



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



TFG del Grado en Ingeniería de la Salud

Aplicación web para el seguimiento de la actividad de las personas con enfermedad de Parkinson

Presentado por Inés Martos Barbero
en Universidad de Burgos

12 de febrero de 2024

Tutor: Guirguis Zaki Guirguis Abdelmessih



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería de la Salud



D. Guirguis Zaki Guirguis Abdelmessih, profesor del departamento de Ingeniería Electromecánica, área de Tecnología Electrónica.

Expone:

Que el alumno D. Inés Martos Barbero, con DNI 09106453V, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería de la Salud titulado Aplicación web para el seguimiento de la actividad de las personas con enfermedad de Párkinson.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 12 de febrero de 2024

Vº. Bº. del Tutor:

D. Guirguis Zaki Guirguis Abdelmessih

Resumen

Los problemas motores característicos de la Enfermedad de Párkinson (EP) afectan significativamente la función de la marcha, provocando episodios de congelación de la marcha en las etapas más críticas. Esto repercute considerablemente en la calidad de vida de las personas con EP.

Los dispositivos de monitorización disponibles para esta enfermedad son caros y escasos, y son aún menos los enfocados en analizar los parámetros de la marcha. La recopilación y análisis de esta información son esenciales para facilitar la toma de decisiones objetivas e informadas por parte de los profesionales sobre la modificación del tratamiento y adaptación de terapias.

Continuando con un proyecto anterior, cuyo objetivo era proporcionar una herramienta de apoyo en el ámbito clínico y de ayuda para pacientes, se han realizado pequeñas mejoras en el hardware del dispositivo utilizado para el registro de datos y se ha desarrollado un software, concretamente un sitio web. Este avance ha permitido el funcionamiento inalámbrico del dispositivo mediante el empleo de Bluetooth para la comunicación con el servidor web. La transmisión de datos se realiza en tiempo real, lo que permite su visualización desde una interfaz simple que también posibilita la gestión de la recogida de datos. La innovación de la plataforma web consiste en permitir tanto a profesionales como a pacientes acceder de forma sencilla a la información más relevante.

Descriptores

Enfermedad de Párkinson, problemas motores, congelación de la marcha, análisis de la marcha, monitorización, aplicación web, software, datos en tiempo real, comunicación inalámbrica, Bluetooth, innovación tecnológica.

Abstract

The characteristic motor problems of Parkinson's Disease (PD) significantly affect gait function, causing freezing of gait episodes in the most critical stages. This considerably impacts the quality of life of people with PD.

The monitoring devices available for this disease are expensive and scarce, and even fewer focus on analyzing gait parameters. The collection and analysis of this information are essential to facilitate objective and informed decision-making by professionals regarding treatment modification and therapy adaptation.

Continuing with a previous project, whose goal was to provide a support tool in the clinical setting and aid for patients, small improvements have been made to the hardware of the device used for data recording, and software has been developed, specifically a website. This advancement has enabled the wireless operation of the device through the use of Bluetooth for communication with the web server. Data transmission occurs in real-time, allowing its visualization from a simple interface that also enables the management of data collection. The innovation of the web platform lies in allowing both professionals and patients to easily access the most relevant information.

Keywords

Parkinson's Disease, motor problems, freezing of gait, gait analysis, monitoring, website, software, real-time data, wireless communication, Bluetooth, technological innovation.

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	v
Introducción	1
Objetivos	3
Conceptos teóricos	7
3.1. Conceptos teóricos básicos	7
3.2. Estado del arte y trabajos relacionados.	10
Metodología	17
4.1. Descripción de los datos.	17
4.2. Técnicas y herramientas.	18
Resultados	33
5.1. Resumen de resultados.	33
5.2. Discusión.	34
Conclusiones	37
6.1. Aspectos relevantes.	37
Líneas de trabajo futuras	39
Bibliografía	41

Índice de figuras

4.1.	Clasificación proyectos software [Pradel Miquel et al., 2013]	18
4.2.	Ciclo de vida en cascada [Pradel Miquel et al., 2013]	19
4.3.	Shield Ethernet W5100 [Amazon, c]	24
4.4.	Shield Ethernet W5100 [Amazon, b]	25
4.5.	Shield Ethernet W5100 [Amazon, f]	26
4.6.	Microcontrolador Arduino UNO R3. [Arduino, b]	27
4.7.	Sensor MPU-6050. [Amazon, i]	28
4.8.	Display LCD 16x2 con interfaz I2C. [Amazon, d]	28
4.9.	Pulsador. [Amazon, j]	28
4.10.	Caja para prototipos [Amazon, h]	29
4.11.	Batería 9V con conector.	30
4.12.	Interruptor deslizante. [Amazon, g]	30
4.13.	Conecotor 5 pines. [Amazon, a]	30
4.14.	Cable multihilo flexible. [Amazon, e]	31
4.15.	Proto Shield. [Arduino, d]	31
5.1.	Hardware del dispositivo final.	34

Todas las figuras en las que no se indica lo contrario, han sido elaboradas por Inés Martos Barbero, la autora de este trabajo.

Índice de tablas

Todas las tablas en las que no se indica lo contrario, han sido elaboradas por Inés Martos Barbero, la autora de este trabajo.

Introducción

Uno de los trastornos neurodegenerativos más presentes a nivel mundial es la enfermedad de Párkinson (EP), cuya manifestación clínica más característica es el deterioro progresivo de la habilidad motora. Los síntomas más comunes son el temblor de reposo, rigidez, bradicinesia (lentitud de movimiento) y alteraciones de la marcha. La detección temprana y el monitoreo continuo son cruciales para personalizar la terapia, obteniendo resultados óptimos y retrasando el avance de la enfermedad.

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se enfoca en la obtención de una solución tecnológica que, mediante la combinación de hardware y software, implemente un sistema innovador para el monitoreo y asistencia de pacientes con EP. El proyecto prioriza la accesibilidad económica, empleando dispositivos electrónicos de bajo coste y software de código abierto. Mediante el uso de sensores y tecnologías especializadas, se logra la recolección y análisis en tiempo real de datos sobre actividades de marcha, facilitando el acceso inmediato de los usuarios a dicha información y permitiendo una futura implementación de un sistema de alerta que ayude a los pacientes a superar episodios de bloqueo motor.

Por otro lado, el sistema permitirá almacenar la información recogida para que el profesional de la salud pueda realizar un análisis posterior y obtener conclusiones acerca de la progresión de la enfermedad y la efectividad del tratamiento. Abordando la EP desde una perspectiva tecnológica, se espera contribuir a la innovación que demanda el sector sanitario para la mejora de la calidad de vida de personas con EP.

El presente documento constituye la memoria del proyecto, un análisis detallado sobre el proceso de desarrollo de un sistema destinado a mejorar la calidad de vida de los pacientes de Párkinson. Inicia con la definición de

los objetivos, seguida de los fundamentos teóricos que proporcionan una base para que el lector comprenda la documentación del proyecto, y por un análisis sobre trabajos similares. Incluye una extensa explicación de la metodología y herramientas empleadas para lograr los objetivos iniciales. Al concluir el desarrollo del proyecto, se completaron las secciones de resultados y conclusiones, destinadas a evaluar la efectividad del producto final y los logros del trabajo realizado. Una última sección está destinada a analizar las posibles direcciones de mejora y expansión del proyecto.

En el documento de *Anexos* se desarrollan aspectos de interés que proporcionan una información adicional sobre el desarrollo del proyecto. En el *Apéndice A* se establece el plan general de desarrollo del proyecto, el *Apéndice B* contiene toda la documentación necesaria para que el usuario logre el funcionamiento del sistema. Un manual para desarrolladores se muestra en el *Apéndice C*. En el *Apéndice D* se analizan los datos manejados, mientras que el *Apéndice E* detalla las características del diseño. También se incluye información sobre la especificación de requisitos en el *Apéndice F*, las pruebas para verificar el funcionamiento del sistema en el *Apéndice G* y por último, el *Apéndice H* hace una reflexión sobre la sostenibilidad del proyecto.

Objetivos

Este proyecto busca proporcionar una herramienta para la mejora del manejo de la EP, tanto desde la perspectiva de profesionales sanitarios como de pacientes, mediante la aplicación de tecnologías avanzadas de recopilación y análisis de datos. La idea surge de la necesidad de ampliación de un trabajo previo centrado en la obtención de un dispositivo destinado a la monitorización, análisis y almacenamiento de los datos de la actividad muscular en personas con EP.

A continuación, se enumeran y explican de forma detallada los objetivos que se persiguen con la realización de este proyecto.

Objetivos generales

Trabajar en un desarrollo avanzado de las posibilidades que ofrece el dispositivo sensorial de análisis de la marcha de personas con EP con el fin de:

1. Mejorar el seguimiento de la EP. El acceso a un registro de actividades que reflejan la situación y evolución del paciente en diferentes momentos, permitirá a los profesionales la toma de decisiones informadas relativas a modificaciones del tratamiento o terapia.
2. Aumentar la autonomía y comodidad del paciente. Facilitar la integración de la recopilación de datos para estudio de la evolución de la EP en el día a día, al mismo tiempo que se proporciona un apoyo ante situaciones de bloqueos en la marcha.

Objetivos de desarrollo web

Están relacionados con el diseño y la implementación de una interfaz web con funcionalidades específicas para diferentes usuarios.

1. Permitir la gestión de usuarios del sistema. Incluye la realización de las operaciones básicas de creación, modificación y eliminación de usuarios e información relacionada con estos.
2. Facilitar el acceso a la información personal de pacientes, la realización y registro de una actividad, y la consulta de actividades almacenadas.
3. Diseñar una interfaz que garantice la accesibilidad. Los usuarios a los que está destinado el producto final de este proyecto tendrán distintos niveles de competencia tecnológica, por lo que un diseño sencillo e intuitivo y la gestión eficaz de la información son de vital importancia para una experiencia de usuario satisfactoria.

Objetivos de integración y funcionalidad del sistema

Lograr la conexión inalámbrica y una comunicación en tiempo real entre la aplicación web, la base de datos con toda la información de usuarios y actividades, y el prototipo de monitorización y detección de bloqueos en la marcha parkinsoniana. Notar que el dispositivo de registro de datos fue desarrollado empleando la plataforma de electrónica Arduino (concretamente Arduino UNO).

1. Evaluar las soluciones tecnológicas que permiten una comunicación eficaz y segura entre Arduino y el dispositivo de almacenamiento de la aplicación web.
2. Establecer una conexión fiable a través de intranet/internet que facilite la observación continua del paciente. Los datos que registra el dispositivo físico de monitoreo de la marcha deben ser enviados en tiempo real a la web para su visualización.
3. Desarrollar una base de datos para el almacenamiento y evaluación posterior de los datos recogidos durante la realización de una actividad.

Objetivos de desarrollo hardware

Centrado en la mejora y optimización del prototipo hardware empleado en la monitorización del movimiento y recogida de datos para el análisis de la marcha en personas con EP.

1. Realizar mejoras en el prototipo inicial. Busca perfeccionar el diseño para facilitar su uso en la realización de pruebas de manera más cómoda y minimizando las restricciones de movimiento que puedan afectar al usuario durante su uso.

Conceptos teóricos

3.1. Conceptos teóricos básicos

Introducción a la enfermedad de Párkinson

La enfermedad de Párkinson es el segundo trastorno neurodegenerativo más común a nivel global [Tolosa et al., 2021], afectando a 1-2 personas por cada 1000 y con una prevalencia que aumenta con la edad (el 1% de la población mayor de 60 años padece EP) [Tysnes and Storstein, 2017].

Los mecanismos patogénicos de esta enfermedad neurológica incluyen la aparición de agregados de cuerpos de Lewy y neuritas de Lewy, que interfieren con el funcionamiento normal de las células nerviosas, la degeneración de neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra del cerebro, y pérdida de terminales dopaminérgicos en los ganglios basales [Simon et al., 2020]. Como consecuencia de la falta de dopamina, necesaria para la transmisión adecuada en el proceso de generar el movimiento, se manifiesta principalmente a través de síntomas motores como bradicinesia, rigidez y temblor de reposo [Tysnes and Storstein, 2017], pero también presenta alteraciones no motoras que incluyen problemas cognitivos, psicológicos y del sueño [Jankovic and Tan, 2020] [Armstrong and Okun, 2020]. Estas alteraciones no motoras comienzan a desarrollarse antes que las motoras, pero las similitudes sintomáticas con otras enfermedades dificultan el diagnóstico [Simon et al., 2020].

El Párkinson tiene un impacto significativo en la actividad muscular, afectando gravemente en la capacidad de movilidad de las personas que lo padecen. La marcha parkinsoniana se caracteriza por pasos pequeños y arrastrados. Este síntoma puede presentar, en etapas más avanzadas de la enfermedad [Tolosa et al., 2021], episodios de bloqueo de la marcha

(Freezing of Gait, FOG), donde las extremidades inferiores del paciente se encuentran temporalmente inmovilizadas, aumentando el riesgo de caídas [Jankovic and Tan, 2020] [Armstrong and Okun, 2020].

En la actualidad, el tratamiento de la EP es sintomático [Armstrong and Okun, 2020], lo que genera la necesidad de una monitorización continua y eficaz de los pacientes para gestionar adecuadamente la evolución de la enfermedad [Beitz, 2014]. Este control permite realizar los ajustes oportunos en la terapia para abordar síntomas motores y no motores, y demuestra ser esencial para ralentizar el deterioro de la movilidad [Armstrong and Okun, 2020].

Desarrollo web

Para el proceso de desarrollo de una aplicación web, o cualquier otro proyecto software, es imprescindible conocer y diferenciar los conceptos de front-end y back-end. Cada uno de estos ámbitos emplea diferentes lenguajes de programación, y una conexión e interacción eficaz entre ambos es esencial para obtener un software funcional [PrimeIT, 2022].

- **Front-end.** Se refiere a la codificación o diseño de la interfaz de usuario. Este aspecto considera elementos como la accesibilidad, estructura de navegación, capacidad de respuesta y animaciones. Utiliza lenguajes como CSS, HTML y JavaScript, pero también puede incluir frameworks¹ como Bootstrap [Coppola, 2022] [PrimeIT, 2022].
- **Back-end.** En este campo, centrado en la funcionalidad, se programa con el objetivo de lograr eficazmente las acciones disponibles para el usuario desde el front-end. Gestiona los recursos, implementa la lógica del sistema e integra componentes como servidores web, APIs y bases de datos. Entre los lenguajes de programación empleados están Java, Python y PHP [Coppola, 2022] [PrimeIT, 2022].

Otro aspecto fundamental es la creación de una base de datos que almacene todos los datos obtenidos durante la monitorización del paciente. En el proceso de diseño, será necesario determinar el propósito de la base de datos y organizar la información que va a almacenar por temas (tablas). Para cada tabla, hay que establecer las claves principales (qué columna) que identificarán a cada fila y las relaciones de interacción con otras tablas

¹Conjuntos de herramientas y reglas que agilizan el desarrollo de software

[Microsoft, 2021]. Según los intereses del proyecto, la base de datos empleada será:

- **Relacional.** Prima la integridad y exactitud de la información, lo que supone mayor lentitud debido al procesado previo al almacenamiento que permite obtener estas características. Se enfoca en la eficiencia y veracidad sobre velocidad. PostgreSQL y MySQL son ejemplos de este tipo de bases de datos [Structuralia, 2019].
- **No relacional.** Prioriza el almacenamiento rápido de los datos sobre la exactitud, reduciendo las restricciones y sacrificando veracidad. El análisis de los datos se realiza de forma posterior. Firebase es un ejemplo de este tipo de bases de datos [Structuralia, 2019].

Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica emplea ondas de radiofrecuencia para transmitir datos, eliminando la necesidad de cables y facilitando la movilidad en su uso. Su aplicación ha revolucionado diversos sectores, incluyendo el de la salud, donde el Internet de las Cosas (IoT) ha impulsado el desarrollo de dispositivos para la monitorización de pacientes [Mathur, 2015] [Gardašević et al., 2020].

En medicina, la movilidad es una necesidad que, una vez cubierta, conlleva mejoras en la eficiencia y precisión de las actividades del sector, repercutiendo positivamente en la salud de los pacientes. Procede resaltar la especial relevancia de las tecnologías inalámbricas de corto alcance, ideales para la monitorización y facilitar el procesamiento de datos procedentes de dispositivos como glucómetros, estetoscopios y diversos tipos de sensores [Gutiérrez et al., 2013].

Entre las tecnologías inalámbricas más relevantes y con mayor presencia en el ámbito de la salud se encuentran Bluetooth y Wi-Fi [Zatout, 2012]. Las redes móviles 5G y la tecnología NFC (Near Field Communication) también se encuentran presentes y están comenzando a adquirir una mayor importancia.

- Bluetooth: Utilizado en dispositivos portátiles por su bajo consumo energético y bajo precio. Permite la transmisión eficiente de datos a corta distancia [Wang and Iqbal, 2006].

- Wi-Fi: Empleado en hogares y establecimientos sanitarios para la transmisión de contenido multimedia como registros médicos o imágenes [Zatout, 2012].

Protocolos y arquitecturas para transmisión de datos

Los protocolos y arquitecturas de transmisión de datos son fundamentales, especialmente en el ámbito médico si se tiene en cuenta la sensibilidad de los datos manejados. Su implementación permite asegurar la eficacia y seguridad en el intercambio de información, facilitando la interoperabilidad entre sistemas para obtener una visión global y detallada de los datos sometidos a análisis.

- **API REST²**: conjunto de reglas que definen la comunicación entre aplicaciones y dispositivos a través de la arquitectura REST. Se caracteriza por interactuar a través de solicitudes HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto) estándar para realizar operaciones específicas como la obtención de datos, envío de comandos o almacenamiento de información. Proporcionan interacciones rápidas y eficientes que las convierten en una opción adecuada para la comunicación en tiempo real pero caracterizada por ser unidireccional [IMB,].
- **WebSocket**: protocolo que permite comunicaciones bidireccionales entre un cliente y un servidor, facilitando la interacción continua y simultánea ideal en aplicaciones donde la comunicación en tiempo real es clave. Su compatibilidad con SSL (Secure Lockets Layer³) permite conexiones seguras, lo que se ve reforzado por su forma de trabajo a través de un cortafuegos y proxies [IMB, 2023].

3.2. Estado del arte y trabajos relacionados.

La exploración del contexto actual y el análisis de trabajos e investigaciones previas es fundamental para comprender la relevancia del proyecto en el ámbito de las tecnologías médicas. Esta revisión bibliográfica presenta los avances tecnológicos más recientes y analiza los proyectos e investigaciones similares. Realizada con el propósito de entender la relevancia y el potencial impacto del trabajo, proporciona una base sólida para su desarrollo y lo alinea con las necesidades y desafíos del sector.

²API: Interfaz de Programación de Aplicaciones / REST: Representational State Transfer

³Capa de Conexión Segura

Revisión de tecnologías

Sensor MPU-6050 en salud

El MPU-6050, uno modelo IMU ampliamente utilizado en aplicaciones portátiles, destaca por su bajo coste, eficiencia energética y alto rendimiento. Su capacidad de rastrear con precisión tanto movimiento rápidos como lentos lo hace ideal para su uso en aplicaciones de monitoreo de salud [Jian, 2016]. Los siguientes estudios resaltan la relevancia de este sensor en la mejora de diagnósticos y tratamientos médicos.

- “Automatic Assessments of Parkinsonian Gait with Wearable Sensors for Human Assistive Systems”⁴, artículo de Han et al. (2023), presenta un modelo basado en el aprendizaje automático para la evaluación automática de la marcha en pacientes con enfermedad de Párkinson (EP). Utiliza dos sensores MPU-6050 que sitúa en la espinilla para recopilar los datos de la marcha y proporcionar un valor de la Escala Unificada de Clasificación de la Enfermedad de Párkinson (UPDRS). Los resultados obtenidos con este modelo proporcionan una precisión del 84,9 % en la clasificación, hasta un 10 % mayor que las clasificaciones realizadas con otros modelos tradicionales. Este es un avance significativo hacia evaluaciones más objetivas y detalladas de la marcha en pacientes con Párkinson [Han et al., 2023].
- El artículo “A novel sensor-embedded holding device for monitoring upper extremity functions”⁵ de Ma et al. (2022) se centra en el desarrollo de un dispositivo de monitoreo para la rehabilitación de las extremidades superiores. En este dispositivo cilíndrico (SEHD⁶), el MPU-6050 es un sensor clave que permite monitorizar con precisión la funcionalidad de dichas extremidades a través de registros de la destreza manual, la fuerza de agarre, la aceleración y la velocidad angular. En el estudio se pone a prueba el dispositivo desarrollado con diferentes grupos de personas, concluyendo que puede ser utilizado de forma efectiva para evaluar la rehabilitación en pacientes con disfunciones de las extremidades superiores causadas por accidentes cerebrovasculares, traumatismos o envejecimiento [Ma et al., 2022].

⁴Evaluaciones automáticas de la marcha parkinsoniana con sensores portátiles para sistemas de asistencia humana

⁵Un novedoso dispositivo de sujeción con sensores incorporados para monitorear las funciones de las extremidades superiores

⁶Sensor-Embedded Holding Device, que se traduce por 'Dispositivo de Sujeción con Sensores Incorporados'

- El proyecto NanoStim pretende desarrollar un sistema que permita la electroestimulación en el domicilio del paciente. Dentro de él se enmarca el artículo “Motion Sensors for Knee Angle Recognition in Muscle Rehabilitation Solutions”⁷ de Franco et al. (2022), en el que se desarrolla un sistema portátil para reconocer el ángulo de la rodilla a través de un sensor MPU-6050 y un microcontrolador ESP32. Para mejorar la precisión del sistema, se implementaron y evaluaron tres filtros de optimización. La aplicación myHealth se desarrolla de forma paralela al dispositivo hardware para mostrar una representación gráfica del movimiento en tiempo real y facilitar a los pacientes la gestión sus sesiones de tratamiento. Para la transmisión de datos, se emplea la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE). Además, se llevaron a cabo pruebas con voluntarios en entornos reales para evaluar la efectividad tanto del dispositivo y como de la aplicación [Franco et al., 2022].

Bluetooth en la monitorización de la salud

La tecnología Bluetooth proporciona una conexión segura que, unida a su bajo precio y consumo, la sitúan entre las tecnologías inalámbricas más populares [Zubiete et al., 2011] y que mayores facilidades presentan para su integración en el ámbito médico [Franco et al.,]. Su empleo en la transmisión de señales biomédicas, sin generar interferencia con otras señales [Carranza et al., 2011], contribuye a la obtención de sistemas de monitoreo continuo.

La búsqueda bibliográfica sobre el uso del Bluetooth en el sector sanitario ha revelado una gran cantidad de resultados. Entre ellos, destacan numerosos estudios y artículos enfocados en el desarrollo de dispositivos y aplicaciones para la monitorización del estado de pacientes. Muchos de estos proyectos están relacionados directa o indirectamente con la pandemia de la COVID-19, ya sea directamente con dicha enfermedad o con la necesidad de reducir la dependencia del personal sanitario en procesos como rehabilitaciones y otras actividades [Leibold et al., 2023].

- En el artículo de Müller et al. (2022) se analiza la rápida evolución y aplicación de las tecnologías mHealth (salud móvil) durante la pandemia de COVID-19. Una de las aplicaciones más relevantes es el desarrollo de aplicaciones nacionales de rastreo de contactos. Dichas

⁷Sensores de movimiento para el reconocimiento del ángulo de la rodilla en soluciones de rehabilitación muscular

apps móviles emplean la tecnología Bluetooth para facilitar el rastreo de contactos, manteniendo el anonimato y privacidad de los usuarios al mismo tiempo que notifican posibles exposiciones con alguien que ha dado positivo en la enfermedad [Müller et al., 2022].

- “A Wearable Inertial Measurement Unit for Long-Term Monitoring in the Dependency Care Area”⁸ es un artículo de Rodríguez-Martín et al. que describe el desarrollo de la Unidad de Medición Inercial (IMU) 9x2, diseñada para el análisis del movimiento en personas dependientes o con EP. El dispositivo recopila datos a través de un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Cuenta con clasificadores en línea integrados en el microcontrolador para el análisis de datos, los cuales pueden ser almacenados en una tarjeta microSD. Además, incluye un módulo Bluetooth para la transmisión de datos en tiempo real y la recepción de instrucciones de sistemas externos. La IMU 9x2 destaca por su gran autonomía, portabilidad y capacidad de integrarse con otras tecnologías, lo que amplía su aplicabilidad [Rodríguez-Martín et al., 2013].

Plataformas web en el seguimiento de enfermedades

Debido al fácil acceso a Internet desde diversos dispositivos y las mejoras tecnológicas de los últimos años, las plataformas web para el monitoreo de la salud han ganado importancia y están cada vez más integradas en la vida diaria de la población [Field and Grigsby, 2002]. Estas plataformas permiten la interacción con múltiples dispositivos de salud y manejan grandes cantidades de datos de manera eficiente y automatizada. Son, además, económicas y accesibles para la mayor parte de los usuarios, ya que no suponen ningún esfuerzo de instalación o configuración y las actualizaciones se realizan de forma automática.

Las características descritas convierten a las aplicaciones web en herramientas útiles en el ámbito de la salud, especialmente en el seguimiento de enfermedades, como se muestra en el siguiente ejemplo.

- ePoint.telemed es una plataforma destinada al monitoreo de pacientes con insuficiencia cardíaca crónica (CHF) desde sus domicilios. El acceso a la plataforma se realiza a través de un navegador web con conexión a Internet, lo que facilita el acceso y su manejo, tanto para los pacientes

⁸Una Unidad de Medición Inercial vestible para el monitoreo a largo plazo en el área de atención a la dependencia.

como para los profesionales de la salud. Dicha conexión, permite el uso de la plataforma en una variedad de dispositivos y asegura la transmisión automática de datos a un servidor central en el hospital. ePoint.telemed maneja y recopila datos de dispositivos de salud, como los medidores de presión arterial y bascular, de forma eficaz. Durante el desarrollo, se contó con la participación de profesionales médicos para garantizar el cumplimiento de objetivos y la utilidad futura del proyecto. En la fase de prueba, los pacientes expresaron su satisfacción con el producto. Tras completar el desarrollo y las pruebas, se inició un ensayo controlado aleatorio (RCT) para evaluar la efectividad clínica y la rentabilidad de ePoint.telemed en el norte de Noruega [Serrano and Holthe, 2015].

Revisión de proyectos similares

La búsqueda de información sobre proyectos previos en el mismo ámbito es esencial para entender las consideraciones actuales e identificar brechas y carencias en la investigación disponible. Este análisis permitirá una mejor comprensión de las necesidades de los usuarios, orientando el desarrollo del nuevo proyecto hacia aportes más relevantes y específicos.

Los descritos a continuación son aquellos proyectos considerados más afines y cuyo análisis puede ser de mayor relevancia en el desarrollo del nuevo proyecto.

- El artículo “A Non-Invasive Medical Device for Parkinson’s Patients with Episodes of Freezing of Gait” de Punin et al. se centra en el desarrollo de un dispositivo económico de monitoreo de la marcha parkinsoniana, con el objetivo de reducir la frecuencia y la duración de episodios de Freezing of Gait⁹ (FOG) mediante la aplicación de vibración en las extremidades inferiores. El sistema utiliza dos dispositivos, uno para cada tobillo, que incorporan la IMU MPU-6050 para la obtención de los datos de la marcha. Estos datos son procesados mediante un algoritmo basado en la Transformada Wavelet Discreta. Además del hardware, se diseñó una aplicación móvil que recibe, a través de Bluetooth, información sobre los datos de aceleración registrados por el módulo MPU-6050. La aplicación muestra una representación gráfica de dicha aceleración, permite al usuario comprobar la energía de la señal y controlar manualmente la activación del estímulo vibratorio. Este proyecto proporciona a los pacientes con EP una forma

⁹congelación de la marcha

accesible de manejar los episodios de FOG, mejorando su calidad de vida [Punin et al., 2019].

- El andador inteligente descrito en el artículo “ROS-Based Smart Walker with Fuzzy Posture Judgement and Power Assistance”¹⁰ está diseñado asistir a personas mayores o con dificultades motoras, como las que padecen EP. Este dispositivo utiliza un Sistema Operativo Robótico (ROS) y una variedad de sensores junto a un controlador difuso, para controlar automáticamente la velocidad del andador y ayudar al usuario a ajustar su postura en función de las condiciones del entorno. Los principales componentes hardware son un procesador Raspberry Pi 3 B+, que integra tanto WiFi como Bluetooth, y un microcontrolador PIC. Los múltiples sensores utilizados, como el MPU-6050, sirven para monitorear tanto las acciones del usuario como el entorno. Por otro lado, la aplicación móvil asociada al andador, permite a una persona externa recibir información en tiempo real del estado y la ubicación del paciente. También incorpora una base de datos, desarrollada con MySQL, para almacenar los datos recopilados por los sensores, facilitando el seguimiento y evaluación de la salud del paciente [Chang et al., 2021].
- PAGAS, acrónimo de ‘Portable and Accurate Gait Analysis System’¹¹, es un sistema de análisis de la marcha especialmente útil para personas con EP. El dispositivo esta formado por dos sensores ubicados en las plantillas de los zapatos para registrar el apoyo del talón y despegue de los dedos, además de un microcontrolador Arduino BT con ATmega328 que incorpora tecnología Bluetooth. El microcontrolador se encarga de gestionar la recopilación de datos y su transmisión vía Bluetooth, pero el procesamiento de estos datos para la obtención de los parámetros de la marcha se realiza a través de una aplicación Android. Esta aplicación, que presenta una interfaz gráfica de usuario (GUI) muy básica, permite visualizar los parámetros de la marcha en tiempo real, controlar el sistema, y almacenar los resultados para un seguimiento a largo plazo. PAGAS es una solución innovadora y accesible que permite analizar la marcha en diversos entornos, favoreciendo la supervisión continua y la reducción del gasto sanitario [Wagner and Ganz, 2012].

¹⁰Andador inteligente basado en ROS con juicio de postura y asistencia de potencia.

¹¹Sistema portátil y preciso de análisis de la marcha

Metodología

4.1. Descripción de los datos.

Como ya se ha mencionado, este proyecto se basa en un Trabajo de Fin de Grado previo [González, 2023b], cuyo producto fue un prototipo para registrar los movimientos de la pierna izquierda durante la marcha en pacientes con EP. Los datos se obtenían a través del sensor inercial MPU-6050 y, tras procesarlos, se visualizaban en una pantalla LCD y en el monitor serie de Arduino. Esta información, presentada de forma clara y comprensible, resulta aplicable al estudio de la EP, poniendo el enfoque en la congelación de la marcha. Todo este proceso transcurría exclusivamente en el microcontrolador Arduino UNO. En este dispositivo se cargaba un programa específico que, trabajando con la librería MPU6050, permitía la lectura de los datos del sensor y su análisis en tiempo real, proporcionando información detallada sobre el número de pasos, la velocidad de la marcha y la detección de bloqueos, elementos clave como indicadores de congelación de la marcha.

En el proyecto actual se trabajó para que los datos de actividad, recogidos y procesados del proyecto anterior, se enviaran vía Bluetooth a la página web desarrollada en este proyecto, así como a la base de datos, cuando el usuario así lo decida. En la web, la información puede visualizarse en tiempo real y, si se ha optado por el almacenamiento, de forma posterior junto a una serie de estadísticas básicas.

Ha sido necesaria la creación de una base de datos para almacenar los datos recogidos por Arduino y para gestionar la información específica de la web, como datos de inicio de sesión y las relaciones profesional-paciente. Esta base

de datos define las tablas ‘actividades’, ‘pacientes’, ‘profesional_paciente’ y ‘usuarios’.

La comunicación entre las diferentes partes que conforman el proyecto (Arduino, web y base de datos) se maneja a través de dos archivos intermedios que trabajan de forma coordinada.

- Un script de python, encargado de las interacciones entre Arduino y el servidor web Node.js. Esto es posible gracias a la implementación de la librería SoftwareSerial en el script de Arduino.
- Un servidor Node.js que maneja las peticiones para almacenar y recuperar información de la base de datos.

En el *Anexo D* se proporciona una explicación detallada de los scripts y ficheros que intervienen en el manejo de datos, incluyendo además un análisis sobre su tratamiento.

4.2. Técnicas y herramientas.

Metodologías de desarrollo software

La clasificación de proyectos es un paso vital para la selección del método de desarrollo más eficaz y que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto software que se quiere llevar a cabo.

En la Figura 4.1 se presenta una forma simple de clasificación, basada en los conocimientos sobre las necesidades a cubrir y las características de la solución software [Pradel Miquel et al., 2013].

	Solución conocida	Solución poco conocida
Objetivo claro	1	2
Objetivo poco claro	3	4

Figura 4.1: Clasificación proyectos software [Pradel Miquel et al., 2013]

El proyecto de desarrollo de una web para el seguimiento de la evolución de la marcha en pacientes con Párkinson se encuadraría dentro del Grupo 1. Dado que los objetivos y enfoque están claramente definidos,

sería adecuado escoger el método de ciclo de vida clásico o en cascada [Pradel Miquel et al., 2013]. Esta elección está justificada por la importancia de la sencillez de aplicación sobre la tolerancia al cambio. En otros casos, en los que la flexibilidad cobra más importancia, podría ser más conveniente aplicar métodos iterativos o ágiles.

Ciclo de vida clásico o en cascada

Este método de desarrollo software destaca por la sencillez de su aplicación y su forma de organización similar a una cadena de producción [Pradel Miquel et al., 2013].

Las etapas que conforman el desarrollo de un proyecto siguiendo este método son las mostradas en la Figura 4.2 y descritas [Pradel Miquel et al., 2013] a continuación:

1. Requisitos. Definir qué debe ser el producto a través de la recopilación y documentación de sus funcionalidades.
2. Análisis y diseño. Definir los puntos de vista externo e interno del producto. Describir los componentes y cómo interactúan entre sí.
3. Implementación. Escribir el código de acuerdo con las especificaciones de análisis y diseño. Generar manuales y producto ejecutable.
4. Pruebas. Comprobar que el producto final cumple con los requisitos.
5. Mantenimiento. El producto se distribuye a los usuarios y se corrigen los defectos que estos encuentren.



Figura 4.2: Ciclo de vida en cascada [Pradel Miquel et al., 2013]

Herramientas Software

Entornos de programación y programas

- **Visual Studio Code** (v1.84.2). Avanzado editor de código fuente disponible para Windows, macOS y Linux. Destaca por ser ligero y potente, ofreciendo soporte para JavaScript, TypeScript y Node.js, además de numerosas extensiones para otros lenguajes como Python y PHP [[VSCode](#),]. Se puede obtener desde la página oficial <https://code.visualstudio.com/>.
- **XAMPP** (v8.2.0). Distribución de Apache que permite iniciar, detener y configurar de forma sencilla los servicios de MariaDB, PHP y Perl que contiene [[XAMPP](#),]. Descargar el instalador desde <https://www.apachefriends.org/es/download.html> y ejecutar desde el ordenador.
- **Node.js** (v20.10.0). Entorno de ejecución de JavaScript del lado del servidor, es multiplataforma y de código abierto [[Node.js](#),]. Instalación desde <https://nodejs.org/en> y comprobación a través de la ejecución del comando 'node -v' en el terminal cdm.
- **Node Package Manager** (v10.2.3). Es, por defecto, el sistema de gestión de paquetes de Node.js [[Node.js](#),]. Obtención desde las opciones de instalación de Node.js. Se puede comprobar si la instalación ha sido correcta a través de la ejecución del comando 'npm -v' en el terminal cdm.
- **IDE Arduino** (v1.8.19). Entorno de programación de código abierto, sencillo y extensible a través de bibliotecas C++, para programar placas Arduino [[Arduino](#), f]. Disponible en <https://www.arduino.cc/en/software>.
- **ChatGPT**. Herramienta de inteligencia artificial utilizada de apoyo en el desarrollo de código implementado para el funcionamiento del proyecto. Accesible desde <https://chat.openai.com/>
- **Balsamiq Wireframes** (v4.6.5). Herramienta para la creación de prototipos y maquetas de interfaces de forma rápida y clara [[Balsamiq](#),]. Hay una versión para escritorio disponible en <https://balsamiq.com/wireframes/desktop/>.
- **Diagramas.net** (v13.0.1). Herramienta en línea para la creación de diagramas y gráficos. Cuenta con diferentes opciones para su uso junto

a VS Code, GitHub, Dropbox y herramientas similares de trabajo en equipo [draw.io,]. Accesible desde <https://www.drawio.com/>.

- **Lucidchart** (v1.163.3). Software de diagramación online que permite el trabajo individual y en equipo [Lucid,]. Existe una versión gratis y otra más completa de pago. Se puede acceder desde <https://www.lucidchart.com/pages/es>.
- **GitHub** (v3.11.2). Repositorio en línea de código fuente que facilita el control de versiones y la colaboración en proyectos software mediante el sistema Git [Fernández, 2019]. Acceso desde Internet en el siguiente enlace: <https://github.com/>.
- **GitHub Desktop** (v3.3.6). Aplicación de escritorio que facilita el uso de Git y el trabajo con código almacenado en GitHub, mediante una interfaz gráfica de usuario [GitHub,]. Para instalar visita la página <https://desktop.github.com/>.

Lenguajes de programación

Una variedad de lenguajes han sido utilizados para la obtención de la página web:

- Con soporte incorporado en VS Code: **HTML**, **JavaScript** y **CSS**.
- Con requisitos previos a su empleo en VS Code:
 - **PHP**. Requiere una extensión de servidor PHP. Se ha empleado PHP Intelephense, disponible en las extensiones de VS Code.
 - **Python** (v3.12.1). Para que su uso sea posible en VS Code debe ser instalado en el ordenador de trabajo desde <https://www.python.org/downloads/>, y añadir la extensión Python de Microsoft.
- Sin requisitos adicionales: **SQL** y **Bootstrap**.

Además, ha sido necesario el uso del lenguaje **Arduino**. Basado en Wiring y similar a C++ [Arduino, f]. Se emplea dentro del Arduino IDE para crear el programa que se va a cargar en el microcontrolador Arduino UNO R3.

Librerías y paquetes

Librerías de Arduino:

- **MPU6050.** Librería que permite realizar la lectura del MPU-6050 [Llamas, 2016]. Desarrollada por Jeff Rowberg y disponible en su repositorio de GitHub.
- **I2Cdev.** Mejora la estabilidad y eficiencia de la comunicación I2C [Llamas, 2016]. Se puede descargar como archivo zip desde el repositorio GitHub de Jeff Rowberg para su posterior subida a Arduino IDE.
- **Wire.** Necesaria para el funcionamiento de la librería I2Cdev. Permite la comunicación con dispositivos I2C [Arduino, e]. Disponible en Arduino IDE en "Programa/Incluir librería".
- **SoftwareSerial.** Permite la comunicación, en este caso el envío de datos por Bluetooth, a través de pines digitales de la placa Arduino [Arduino, 2024]. Se puede incluir desde Arduino IDE en "Programa/Incluir librería".
- **LiquidCrystal_I2C.** Requerida para el manejo de la pantalla LCD a través del módulo I2C [Arduino, c]. Posibilidad de instalar directamente en Arduino IDE siguiendo la ruta "Programa/Incluir librería/Administrar bibliotecas".

Paquetes Python:

Para la instalación ejecutar 'pip install pyserial requests' en la terminal de VS Code o cdm.

- **PySerial.** Provee de comunicación serial a la aplicación Python , permitiendo la lectura y la escritura de datos [PySerial, 2020].
- **Requests.** Librería HTTP para el envío de solicitudes de forma sencilla [PSF, 2023].

Paquetes Node.js:

Se deben instalar desde el terminal cdm situado en el directorio de mi proyecto node (en este caso en la carpeta 'Arduino Server').

- **Express.** Framework que proporciona los mecanismos necesarios para el desarrollo de aplicaciones web [MDN, b]. Se obtiene a través de la ejecución del comando 'npm install express'.
- **Body-Parser.** Librería que se utiliza con express para trabajar con datos de solicitudes como JSON y datos de formulario. El comando de instalación es 'npm install body_parser'.
- **MySQL.** Utilizado para el manejo de la lógica que permite conectar la base de datos y el servidor de Node.js. Para proceder a la instalación ejecutar 'npm install mysql'.
- **CORS.** Se emplea con Express y sirve para habilitar el Intercambio de Recursos de Origen Cruzado (CORS) [MDN, a] es decir, cuando el archivo html no se encuentra en el directorio de trabajo de Node.js. Instalación a través del comando 'npm install cors'.

Tecnologías de comunicación

La selección del método de conexión adecuado es vital para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema y satisfacer las necesidades que este pretende abarcar. Para escoger la tecnología adecuada, es importante analizar las características de los principales métodos de comunicación disponibles para Arduino y aplicables a este proyecto: Ethernet, WiFi y Bluetooth.

Ethernet

Ethernet es una tecnología de comunicación que utiliza el protocolo Ethernet para permitir la conexión alámbrica de dispositivos electrónicos en una LAN (Local Area Network). También puede ser utilizada en una WAN (Wide Area Network) [Burke, 2021] [Telefónica,].

Permite el envío de datos y la conexión a internet de los equipos conectados por cable Ethernet a la red LAN de forma barata,iable, segura y a una muy alta velocidad [Burke, 2021] [Telefónica,].

- **Shield Ethernet W5100** (Figura 4.3).

Es un módulo para Arduino en el que se diferencian dos partes:

- Chip W5100. Controlador de Ethernet que, sin necesidad de un Sistema Operativo, permite implementar la comunicación por internet en Arduino a través de la pila de protocolos TCP/IP [Llamas, 2017] para el envío de datos. Además, presenta un buffer

interno de 16 Kbytes gracias al cual no consumirá memoria del microprocesador Arduino y que, junto con la pila de protocolos, conseguirá liberar a este de tareas [Llamas, 2017].

- Lector microSD. Incorpora un lector microSD que puede servir para almacenar ficheros necesarios que le permitan actuar como servidor [Llamas, 2017].

Ambos elementos comparten el bus SPI, requiriendo especial atención para evitar conflictos durante su uso conjunto [Arduino, 2016].

- Valoración.

La tecnología Ethernet es alámbrica, lo que supone una gran desventaja si se aplica a este proyecto. No permite cumplir los objetivos principales de aumento de la autonomía y comodidad del usuario.



Figura 4.3: Shield Ethernet W5100 [Amazon, c]

WiFi

WiFi es una tecnología de red de área local inalámbrica (WLAN) que, a través de radiofrecuencia [Beal, 2022], proporciona acceso a Internet a todos los dispositivos conectados y al mismo tiempo les permite interaccionar entre sí [Cisco,]. Todo el proceso de comunicación está definido por los protocolos del estándar IEE 802.11 [Cisco,][Beal, 2022].

La conexión a Internet se consigue a través de un router inalámbrico que emite una señal dentro de cuyo alcance cualquier dispositivo, también inalámbrico, podrá conectarse [Cisco,].

- **Módulo WiFi ESP8266 ESP01** (Figura 4.4).

El módulo para Arduino está conformado por la memoria Flash, principal diferencia entre los diferentes módulos ESP8266; y el SoC (System on Chip) ESP8266, que agrupa diversos componentes entre los que destacan un procesador de 32 bits y un chip WiFi que implementa protocolos TCP/IP [Llamas, 2018]. Además, destaca entre el resto de la familia ESP8266 debido a su reducido tamaño y bajo precio.

- **Valoración.**

Su principal ventaja frente a la conexión Ethernet es que al ser inalámbrica permite mayor comodidad y movilidad, pero esto también se traduce en una reducción de la seguridad y la velocidad, que además presentará mayores fluctuaciones y por tanto una menor fiabilidad [González, 2023a]. De todos modos, para este proyecto, la conexión inalámbrica se considera una prioridad, por lo que el empleo de tecnología WiFi sería más adecuado que el de Ethernet.



Figura 4.4: Shield Ethernet W5100 [[Amazon](#), b]

Bluetooth

Bluetooth es una tecnología inalámbrica de corto alcance que utiliza ondas de radio para la transmisión de datos (principalmente paquetes pequeños) y la conexión directa entre dos dispositivos (hosts) sin la necesidad de una infraestructura de red [Intel, 2022].

El emparejamiento de dos dispositivos mediante bluetooth es un proceso simple que puede llevarse a cabo de forma manual y en ocasiones automática. La conexión se caracteriza por el salto de los dispositivos emparejados entre los diferentes canales en búsqueda de la menor interferencia [Intel,], lo que se denomina salto en frecuencia y permite un desempeño consistente y de baja latencia.

- **Módulo Bluetooth HC-05** (Figura 4.5).

Permite la conexión de Arduino con otro dispositivo de forma muy sencilla ya que es similar a utilizar un puerto serie normal. Su principal característica es que actúa como master y server [Llamas, 2015], lo que significa que permite tanto iniciar como recibir comunicaciones. Por este motivo se elige frente al módulo HC-06, que únicamente permite recibir [Llamas, 2015].

- **Valoración.**

Si se compara la conexión bluetooth con la red WiFi una de las mayores diferencias es el alcance máximo, siendo mayor el de la tecnología WiFi. Además, ambas tecnologías son inalámbricas y conectan dispositivos entre sí, pero, mientras que el Bluetooth se emplea preferiblemente para la conexión de periféricos y dispositivos debido a su mayor potencia, la WiFi se utiliza para dar acceso a Internet ya que se caracteriza por una mayor velocidad [López, 2022].

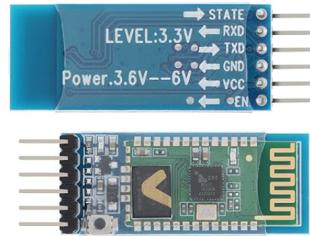


Figura 4.5: Shield Ethernet W5100 [Amazon, f]

Selección tecnología

Con el fin de escoger la tecnología más adecuada para cumplir con los requisitos del proyecto, se realizó un análisis en profundidad de cada una de ellas. La elección del Bluetooth se basa en dos razones principales:

1. Ventajas de la conexión inalámbrica para la comodidad de uso. Ethernet es la única tecnología que no cumple con este requerimiento.
2. Priorizar la conexión entre dispositivos. La WiFi, además de permitir conexión inalámbrica entre dispositivos, proporciona a nuestro dispositivo una conexión a Internet innecesaria y que supone complicaciones adicionales. Esto proporciona una ventaja al Bluetooth, que destaca por su simplicidad y eficiencia en la conexión.

Herramientas Hardware

Partiendo del prototipo desarrollado en [González, 2023b], se ha desarrollado una versión básica que implementa el envío de datos de forma inalámbrica a través de un módulo Bluetooth. Se proporciona autonomía completa al dispositivo para su uso en el desarrollo de pruebas.

En este apartado se incluye una breve descripción de todos los componentes hardware utilizados.

- **Microcontrolador Arduino UNO R3** (Figura 4.6).

Placa microcontroladora basada en el ATMega328P y que dispone de entradas y salidas para pines tanto digitales como analógicos [Arduino, b]. Es sencilla de programar utilizando Arduino IDE y facilita la carga de programas mediante conexión USB.



Figura 4.6: Microcontrolador Arduino UNO R3. [Arduino, b]

- Acelerómetro + Giroscopio MPU-6050 (Figura 4.7). Unidad de Medición Inercial (IMU) de muy bajo precio, cuya comunicación se puede realizar mediante bus I2C o por SPI de forma sencilla, y que incluye 6 ejes (3 del giroscopio y 3 del acelerómetro [Llamas, 2016]). Una de sus principales ventajas es su reducido coste.

- Display LCD 16x2 con interfaz I2C (Figura 4.8).

En la pantalla lcd se mostrarán datos enviados por el programa de Arduino para que el usuario pueda consultarlos mientras la actividad está en curso, a pesar de que también se mostrarán en la web. La interfaz I2C simplifica el número de conexiones del módulo lcd con Arduino y añade funcionalidades entre las que se encuentran el control del brillo y ajuste del contraste [Arduino, a].

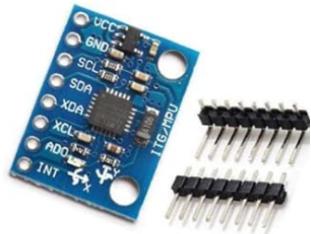


Figura 4.7: Sensor MPU-6050. [Amazon, i]



Figura 4.8: Display LCD 16x2 con interfaz I2C. [Amazon, d]

- **Módulo Bluetooth HC-05** (Figura 4.5).
Proporciona una forma sencilla de conexión para el envío de datos entre Arduino y otro dispositivo, contando con la ventaja tener funcionalidad master y server [Llamas, 2015].
- **Pulsadores** (Figura 4.9).
Incluidos en el programa Arduino de tal forma que permitan el inicio y finalización de la actividad de recogida de datos.



Figura 4.9: Pulsador. [Amazon, j]

- **Resistencias** necesarias para el correcto montaje de los pulsadores.
- **Cables** para realizar las conexiones pertinentes.

Mejoras hardware

En este trabajo se pretendía, además de lograr la comunicación, realizar unas pequeñas mejoras que permitieran el funcionamiento del prototipo de forma autónoma y con la mayor comodidad posible para el paciente. Se realizó un trabajo de soldadura para asegurar las conexiones entre todos los componentes. Los elementos hardware empleados son los que se describen a continuación.

- **Caja para prototipos** (Figura 4.10).

Almacena todo el hardware necesario para el funcionamiento del prototipo, excepto el módulo MPU-6050, que se ubica en el tobillo izquierdo. Fabricada con un plástico resistente que protegerá el microprocesador y las conexiones entre todos los componentes. Tiene perforaciones diseñadas exclusivamente para los siguientes propósitos:

- Visualización del display LCD.
- Acceso a pulsadores e interruptor.
- Permitir la conexión USB del microprocesador Arduino UNO para la carga de programas.
- Sujeción de una parte del conector 5 pines.



Figura 4.10: Caja para prototipos [Amazon, h]

- **Batería recargable de 9V y conector de batería** (Figura 4.11).

Provee una fuente de alimentación externa que, junto al módulo Bluetooth, permite la autonomía total del prototipo.

- **Interruptor** (Figura 4.12).

Mecanismo de encendido y apagado, controla el flujo de energía que llega al sistema desde la batería externa.



Figura 4.11: Batería 9V con conector.



Figura 4.12: Interruptor deslizante. [Amazon, g]

- **Conecotor 5 pines (Figura 4.13).**

Este conector macho y hembra permite la conexión y desconexión del módulo MPU-6050 del sistema. Proporciona dos partes separables: el sensor y la caja de prototipos con el resto del hardware. Es una funcionalidad que facilita el almacenamiento y uso del prototipo.



Figura 4.13: Conecotor 5 pines. [Amazon, a]

- **Cable multihilo flexible** (Figura 4.14).

El cable contiene un mínimo de cuatro hilos y debe ser flexible para asegurar una completa libertad de movimiento al usuario. Conecta el módulo MPU-6050 a un extremo del conector 5 pines.



Figura 4.14: Cable multihilo flexible. [Amazon, e]

- **Proto Shield** (Figura 4.15).

Fácilmente acoplable al microprocesador, permite la construcción de circuitos mediante soldadura para una mayor seguridad en la conexión de los elementos que componen el prototipo.

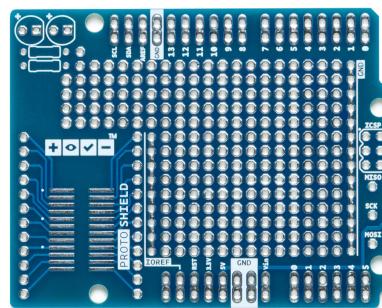


Figura 4.15: Proto Shield. [Arduino, d]

Resultados

Una vez completado el proceso de desarrollo del proyecto, se debe realizar un análisis de los resultados obtenidos. De esta forma, se comprueba la eficacia y eficiencia del trabajo realizado en relación a los objetivos planteados al inicio.

5.1. Resumen de resultados.

El trabajo realizado ha logrado con éxito la creación de una herramienta que avanza en la monitorización de la EP. El desarrollo central ha sido una página web que facilita el control inalámbrico del dispositivo de recopilación de datos, e implementa nuevas funcionalidades para sus usuarios.

Esta plataforma web gestiona de forma eficaz la información de los diferentes tipos de usuarios registrados. Su interfaz implementa dicha gestión, ofreciendo funciones de creación, eliminación, modificación y consulta de información personal, así como de los datos obtenidos de la monitorización. Cumpliendo con el objetivo principal del proyecto, se ha logrado la comunicación en tiempo real para la visualización de parámetros de la actividad en curso, pero es necesario seguir trabajando en la precisión del registro y procesamiento de datos del sensor para evaluar y mejorar la velocidad de comunicación. Además, se han generado estadísticas básicas sobre los datos de monitorización almacenados para cada paciente. La futura explotación de los datos almacenados aumentará la utilidad del sistema, convirtiéndolo en un herramienta de valiosa para la toma de decisiones médicas objetivas en el tratamiento de pacientes con EP.

Para la implementación de estas funcionalidades, ha sido imprescindible lograr una conexión fiable a través de Bluetooth, diseñar y desarrollar una

base de datos adaptada a las necesidades del sistema, y crear una interfaz comprensible y accesible para todos los usuarios.

A pesar de que no era un objetivo principal, se ha logrado una mejora significativa en el prototipo hardware. El dispositivo obtenido facilita la movilidad en la realización de pruebas y presenta una autonomía completa, asegurando la seguridad y manejabilidad del prototipo. El montaje final se muestra en la Figura 5.1.



Figura 5.1: Hardware del dispositivo final.

5.2. Discusión.

Los resultados de este proyecto son una fuente de innovación y mejora respecto a otros trabajos del ámbito de la monitorización de la EP. Uno de los mayores avances es la creación de una interfaz web multifuncional, que admite distintos tipos de usuarios (administrador, profesional y paciente) permitiéndoles gestionar su información. La plataforma también proporciona estadísticas personalizadas y comprensibles, con un diseño que asegura la accesibilidad de usuarios con diferentes competencias tecnológicas. Otra característica diferenciativa es su enfoque en el uso de los datos de monitorización de la marcha para la práctica clínica como apoyo en la toma de decisiones informadas. Estos datos también son de utilidad para los pacientes, y el proyecto contempla la integración de un sistema de alarma que les ayude a manejar situaciones de bloqueo en la marcha.

Para evaluar la usabilidad¹² de la aplicación web desarrollada, se considera oportuno diseñar y completar una SUS (System Usability Scale¹³). La SUS es una herramienta simple y confiable que, a través de un cuestionario de diez elementos, permite una evaluación rápida y de bajo coste. Utilizando este cuestionario se abordan diferentes aspectos de la usabilidad de la web, lo cual aumenta la validez y fiabilidad de los resultados y conclusiones derivadas de su uso [Brooke, 1995]. La puntuación SUS obtenida tras la evaluación fue de 97.5 sobre 100, superando sin lugar a dudas el punto de referencia estándar (68), y confirmando la obtención de una plataforma web que cumple con creces sus objetivos. La encuesta y sus resultados pueden consultarse en el Anexo *G.1-Detalle de los resultados*.

¹²facilidad con la que un sistema puede ser usado para llevar a cabo las tareas que se le requieren

¹³Escala de Usabilidad del Sistema

Conclusiones

La ejecución de este proyecto ha finalizado con la obtención de un software innovador para la gestión y el seguimiento de la EP, superando los objetivos iniciales. Este desarrollo ha contribuido a la expansión del proyecto anterior, añadiendo funcionalidades, dotándolo de autonomía y mejorando la experiencia del usuario.

Por otro lado, el trabajo realizado ofrece un amplio abanico de posibilidades para continuar con futuras implementaciones hacia un sistema integral de monitorización de la EP. Este sistema, que tendría un significativo valor clínico, también podría mejorar notablemente la calidad de vida diaria de los pacientes.

6.1. Aspectos relevantes.

Uno de los mayores desafíos de este trabajo era establecer una comunicación inalámbrica eficiente y en tiempo real entre el dispositivo Arduino y el servidor web. Con este propósito se evaluaron diferentes tecnologías de comunicación disponibles para Arduino, optando finalmente por la tecnología Bluetooth, de bajo coste y rendimiento adecuado según los requerimientos del sistema. La implementación de este protocolo de comunicación no fue inmediata y se enfrentaron problemas de inestabilidad en la conexión por incompatibilidades entre los formatos de datos enviados por Bluetooth y los esperados por el archivo que manejaba la conexión.

El desarrollo del sitio web presentó otra serie de desafíos por la necesidad de emplear tecnologías con las que nunca antes se había trabajado.

Cabe mencionar la necesidad de mejoras en la fiabilidad de los datos recogidos por el sensor, un aspecto que ha supuesto complicaciones en la

realización de pruebas. Estos datos son poco fiables como consecuencia de una falta de exactitud en los procesos de obtención y manejo implementados en una versión anterior a este proyecto.

Los obstáculos mencionados fueron superados de forma que el trabajo concluyó cumpliendo con todas las expectativas.

Lineas de trabajo futuras

Este proyecto se concibe como la ampliación de un trabajo previo [González, 2023b], avanzando hacia la creación de un prototipo autónomo capaz de trabajar en coordinación con una aplicación software. Se ha logrado el objetivo general mediante el desarrollo de una página web, pero existen aspectos que requieren la continuación del trabajo de mejora. Entre estas mejoras destacan el fortalecimiento de la seguridad, el desarrollo de un diseño web más atractivo y el lanzamiento de la página web para su acceso desde cualquier dispositivo, ya que actualmente únicamente opera en modo local. Además, se debe considerar la posibilidad de mejorar la comunicación en tiempo real mediante la implementación de WebSockets, así como el desarrollo de una aplicación móvil que complemente a la plataforma web.

En cuanto a las funcionalidades del sistema, se propone mejorar el procesamiento de datos y obtener nuevas mediciones con el fin de generar unas estadísticas clínicas más precisas y relevantes. Esto incluye la implementación de un registro de la administración de medicamentos, ofrecer la posibilidad de registrar actividades sin que el Bluetooth esté conectado, y facilitar el proceso de calibración del sensor encargado de la monitorización.

A pesar de que no era un objetivo principal, este proyecto ha logrado una mejora en el prototipo hardware que facilita la realización de pruebas, pero no se han satisfecho necesidades hardware identificadas en la versión anterior. Además, se han detectado nuevos requerimientos. Las posibilidades de trabajo sobre el dispositivo, van desde la implementación de un sistema de alerta para episodios de congelación de la marcha, hasta mejoras en la precisión del sensor MPU6050 y añadir otro adicional para la pierna derecha.

En el *Anexo C.4: Instrucciones para la modificación o mejora del proyecto*, se incluyen comentarios de interés y se detallan a fondo cada uno de los aspectos susceptibles de mejora mencionados en este apartado.

Bibliografía

- [Amazon, a] Amazon. Aiqueer 5 piezas 5-pines gx12 aviación en-chufe conector, 12 mm rosca panel metal aviación conector, 5a macho hembra aviación conector, con goma tapa : Amazon.es: Electrónica. https://www.amazon.es/Aiqueer-5-Pines-Avaci%C3%B3n-Enchufe-Conector/dp/B09WXQM35Y/ref=sr_1_14?crid=HW3AD2DNOTQU&keywords=conector+5+pines+macho+y+hembra&qid=1705332438&sprefix=conector+5+%2Caps%2C167&sr=8-14. (Accessed on 01/15/2024).
- [Amazon, b] Amazon. Amazon.es : Módulo wifi esp8266 esp01. https://www.amazon.es/s?k=M%C3%B3dulo+WiFi+ESP8266+ESP01&__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2A1DBY557HK0K&sprefix=m%C3%B3dulo+wifi+esp8266+esp01%2Caps%2C100&ref=nb_sb_noss. (Accessed on 01/15/2024).
- [Amazon, c] Amazon. Amazon.es : Shield ethernet w5100. https://www.amazon.es/s?k=Shield+Ethernet+W5100&__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=1IYLFUFVW4B0L&suffix=shield+ethernet+w5100%2Caps%2C112&ref=nb_sb_noss_2. (Accessed on 01/15/2024).
- [Amazon, d] Amazon. Azdelivery hd44780 16x2 modulo lcd display bundle con interfaz i2c 2x16 caracteres compatible con arduino con e-book incluido! (con fondo verde y caracteres negros) : Amazon.es: Informática. https://www.amazon.es/AZDelivery-HD44780-pantalla-interfaz-caracteres/dp/B01N3B8JMN/ref=sr_1_2?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=WWRDZRHVFF8H&keywords=lcd%2B16x2%2Bcon%2Bi2c&qid=1705342734&suffix=lcd%2B16x2%2Bcon%2Bi2c%2Caps%2C225&sr=8-2&th=1. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, e] Amazon. Bluexp 5m blanco cable eléctrico de 4 núcleos de pvc alambres eléctricos de cobre de alta resistencia de la temperatura 4 x 0,34 mm² flexible cable de extensión familia industria laboratorio : Amazon.es: Bricolaje y herramientas. https://www.amazon.es/BlueXP-E1%C3%A9ctricos-Resistencia-Temperatura-Laboratorio/dp/B08N4BHL51/ref=sr_1_2?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&qid=2SR0YR3KATDPW&keywords=cable+multihilo+blanco+flexible+5+nucleos&qid=1705332259&sprefix=cable+multihilo+blanco+flexible+5+nucleos%2Caps%2C145&sr=8-2. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, f] Amazon. Digiyes hc-05 transceptor rf inalámbrico master slave módulo bluetooth integrado 6 pin puerto serie comunicación bt módulo apto para arduino : Amazon.es: Informática. https://www.amazon.es/DiGiYes-Transceptor-inal%C3%A1mbrico-Bluetooth-Comunicaci%C3%B3n/dp/B0BK987BKR/ref=sr_1_7?crid=SMY7UYDVOLZK&keywords=bluetooth+hc-05+arduino&qid=1705322587&sprefix=Bluetooth+HC-05%2Caps%2C169&sr=8-7. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, g] Amazon. Gebildet 150pcs interruptor deslizante 3 pines 2 posiciones spdt on/on, 0.5a 50v dc interruptor de montaje en panel/pcb, no momentáneo mini interruptor de palanca ss-12f15 : Amazon.es: Bricolaje y herramientas. https://www.amazon.es/Gebildet-Interruptor-Deslizante-Posiciones-Moment%C3%A1neo/dp/B07Z4RW9X6/ref=sr_1_13?crid=3NCCLHM030U41&keywords=interruptor%2Bdeslizante&qid=1705334802&sprefix=interruptor%2Bdesl%2Caps%2C149&sr=8-13&th=1. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, h] Amazon. Gtiwung 6 pcs caja de derivación, caja de cables conexiones electricas, caja empalme proyecto eléctrico, cubierta de plástico caja, caja de montaje fijo para bricolaje caso diy energía, 10*6*2,5 cm, negro : Amazon.es: Bricolaje y herramientas. https://www.amazon.es/GTIWUNG-Derivaci%C3%B3n-Conexiones-Electricas-E1%C3%A9ctrico/dp/B0BWLW941S/ref=sr_1_6?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&qid=3UF7VU0YMZY0&keywords=caja%2Bpara%2Bprototipos&qid=1705331937&sprefix=caja%2Bpara%2Bprototipos%2Caps%2C156&sr=8-6&th=1. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, i] Amazon. Hiletgo 3pcs mpu-6050 mpu6050 gy-521 3 axis accelerometer gyroscope module 6 dof 6-axis accelerometer gyroscope

sensor module 16 bit ad converter data output iic i2c for arduino : Amazon.es: Industria, empresas y ciencia. https://www.amazon.es/hiletgo-GY-521-MPU-6050-giroscopio-aceler%C3%B3metro-compatible/dp/B00LP25V1A/ref=sr_1_6?crid=1XFFY001MH4KG&keywords=mpu+6050&qid=1705339676&sprefix=mpu+%2Caps%2C505&sr=8-6. (Accessed on 01/15/2024).

[Amazon, j] Amazon. Runcci-yun 20pcs mini botón pulsador 7mm, pre cableado mini interruptor, momentáneo de botón 3v-6v-12v-24v-230v/1a, spst normal abierto on/off 2 pin pulsador de redondo para modelo de hobby ferroviario : Amazon.es: Coche y moto. https://www.amazon.es/RUNCCI-YUN-Interruptor-Moment%C3%A1neo-3V-6V-12V-24V-230V-Ferroviario/dp/B0BLC1QPC2/ref=sr_1_15?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=28VFNDWRKCJ72&keywords=pulsadores&qid=1705326395&sprefix=pulsadores%2Caps%2C121&sr=8-15. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, a] Arduino. 16x2 lcd display with i²c interface — arduino official store. <https://store.arduino.cc/products/16x2-lcd-display-with-i-c-interface?queryID=undefined>. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, b] Arduino. Arduino uno rev3 — arduino official store. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?queryID=undefined>. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, c] Arduino. Liquidcrystal i2c - arduino reference. <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal-i2c/>. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, d] Arduino. Proto shield rev3 (uno size) — arduino official store. <https://store.arduino.cc/products/proto-shield-rev3-uno-size?queryID=undefined>. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, e] Arduino. Wire - arduino reference. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>. (Accessed on 01/15/2024).

[Arduino, f] Arduino. ¿qué es arduino? | arduino. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. (Accessed on 01/14/2024).

[Arduino, 2024] Arduino (2024). Softwareserial library | arduino documentation. <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial>. (Accessed on 01/15/2024).

- [Arduino, 2016] Arduino, A. (2016). Ethernet shield | aprendiendo arduino. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/07/04/ethernet-shield/>. (Accessed on 01/13/2024).
- [Armstrong and Okun, 2020] Armstrong, M. J. and Okun, M. S. (2020). Diagnosis and treatment of parkinson disease: A review. *JAMA*, 323(6):548–560.
- [Balsamiq,] Balsamiq. Balsamiq: Fast, focused wireframing for teams and individuals | balsamiq. <https://balsamiq.com/>. (Accessed on 01/14/2024).
- [Beal, 2022] Beal, V. (2022). What is wi-fi? (definition & meaning) | webopedia. <https://www.webopedia.com/definitions/wifi/>. (Accessed on 01/13/2024).
- [Beitz, 2014] Beitz, J. M. (2014). Parkinson’s disease: a review. *FBS*, 6(1):65–74.
- [Brooke, 1995] Brooke, J. (1995). Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- [Burke, 2021] Burke, J. (2021). ¿qué es ethernet? - definición en computer weekly. <https://www.computerweekly.com/es/definicion/Ethernet>. (Accessed on 01/13/2024).
- [Carranza et al., 2011] Carranza, N., Febles, V., Hernández, J. A., Bardasano, J. L., Monteagudo, J. L., Fernández de Aldecoa, J. C., and Ramos, V. (2011). Patient safety and electromagnetic protection: a review. *Health Physics*, 100(5):530–541.
- [Chang et al., 2021] Chang, Y., Sahoo, N., Chen, J., Chuang, S., and Lin, H. (2021). Ros-based smart walker with fuzzy posture judgement and power assistance. *Sensors (Basel)*, 21(7):2371.
- [Cisco,] Cisco. ¿qué es la tecnología wifi? definición y tipos - cisco. https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wifi.html. (Accessed on 01/13/2024).
- [Coppola, 2022] Coppola, M. (2022). Frontend y backend: qué son, en qué se diferencian y ejemplos. <https://blog.hubspot.es/website/frontend-y-backend>. (Accessed on 01/30/2024).
- [draw.io,] draw.io. draw.io. <https://www.drawio.com/>. (Accessed on 01/14/2024).

- [Fernández, 2019] Fernández, Y. (2019). Qué es github y qué es lo que le ofrece a los desarrolladores. <https://www.xataka.com/basics/que-github-que-que-le-ofrece-a-desarrolladores>. (Accessed on 01/14/2024).
- [Field and Grigsby, 2002] Field, M. J. and Grigsby, J. (2002). Telemedicine and remote patient monitoring. *Jama*, 288(4):423–425.
- [Franco et al.,] Franco, R., Poveda, H., and Merchán, F. Sistemas de comunicaciones basadas en zigbee y bluetooth-low-energy para aplicaciones biomédicas.
- [Franco et al., 2022] Franco, T., Sestrem, L., Henriques, P. R., Alves, P., Varanda Pereira, M. J., Brandão, D., Leitão, P., and Silva, A. (2022). Motion sensors for knee angle recognition in muscle rehabilitation solutions. *Sensors*, 22(19).
- [Gardašević et al., 2020] Gardašević, G., Katzis, K., Bajić, D., and Berbakov, L. (2020). Emerging wireless sensor networks and internet of things technologies-foundations of smart healthcare. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(13):3619.
- [GitHub,] GitHub. Comenzar con github desktop - documentación de github. <https://docs.github.com/es/desktop/overview/getting-started-with-github-desktop>. (Accessed on 01/14/2024).
- [González, 2023a] González, C. (2023a). Wifi vs. ethernet: diferencias y cuál de los dos debería usar | computer hoy. <https://computerhoy.com/internet/wifi-vs-ethernet-diferencias-cual-dos-deberia-usar-1192338>. (Accessed on 01/13/2024).
- [González, 2023b] González, S. (2023b). saragonzalezbarcelona/tfg_deteccion_activ_muscular: Trabajo de fin de grado de ingeniería de la salud. https://github.com/saragonzalezbarcelona/TFG_Deteccion_Activ_Muscular. (Accessed on 01/11/2024).
- [Gutiérrez et al., 2013] Gutiérrez, V. J. O., Rogel, E. G., et al. (2013). Diseño de un sistema web para el seguimiento de pacientes utilizando dispositivos médicos inalámbricos. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (2013_05).
- [Han et al., 2023] Han, Y., Liu, X., Zhang, N., Zhang, X., Zhang, B., Wang, S., Liu, T., and Yi, J. (2023). Automatic assessments of parkinsonian gait with wearable sensors for human assistive systems. *Sensors*, 23(4).

- [IMB,] IMB. ¿qué es una api rest? | ibm. <https://www.ibm.com/es-es/topics/rest-apis>. (Accessed on 01/30/2024).
- [IMB, 2023] IMB (2023). Websocket - documentación de ibm. <https://www.ibm.com/docs/es/was/9.0.5?topic=applications-websocket>. (Accessed on 01/30/2024).
- [Intel,] Intel. ¿cómo funciona la tecnología bluetooth®? - intel. [https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/how-does-bluetooth-work.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20Bluetooth%20funciona%20en,de%20datos%20mejorada%20\(EDR\)](https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/how-does-bluetooth-work.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20Bluetooth%20funciona%20en,de%20datos%20mejorada%20(EDR)). (Accessed on 01/14/2024).
- [Intel, 2022] Intel (2022). ¿qué es la tecnología bluetooth®? - intel. [https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/what-is-bluetooth.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20Bluetooth%20funciona%20en,de%20datos%20mejorada%20\(EDR\)](https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/what-is-bluetooth.html#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20Bluetooth%20funciona%20en,de%20datos%20mejorada%20(EDR)). (Accessed on 01/14/2024).
- [Jankovic and Tan, 2020] Jankovic, J. and Tan, E.-K. (2020). Parkinson's disease: Etiopathogenesis and treatment. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 91(8):795–808.
- [Jian, 2016] Jian, H. (2016). Design of angle detection system based on mpu6050. In *Proceedings of the 7th International Conference on Education, Management, Information and Computer Science (ICEMC 2017)*. Atlantis Press.
- [Leibold et al., 2023] Leibold, A., Mansoor Ali, D., Harrop, J., Sharan, A., Vaccaro, A. R., and Sivaganesan, A. (2023). Smartphone-based activity tracking for spine patients: Current technology and future opportunities. *World neurosurgery: X*, 21:100238.
- [Llamas, 2015] Llamas, L. (2015). Conectar arduino por bluetooth con los módulos hc-05 ó hc-06. <https://www.luisllamas.es/conectar-arduino-por-bluetooth-con-los-modulos-hc-05-o-hc-06/>. (Accessed on 01/14/2024).
- [Llamas, 2016] Llamas, L. (2016). Determinar la orientación con arduino y el imu mpu-6050. <https://www.luisllamas.es/arduino-orientacion-imu-mpu-6050/>. (Accessed on 01/15/2024).
- [Llamas, 2017] Llamas, L. (2017). Conectar arduino a internet o lan con shield ethernet w5100. <https://www.luisllamas.es/arduino-ethernet-shield-w5100/>. (Accessed on 01/13/2024).

- [Llamas, 2018] Llamas, L. (2018). Esp8266, la alternativa a arduino con wifi. <https://www.luisllamas.es/esp8266/>. (Accessed on 01/13/2024).
- [Lucid,] Lucid. Software de diagramas online | lucidchart. <https://www.lucidchart.com/pages/es>. (Accessed on 01/14/2024).
- [López, 2022] López, J. M. (2022). Diferencias entre wifi y bluetooth, las redes inalámbricas más populares. <https://www.movistar.es/blog/router/diferencias-wifi-bluetooth/#:~:text=Bluetooth%20es%20una%20tecnolog%C3%ADa%20inal%C3%A1mbrica,punto%20de%20acceso%20de%20red.> (Accessed on 01/14/2024).
- [Ma et al., 2022] Ma, C. C., Mo, P.-C., Hsu, H.-Y., and Su, F.-C. (2022). A novel sensor-embedded holding device for monitoring upper extremity functions. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10:976242.
- [Mathur, 2015] Mathur, B. (2015). Salud e iot: dispositivos médicos conectados de forma inalámbrica. <https://www.creationtech.com/es/connected-medical-devices/>. (Accessed on 01/30/2024).
- [MDN, a] MDN. Intercambio de recursos de origen cruzado (cors) - http | mdn. <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/CORS>. (Accessed on 01/15/2024).
- [MDN, b] MDN. Introducción a express/node - aprende desarrollo web | mdn. https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/Server-side/Express_Nodejs/Introduction. (Accessed on 01/15/2024).
- [Microsoft, 2021] Microsoft (2021). Conceptos básicos del diseño de una base de datos - soporte técnico de microsoft. <https://support.microsoft.com/es-es/topic/conceptos-b%C3%A1sicos-del-dise%C3%BAo-de-una-base-de-datos-eb2159cf-1e30-401a-8084-bd4f9c9ca1f5>. (Accessed on 01/30/2024).
- [Müller et al., 2022] Müller, A., Cau, A., Muhammed, S., Abdullahi, O., Hayward, A., Nsanzimana, S., and Lester, R. (2022). Digital mhealth and virtual care use during covid-19 in 4 countries: Rapid landscape review. *JMIR Form Res*, 6(11):e26041.
- [Node.js,] Node.js. Node.js — introduction to node.js. <https://nodejs.org/en/learn/getting-started/introduction-to-nodejs>. (Accessed on 01/14/2024).

- [Pradel Miquel et al., 2013] Pradel Miquel, J., Raya Martos, J. A., Campderrich Falgueras, B., Sánchez Porras, X., Fuertes Royo, C., and Albiñana Bertomeu, R. (2013). Ingeniería del software, febrero 2013.
- [PrimeIT, 2022] PrimeIT (2022). Una guía para principiantes de desarrollo de back-end y front-end | primeit. <https://www.primeit.es/una-guia-para-principiantes-de-desarrollo-de-back-end-y-front-end>. (Accessed on 01/30/2024).
- [PSF, 2023] PSF (2023). psf/requests: A simple, yet elegant, http library. <https://github.com/psf/requests>. (Accessed on 01/15/2024).
- [Punin et al., 2019] Punin, C., Barzallo, B., Clotet, R., Bermeo, A., Bravo, M., Bermeo, J., and Llumiguano, C. (2019). A non-invasive medical device for parkinson's patients with episodes of freezing of gait. *Sensors (Basel)*, 19(3):737.
- [PySerial, 2020] PySerial (2020). pyserial/pyserial: Python serial port access library. <https://github.com/pyserial/pyserial/>. (Accessed on 01/15/2024).
- [Rodríguez-Martín et al., 2013] Rodríguez-Martín, D., Pérez-López, C., Samà, A., Cabestany, J., and Català, A. (2013). A wearable inertial measurement unit for long-term monitoring in the dependency care area. *Sensors*, 13(10):14079–14104.
- [Serrano and Holthe, 2015] Serrano, J. A. and Holthe, H. (2015). Development and trial of epoint.telemed - an open web-based platform for home monitoring of chronic heart failure patients. *Studies in health technology and informatics*, 210:311–315.
- [Simon et al., 2020] Simon, D. K., Tanner, C. M., and Brundin, P. (2020). Parkinson disease epidemiology, pathology, genetics, and pathophysiology. *Clinics in Geriatric Medicine*, 36(1):1–12.
- [Structuralia, 2019] Structuralia (2019). Elige la mejor base de datos según tu proyecto. <https://blog.structuralia.com/elige-la-mejor-base-de-datos-seg%C3%BAn-tu-proyecto>. (Accessed on 01/30/2024).
- [Telefónica,] Telefónica. Qué es ethernet y qué tipos de cables existen - telefónica. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/que-es-ethernet-tipos-cables/>. (Accessed on 01/13/2024).

- [Tolosa et al., 2021] Tolosa, E., Garrido, A., Scholz, S. W., and Poewe, W. (2021). Challenges in the diagnosis of parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 20(5):385–397.
- [Tysnes and Storstein, 2017] Tysnes, O.-B. and Storstein, A. (2017). Epidemiology of parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 124(8):901–905.
- [VSCode,] VSCode. Visual studio code - code editing. redefined. <https://code.visualstudio.com/>. (Accessed on 01/14/2024).
- [Wagner and Ganz, 2012] Wagner, R. and Ganz, A. (2012). Pagas: Portable and accurate gait analysis system. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 280–283. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.
- [Wang and Iqbal, 2006] Wang, X. and Iqbal, M. (2006). Bluetooth: Opening a blue sky for healthcare. *Mobile Information Systems*, 2(2-3):151–167.
- [XAMPP,] XAMPP. Xampp installers and downloads for apache friends. <https://www.apachefriends.org/es/index.html>. (Accessed on 01/14/2024).
- [Zatout, 2012] Zatout, Y. (2012). Using wireless technologies for healthcare monitoring at home: A survey. In *2012 IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, pages 383–386.
- [Zubiete et al., 2011] Zubiete, E. D., Luque, L. F., Rodríguez, A. V., and González, I. G. (2011). Review of wireless sensors networks in health applications. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pages 1789–1793. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.