <https://aprendeconalf.es/docencia/python/manual/numpy/#:~:text=NumPy%20es%20una%20librer%C3%ADa%20de,un%20gran%20volumen%20de%20datos>.
- Alzheimers. (s.f.). *¿Qué es la demencia frontotemporal?* Recuperado el 21 de agosto de 2023, de Alzheimers.gov: <https://www.alzheimers.gov/es/alzheimer-demencias/demencia-frontotemporal>
- Brain basics: The life and death of a neuron*. (20 de marzo de 2023). Recuperado el 22 de marzo de 2023, de National Institute of Neurological Disorders and Stroke: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/public-education/brain-basics/brain-basics-life-and-death-neuron>
- Cantabria, u. V. (s.f.). *unican*. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/3004/course/section/2887/Tema1.pdf>
- Center Director. (19 de marzo de 2015). *Brain architecture*. Recuperado el 20 de marzo de 2023, de Center on the Developing Child at Harvard University: <https://developingchild.harvard.edu/science/key-concepts/brain-architecture/>
- Cireşan, D. C., Giusti, A., Gambardella, L. M., & Schmidhuber, J. (s.f). Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images. *Neurips.cc*. Recuperado el 17 de febrero de 2023, de https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2012/file/459a4ddcb586f24efd9395aa7662bc7c-Paper.pdf
- clevelandclinic. (2023, 10 2). *clevelandclinic*. Retrieved from <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/4825-emg-electromyography>
- Courville, I. G. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. Recuperado el 27 de agosto de 2023, de <http://www.deeplearningbook.org>
- Cvat.ai. (s.f.). *Documentación*. Recuperado el 18 de julio de 2023, de CVAT.AI: <https://opencv.github.io/cvat/docs/>

Data Science Team. (2020). *Interpretación de su modelo de aprendizaje profundo por SHAP — Aprendizaje automático* —. Recuperado el 22 de agosto de 2023, de DATA SCIENCE: <https://datascience.eu/es/aprendizaje-automatico/interpretacion-de-su-modelo-de-aprendizaje-profundo-por-shap/#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20SHAP%3F,ayuda%20de%20los%20valores%20Shapely.>

Data Science Team. (2021). *Función de activación Relu — Aprendizaje automático* —. Recuperado el 20 de agosto de 2023, de DATA SCIENCE: <https://datascience.eu/es/aprendizaje-automatico/funcion-de-activacion-relu/>

DataScientest. (2021). *Convolutional Neural Network : definición y funcionamiento*. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de Formation Data Science | DataScientest.com: <https://datascientest.com/es/convolutional-neural-network-es#:~:text=El%20Max%2DPooling%20es%20un,reduciendo%20su%20tama%C3%B1o.>

datascientest. (2022). *Scikit-Learn : Descubre la biblioteca de Python dedicada al Machine Learning*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Formation Data Science | DataScientest.com: <https://datascientest.com/es/scikit-learn-decubre-la-biblioteca-python#:~:text=Es%20una%20biblioteca%20de%20Python,una%20API%20propia%20y%20estandarizada.>

DataScientest. (2022). *U-NET: todo lo que tienes que saber sobre la red neuronal de Computer Vision*. Recuperado el 10 de julio de 2023, de Formation Data Science | DataScientest.com: <https://datascientest.com/es/u-net-lo-que-tienes-que-saber>

DataScientest. (2023). *Matplotlib: todo lo que tienes que saber sobre la librería Python de Dataviz*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Formation Data Science | DataScientest.com: <https://datascientest.com/es/todo-sobre-matplotlib#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20PyPlot%3F,los%20ejes%20de%20un%20gr%C3%A1fico.>

Del Ser Lorente, J. (2019). *Explicabilidad e inteligencia artificial*. Recuperado el 22 de agosto de 2023, de TecNALIA: <https://www.tecnalia.com/blog/explicabilidad-inteligencia-artificial>

Documento de Consenso Mitos y evidencias en el empleo de la toxina botulínica: neurofarmacología y distonías P. García-Ruiz Espiga, P. S.-C.-C.-O.-E.-C. (s.f.). *Neurología*. Obtenido de <https://neurologia.com/articulo/2017110>

El movimiento ondulatorio consiste en la propagación de una propiedad física o. (s.f.). Obtenido de https://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf

fedace. (s.f.). *Daño Cerebral Adquirido*. Obtenido de <https://fedace.org/dano-cerebral>

fedace. (s.f.). *El Daño Cerebral Adquirido en cifras*. Obtenido de https://fedace.org/cifras_dano_cerebral#:~:text=De%20acuerdo%20con%20datos%20de,personas%20con%20Da%C3%B1o%20Cerebral%20Adquirido.

Federación Española de Daño Cerebral. (12 de 11 de 2024). *Daño Cerebral Adquirido*. Obtenido de https://fedace.org/index.php?V_dir=MSC&V_mod=showart&cmd=print&id=163.

Google Cloud. (s.f.). *¿Qué es la inteligencia artificial o IA?* Obtenido de <https://cloud.google.com/learn/what-is-artificial-intelligence?hl=es-419>

IBM. (s.f.). *¿Qué es un modelo de IA? | IBM*. Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/ai-model#:~:text=Un%20modelo%20de%20IA%20es,decisiones%20sin%20m%C3%A1s%20intervenci%C3%B3n%20humana>.

IBM. (s.f.). *¿Qué son las redes neuronales convolucionales?* Recuperado el 21 de agosto de 2023, de [ibm.com](https://www.ibm.com/es-es/topics/convolutional-neural-networks): <https://www.ibm.com/es-es/topics/convolutional-neural-networks>

ImageJ. (2014). *Introduction, Fiji/Image*. Recuperado el 8 de enero de 2023, de [Imagej.net](https://imagej.net/learn/): <https://imagej.net/learn/>

Junquera, R. (s.f.). *Dendrita de la neurona*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de [fisioterapia-online](https://www.fisioterapia-online.com/glosario/dendrita-de-la-neurona): <https://www.fisioterapia-online.com/glosario/dendrita-de-la-neurona>

KeepCoding. (2022). *¿Qué es el clustering o agrupamiento en machine learning?* Recuperado el 21 de agosto de 2023, de <https://keepcoding.io/>: <https://keepcoding.io/blog/que-es-clustering-o-agrupamiento#:~:text=El%20clustering%20o%20agrupamiento%20en%20machine%20learning%20es%20una%20t%C3%A9cnica,CDs%20que%20tienes%20que%20clasificar>.

Kipuna. (2023). *Detector de bordes Canny con Python y OpenCV*. Recuperado el 21 de agosto de 2023, de [Kipuna Ec](https://kipunaec.com/detector-de-bordes-canny-con-python-y-opencv/): <https://kipunaec.com/detector-de-bordes-canny-con-python-y-opencv/>

M.P. Sáinz-Pelayo, S. A.-P. (16 de 6 de 2020). *Neurología*. Obtenido de <https://neurologia.com/articulo/2019474>

Martins, J. (2022). *Diagrama de Gantt: qué es y cómo crear uno con ejemplos*. Recuperado el 28 de agosto de 2023, de [Asana](https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics): <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>

MedlinePlus. (29 de 4 de 2023). Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000726.htm>

MedlinePlus. (s.f.). *Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)*. Recuperado el 22 de agosto de 2023, de [MedlinePlus](https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000726.htm):

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000688.htm#:~:text=La%20esclerosis%20later al%20amiotr%C3%B3fica%20o,movimiento%20de%20los%20m%C3%BAsculos%20volunt arios>.

medlineplus. (s.f.). *lectromiografia y estudios de conduccion nerviosa*. Obtenido de [https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/#:~:text=La%20electromiograf%C3%ADa%20\(EMG\)%20y%20los%20estudios%20de%20conducci%C3%B3n%20nerviosa%20son,el%C3%A9ctricas%20para%20que%20s e%20muevan](https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electromiografia-y-estudios-de-conduccion-nerviosa/#:~:text=La%20electromiograf%C3%ADa%20(EMG)%20y%20los%20estudios%20de%20conducci%C3%B3n%20nerviosa%20son,el%C3%A9ctricas%20para%20que%20s e%20muevan).

medlineplus. (s.f.). *medlineplus*. Obtenido de <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003297.htm>

miro.com. (s.f.). *Creador de diagramas de Gantt online*. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de miro.com: <https://miro.com/es/planificacion-estrategica/diagrama-de-gantt/>

Mskcc. (s.f.). *Imagen por resonancia magnética funcional (fMRI)*. Recuperado el 21 de enero de 2023, de Memorial Sloan Kettering Cancer Center: <https://www.mskcc.org/es/cancer-care/patient-education/functional-magnetic-resonance-imaging-fmri>

NeuroPoly. (s.f.). *software — NeuroPoly documentation*. Recuperado el 21 de enero de 2023, de Polymtl.ca: <http://neuro.polymtl.ca/software.html>

Oxford Instruments. (s.f.). *Neuroscience research - microscopy & imaging solutions - Imaris*. Recuperado el 21 de enero de 2023, de Oxford Instruments: <https://imaris.oxinst.com/neuroscience>

P. García-Ruiz Espiga, P. S.-C.-C.-O.-E.-C.-G.-A.-R.-P.-T. (1 de 3 de 2018). *neurologia*. Obtenido de <https://neurologiaclinica.es/enfermedades-trastornos-neurológicos/espasticidad/>

PyPI. (s.f.). *imageio*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de PyPI: <https://pypi.org/project/imageio/>

Rada, L., Erdil, E., OzgurArgunsah, A., Unay, D., & Cetin, M. (2014). Automatic dendritic spine detection using multiscale dot enhancement filters and SIFT features. *IEEE*, 5. Recuperado el 17 de febrero de 2023

Rada, L., Kilic, B., Erdil, E., Ramiro-Cortés, Y., Israely, I., Unay, D., . . . Argunsah, A. Ö. (2018). Tracking-assisted detection of dendritic spines in time-lapse microscopic images. *Neuroscience*, 189-205. Recuperado el 18 de feberero de 2023

Raida, V. S. (febrero de 2018). *Las espinas dendríticas, su función y algunas alteraciones*. Recuperado el 13 de marzo de 2023, de SciELO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000100046

- Real Academia Española ©. (20 de 9 de 2024). *Diccionario de la real academia de la lengua española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/se%C3%B1al>
- Residuales, B. A. (2020). *¿Qué es microscopio de fluorescencia?* Recuperado el 22 de agosto de 2023, de Bioindicación Aguas Residuales: <https://www.bioindicacion.com/blog/que-es-microscopio-fluorescencia/>
- Rodrigo, J. A. (s.f.). *Máquinas de Vector Soporte (Support Vector Machines, SVMs)*. Recuperado el 21 de agosto de 2023, de Cienciadedatos.net: https://cienciadedatos.net/documentos/34_maquinas_de_vector_soporte_support_vector_machines
- Rongjian Li*, T. Z. (2017). *Deep Learning Segmentation of Optical*. IEEE. Recuperado el 18 de febrero de 2023, de <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10057753>
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*. Recuperado el 2 de agosto de 2023, de arXiv: <http://arxiv.org/abs/1505.04597https://arxiv.org/abs/1505.04597>
- Ruiz, G., Muñoz Pérez, J. A., Bernal, G., & Rubio, L. (s.f.). *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. Recuperado el 21 de agosto de 2023, de Redalyc.org: <https://www.redalyc.org/pdf/925/92501701.pdf>
- Ruszczycki, B., Szepesi, Z., Wilczynski, G. M., Bijata, M., Kalita, K., Kaczmarek, L., & Włodarczyk, J. (2012). Sampling issues in quantitative analysis of dendritic spines morphology. *BMC bioinformatics*, 213. Recuperado el 5 de agosto de 2023, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3468369/>
- Sankesara, H. (2019). *UNet*. Recuperado el 7 de agosto de 2023, de Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/u-net-b229b32b4a71>
- Santos, D., Dallos, L., & Gaona-García, P. A. (2020). *Algoritmos de rastreo de movimiento utilizando técnicas de inteligencia artificial y machine learning*. Recuperado el 29 de julio de 2023, de scielo.cl: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v31n3/0718-0764-infotec-31-03-23.pdf>
- Tecnología | Uniandes. (2022). *Scikit-image - Tecnología*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Tecnología | Uniandes: <https://tecnologia.uniandes.edu.co/scikit-image/>
- TensorFlow. (s.f.). *TensorFlow Core*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de TensorFlow: <https://www.tensorflow.org/overview?hl=es-419>
- Torres, A. (27 de marzo de 2023). *Dendritas*. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de Kenhub: <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/dendritas>

- Universidad de Córdoba . (s.f.). Obtenido de Universidad de Córdoba:
https://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf
- Uniwebsidad. (s.f.). *10.1. Módulos de sistema*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Uniwebsidad.com: <https://uniwebsidad.com/libros/python/capitulo-10/modulos-de-sistema>
- Valencia Segura, R. K., Colín Barenque, L., & Fortoul van der Goes, T. I. (2018). *Las espinas dendríticas, su función y algunas alteraciones*. Recuperado el 20 de febrero de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000100046
- Villasenor, G. (2023). *RANSAC – Definición y Explicaciones*. Recuperado el 21 de agosto de 2023, de Portal Contacto Político: <https://www.contactopolitico.com.ar/%F0%9F%94%8E-ransac-definicion-y-explicaciones/>
- Xiao, X., Djurisic, M., Hoogi, A., Sapp, R. W., Shatz, C. J., & Rubin, D. L. (2018). Automated dendritic spine detection using convolutional neural networks on maximum intensity projected microscopic volumes. *Journal of neuroscience methods*, 25-35. Recuperado el 17 de febrero de 2023
- Yang, B., Huang, J., Wu, G., & Yang, J. (2021). Classifying the tracing difficulty of 3D neuron image blocks based on deep learning. *Brain informatics*. Recuperado el 29 de agosto de 2023, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8571474/>
- Yoshikura, T. (2023). *What is Brightfield microscopy?* Recuperado el 22 de agosto de 2023, de Olympus-lifescience.com: <https://www.olympus-lifescience.com/es/discovery/what-is-brightfield-microscopy/>
- Zhang, J. (2019). *UNet — line by line explanation*. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de Towards Data Science: <https://towardsdatascience.com/unet-line-by-line-explanation-9b191c76baf5>
- Zion Market Research. (s.f.). *Global neuroscience market industry size, share, trends, analysis and forecast 2023 - 2030*. Zion Market Research. Recuperado el 25 de enero de 2023, de <https://www.zionmarketresearch.com/report/neuroscience-market>
- Zyprian, F. (s.f.). *CV2 - Guía maestra OpenCV hecha para desarrolladores Python*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de Konfuzio: <https://konfuzio.com/es/cv2/#:~:text=CV2%20es%20una%20potente%20librer%C3%ADa,y%20el%20filtrado%20de%20im%C3%A1genes.>

ANEXOS

[Se deben indicar aquellos aspectos que no han podido ser incluidos en la memoria principal dado las dimensiones de esta. Por ejemplo, en anexos de debería incluir el código implementado, manuales de usuario, manuales de instalación, resultados adicionales, etc.]