Texto

Descripción generada automáticamente

**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**

Texto

Descripción generada automáticamente

**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 Tearapeuta Ocupacipnal 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](#_Toc185685055)

[Índice 5](#_Toc185685056)

[Glosario de términos 6](#_Toc185685057)

[Índice de ilustraciones 7](#_Toc185685058)

[Índice de tablas 9](#_Toc185685060)

[Resumen 11](#_Toc185685061)

[Abstract 11](#_Toc185685062)

[1. Introducción 13](#_Toc185685063)

[1.1. Motivación 13](#_Toc185685064)

[1.2. Antecedentes 13](#_Toc185685065)

[1.2.1. Estado del arte 14](#_Toc185685066)

[1.2.2. Necesidad detectada 14](#_Toc185685067)

[1.3. Objetivos 15](#_Toc185685068)

[1.3.1. Objetivos específicos 15](#_Toc185685069)

[1.4. Requisitos técnicos 15](#_Toc185685070)

[2. Marco teórico 16](#_Toc185685071)

[2.1. Daño cerebral adquirido 16](#_Toc185685072)

[2.2. Espasticidad 16](#_Toc185685073)

[2.3. Electromiografía 16](#_Toc185685074)

[2.4. Filtrado de señales 17](#_Toc185685075)

[2.4.1. Señal 17](#_Toc185685076)

[2.4.2. Señal electromagnética 17](#_Toc185685077)

[2.4.3. Señal electromiográfica 17](#_Toc185685078)

[2.4.4. Ejemplos de electromiografías 18](#_Toc185685079)

[2.4.5. Señal electrocardiográfica 18](#_Toc185685080)

[2.4.6. Relación 19](#_Toc185685081)

[2.4.7. Función de activación 19](#_Toc185685082)

[2.5. Modelo de Inteligencia Artificial 20](#_Toc185685083)

[2.6. Filtrado de señales por IA 20](#_Toc185685084)

[3. Metodología 20](#_Toc185685085)

[4. Proyecto 20](#_Toc185685086)

[4.1. Resumen de contribuciones y productos desarrollados 22](#_Toc185685087)

[4.2. Planificación temporal 23](#_Toc185685088)

[4.3. Recursos empleados 24](#_Toc185685089)

[4.4. Trabajo desarrollado 24](#_Toc185685090)

[5. Resultados y discusión 25](#_Toc185685091)

[6. Conclusiones 25](#_Toc185685092)

[6.1. Valoración personal 26](#_Toc185685093)

[6.2. Líneas futuras 26](#_Toc185685094)

[Bibliografía 27](#_Toc185685095)

[ANEXOS 34](#_Toc185685096)

# 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:Accidende Cerebro-Vascular:** Un accidente cerebrovascular sucede cuando el flujo de sangre a una parte del cerebro se detiene. Algunas veces, se denomina "ataque cerebral".(MedilinePlus, 2023)
* **TCE: Traumatismo Creaneo-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.)
* **ReLU:** Rectified Linear Unit: Función lineal por tramos que devuelve el valor de entrada si es positivo y 0 en caso contrario, es ampliamente utilizada en redes neuronales porque facilita el entrenamiento y mejora el rendimiento al resolver el problema del gradiente desvanecido en modelos con múltiples capas

# Índice de ilustraciones

[Ilustración 1: Electromiografía de un reflejo espástico en estiramiento 20](#_Toc185704486)

[Ilustración 2: Ejemplo de toma de electromiografía 20](#_Toc185704487)

# 

# 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.

# 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?]

## 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.

## Antecedentes

La espasticidad es un trastorno motor que se manifiesta por un aumento anormal del tono muscular, resultando en rigidez y dificultades para realizar movimientos voluntarios. Esta condición es común en diversas patologías neurológicas, como el ictus, la lesión medular, la esclerosis múltiple y la parálisis cerebral infantil. Se estima que en España afecta a entre 300,000 y 400,000 personas.

La espasticidad se produce por una lesión en la motoneurona superior, que interrumpe las vías nerviosas responsables de la inhibición del tono muscular. Esta interrupción provoca una hiperexcitabilidad de los reflejos de estiramiento muscular, resultando en una contracción involuntaria y sostenida de los músculos. Este fenómeno se acompaña de hiperreflexia y puede llevar a posturas anómalas y limitación de la movilidad. (Diarte Garós, y otros, 2024)

### Estado del arte

La espasticidad es un trastorno motor caracterizado por un aumento anormal del tono muscular, que provoca rigidez y dificultad para realizar movimientos voluntarios.

Esta condición afecta a una amplia variedad de pacientes, incluyendo aquellos con Daño Cerebral Adquirido (DCA), lesiones medulares y enfermedades neurológicas degenerativas. La espasticidad se manifiesta como una contracción muscular constante y errática, lo que genera resistencia al estiramiento y dificulta el movimiento normal.

A nivel terapéutico, los enfoques tradicionales incluyen:

* **Terapia manual:** Intervenciones realizadas por fisioterapeutas y médicos rehabilitadores para reducir la rigidez muscular y mejorar el rango de movimiento.
* **Tratamientos farmacológicos:** Uso de medicamentos como el baclofeno, dantroleno y la tizanidina, que ayudan a reducir el tono muscular, pero presentan efectos secundarios significativos en algunos casos (M.P. Sáinz-Pelayo, 2020),
* **Toxina botulínica tipo A:** Una opción eficaz para ciertos pacientes, pero con limitaciones en cuanto a duración y aplicación repetida.

En los últimos años, se han introducido nuevas tecnologías en el ámbito de la rehabilitación, como dispositivos de estimulación eléctrica y sistemas de monitoreo en tiempo real. Sin embargo, estas herramientas están en una fase temprana de adopción y carecen de estándares claros para su aplicación clínica generalizada.

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. Estas nuevas herramientas incluyen sistemas robóticos para ejercicios guiados, dispositivos de retroalimentación visual y sensores de movimiento que permiten evaluar y ajustar el tratamiento en tiempo real.

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. Además de los tratamientos convencionales, se experimentaba con técnicas avanzadas como la realidad virtual para mejorar el rango de movimiento.

Y, con ánimo de poder mejorar estos tratamientos, se 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 También se puede tratar a través de la inyección de toxina botulínica de tipo A, que ha mostrado resultados prometedores al reducir la hipertonía muscular y facilitar el trabajo de los terapeutas (Documento de ConsensoMitos y evidencias en el empleo de la toxina botulínica: neurofarmacología y distoníasP. García-Ruiz Espiga, s.f.)

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 también se puede tratar a través de la inyección de toxina botulínica de tipo A .

## Necesidad detectada

El daño cerebral adquirido es una lesión que afecta a más de 435.400 personas en España, según la Federación Española de Daño Cerebral (fedace, s.f.). Las secuelas derivadas de este tipo de lesión, tanto a nivel físico como neuropsicológico, pueden ser permanentes y tremendamente incapacitantes (Ceadac, 2024). Actualmente, las terapias más efectivas son de origen manual y dependen en gran medida de la intervención de terapeutas. Aunque estos enfoques pueden lograr avances significativos, en la mayoría de los casos, la recuperación completa es inalcanzable.

Uno de los principales retos que enfrentan los pacientes en la fase crónica es la rehabilitación física. En esta etapa, el impacto de los trastornos de espasticidad muscular suele ser el más significativo. La espasticidad, caracterizada por un aumento anormal del tono muscular que dificulta los movimientos voluntarios, representa una barrera importante para la recuperación funcional de los pacientes. Aunque existen tratamientos como la toxina botulínica tipo A o diversas terapias farmacológicas y físicas, ninguno de ellos ofrece una solución definitiva ni perfecta. (Rodriguez, 2024)

Dado este panorama, es evidente la necesidad de desarrollar enfoques innovadores que complementen las terapias tradicionales. La inteligencia artificial, aplicada al análisis de señales electromiográficas, podría representar una herramienta esencial para optimizar los procesos de rehabilitación. Al proporcionar una evaluación precisa y personalizada de los patrones musculares, estas tecnologías permitirían mejorar la eficacia de los tratamientos, facilitando la recuperación de los pacientes y reduciendo la carga asistencial en los sistemas de salud (Ceadac, 2024)

## Objetivos

1. **Establecer relaciones entre señales fisiológicas y señales electromiográficas (EMG)** de pacientes con espasticidad, con el fin de identificar patrones que faciliten su tratamiento.
2. **Desarrollar un sistema basado en inteligencia artificial (IA)** para la clasificación y análisis de señales electromiográficas provenientes de pacientes con espasticidad y personas sanas.
3. **Desarrollar una interfaz gráfica de usuario (GUI)** para que los terapeutas y profesionales de la salud puedan interactuar fácilmente con los resultados del análisis de señales EMG
4. **Estudiar la viabilidad de integrar esta tecnología en dispositivos portátiles**

### Objetivos específicos

1. **Detectar valores característicos en señales electromiográficas** provenientes de pacientes con espasticidad, para su clasificación y análisis detallado.
2. **Desarrollar un modelo de IA inicial** que sea capaz de distinguir entre señales electromiográficas de personas sanas y las de pacientes con espasticidad.
3. **Optimizar los algoritmos de IA para trabajar con datos limitados**, utilizando técnicas como el aprendizaje transferido y la generación de datos sintéticos.
4. **Automatizar la normalización y segmentación de las señales electromiográficas**, asegurando la compatibilidad con los sistemas de IA y facilitando el análisis.
5. **Implementar una interfaz gráfica de usuario (GUI)** para que los terapeutas y profesionales de la salud puedan interactuar fácilmente con los resultados del análisis de señales EMG.
6. **Validar la precisión y fiabilidad del modelo de IA** utilizando datos reales y compararlo con métodos tradicionales de análisis de espasticidad para evaluar su utilidad clínica.
7. **Investigar la integración de esta tecnología en dispositivos portátiles** como monitores de actividad muscular o sistemas de rehabilitación robotizada para su uso continuo en la vida diaria de los pacientes.

## Requisitos técnicos

Para llevar a cabo este proyecto, se establecen los siguientes requisitos técnicos, esenciales para garantizar el correcto desarrollo y funcionamiento de las herramientas propuestas:

1. **Datos de entrada:**
   * **Volumen de datos:** Es indispensable contar con una gran cantidad de datos electromiográficos (EMG) provenientes de pacientes sanos y de pacientes con patologías relacionadas al daño cerebral o enfermedades neurodegenerativas. Estos datos son necesarios para realizar comparaciones y extraer patrones característicos de la espasticidad.
   * **Calidad de los datos:** Los datos deben estar correctamente etiquetados y preprocesados, asegurando que sean representativos de las condiciones fisiológicas de los pacientes. Se requerirá normalización y filtrado para eliminar ruido y artefactos.
   * **Diversidad de los datos:** Se necesitan señales provenientes de distintas condiciones clínicas y variabilidad en las características musculares para entrenar modelos robustos y generalizables.
2. **Infraestructura:**
   * **Sistema de alto rendimiento:** Es necesario un equipo con capacidad para manejar las altas cargas computacionales asociadas con el entrenamiento y evaluación de modelos de inteligencia artificial (IA). Esto incluye:
     + Procesadores de alto rendimiento (CPU) y unidades de procesamiento gráfico (GPU) para acelerar los cálculos.
     + Memoria RAM suficiente (mínimo 32 GB) para manejar grandes volúmenes de datos simultáneamente.
     + Almacenamiento rápido y de alta capacidad para guardar datasets y modelos (mínimo 1 TB en SSD).
   * Se ha de remarcar que un sistema de capacidades medias, el propio del alumno, el cual consiste en un procesador de 3 generación de AMD Ryzen 2600 con 8 núcleos, 16 hilos y 16 Gb de RAM ha sido suficiente para crear unos primeros modelos con cantidades limitadas de datos.
3. **Herramientas de software:**
   * **Librerías y frameworks de IA:** Se requiere el uso de frameworks como TensorFlow, PyTorch o Scikit-learn para el desarrollo y entrenamiento de los modelos.
   * **Plataformas de análisis de datos:** Herramientas como Pandas, NumPy y Matplotlib para el preprocesamiento y visualización de datos.
   * **Herramientas específicas para señales:** Librerías como SciPy y libros de procesamiento de señales para tareas como filtrado y segmentación.
4. **Sistema de almacenamiento y gestión de datos:**
   * Bases de datos públicas para la extracción de los datos, reales y adaptados.
   * Sistemas de respaldo y versionado para garantizar la integridad y seguridad del proyecto.
5. **Interfaz gráfica de usuario (GUI):**
   * Una herramienta de visualización e interacción que facilite el acceso a los resultados generados por el modelo, permitiendo a los profesionales de la salud realizar análisis y tomar decisiones basadas en datos.

# Marco teórico

## 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.).

## Espasticidad

Diagrama

Descripción generada automáticamenteSe 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.)

Ilustración 1 Electromiografía de un reflejo espástico en estiramiento

## Imagen que contiene interior, tabla, computadora, puesto Descripción generada automáticamenteElectromiografía

Ilustración 2 Ejemplo de toma de una 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.)Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

Ilustración 3 Electromiografía del reflejo de estiramiento de un codo de un paciente con espasticidad

### Aplicaciones de la EMG en el Proyecto

1. **Detección de patrones característicos de espasticidad:** La EMG permite identificar características específicas de la espasticidad, como contracciones sostenidas, hiperactividad de los reflejos y asincronía muscular. Estos datos pueden usarse para entrenar modelos de inteligencia artificial que clasifiquen y cuantifiquen estos patrones.
2. **Seguimiento del progreso del paciente:** Las señales EMG pueden emplearse para monitorear la respuesta de los pacientes a tratamientos como la administración de toxina botulínica o terapias físicas. Comparar registros a lo largo del tiempo permite ajustar las intervenciones de manera personalizada.
3. **Optimización del filtrado y procesamiento de señales:** Las señales EMG, aunque ricas en información, suelen estar contaminadas con ruido externo y artefactos. Este proyecto utiliza técnicas avanzadas de filtrado para mejorar la calidad de los datos, asegurando que las señales analizadas reflejen fielmente la actividad muscular.
4. **Desarrollo de modelos predictivos:** Los datos EMG, combinados con algoritmos de inteligencia artificial, pueden usarse para predecir episodios de espasticidad y su impacto en el movimiento. Esto ayuda a planificar tratamientos preventivos.

### ¿Por qué la EMG es clave para este proyecto?

La espasticidad es un trastorno motor complejo que afecta a pacientes con daño cerebral adquirido u otras patologías neurológicas. Los métodos actuales de evaluación de espasticidad suelen depender de escalas subjetivas, como la Escala de Ashworth Modificada, que se basan en la percepción del terapeuta. La EMG aporta un enfoque cuantitativo y reproducible, proporcionando datos medibles que son esenciales para la implementación de modelos de inteligencia artificial.

Al capturar patrones musculares en tiempo real, la EMG también permite explorar la interacción entre diferentes grupos musculares, lo que puede ser clave para desarrollar terapias más específicas y efectivas. Además, su capacidad para detectar cambios sutiles en la actividad muscular hace posible identificar problemas antes de que se traduzcan en limitaciones funcionales evidentes.

### Implementación de la EMG en este Proyecto

El proyecto emplea señales EMG como base para entrenar un modelo de inteligencia artificial capaz de diferenciar entre patrones musculares normales y espásticos. Esto se logra mediante:

1. **Recopilación de datos:** Obtención de registros EMG de pacientes con espasticidad y sujetos sanos, asegurando una representación diversa de patrones musculares.
2. **Preprocesamiento:** Aplicación de técnicas de filtrado, normalización y segmentación para garantizar la calidad y comparabilidad de las señales.
3. **Entrenamiento de modelos:** Uso de algoritmos de aprendizaje profundo para analizar los datos EMG y detectar características relevantes de la espasticidad.
4. **Evaluación clínica:** Validación del sistema mediante datos reales, comparando los resultados obtenidos por el modelo con evaluaciones clínicas tradicionales.

## Filtrado de señales

El filtrado de señales es un proceso esencial en el análisis de datos electromiográficos (EMG) y otras señales biomédicas. Este proceso permite eliminar componentes no deseados, como ruido o artefactos, y resaltar las características clave de las señales que son relevantes para su interpretación. A demás, en este contexto, podríamos intentar aplicar el filtrado de señales electromiográficas intentando hacer una comparación entre señales “sucias” y señales espásticas, ya que ambas comparten en común la característica de una alta variabilidad en frecuencia y comportamiento errático en este mismo dominio.

### Señal

Una señal se define como una función matemática que lleva información acerca de un proceso físico o biológico. Puede representarse como una variación de alguna magnitud física en el tiempo, como corriente eléctrica, presión o frecuencia. Según la Real Academia Española (2024), una señal es una variación de una corriente eléctrica u otra magnitud utilizada para transmitir información.

En este proyecto, las señales analizadas corresponden a actividades eléctricas registradas en músculos esqueléticos mediante electromiografía. Estas señales proporcionan un conjunto de valores sostenidos en el tiempo que reflejan el estado del sistema neuromuscular, permitiendo evaluar la presencia de anomalías como la espasticidad.

### 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.

### Señal electromiográfica

Diagrama

Descripción generada automáticamenteLa 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.

Ilustración 4Ejemplo de patologías diagnosticadas por E.MG

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.

### Forma, Flecha Descripción generada automáticamenteEjemplos de electromiografías

Ilustración 5 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.

### 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 cardiaca, 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.)

### Relación

La relación entre las señales electromagnéticas, electromiográficas y electrocardiográficas se fundamenta en sus principios eléctricos comunes. Estas señales, aunque diferentes en su origen y aplicación, comparten la necesidad de técnicas avanzadas de procesamiento para extraer información útil.

Por ejemplo, las señales de radio, móviles y audio utilizan procesos de modulación y filtrado similares, que pueden adaptarse al análisis de señales biomédicas. Este enfoque multidisciplinar es clave para desarrollar métodos robustos y precisos en el tratamiento de la espasticidad.

# A DESARROLLAR

### Función de activación

Las funciones de activación son herramientas matemáticas utilizadas en modelos de inteligencia artificial para simular la respuesta de los sistemas biológicos. Estas funciones, como la ReLU (Rectified Linear Unit), permiten interpretar señales complejas y extraer características relevantes.

En este proyecto, las funciones de activación desempeñan un papel central al identificar patrones de espasticidad en señales EMG, facilitando la clasificación y el análisis mediante redes neuronales.

# A DESARROLLAR MUCHO MAS

## 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](https://www.ibm.com/es-es/topics/artificial-intelligence) aplican distintos algoritmos a las entradas de datos relevantes para lograr las tareas, u outputs, para los que han sido programados. (IBM, s.f.)

# A DESARROLLAR MUCHO MAS

## Filtrado de señales por IA

# A DESARROLLAR MUCHO MAS

# Metodología

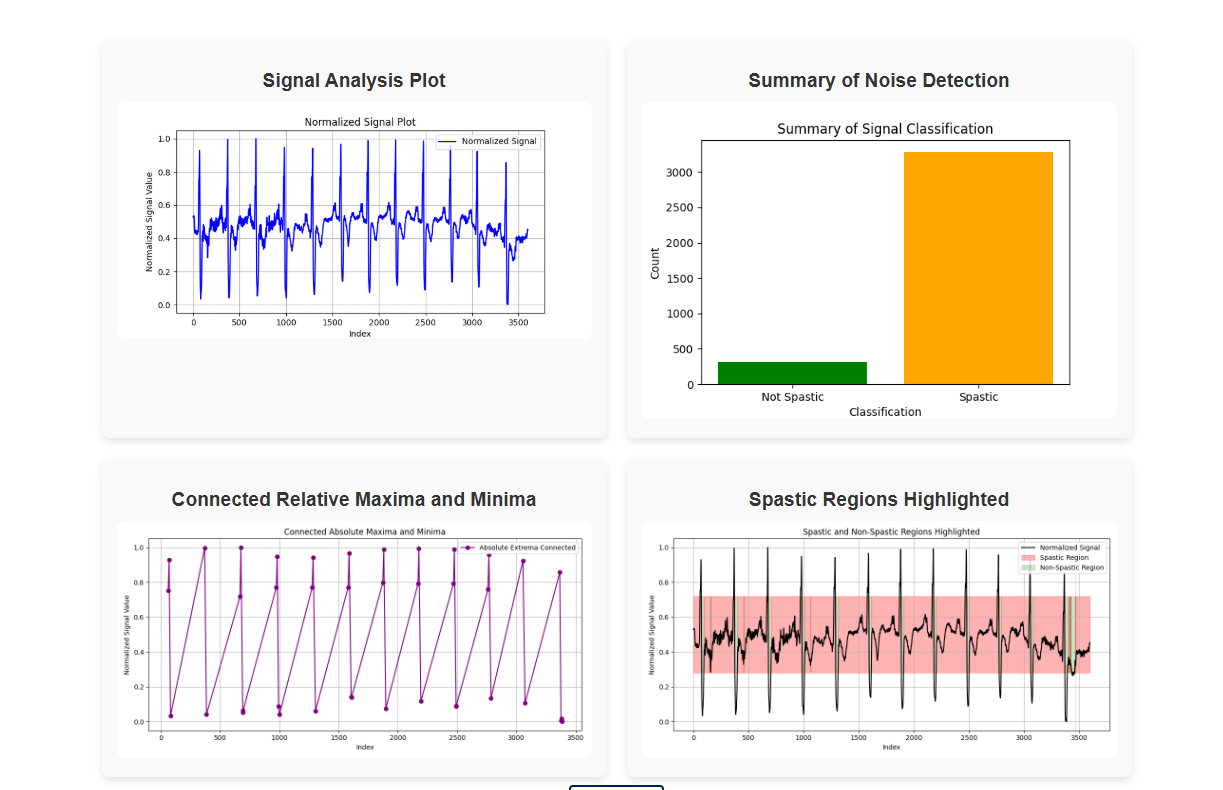
WIP NOT FINAL VERSION

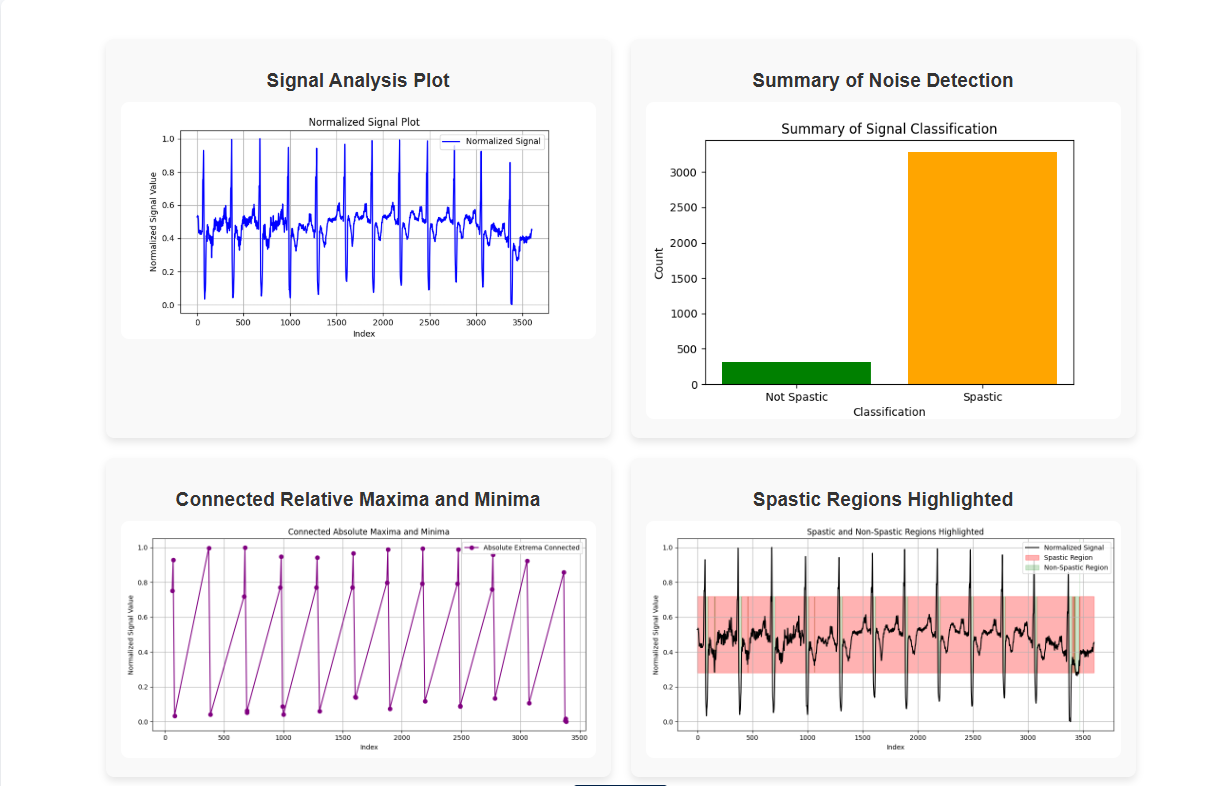
* INT ENV
* DEV ENV
* Recabado de datos
* Docker
* Normalización de datos
* Búsqueda función de activacion

# Proyecto

Todavía WIP voy dejando evidencias para ponerlo bonito más a delante 😊

Modelado y predicciones con pocos datos:

Modelado y predicciones con muchos mas datos sanos, filtrados y no filtrados, los no filtrados podrían simular cierto nivel de espasticidad y ruido



[Este capítulo hace referencia al proyecto implementado.

## Resumen de contribuciones y productos desarrollados

Se comenzó por tratar de establecer un símil o relaciones entre señales electromagnéticas que a día de hoy ya son tratadas con relativa facilidad, como lo podrían ser señales radio o móvil

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

## 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 |  |  |  |  |  |  |  |

## 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.

## Trabajo desarrollado

Como primer punto se decidió establecer relaciones entre señales ya conocidas y que son ampliamente tratas 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.

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Este proyecto ha sido extraído de: <https://github.com/tejasa97/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.**

# 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 resulto las cuestiones planteadas al inicio del presente trabajo? ¿Se han cubierto las necesidades identificadas que se deseaban tratar en el estudio?]

# Conclusiones

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

## Valoración personal

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

## Líneas futuras

[Por último, se deben incluir aquellos aspectos pendientes a tratar en el proyecto que no han podido aplicare 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

Ceadac, B. d. (23 de 02 de 2024). *CEADAC.* Obtenido de Blog del Ceadac: https://blogceadac.imserso.es/-/situacion-personas-dca-espana

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

Contreras, B. (2014, 10 23). *bretcontreras*. Retrieved from https://bretcontreras.com/whats-fuss-emg/

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

Diarte Garós, D., Elguea Sarto, L., Gabandé Fantova, e., Hernández Anton, R., Ruiz Clavero, F., & Andrés Artal, S. (25 de 5 de 2024). *Revista sanitaria de investigacion.* Obtenido de La espasticidad: https://revistasanitariadeinvestigacion.com/la-espasticidad/

Documento de ConsensoMitos y evidencias en el empleo de la toxina botulínica: neurofarmacología y distoníasP. 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 Aquirido*. 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

ImageJ. (2014). *Introduction, Fiji/Image*. Recuperado el 8 de enero de 2023, de Imagej.net: 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

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/

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

*MedilinePlus*. (29 de 4 de 2023). Obtenido de https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000726.htm

MedilnePlus. (s.f.). *Electrocardiograma: Prueba de laboratorio de MedlinePlus*. Obtenido de https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electrocardiograma/

MedlinePlus. (s.f.). *Esclerosis lateral amiotrófica (ELA)*. Recuperado el 22 de agosto de 2023, de MedlinePlus: https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000688.htm#:~:text=La%20esclerosis%20lateral%20amiotr%C3%B3fica%20o,movimiento%20de%20los%20m%C3%BAsculos%20voluntarios.

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%20se%20muevan.

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

Medlineplus. (s.f.). *Medlineplus*. Obtenido de Electrocardiograma: Prueba de laboratorio de MedlinePlus: https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/electrocardiograma/

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-neurologicos/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

Rodriguez, I. V. (2 de 12 de 2024). *clinicaityos.* Obtenido de https://clinicaityos.com/espasticidad-causas-tratamientos-y-reduccion-del-tono-muscular/?utm\_source=chatgpt.com

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., & Wlodarczyk, 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

Universiad Complutense de Marid. (s.f.). *RMS | Innovasonora*. Obtenido de https://www.ucm.es/innovasonora/rms#:~:text=(Root%20Mean%20Square%20%2D%20media%20de,medir%20s%C3%B3lo%20por%20los%20picos.

*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.]