



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Desarrollo de aplicaciones Wearables con enfoque en  
Realidad Mixta para la mejora del  
bienestar emocional mediante el uso de datos fisiológicos.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Tecnologías Interactivas

AUTOR/A: Larrosa Quesada, Jorge

Tutor/a: Pérez López, David Clemente

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado se enfoca en el diseño y desarrollo de aplicaciones software destinadas a dispositivos wearables para la captura de datos fisiológicos. Estas aplicaciones están concebidas para su integración en entornos de Realidad Mixta (RM), con el objetivo de mejorar la regulación emocional y fomentar el bienestar.

Se emplea una arquitectura de comunicaciones que hace hincapié en el empleo de tecnologías como ZeroMQ (ZMQ) y Bluetooth Low Energy (BLE). Esto brinda un sólido marco para la transferencia de datos eficiente y segura entre dispositivos y sistemas distribuidos, proporcionando al usuario una experiencia interactiva y visualmente atractiva para la monitorización de su estado fisiológico, mediante un reloj inteligente y un avatar tanto físico como virtual.

De este modo, el trabajo presenta un estudio sobre el uso de aplicaciones móviles y tecnología wearable en el ámbito de la salud mental. Se explora el potencial de la RM y la integración de datos fisiológicos para mejorar la autoconsciencia y el bienestar mental. Además, se analiza la arquitectura de comunicación necesaria para la interacción entre dispositivos y sistemas, incluyendo el uso de tecnologías como ZeroMQ para la comunicación entre la aplicación de Unity y la aplicación para Wear OS, así como la utilización de Bluetooth Low Energy (BLE) para la comunicación con el avatar físico mediante Arduino. Este análisis proporciona un marco sólido para el diseño e implementación de la solución tecnológica propuesta.

También se describe el proceso de desarrollo de la aplicación para dispositivos wearables, adoptando un enfoque iterativo e incremental. Esto implica dividir el proyecto en ciclos de desarrollo sucesivos, donde se enfoca una parte en adquirir señales fisiológicas a través de dispositivos wearables y su visualización en un avatar emocional. Este avatar es dual y tiene una representación virtual en un entorno de RM y también una representación física en el avatar tangible. Además, se emplean aplicaciones para diseño y mockups como Miro para iterar sobre la interfaz de usuario y las funcionalidades de manera ágil y colaborativa.

El uso de metodologías ágiles, como Git Flow, se integra para una mejor organización y optimización del trabajo, permitiendo una gestión eficiente de las versiones del código y una respuesta rápida a los cambios y retroalimentación del cliente durante todo el proceso de desarrollo iterativo.

Por último, se analizan las implicaciones de los resultados en el contexto de la promoción de la salud mental, discutiendo cómo la visualización de datos fisiológicos de manera interactiva puede aumentar la conciencia del usuario sobre su estado emocional y facilitar estrategias de autorregulación.

## Palabras Clave

Wearable, ZeroMQ, Arduino, Bluetooth Low Energy, Unity, Android Studio.

## Summary

This project is focused on the design and development of software applications for capturing physiological data by wearables devices. These applications are conceived to be integrated in Mixed Reality (MR) environments, with the objective of improving emotional regulation and promote well-being.

For this purpose, a communication's architecture based on technologies such as ZeroMQ (ZMQ) and Bluetooth Low Energy (BLE) is used, offering a solid framework that allows an efficient and secure data exchange between devices and distributed systems. The result is an interactive and visual attractive experience for the user while its physiological condition is monitored by a smartwatch and a physical and virtual avatar.

In this way, this paper presents a study based on the use of mobile applications and wearable technology related with the mental health area. The RM potential is explored as well as the integration of physiological data with the objective to improve self-consciousness and mental well-being. Moreover, the communication architecture that allows the interaction between devices is analyzed, including technologies such as ZeroMQ, essential for the communication between Unity and Wear OS applications and Bluetooth Low Energy (BLE) for the communication with the physical avatar by Arduino. This analysis supplies the necessary framework for the design and development of this technological solution proposed.

Furthermore, the application's developmental process for wearables devices is described, adopting an interactive and incremental approach. In order to do so, the project has to be divided into successive developmental cycles. On the one hand, it focuses on the acquisition of the physiological data by using the wearable devices and its visualization reflected in an emotional avatar. This avatar is dual and it has a virtual representation in a RM environment as well as a tangible physical representation. Also, applications as Miro, focused on the design and mockups are used to iterate on the functionalities and user's interface in a collaborative and agile way.

The use of agile methodologies as Git Flow, integrates a better work optimization and organization, allowing an efficient management of the code's versions and a fast response to changes and feedback during the interactive process.

Finally, this paper analyses the implications of the results in the promotion of mental health, discussing how the visualization of interactive physiological data is able to improve the user's consciousness about its emotional health and improve self-regulation strategies.

## Key words

Wearable, ZeroMQ, Arduino, Bluetooth Low Energy, Unity, Android Studio.

## Índice

1	Introducción .....	5
1.1	Contexto y justificación.....	5
1.2	Objetivos del trabajo .....	6
1.3	Metodología.....	6
1.4	Etapas.....	7
1.5	Estructura del documento .....	8
2	Marco Teórico .....	9
2.1	Revisión del uso de dispositivos wearables y datos fisiológicos en la salud mental ...	9
2.2	Integración de datos fisiológicos en aplicaciones de Realidad Mixta.....	10
2.3	Arquitectura de comunicación para dispositivos y sistemas distribuidos.....	11
2.4	Software.....	12
2.4.1	ZMQ.....	12
2.4.2	Bluetooth Low Energy (BLE) .....	13
2.4.3	MQTT .....	13
2.4.4	Android Studio y Kotlin.....	13
2.4.5	Arduino y Python.....	14
2.5	Hardware .....	14
2.5.1	Pixel Watch 2 .....	14
2.5.2	Nano 33 BLE.....	14
2.5.3	Emotibit .....	15
3	Desarrollo .....	16
3.1	Proceso de desarrollo .....	17
3.2	Selección y configuración de sensores para Pixel Watch 2 .....	17
3.3	Implementación de la comunicación entre Unity y la aplicación para Wear OS mediante ZMQ .....	20
3.4	Diseño e implementación de la Aplicación para Pixel Watch 2.....	23
3.5	Comunicación entre Avatar Físico (Arduino) y Aplicación Wear OS mediante BLE... 27	
3.6	Configuración de los Sensores de Avatar Físico.....	29
3.7	Emotibit .....	32
3.8	Uso de metodologías ágiles, Git Flow.....	36
3.9	Resultados.....	39
3.9.1	Captura y visualización de datos fisiológicos en el Smartwatch y Unity .....	39
3.9.2	Interacción de datos con el avatar físico y el reloj inteligente.....	41
3.9.3	Captura y visualización de datos con Emotibit.....	42
3.10	Discusión .....	43

3.10.1	Implicaciones de los resultados en la promoción de la salud mental .....	43
3.10.2	Visualización interactiva de datos fisiológicos y conciencia emocional .....	43
3.10.3	Facilitación de estrategias de autorregulación .....	44
4	Conclusiones.....	44
4.1	Resumen de hallazgos y contribuciones.....	44
4.2	Áreas de investigación futura y aplicaciones prácticas .....	45
5	Referencias Bibliográficas .....	47
6	Anexos.....	48
6.1	ODS .....	48
6.2	Vídeos .....	49

# 1 Introducción

## 1.1 Contexto y justificación

En la actualidad, el bienestar emocional y la salud mental es una preocupación creciente debido a los diversos estímulos, preocupaciones, estrés, ansiedad y depresión del día a día. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el primer año de la pandemia de COVID-19, la prevalencia global de ansiedad y depresión aumentó en un 25%, debido a factores como el aislamiento social, las preocupaciones financieras y el miedo a la infección [1]. Además, la Asociación Americana de Psicología (APA) señala que los problemas de salud mental están aumentando en todas las edades, pero especialmente entre los jóvenes y las mujeres, quienes han sido más afectados por la pandemia y otros factores de estrés contemporáneos [2].

Las tecnologías emergentes, como los dispositivos wearables y la Realidad Mixta (RM), están proporcionando soluciones innovadoras para abordar los desafíos de la salud mental. Los wearables, por ejemplo, se utilizan para monitorear y gestionar la salud mental detectando señales fisiológicas, como el ritmo cardíaco y la actividad electrodermal (EDA), que indican estrés, ansiedad y otros estados emocionales. Estos dispositivos, que incluyen pulseras inteligentes y equipos para la cabeza, pueden ofrecer retroalimentación en tiempo real e intervenciones para ayudar a los usuarios a gestionar sus síntomas de manera efectiva. Las investigaciones indican que los wearables pueden detectar cambios en la frecuencia cardíaca, la conductancia de la piel y otros biomarcadores para brindar apoyo inmediato y reducir la carga sobre los proveedores de atención de salud mental [3].

La Realidad Mixta, que combina elementos de la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA), ofrece experiencias terapéuticas inmersivas que pueden personalizarse según las necesidades individuales. La RM permite a los pacientes interactuar en entornos virtuales diseñados para fines terapéuticos, como la terapia de exposición para la ansiedad o simulaciones interactivas para practicar habilidades sociales. Esta tecnología permite un enfoque más personalizado y atractivo para el tratamiento de la salud mental, posibilitando que los usuarios reciban terapia en entornos familiares mientras se benefician de la naturaleza interactiva e inmersiva de la RM [4].

Estos avances tecnológicos no solo proporcionan nuevas vías para el apoyo en salud mental, sino que también tienen el potencial de mejorar la eficacia de los métodos terapéuticos tradicionales y los resultados generales de los pacientes.

Este Trabajo de Fin de Grado se realiza en colaboración con el Instituto Tecnológico de Informática (ITI), en el marco de un proyecto de investigación que tiene como objetivo ayudar a las personas a mejorar su bienestar emocional mediante el uso de RM, lo que proporciona un entorno profesional y recursos adicionales para el desarrollo del TFG. La empresa busca innovar en el ámbito del bienestar emocional mediante el uso de dispositivos wearables y Realidad Mixta, lo cual se alinea perfectamente con los objetivos de este trabajo. El proyecto se enfoca en el desarrollo de aplicaciones software destinadas a dispositivos wearables, integrándolas en entornos de Realidad Mixta con el objetivo de mejorar la regulación emocional y fomentar el bienestar. La integración de datos fisiológicos en estos entornos permite una visualización interactiva del estado emocional del usuario, lo cual permite que el profesional de la salud pueda aconsejar mejor a los pacientes, ya que puede ver los datos necesarios en caso de que el paciente no acabe de expresar lo que siente. La implementación de tecnologías como ZeroMQ

(ZMQ) y Bluetooth Low Energy (BLE) asegura una comunicación eficiente y segura entre los diferentes dispositivos y sistemas, proporcionando una experiencia fluida y enriquecedora.

## 1.2 Objetivos del trabajo

Este trabajo ha tenido dos objetivos principales a cumplir para el beneficio del proyecto de la empresa:

El primer objetivo es diseñar y desarrollar una aplicación para el dispositivo wearable Google Pixel Watch 2, que es un reloj inteligente. Para completar este objetivo se deben alcanzar estos objetivos específicos:

- Obtención de todos los datos posibles proporcionados por el dispositivo.
- Comunicación mediante el datahub<sup>1</sup> del proyecto para procesar los datos usando ZMQ.
- Diseño de la aplicación interactiva para que el usuario pueda ver su estado anímico en todo momento.
- Comunicación con un avatar físico mediante BLE.
- Desarrollo e implementación de los sensores del avatar físico para procesar los datos recibidos del reloj.
- Interacción entre Realidad Mixta y datos fisiológicos.

El segundo objetivo es la obtención de todos los datos fisiológicos del dispositivo Emotibit:

- Obtención de todos los datos y procesarlos para el envío.
- Desarrollo de un proxy<sup>2</sup> para comunicación entre MQTT y ZMQ.
- Comunicación mediante el datahub del proyecto para procesar los datos usando ZMQ.

Y el objetivo secundario es:

- Documentar y analizar los resultados obtenidos, proporcionando recomendaciones para futuras investigaciones y desarrollos en este campo.

## 1.3 Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados, se empleará una metodología iterativa e incremental, siguiendo principios de desarrollo ágil. La metodología se divide en las siguientes fases:

---

<sup>1</sup> Datahub es el centro donde se integran todos los datos, esto permite que los datos se almacenen, analicen y procesen para llevar a cabo un objetivo en concreto.

<sup>2</sup> Un Proxy sirve como un intermediario entre dos canales, en este caso sirve para la comunicación entre MQTT y ZMQ usando Python.

**Investigación previa:** Investigación de las tecnologías existentes y su aplicación en la monitorización del bienestar emocional, además de la revisión de documentación, así como foros tecnológicos en caso de problemas o inconvenientes en el desarrollo.

**Diseño de la arquitectura:** Creación de un diseño detallado de la arquitectura del sistema y su funcionamiento, incluyendo la comunicación entre dispositivos

**Desarrollo de prototipos:** Implementación de prototipos de las aplicaciones y componentes necesarios, iterando sobre el diseño y funcionalidades.

**Integración y pruebas:** Integración de todos los componentes del sistema y realización de pruebas exhaustivas para asegurar su funcionamiento correcto.

**Evaluación y validación:** Evaluación de la solución desarrollada mediante pruebas con usuarios, análisis de los datos recolectados y validación del resto del equipo del proyecto de la empresa.

**Gestión de versiones con Git Flow:** Uso de la metodología Git Flow para el control de versiones y la gestión del desarrollo del software. Esta metodología facilita la organización del trabajo, permitiendo una gestión eficiente de las ramas de desarrollo, la integración continua y la entrega de versiones estables.

## 1.4 Etapas

El desarrollo del trabajo se divide en las siguientes etapas:

- **Planificación y definición del alcance:** Definición clara de los objetivos, alcance y planificación detallada del proyecto.
- **Investigación y diseño:** Revisión de la información y proyectos existente, diseño de la arquitectura del sistema y selección de tecnologías.
- **Desarrollo iterativo:** Implementación de la aplicación y componentes, realizando iteraciones sucesivas para mejorar y refinar el sistema.
- **Pruebas y validación:** Realización de pruebas funcionales y de usabilidad, seguido de una evaluación de los encargados del proyecto para verificar el resultado.
- **Documentación y presentación:** Redacción del informe final y preparación de la defensa del trabajo.

A continuación, se muestra un cronograma por cada objetivo, ubicando temporalmente las tareas realizadas para llegar al resultado obtenido. Ver Ilustraciones 1 y 2.

Objetivo 1 (Pixel Watch y Avatar físico)			
Mes 1		Mes 2	
Aprendizaje Y Adaptación a la empresa	Obtención datos HR	Investigación BLE y Placa Nano 33 BLE	Test Sensores
Instalación y configuración de las herramientas	Desarrollo comunicación Pixel Watch 2 y Datahub (ZMQ)	Desarrollo comunicación BLE	Test con Realidad Mixta
Investigación de ZMQ	Test comunicación Pixel Watch 2 y Datahub (ZMQ)	Test Comunicación	Mejora y optimización Pixel Watch 2
Primeros Test de ZMQ con Unity	Diseño Interfaz	Investigación Sensores	
Instalación de Android Studio	Implementación Diseño Interfaz	Desarrollo Funcionamiento sensores	
Investigación Pixel Watch 2			

Ilustración 1- Cronograma Objetivo 1

Objetivo 2 (Emotibit)			
Mes 3		Mes 4	
Investigación Emotibit	Investigación comunicación MQTT	Test comunicación MQTT	Documentación Objetivo 2
Test básico Emotibit	Desarrollo comunicación MQTT	Desarrollo proxy MQTT con ZMQ en python	
Desarrollo obtención de datos	Investigación comunicación ZMQ	Documentación Objetivo 1 (Pixel Watch y Avatar físico)	

Ilustración 2 - Cronograma Objetivo 2

### 1.5 Estructura del documento

Esta memoria se divide en 6 capítulos, lo cuales se dividen, a su vez, en secciones más pequeñas que describen en detalle los diferentes aspectos del proyecto.

En el primer capítulo, Introducción, se presenta una visión general del documento, explicando el trabajo realizado, los objetivos planteados y la forma en que se ha trabajado este proyecto. En esta sección se proporciona una visión general del contexto y la justificación del proyecto, destacando la importancia de la integración de tecnologías wearables y Realidad Mixta en la promoción del bienestar emocional.

En el segundo capítulo, Marco Teórico, se detalla la investigación necesaria para el desarrollo del trabajo, proporcionando el contexto y describiendo el software y hardware utilizados. Esta sección incluye una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con el uso de dispositivos wearables y datos fisiológicos en la salud mental, así como el papel de la Realidad Mixta en la regulación emocional.

Después, en el tercer capítulo, Desarrollo, se describe detalladamente el desarrollo de todos los procesos y tecnologías empleadas, así como los resultados obtenidos y una discusión del trabajo. Esta sección abarca el proceso de desarrollo del sistema, incluyendo la selección y configuración de sensores para dispositivos wearables, la implementación de la comunicación entre Unity y aplicaciones para Wear OS, y la integración de Bluetooth Low Energy (BLE) con Arduino. Se detalla cómo se capturan y visualizan los datos fisiológicos en Unity y cómo se interactúa con el avatar físico y el reloj inteligente.

En el cuarto capítulo, Conclusiones, se presentan las conclusiones obtenidas y se discuten los puntos de mejora futuros que pueden hacer que el proyecto sea más eficaz. En esta sección se resume los hallazgos y contribuciones del trabajo, destacando la integración de tecnologías para soluciones innovadoras en el ámbito del bienestar emocional. Además, se identifican áreas de investigación futura y posibles aplicaciones prácticas que pueden derivarse de este proyecto. Se proporciona una reflexión sobre las lecciones aprendidas y se sugieren mejoras y ampliaciones que podrían incrementar la efectividad y el alcance del sistema desarrollado.

En el quinto capítulo, Referencias bibliográficas, se enumeran las fuentes de información y los recursos clave empleados en la ejecución del proyecto.

Finalmente, el capítulo sexto, Anexos, es una sección adicional que contiene materiales complementarios, incluyendo la conexión del proyecto con los objetivos de desarrollo sostenible, así como otra información y documentos adicionales que pueden ser útiles para una comprensión más completa del trabajo realizado.

## 2 Marco Teórico

En esta sección del documento se proporciona un marco conceptual que sustenta el desarrollo del proyecto. Se investiga cuatro áreas principales: la revisión del uso de dispositivos wearables y datos fisiológicos en la salud mental, el papel de la Realidad Mixta en la regulación emocional, la integración de datos fisiológicos en aplicaciones de RM, y la arquitectura de comunicación necesaria para la interacción eficiente y segura entre dispositivos y sistemas distribuidos. Este marco teórico proporciona la base necesaria para comprender cómo las tecnologías utilizadas se interrelacionan y apoyan los objetivos del proyecto.

### 2.1 Revisión del uso de dispositivos wearables y datos fisiológicos en la salud mental

El uso de dispositivos wearables en el ámbito de la salud mental ha crecido significativamente en los últimos años, es una innovación en continuo crecimiento, impulsado por avances tecnológicos que permiten la monitorización continua de diversos parámetros fisiológicos y la importancia que recientemente se da a la salud mental [5]. Estos dispositivos, que incluyen relojes inteligentes, pulseras de actividad y parches sensoriales, son capaces de recoger datos en tiempo real como la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la conductancia de la piel, y otros biomarcadores que pueden indicar estados emocionales y niveles de estrés.

Los dispositivos wearables están revolucionando la forma en que se aborda la salud mental, proporcionando herramientas para la monitorización y el análisis del bienestar emocional en tiempo real de una manera no invasiva. Estos dispositivos permiten identificar patrones que podrían pasar desapercibidos en evaluaciones tradicionales, como cambios sutiles en la

fisiología que pueden ser indicativos de ansiedad o depresión. Al proporcionar datos objetivos y continuos, los wearables ayudan a personalizar tratamientos, ajustando las intervenciones en tiempo real según las necesidades del individuo.

El análisis de datos fisiológicos recogidos por wearables ofrece múltiples beneficios para el manejo de la salud mental:

**Detección Temprana**, la capacidad de detectar cambios fisiológicos puede facilitar la intervención temprana antes de que una condición empeore.

**Evaluación Continua**, los wearables ofrecen la posibilidad de evaluar el estado del paciente de manera continua.

**Personalización del Tratamiento**, los datos fisiológicos permiten a los profesionales de la salud ajustar los tratamientos gracias a que los datos son obtenidos en tiempo real, mejorando la eficacia de las intervenciones psicológicas.

Un futuro con el uso de dispositivos wearables enfocado en la salud mental parece prometedor y venidero, con investigaciones en curso para expandir su funcionalidad como la del ITI. Además, la mejora en la inteligencia artificial junto a estos dispositivos permitirá proporcionar no solo datos, sino también interpretaciones y recomendaciones más precisas y útiles basadas en el análisis continuo de la información recogida.

A pesar de todos los beneficios que pueden aportar, el uso de wearables en salud mental también presenta desafíos, especialmente relacionados con la privacidad y la seguridad de los datos. La gestión ética de la información sensible y la garantía de que los datos no sean utilizados para fines inapropiados son preocupaciones centrales que deben abordarse [6].

Pero a medida que los wearables se convierten en herramientas más comunes en el ámbito de la salud mental, también aumentan las preocupaciones éticas y de privacidad. Es crucial que los desarrolladores y profesionales de la salud trabajen juntos para establecer normas rigurosas que protejan la privacidad de los pacientes y aseguren que los datos sean utilizados de manera ética y con consentimiento claro. Además, debe haber un enfoque en la transparencia sobre cómo se recopilan, almacenan y utilizan los datos para evitar malentendidos y fomentar la confianza en el uso de estas tecnologías.

## 2.2 Integración de datos fisiológicos en aplicaciones de Realidad Mixta

La integración de datos fisiológicos en aplicaciones de Realidad Mixta es una estrategia prometedoras e innovadora que ofrece nuevas maneras de personalización y gestión en el campo de la salud mental [7]. Esta idea permite que se adapten las emociones y los cambios del usuario para experimentar de forma inmersiva una terapia para la mejora de su bienestar emocional, proporcionando intervenciones precisas basadas en la monitorización en tiempo real de indicadores fisiológicos.

Los dispositivos wearables juegan un papel crucial al recoger datos como la frecuencia cardíaca, la variabilidad de ésta y la conductancia de la piel, ya que estos no interfieren con el usuario ni les provocando un estímulo negativo. Estos datos proporcionan una vista continua del estado emocional y físico del usuario, lo que es esencial para ajustar las intervenciones en tiempo real.

Los datos recogidos se procesan mediante algoritmos sofisticados que detectan estados emocionales como el estrés o la relajación, se detentan los cambios tanto fuertes como débiles

ya que cualquier cambio puede llegar a ser importante para demostrar el estado del paciente. Basándose en estos análisis, la RM puede cambiar adaptativamente, ajustando elementos como la iluminación, el sonido y los entornos visuales para ayudar en la regulación emocional del usuario.

Utilizando RM adaptativa, las sesiones terapéuticas pueden ser personalizadas para cada paciente y abordar necesidades específicas, es por eso que es un campo con un futuro impresionante.

Además, las aplicaciones de RM también pueden educar a los usuarios sobre cómo las actividades específicas afectan sus respuestas fisiológicas, promoviendo una mayor conciencia y control sobre su salud mental.

Ampliar el acceso a estas tecnologías innovadoras es vital para asegurar que beneficien a un rango más amplio de poblaciones, independientemente de las barreras económicas o tecnológicas.

Un estudio en el campo de la Realidad Mixta y la monitorización de estados mentales ofrece perspectivas innovadoras sobre cómo integrar datos fisiológicos en aplicaciones de RM. Este estudio explora la decodificación en tiempo real de estados mentales utilizando tecnologías de interfaz cerebro-computadora (BCI), lo que permite una interacción más profunda y personalizada dentro de entornos virtuales. Esta investigación sugiere que los sistemas de RM pueden adaptarse dinámicamente no solo a reacciones físicas evidentes como el ritmo cardíaco o la conductancia de la piel, sino también a patrones neurológicos complejos, lo que facilita una regulación emocional más sofisticada y una intervención terapéutica más efectiva [8].

El estudio destaca la viabilidad de utilizar señales neurofisiológicas recogidas a través de sensores avanzados para controlar y modificar el entorno virtual en respuesta directa a los estados mentales del usuario. Esta integración promete mejorar significativamente la capacidad de las aplicaciones de RM para ofrecer terapias personalizadas y adaptativas, especialmente en el tratamiento de condiciones como el estrés, la ansiedad y el TEPT, donde la regulación emocional es crucial.

### 2.3 Arquitectura de comunicación para dispositivos y sistemas distribuidos

La arquitectura de comunicación para dispositivos y sistemas distribuidos en el contexto de aplicaciones de salud mental, utilizando wearables y Realidad Mixta, es fundamental para asegurar una interacción efectiva y segura. Esta arquitectura involucra múltiples capas que gestionan la captura, transmisión, procesamiento y visualización de datos fisiológicos en tiempo real, facilitando intervenciones precisas y oportunas.

Se incluyen wearables que registran datos fisiológicos como la frecuencia cardíaca y la conductancia de la piel, además de otros dispositivos que pueden monitorear parámetros neurológicos mediante sensores avanzados.

Pero es necesario la utilización de protocolos como MQTT o ZeroMQ, que son ideales para entornos IoT por su ligereza y eficiencia en la entrega de mensajes en sistemas con múltiples nodos y dispositivos.

Minimizar la latencia en la transmisión de datos es esencial para asegurar que las respuestas del sistema sean oportunas, especialmente cuando se utilizan para intervenciones críticas en salud mental.

Asegurar que diferentes dispositivos y sistemas puedan comunicarse y trabajar juntos sin problemas es clave para una arquitectura de comunicación efectiva, lo que puede requerir estándares abiertos o APIs bien definidas para facilitar la integración.

La arquitectura de comunicación efectiva es el núcleo que permite la integración fluida de tecnología wearable y Realidad Mixta en aplicaciones de salud mental, ofreciendo un potencial considerable para mejorar el tratamiento y la gestión de condiciones relacionadas con la salud mental. Esta infraestructura debe ser robusta, segura y escalable para adaptarse a las necesidades crecientes de aplicaciones médicas y terapéuticas avanzadas.

Un ejemplo destacado de arquitectura de comunicación en sistemas distribuidos se puede encontrar en [9], donde se explica la forma de usar ZMQ como una base para la arquitectura de comunicación efectiva.

El diseño de una arquitectura de comunicación para varios dispositivos enfrenta varios desafíos, entre los que se incluyen:

- Latencia y Ancho de Banda: Minimizar la latencia y gestionar el ancho de banda disponible son cruciales para asegurar la eficiencia y rapidez de la comunicación.
- Consistencia y Disponibilidad: Mantener la consistencia de los datos y la disponibilidad del sistema, especialmente en presencia de fallos, requiere técnicas avanzadas de replicación y tolerancia a fallos.
- Seguridad: La protección de los datos transmitidos y la autenticación de los dispositivos son aspectos críticos, especialmente en aplicaciones sensibles y de misión crítica.

## 2.4 Software

Para el desarrollo de este trabajo de fin de grado se utilizaron diversas tecnologías de software, cada una desempeñando un papel crucial tanto en la comunicación, integración y visualización de datos fisiológicos. Las principales tecnologías utilizadas son ZeroMQ (ZMQ), Bluetooth Low Energy (BLE) y MQTT para la comunicación entre dispositivos y datahub, mientras que para el desarrollo del software para los dispositivos se usó Python, C++ y Kotlin. Estas herramientas fueron usadas debido a que el desarrollo presentado en este trabajo forma parte de un proyecto mayor, ARCADIA, que ya estaba en marcha y que utilizaba un conjunto de tecnologías y herramientas definidas. A continuación, se detalla cada una de las tecnologías utilizadas.

### 2.4.1 ZMQ

ZeroMQ (ZMQ) es una biblioteca de mensajería asincrónica que proporciona un sistema de colas de mensajes de alto rendimiento [10]. En este proyecto, ZMQ se utiliza para facilitar la comunicación entre los datos fisiológicos obtenidos de los dispositivos y el datahub donde se procesan los datos para poder ser enviados a Unity y se transmitan en tiempo real a la aplicación de Realidad Mixta.

La elección de ZMQ se debe a su capacidad para manejar grandes volúmenes de mensajes con baja latencia, lo que es crítico para aplicaciones que requieren una respuesta en tiempo real, además de que el proyecto ARCADIA ya estaba usando ZMQ antes de comenzar el aporte del alumno.

#### 2.4.2 Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para aplicaciones que requieren transferencias de datos de bajo consumo energético [11]. En este proyecto, BLE se utiliza para la comunicación entre el reloj inteligente Pixel Watch 2 y un avatar físico, desarrollado con Arduino. BLE permite la transmisión de datos fisiológicos desde el dispositivo wearable al avatar físico, asegurando que el estado emocional del usuario se refleje tanto en el entorno virtual como en el físico. La elección de BLE fue decisión de la empresa ya que tiene una buena eficiencia energética y por su capacidad para mantener una conexión estable y continua, lo cual es fundamental para la monitorización constante del estado fisiológico del usuario, además de que el dispositivo utilizado en el desarrollo, Nano 33 BLE, está optimizado para esta comunicación.

#### 2.4.3 MQTT

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) es un protocolo de mensajería ligero, ideal para conexiones remotas donde el ancho de banda es limitado [12]. En el contexto de este proyecto, MQTT se considera para la transmisión de datos fisiológicos desde el dispositivo Emotibit hacia un proxy que hace de intermediario con el datahub, debido a los problemas de incompatibilidad entre Arduino y el protocolo ZMQ. MQTT facilita la comunicación eficiente y segura entre dispositivos distribuidos y sistemas backend, permitiendo una gestión centralizada de los datos capturados. Este protocolo es particularmente útil para asegurar que los datos recopilados por los dispositivos wearables se puedan almacenar y procesar de manera efectiva, contribuyendo a la mejora continua del sistema.

El proxy es un script que permite recopilar los datos del Nano 33 BLE y modificarlos para poder ser enviados mediante ZMQ, usando Python, al datahub.

#### 2.4.4 Android Studio y Kotlin

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones Android [13] y Kotlin es el lenguaje de programación principal utilizado en este proyecto. Android Studio proporciona herramientas avanzadas para el desarrollo, pruebas y depuración de aplicaciones para dispositivos Android, incluyendo wearables que ejecutan Wear OS<sup>3</sup>. Kotlin, por su parte, ofrece un lenguaje moderno y conciso que facilita el desarrollo de aplicaciones robustas y eficientes [14]. Además, en las últimas versiones de Android Studio la opción de usar Java ya no es posible.

En este proyecto, Android Studio y Kotlin se utilizan para desarrollar la aplicación para el Pixel Watch 2, permitiendo la captura y transmisión de datos fisiológicos al datahub, mediante el uso de ZMQ con el lenguaje de programación Kotlin. Además, envía al mismo tiempo esos datos mediante BLE al avatar físico para que los sensores que dispone interactúen de forma sincronizada con las mediciones que aparecen en el reloj.

---

<sup>3</sup> Wear OS es un sistema operativo basado en Android diseñado por Google para dispositivos wearables, como relojes inteligentes. Proporciona funcionalidades específicas para este tipo de dispositivos, permitiendo la integración con aplicaciones y servicios de Android.

### 2.4.5 Arduino y Python

Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto que se utiliza para crear dispositivos electrónicos interactivos [15]. En este proyecto, Arduino, se utiliza para desarrollar el avatar físico y desarrollar un software para obtener los datos que proporciona Emotibit.

En el caso de la comunicación entre el reloj y el avatar físico se usó BLE, mientras que para el desarrollo del Emotibit se usó MQTT debido a problemas de compatibilidad por lo que fue necesario hacer un proxy que hiciese de intermediario entre MQTT y ZMQ para el envío al datahub.

## 2.5 Hardware

El hardware utilizado en este proyecto incluye dispositivos wearables especializados para captura precisa y continua de datos fisiológicos, permitiendo además que se puedan extraer y enviar esos datos. Los principales componentes de hardware utilizados son el Pixel Watch 2, el Nano 33 BLE y Emotibit, además de dos sensores extras que se conectan en el Nano 33.

### 2.5.1 Pixel Watch 2

El Pixel Watch 2, Ilustración 3, es un reloj inteligente desarrollado por Google que incorpora múltiples sensores para el seguimiento de la salud y el estado físico [16]. En este proyecto, el Pixel Watch 2 se utiliza únicamente para monitorizar la frecuencia cardíaca, ya que la extracción de los datos de otros sensores que lleva incorporado no es posible debido a un bloqueo de software.

Este dispositivo es crucial para la captura de datos en tiempo real, que luego se utilizan para visualizar el estado emocional de forma interactiva en la pantalla del dispositivo y se mostrará mediante el avatar físico simulando el pulso cardíaco del paciente con los sensores. Previo al trabajo presentado en este documento, en el marco del proyecto global, el equipo de desarrollo de ITI hizo uso del Galaxy Watch 5, sin embargo, éste presentaba limitaciones en la extracción de datos. Por ello, el equipo de desarrollo decidió adquirir un reloj diferente, de Google, pensando que el hecho de estar firmado por la compañía de Mountain View supondría superar las limitaciones en este contexto. El resultado fue que seguía presentando limitaciones.

### 2.5.2 Nano 33 BLE

El Nano 33 BLE, Ilustración 4, es una placa de desarrollo de Arduino que incluye capacidades de comunicación Bluetooth Low Energy (BLE). Este componente se utiliza en el avatar físico para recibir y procesar datos fisiológicos enviados desde el Pixel Watch 2. El Nano 33 BLE permite la creación de prototipos rápidos y la integración de sensores adicionales para mejorar la captura de datos. Se incorporó un motor de vibración y un led para simular el pulso cardíaco, los cuales pueden verse en las Ilustraciones 6 y 7 respectivamente. Su compatibilidad con BLE y su facilidad de programación permiten el desarrollo de aplicaciones interactivas que requieren una comunicación inalámbrica eficiente y de bajo consumo energético.

### 2.5.3 Emotibit

Emotibit, Ilustración 5, es un sensor biométrico portátil que mide una variedad de datos fisiológicos, incluyendo la actividad electrodermal, la frecuencia cardíaca y la temperatura de la piel. En este proyecto, Emotibit se utiliza como una herramienta complementaria para capturar datos fisiológicos que pueden no ser medidos por el Pixel Watch 2. La inclusión de Emotibit permite una mayor profundidad en la monitorización del estado emocional del usuario, proporcionando datos adicionales que enriquecen la visualización en el entorno de Realidad Mixta. La elección de Emotibit se basa en su capacidad para proporcionar datos fisiológicos detallados y su facilidad de integración con otras plataformas de desarrollo, aunque en principio no se iba a usar este dispositivo, tras completar todos los requisitos de los dispositivos anteriores se optó por añadirlo debido a su capacidad de medir diferentes datos.



Ilustración 3 - Pixel Watch 2

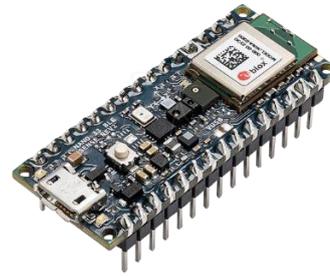


Ilustración 4 - Nano 33 BLE



Ilustración 5 - Emotibit

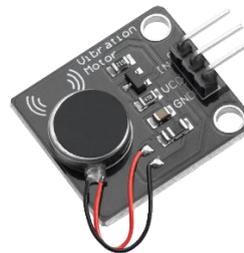


Ilustración 6 - Motor de Vibración

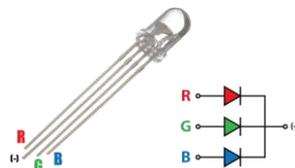


Ilustración 7 - Led RGB

### 3 Desarrollo

En esta sección del documento se detalla el proceso completo del desarrollo del TFG, comenzando con la planificación del proyecto y la definición de los requisitos establecidos por la empresa, la implementación de las tecnologías, las pruebas realizadas y la validación por parte de los responsables del proyecto.

Cabe destacar la comunicación de los diferentes dispositivos con el datahub, ya que el objetivo principal es la obtención de datos fisiológicos mediante el uso de dispositivos que no suponga al paciente un estorbo o incomodidad, además de la correcta integración de los datos con la Realidad Mixta. La interacción entre los dispositivos y los pacientes debe ser entretenida y vistosa, por lo que el diseño ha sido un punto para tener en cuenta en el desarrollo.

### 3.1 Proceso de desarrollo

Para el proceso de desarrollo se siguió una estructura con un enfoque iterativo e incremental, lo que permite una evolución constante del software y la incorporación de mejoras mediante el uso de metodología ágil.

La planificación y los requisitos fueron estructurados por el Instituto Tecnológico de Informática, debido a la necesidad de un enfoque diferente para obtener datos fisiológicos con los que trabajar para mejorar el bienestar emocional usando la Realidad Mixta. Anteriormente, habían probado el uso de un reloj inteligente, pero no consiguieron los resultados deseados.

La idea principal era obtener todos los datos de los sensores del Pixel Watch 2 y enviarlos mediante el uso de ZMQ al datahub para poder transmitirlos a la aplicación de Realidad Mixta y que el paciente pudiera mostrar sus emociones en un entorno controlado y supervisado por un profesional de la salud. Sin embargo, debido a problemas con la obtención de los datos, ya que el dispositivo está limitado por software, se añadió el uso del Emotibit para obtener datos de sensores diferentes. Además, se mejoró la aplicación del reloj para que fuera interactiva, permitiendo al usuario conectar y visualizar los datos en un avatar físico y por la pantalla del reloj, mostrando así las emociones del usuario en la vida real.

Como se puede ver en la Ilustración 8, se dispone de dos dispositivos wearables que obtienen los datos fisiológicos de sus sensores y los envían mediante ZMQ al datahub, el Pixel Watch 2 envía los datos directamente, mientras que Emotibit necesita un proxy para comunicar MQTT con ZMQ. Este datahub actúa como un intermediario centralizado que recopila, procesa y distribuye los datos a las aplicaciones que lo requieran. En este caso, los datos recopilados son proporcionados a la aplicación de Unity mediante ZMQ, permitiendo la visualización y análisis en tiempo real de la información fisiológica a través de un entorno de Realidad Mixta, mejorando así la interactividad y la experiencia del usuario.

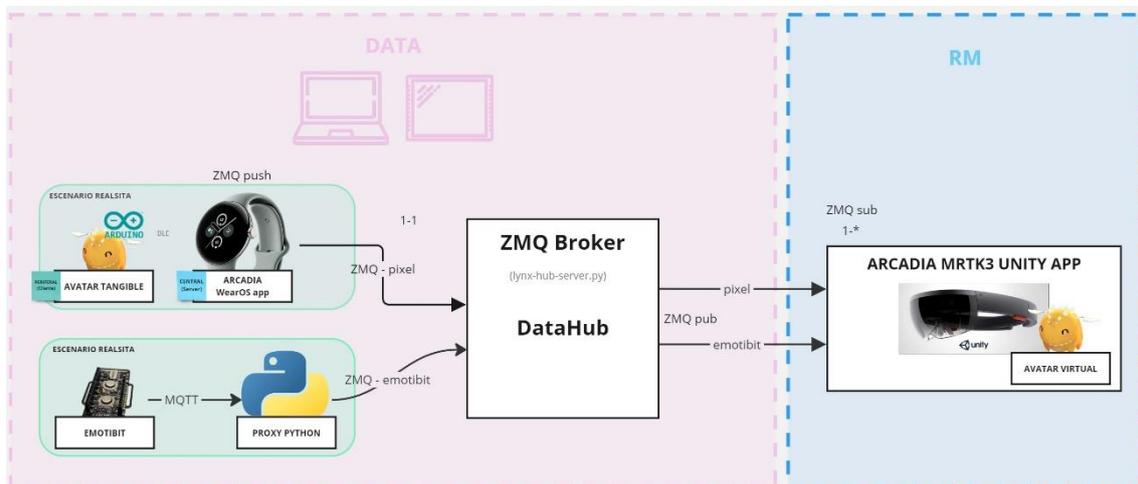


Ilustración 8 - Diagrama de Flujo

### 3.2 Selección y configuración de sensores para Pixel Watch 2

En esta sección del documento se describe el proceso de selección y configuración de los sensores para comenzar con el primer objetivo, obtener los datos fisiológicos de los sensores del Pixel Watch 2 para mejorar el bienestar emocional en Realidad Mixta. Se investigó todos los

sensores disponibles que estaban incorporados en dicho dispositivo [17]. La Ilustración 9 muestra el listado de dichos sensores.

Sensors
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compass</li> <li>• Altimeter</li> <li>• Red and infrared sensors for oxygen saturation (SpO2) monitoring<sup>8</sup></li> <li>• Multipurpose electrical sensors compatible with ECG app<sup>9</sup></li> <li>• Multi-path optical heart rate sensor<sup>10</sup></li> <li>• 3-axis accelerometer</li> <li>• Gyroscope</li> <li>• Ambient light sensor</li> <li>• Electrical sensor to measure skin conductance (cEDA) for body response tracking</li> <li>• Skin temperature sensor<sup>11</sup></li> <li>• Barometer</li> <li>• Magnetometer</li> </ul>

*Ilustración 9 - Sensores del Pixel Watch 2*

Tras analizar e investigar qué sensores proporcionan datos útiles para el proyecto se seleccionaron los siguientes:

- **Red and infrared sensors for oxygen saturation (SpO2) monitoring:** Estos sensores miden la saturación de oxígeno en la sangre (SpO2) mediante la absorción de luz roja e infrarroja a través de los vasos sanguíneos del dedo u otra parte del cuerpo.
- **Multipurpose electrical sensors compatible with ECG app:** Estos sensores eléctricos son utilizados para aplicaciones de electrocardiograma (ECG), permitiendo detectar la actividad eléctrica del corazón y registrar los ritmos cardíacos.
- **Multi-path optical heart rate sensor:** Este sensor óptico mide la frecuencia cardíaca utilizando tecnología de luz visible, generalmente a través del pulso en la muñeca o en otra parte del cuerpo.
- **Electrical sensor to measure skin conductance (cEDA):** Este sensor eléctrico mide la conductancia eléctrica de la piel, que puede variar en respuesta al estrés emocional y otras respuestas fisiológicas.
- **Skin temperature sensor:** Mide la temperatura de la piel del usuario, proporcionando información sobre cambios térmicos y variaciones relacionadas con la salud y el bienestar.

El proceso de crear una aplicación para Wear OS en Android Studio implica la investigación de varios puntos claves sobre la implementación de los sensores, usando el lenguaje de programación Kotlin y la manera de mostrarlos de forma interactiva.

En primer lugar, se inspeccionó las aplicaciones que el reloj tenía instaladas por defecto para comprobar que los datos de los sensores se mostrasen correctamente. Ya empezaba a mostrar dificultades a la hora de obtener dichos datos debido a que se necesitaba contratar una suscripción mensual para mostrarlos. Tras comprobar que algunos datos se daban de forma

rápida y otros tenías que esperar un cierto tiempo, se comenzó a agregar los permisos necesarios para el funcionamiento de los sensores en Android Studio.

Tras comprobar los permisos se utilizaron las APIs<sup>4</sup> de los sensores proporcionados por Android para acceder a los datos fisiológicos, comenzando con el sensor del pulso cardiaco. Fue sencillo de obtener y procesar los datos para mostrarlo por pantalla, de forma que el paciente pueda saber en todo momento como se encuentra, pero el resto de los sensores no fueron tan sencillos.

Para obtener los datos del sensor de pulso en una aplicación Android, se sigue un procedimiento específico utilizando la clase `SensorManager` de la API de Android, esta API permite acceder a muchos de los sensores disponibles, proporcionando los datos a tiempo real para poder procesarlos.

En la Ilustración 10 se muestra un ejemplo básico del funcionamiento de dicha API.

```
public class SensorActivity extends Activity implements SensorEventListener {
    private final SensorManager mSensorManager;
    private final Sensor mAccelerometer;

    public SensorActivity() {
        mSensorManager = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
        mAccelerometer = mSensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
    }

    protected void onResume() {
        super.onResume();
        mSensorManager.registerListener(this, mAccelerometer, SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);
    }

    protected void onPause() {
        super.onPause();
        mSensorManager.unregisterListener(this);
    }

    public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {
    }

    public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
    }
}
```

*Ilustración 10 - Código API Sensores*

En primer lugar, es necesario crear un `SensorManager` el cual es el encargado de hacer referencia a los sensores a los cuales se quiere acceder, en este caso obtendríamos referencia del sensor HR (`Sensor.TYPE_HEART_RATE`).

Se implementa un `SensorEventListener` para manejar los eventos del sensor y el método `onSensorChanged` para procesar los datos del pulso cuando estos cambien de valor, para ello es necesario inicializar el proceso mediante el método `onResume`. Y con eso ya se procede a manejar los datos del sensor

---

<sup>4</sup> Una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) es un conjunto de definiciones y protocolos que permite a diferentes softwares comunicarse entre sí. Las APIs permiten que las funcionalidades de un programa sean utilizadas por otros programas a través de una serie de llamadas

A continuación, se muestran dos imágenes del Pixel Watch 2 mostrando los datos fisiológicos del pulso cardíaco, la Ilustración 11 representa los primeros diseños básicos para comprobar el correcto funcionamiento, mientras que la Ilustración 12 ya tiene el diseño final implementado.



*Ilustración 11 - Primeras pruebas sensor Pulso Cardíaco*    *Ilustración 12 - Datos mostrados por pantalla del Pulso Cardíaco*

El acceso a la información de otros sensores, como el sensor de oxígeno en sangre (SpO2), el sensor de temperatura de la piel, el acelerómetro, el giroscopio y el sensor de electrocardiograma (ECG), se vio obstaculizado debido a restricciones impuestas por el software del dispositivo. Estas restricciones impiden que las aplicaciones de terceros accedan a los datos proporcionados por estos sensores, limitando así las capacidades de monitoreo fisiológico del dispositivo en aplicaciones personalizadas, seguramente por motivos económicos ya que como se ha mencionado anteriormente, para obtener los resultados de algunos sensores era necesario una suscripción.

Por dicho motivo se buscó una alternativa al conocer la problemática que se presentaba, tras varios días haciendo pruebas se habló con los encargados del proyecto ARCADIA y se decidió enfocar la aplicación del dispositivo Pixel Watch 2 de otra manera, centrándose únicamente en el sensor de pulso cardíaco y haciendo que la interacción con el usuario fuese lo primordial.

En conclusión, la investigación y selección de sensores para el Pixel Watch 2 destacaron la utilidad de ciertos sensores clave para el monitoreo fisiológico. No obstante, las restricciones del software limitaron el acceso a varios de estos datos, lo que llevó a un cambio de enfoque en el desarrollo de la aplicación, priorizando la interacción del usuario con el sensor de pulso cardíaco como la función principal.

### 3.3 Implementación de la comunicación entre Unity y la aplicación para Wear OS mediante ZMQ

Una vez obtenidos los datos fisiológicos posibles del dispositivo Wear OS, se necesitaba una comunicación eficiente entre la aplicación del Pixel Watch 2 y el datahub utilizando ZMQ, ya que

todo el datahub funcionaba con este protocolo de comunicación. Cabe destacar que el objetivo es comunicar con una sesión de Realidad Mixta que se ejecuta en Unity.

Para garantizar una comunicación efectiva, primero es fundamental entender el funcionamiento básico del protocolo ZMQ. Durante el trabajo se realizaron varias pruebas en Python antes de comenzar a implementarlo en la aplicación del Pixel Watch 2.

En la documentación oficial de ZMQ se puede ver un código sencillo para la comunicación entre dos scripts de Python. Primero, es necesario instalar los paquetes requeridos por el protocolo y configurar el servidor. ZMQ se basa en *sockets*, similares a los utilizados en la programación de redes tradicionales, pero con capacidades avanzadas que facilitan la comunicación entre dispositivos.

Para comenzar con un ejemplo sencillo, consideramos un servidor que recibe los datos y un cliente que los envía. Éste es el mismo principio que queremos aplicar con el reloj, donde el reloj actúa como el cliente que envía los datos, y el datahub actúa como el servidor que los recibe. Se crea un contexto y un socket; el socket se enlaza con la IP y el puerto específico para poder enviar los datos, tal como se puede ver en las Ilustraciones 13 y 14. Tras cumplir ciertas condiciones, los datos se envían [18].

```
// Hello World server
#include <zmq.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <assert.h>

int main (void)
{
    // Socket to talk to clients
    void *context = zmq_ctx_new ();
    void *responder = zmq_socket (context, ZMQ_REP);
    int rc = zmq_bind (responder, "tcp://*:5555");
    assert (rc == 0);

    while (1) {
        char buffer [10];
        zmq_recv (responder, buffer, 10, 0);
        printf ("Received Hello\n");
        sleep (1);          // Do some 'work'
        zmq_send (responder, "World", 5, 0);
    }
    return 0;
}
```

Ilustración 13 - Código Sencillo Server

```

// Hello World client
#include <zmq.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

int main (void)
{
    printf ("Connecting to hello world server...\n");
    void *context = zmq_ctx_new ();
    void *requester = zmq_socket (context, ZMQ_REQ);
    zmq_connect (requester, "tcp://localhost:5555");

    int request_nbr;
    for (request_nbr = 0; request_nbr != 10; request_nbr++) {
        char buffer [10];
        printf ("Sending Hello %d...\n", request_nbr);
        zmq_send (requester, "Hello", 5, 0);
        zmq_recv (requester, buffer, 10, 0);
        printf ("Received World %d...\n", request_nbr);
    }
    zmq_close (requester);
    zmq_ctx_destroy (context);
    return 0;
}

```

*Ilustración 14 - Código Sencillo Cliente*

Se usó un proceso similar para la comunicación entre el Pixel Watch 2 y el datahub. El cliente es el reloj inteligente, que guarda los datos en formato JSON<sup>5</sup> para enviarlos cada vez que se detecta un cambio en el pulso. Por ejemplo, si el pulso del paciente cambia de 80 a 85, los datos se envían al datahub para que interactúe en la Realidad Mixta. Así se evita enviar el mismo valor repetidamente y previene el colapso del datahub con datos redundantes. En la Ilustración 15 se ve una traza de los datos recibidos por el datahub.

Los datos se envían a través de la IP del dispositivo receptor, y la IP puede modificarse fácilmente desde el reloj. Este enfoque asegura una comunicación eficiente y adaptable entre el Pixel Watch 2 y el datahub, permitiendo una integración fluida en el entorno de Realidad Mixta para la mejora del bienestar emocional del paciente.

```

2024-02-22:09:16:28,67 DEBUG [lynx-hub-server.py:144] data received: [b'Hw6CIkIhX2VJRq9Q3XZachms5Xp1PW2', b'{"data":{"values":[87], "sensors":["HR"]}, "device":"PW2", "patient":"Hw6CIkIhX2VJRq9Q3XZachms5Xp1", "session":"0", "srate":1, "timestamp":170858978765}']

```

*Ilustración 15 – Datos recibidos en el Datahub*

Una vez enviados los datos desde el dispositivo al datahub, éstos interactúan en la sesión de Realidad Mixta. Los datos del pulso cardíaco del usuario determinan diversas acciones y visualizaciones dentro del entorno virtual. Por ejemplo, un aumento en el pulso puede desencadenar cambios en el avatar digital o en el entorno visual para reflejar el estado emocional del usuario. Esta interacción dinámica entre los datos fisiológicos y la Realidad Mixta proporciona una experiencia personalizada y significativa, ayudando a los usuarios a comprender y gestionar mejor sus emociones. Al aumentar el pulso cardíaco el avatar virtual aumenta de tamaño y cambia de color representando que el paciente está nervioso o agitado, mientras que al ser más pequeño y de un color claro el paciente se encuentra bien.

<sup>5</sup> JSON en un formato ligero de intercambio de datos que se usa en aplicaciones, es fácil de comprender tanto para las personas como para los ordenadores, es por eso por lo que se usa en este proyecto para mandar toda la información de la misma manera.

### 3.4 Diseño e implementación de la Aplicación para Pixel Watch 2

El diseño de la aplicación para el Pixel Watch 2 se centró en ofrecer una experiencia interactiva y visualmente atractiva, enfocada en la monitorización y visualización de datos fisiológicos relevantes para la regulación emocional del paciente. La aplicación busca facilitar la expresión de las emociones por medio de los datos fisiológicos, teniendo en cuenta que la mayor parte de los pacientes a los que va destinado este proyecto de investigación son personas con autismo, con retraso en el desarrollo y con síndrome de Down. A continuación, se detallan los aspectos clave de este proceso, los cuales se resumen en la Ilustración 16.

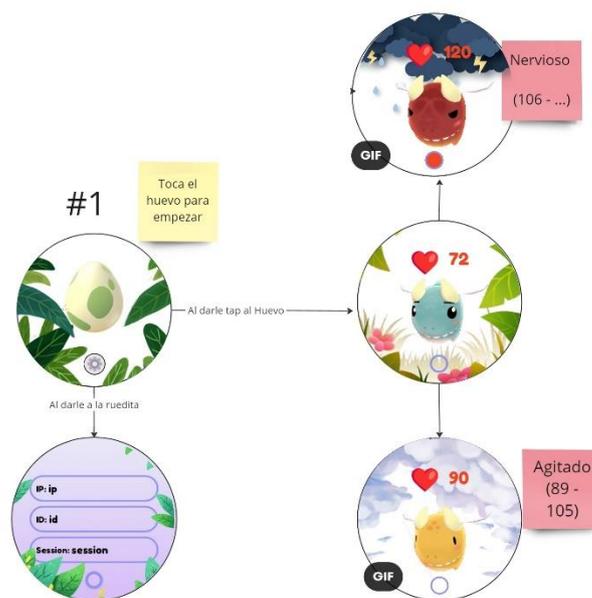


Ilustración 16 - Diseño del prototipo inicial

Aspectos Clave del Diseño:

- Interfaz Intuitiva y Accesible:

**Elementos Visuales Claros:** El diseño utiliza elementos visuales claros y grandes, con colores contrastantes que facilitan la identificación de estados emocionales y fisiológicos.

**Simplicidad en la Navegación:** La navegación está simplificada para que los usuarios puedan interactuar con la aplicación con facilidad. Se evitan menús complejos y se utilizan gestos táctiles básicos.

- Monitorización en Tiempo Real:

**Datos Fisiológicos:** La aplicación monitoriza en tiempo real la frecuencia cardíaca.

**Alertas Visuales:** Cuando se detectan cambios significativos en los datos fisiológicos, la aplicación proporciona alertas visuales para notificar al usuario y a los cuidadores.

- Personajes y Animaciones:

**Criaturas Animadas:** Los estados emocionales se representan mediante criaturas animadas que cambian de color y expresión facial según los datos fisiológicos del usuario, viene dado por uno de los animales que pueden elegir en la sesión de Realidad Mixta.

**Fondos Dinámicos:** Los fondos de la aplicación cambian para reflejar el estado emocional, utilizando elementos naturales como el sol, la lluvia o las tormentas.

- Personalización y Configuración:

**Configuración por el Profesional de la Salud:** Los profesionales pueden personalizar la aplicación ingresando detalles específicos del usuario, como IP, ID, sesión y MAC (avatar físico), para ajustar la monitorización según las necesidades individuales.

Dados estos puntos claves, la implementación se realizó considerando las características de la pantalla circular del Pixel Watch 2, se centró en asegurar que la información presentada fuera clara y legible, aprovechando la disposición del espacio para concentrar los estímulos más relevantes en el centro de la pantalla. Así se facilita que los usuarios puedan acceder rápidamente a la información esencial, como el pulso cardíaco, que se muestra de manera prominente en números grandes y visibles.

Por lo que respecta a los fondos y animaciones, se crearon usando ProcreateDream [19], una herramienta que permite la creación de gráficos y animaciones de alta calidad.

Todos los elementos gráficos fueron personalizados para que encajaran perfectamente con la temática ya establecida por la empresa. Este proceso de personalización aseguró que cada fondo y animación no solo cumpliera con los estándares visuales y estéticos de la compañía, sino que también reforzara la identidad y el mensaje que se quería transmitir a través del proyecto.

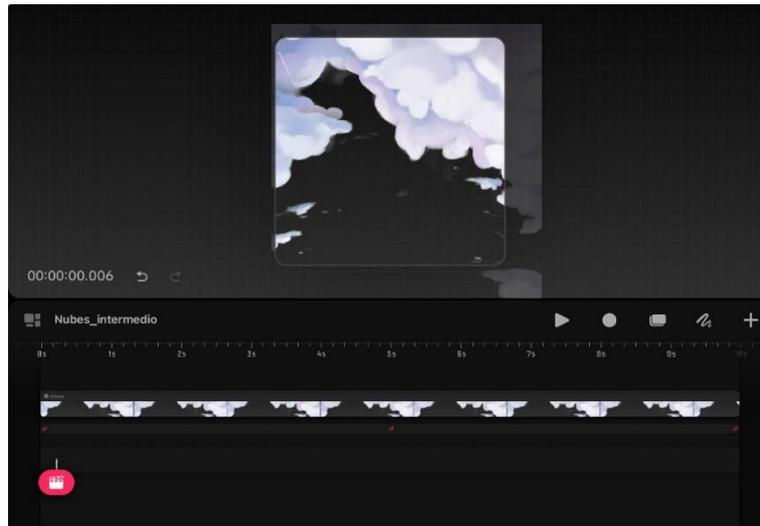
Para llevar a cabo este proceso se plantearon unos bocetos básicos de lo que se quería representar con cada estado:

- Para el inicio se quería mostrar una eclosión del huevo donde se encuentra el avatar virtual, que represente el inicio de la aventura para los pacientes y el inicio del programa de medición y recogida de datos para el profesional de la salud.
- Para cada estado se quería mostrar el sentimiento del usuario mediante el avatar y el clima, proporcionando así tres tipos:
  1. Estado tranquilo, la naturaleza moviéndose lentamente con el aire mientras que el avatar se encuentra feliz.
  2. Estado agitado, el clima se vuelve nublado para advertir que el paciente se está agitando y algo le incomoda.
  3. Estado nervioso, unas nubes oscuras y con rayos para mostrar la incomodidad y el estado nervioso del paciente.

Tras estos bocetos, se procedió a buscar las imágenes que representaran las diferentes ideas y, mediante el uso de ProcreateDream, se les dio vida, creando sencillas animaciones para dar más dinamismo a la aplicación.

Como se puede ver en la Ilustración 17, cada fondo tiene su propia animación que se creó frame por frame para luego unirlo mediante un creador de GIFs. Esto fue necesario para asegurar que

las animaciones se integraran perfectamente en la aplicación, proporcionando una experiencia visual atractiva y dinámica.



*Ilustración 17 - Diseño de Fondo Animado*

El uso de ProcreateDream permitió crear animaciones fluidas y fondos vibrantes que no solo mejoraron la apariencia visual del proyecto, sino que también contribuyeron a una mejor funcionalidad y experiencia de usuario. Las animaciones personalizadas ayudaron a guiar a los usuarios a través de la interfaz, destacando elementos importantes y mejorando la interacción general.

A lo largo del proceso, se realizaron varias rondas de revisión y se solicitó retroalimentación de diferentes partes interesadas. Esto ayudó a refinar los gráficos y a asegurar que se cumplieran con las expectativas y requerimientos establecidos.

Una vez aprobados, los fondos y animaciones fueron implementados en el proyecto. Este paso final incluyó la integración con otros elementos del proyecto para asegurar una experiencia coherente y fluida para el usuario final.

Además, se implementó el avatar digital en la aplicación de Realidad Mixta que refleja el estado emocional del usuario. Este avatar proporciona una representación visual intuitiva de si el usuario está tranquilo, agitado o nervioso, ayudando al usuario a comprender su estado emocional de manera clara y efectiva.

Para mejorar la experiencia de usuario, se integraron controles y gestos intuitivos, como deslizamientos y toques, que permiten navegar fácilmente por la aplicación y acceder a diversas funciones. Estos gestos están diseñados para ser naturales y fáciles de aprender, asegurando una interacción fluida y sin complicaciones con la aplicación en el contexto dinámico de un dispositivo wearable como el Pixel Watch 2.

Estos gestos son los siguientes:

- Para iniciar la sesión se presiona en el huevo lo que provoca una animación y el comienzo de las mediciones y envíos de datos.
- En la pestaña de ajustes se puede deslizar para poder ver perfectamente todas las opciones.

- Para finalizar la aplicación se presiona en la “X” lo que hace que se pare las mediciones y el envío de datos.

Se optó por diseñar la aplicación con una estructura de sesiones que inicien y terminen de manera clara. Al pulsar sobre uno de los elementos de la pantalla, el huevo, se inicia una sesión que comienza a monitorear y transmitir los datos fisiológicos al datahub. Durante la sesión, los datos recolectados permiten la interacción en un entorno de Realidad Mixta, proporcionando una experiencia inmersiva y dinámica. Para terminar la sesión, el usuario pulsa el botón de “x”, lo que detiene la recolección y transmisión de datos, y cierra la sesión de manera ordenada.

En el apartado de configuración hay tres campos, tal como se puede ver en la Ilustración 18:

- IP: Sirve para la comunicación entre el reloj inteligente con el datahub, modificando la ip se conectará al ordenador que tenga el datahub para recibir los datos fisiológicos y que éstos interactúen en la sesión de Realidad Mixta.
- ID: La id del paciente sirve para identificar al usuario y registrar sus datos para que los profesionales cualificados puedan analizar los resultados.
- Sesión: Sirve para saber cuál es el número de sesión, y tras pulsar la “x” se incrementa de manera automática dicho valor.



*Ilustración 18 - Primeros diseños de Configuración*

El diseño final de cada estado se puede ver en las Ilustraciones 19, 20 y 21.



*Ilustración 19 - Estado Calmado*



*Ilustración 20 - Estado Agitado*



*Ilustración 21 - Estado Nervioso*

### 3.5 Comunicación entre Avatar Físico (Arduino) y Aplicación Wear OS mediante BLE

La comunicación entre el avatar físico, controlado por un microcontrolador Arduino, y la aplicación Wear OS del Pixel Watch 2 se realiza mediante Bluetooth Low Energy. Esta tecnología permite una conexión eficiente y de bajo consumo de energía, esencial para dispositivos portátiles y wearables.

Para llevar a cabo este proceso, es necesario comenzar configurando los permisos necesarios en Android Studio para poder acceder a las capacidades Bluetooth del reloj inteligente. La aplicación Wear OS debe estar configurada para escanear, conectarse y comunicarse con el dispositivo BLE. Esto se realiza mediante el uso de las APIs de Bluetooth en Android.

Inicialmente, la idea era hacer un buscador de dispositivos Bluetooth en la aplicación del Pixel Watch 2. Para ello, se realizaba un escaneo de todos los dispositivos con los que el reloj podía comunicarse. Sin embargo, este enfoque resultó en un fracaso debido a que el reloj debe estar conectado por Bluetooth a un teléfono móvil, lo que hacía que al escanear solo apareciera dicho móvil.

Tras realizar varias pruebas sin éxito, se modificó la manera de conectarse con el dispositivo. Ahora, se conectaría directamente utilizando la dirección MAC de la placa de Arduino, lo que

hace que la conexión sea instantánea. Sin embargo, este método es menos conveniente a la hora de cambiar de avatar físico, ya que se debe insertar la dirección completa manualmente.

Como se puede apreciar en la Ilustración 22, para la conexión por Bluetooth mediante una dirección MAC, es necesario configurar un adaptador BLE. Tras la configuración, se hace una llamada a la función `connect` pasándole la dirección del dispositivo. Dentro de la función, se obtiene el dispositivo remoto utilizando la dirección MAC proporcionada. Si la dirección no es válida, se captura la excepción `IllegalArgumentException` y se registra un mensaje de advertencia indicando que no se encontró el dispositivo con la dirección proporcionada [20].

Además, se agrega la conexión al servidor GATT del dispositivo utilizando `device.connectGatt(context, false, gattCallback)`. Si el adaptador de Bluetooth no está inicializado, se registra un mensaje de advertencia correspondiente.

Este enfoque asegura que el dispositivo BLE se conecte correctamente, manejando posibles errores de manera adecuada y proporcionando retroalimentación útil en los registros para facilitar la depuración.

```
fun connect(address: String): Boolean {
    bluetoothAdapter?.let { adapter ->
        try {
            val device = adapter.getRemoteDevice(address)
        } catch (exception: IllegalArgumentException) {
            Log.w(TAG, "Device not found with provided address.")
            return false
        }
        // connect to the GATT server on the device
    } ?: run {
        Log.w(TAG, "BluetoothAdapter not initialized")
        return false
    }
}
```

Ilustración 22 - Código BLE

Tras la conexión el siguiente proceso es el envío de datos, que se realiza tras el cambio de estado medido por los sensores del reloj.

Una vez iniciada la aplicación, se inicia la sesión para comenzar a medir el pulso cardíaco y se conecta automáticamente con el avatar físico al que está enlazado. Este enlace se puede cambiar antes de iniciar la sesión. La forma de enviar la información es mediante una API del servicio de BLE, es decir, los datos (en este caso, el pulso) se envían por BLE pasando el estado en Byte, como se puede ver en la Ilustración 23, el cual es recibido y procesado por la placa Arduino.

```
1 characteristic?.let
2     val value = byteArrayOf(1.toByte())
3     it.value = value
4     gatt?.writeCharacteristic(it)
5 }
```

Ilustración 23 - Código enviar datos por BLE

El funcionamiento del BLE en la placa Nano 33 BLE consiste en crear un servicio para que la aplicación pueda comunicarse con la placa. Primero, se establece un nombre y una dirección MAC, lo que permite al reloj, que ya estaba buscando esa MAC, conectarse automáticamente. Una vez conectada, la placa recibe los datos enviados y los guarda para su procesamiento.

El reloj inteligente envía los datos solo cuando hay un cambio significativo en el estado del pulso para evitar sobrecargar el avatar físico. Enviar datos con cada mínimo cambio podría hacer que el sistema colapse, aunque es raro, es mejor prevenirlo configurándolo de esta manera.

La desconexión se produce cuando en la aplicación se presiona “x”, lo que produce que se cierra la sesión, la aplicación deja de enviar datos y se desconecta del avatar físico. Esta desconexión asegura que no haya comunicaciones innecesarias una vez que la sesión ha finalizado. La Ilustración 24 muestra una traza desde el inicio de la conexión hasta la desconexión.

```
Connected to central: 71:8c:1e:5a:de:d3
LED on | Neutro
LED on | Neutro
LED on | Agitado
LED on | Neutro
LED on | Calmado
LED off
Disconnected from central: 71:8c:1e:5a:de:d3
```

Ilustración 24 - Conexión con Nano 33

### 3.6 Configuración de los Sensores de Avatar Físico

Una parte muy importante del avatar físico era simular un acompañante que reflejara el pulso cardíaco del paciente. Esto ayuda tanto al usuario como al profesional a visualizar el estado de forma sencilla y rápida. Por ello, se pensó en que el avatar simulara el pulso cardíaco registrado por el reloj usando un LED RGB para mostrar visualmente el estado de ánimo mediante colores y un motor de vibración para simular los latidos del corazón.

Para la configuración de estos sensores, el primer paso fue diseñar el esquema del circuito con la placa Nano 33 BLE, el LED RGB y el motor de vibración, como se puede ver en la Ilustración 25.

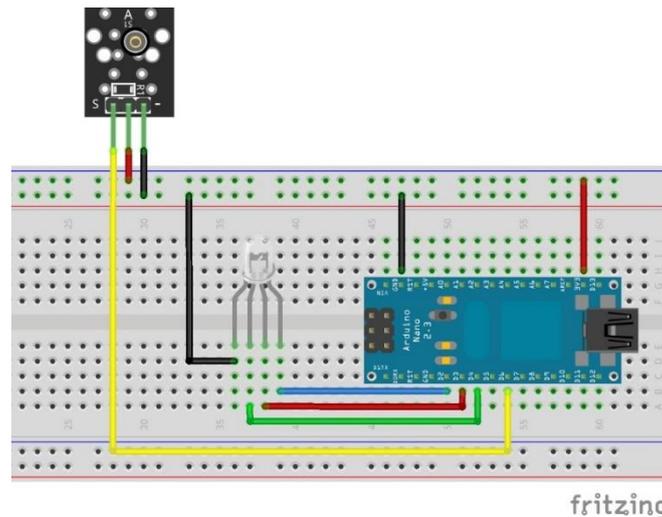


Ilustración 25 - Esquema Circuito Avatar Físico

El funcionamiento del circuito es el siguiente:

- LED RGB:

El LED RGB dispone de 4 pines: tres de ellos están destinados para un color (rojo, azul y verde), mientras que el pin restante es para GND.

#### Conexiones del LED RGB:

**Rojo:** Pin digital D2.

**Verde:** Pin digital D3.

**Azul:** Pin digital D10.

**GND:** Conectar al pin GND de la placa Arduino.

Para su correcto funcionamiento, se asignan salidas digitales para poder controlar el color del LED con precisión. Cuando el avatar físico recibe el estado del paciente mediante un servicio de BLE, activa el color correspondiente al estado modificando los valores de los pines, resultando en el color correcto que representa el estado del paciente.

- Motor de Vibración:

El motor de vibración tiene tres pines: uno para la alimentación a 3.3V, uno para GND y el restante conectado a una salida digital para controlar el motor.

#### Conexiones del Motor de Vibración:

**VCC:** Pin de 3.3V de la placa Arduino.

**GND:** Pin GND de la placa Arduino.

**Control:** Pin digital D4.

Cuando el avatar físico recibe el estado del paciente, enciende la luz correspondiente en el LED RGB y utiliza el motor de vibración para simular el pulso del corazón.

Este esquema y la descripción de las conexiones aseguran que los componentes funcionen correctamente para simular el pulso cardiaco del paciente, ayudando a visualizar el estado de ánimo y proporcionando una representación táctil del pulso.

Al iniciar una sesión con la app del Pixel Watch 2, el reloj se conecta con el avatar físico mediante BLE y cuando el reloj comienza a medir el pulso, envía el estado en el que se encuentra el paciente, pero únicamente cuando cambie de estado para evitar saturar. La placa recibe el estado mediante un servicio de BLE y comienza a simular el pulso cardiaco acorde al estado del usuario, utilizando tres colores y tres tipos de velocidades:

- Estado calmado: Se representa mediante una luz azul y una vibración lenta y suave, para reflejar que el paciente esta calmado o relajado. (Pulso 0 - 90)
- Estado agitado: Se representa mediante una luz amarilla y una vibración intermedia, que refleja que algo está pasando o le incomoda al usuario. (Pulso de 90 - 105)
- Estado nervioso: Se representa mediante una luz roja y una vibración rápida e intensa, indicando un estado de alta actividad o estrés del usuario. (Pulso de 105 -  $\infty$ )

Como se puede ver en la Ilustración 26, el avatar físico recibe el estado en el que se encuentra el paciente y ajusta los colores del LED además de configurar las vibraciones del motor. Cada caso en el switch statement corresponde a un estado diferente del paciente (Calmado, Neutro, Agitado) y ajusta tanto el color del LED como el patrón de vibración del motor para reflejar dicho estado.

```
1 switch (switchCharacteristic.value())
2 {
3     Serial.println(switchCharacteristic.value());
4     case 01:
5         Serial.println("LED on | Calmado");
6         setColor(0, 0, 255); // Azul
7         // Calmado
8         pulso(1000, 2000, 255);
9         break;
10    case 02:
11        Serial.println("LED on | Neutro");
12        setColor(255, 255, 0); // Amarillo
13        // Neutro
14        pulso(1000, 1000, 255);
15        break;
16    case 03:
17        Serial.println("LED on | Agitado");
18        setColor(255, 0, 0); // Rojo
19        // Agitado
20        pulso(1000, 500, 255);
21        break;
22    default:
23        Serial.println(F("LED off"));
24        setColor(0, 0, 0); // Apagado
25        pulso(0, 0, 0);
26
27        break;
28 }
```

Ilustración 26 - Código Funcionamiento Avatar Físico

De esta manera, el avatar físico no solo proporciona una representación visual del estado del paciente, sino también una experiencia táctil que ayuda a los profesionales y usuarios a entender mejor las variaciones en el pulso cardiaco y el estado de ánimo del paciente.

Para finalizar y hacer que el paciente sienta que el avatar que ha elegido es el que le está ayudando, la empresa ha realizado varias pruebas con impresiones 3D de los modelos del proyecto. Estos modelos permiten insertar dentro todos los componentes de hardware, simulando que el avatar es el que está latiendo al mismo pulso que el usuario. Por esta razón, los componentes deben ser de un tamaño pequeño.

Al incorporar estos componentes de tamaño reducido dentro del avatar, se crea una experiencia inmersiva donde el paciente puede ver y sentir los latidos del corazón reflejados por el avatar, fortaleciendo la conexión emocional y la percepción de asistencia por parte del acompañante digital. Este enfoque no solo mejora la eficacia del seguimiento del estado del paciente, sino que también aumenta su comodidad y satisfacción con el uso del dispositivo.

### 3.7 EmotiBit

EmotiBit es un dispositivo wearable biométrico que ofrece una amplia gama de sensores diseñados para capturar datos emocionales y fisiológicos en tiempo real cuyo formato se puede visualizar en la Ilustración 27. Este dispositivo es utilizado ampliamente en investigación psicológica, estudios de comportamiento humano y aplicaciones que requieren el monitoreo del estado emocional y fisiológico de los usuarios [\[21\]](#) [\[22\]](#) [\[23\]](#).

Inicialmente, la implementación de EmotiBit no estaba prevista en el diseño original del proyecto. Sin embargo, debido a las restricciones impuestas por el software del Pixel Watch 2, las cuales limitaban el acceso a los datos de varios sensores clave, se hizo necesario buscar alternativas que permitieran la captura de una gama más amplia de datos fisiológicos. Por esta razón, se decidió integrar EmotiBit como un añadido al trabajo. La empresa disponía de uno de estos dispositivos sin uso, por lo que debido al inconveniente del smartwatch era el momento perfecto para implementarlo. Un dispositivo wearable biométrico que ofrece una diversidad de sensores capaces de medir datos emocionales y fisiológicos en tiempo real.

#### **Sensores de EmotiBit**

EmotiBit viene equipado con varios sensores que permiten medir más de una docena de señales biométricas como se puede ver en la Ilustración 28.

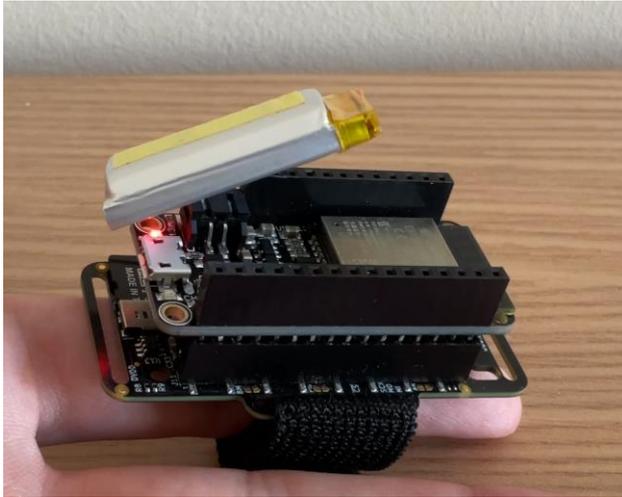


Ilustración 27 - Emotibit midiendo datos

```
enum class DataType{
    DATA_OVERFLOW,
    DATA_CLIPPING,
    PPG_INFRARED,
    PPG_RED,
    PPG_GREEN,
    EDA,
    EDL,
    EDR,
    TEMPERATURE_0,
    TEMPERATURE_1,
    THERMOPILE,
    HUMIDITY_0,
    ACCELEROMETER_X,
    ACCELEROMETER_Y,
    ACCELEROMETER_Z,
    GYROSCOPE_X,
    GYROSCOPE_Y,
    GYROSCOPE_Z,
    MAGNETOMETER_X,
    MAGNETOMETER_Y,
    MAGNETOMETER_Z,
    BATTERY_VOLTAGE,
    BATTERY_PERCENT,
    DEBUG,
    length
};
```

Ilustración 28 - Sensores del Emotibit

Los sensores principales incluyen:

- **Sensor de conductancia de la piel (EDA):** Mide las variaciones en la conductancia eléctrica de la piel, que son indicativos de la respuesta emocional y el estrés.
- **Sensor de temperatura corporal:** Proporciona lecturas de la temperatura superficial de la piel, lo que puede ser un indicador de estados emocionales y de estrés.
- **Sensor óptico PPG:** Utilizado para medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la frecuencia cardíaca en sí, importantes indicadores de la respuesta autónoma del sistema nervioso.
- **Acelerómetro y giroscopio:** Estos sensores capturan el movimiento y la orientación, proporcionando datos sobre la actividad física y la postura del usuario.
- **Magnetómetro:** Mide el campo magnético terrestre, lo cual puede ayudar a determinar la orientación espacial del dispositivo y es útil para aplicaciones que requieren determinar la dirección o la navegación.

Cada uno de los sensores del EmotiBit ofrece datos valiosos que pueden ser utilizados específicamente en el contexto del proyecto para mejorar el bienestar emocional a través de la Realidad Mixta. A continuación, se describe cómo cada sensor contribuye al alcance y objetivos del trabajo:

### 1. Sensor de Conductancia de la Piel (EDA)

Uso en el proyecto: Este sensor mide las variaciones en la conductancia eléctrica de la piel, que son indicativas de la respuesta emocional y el estrés. En el contexto del proyecto, los datos de EDA pueden utilizarse para detectar episodios de ansiedad o estrés en tiempo real, permitiendo que la aplicación de Realidad Mixta reaccione con intervenciones diseñadas para calmar al usuario y avisar al profesional de la salud del suceso.

## **2. Sensor de Temperatura Corporal**

Uso en el proyecto: Las mediciones de la temperatura de la piel proporcionan información sobre los cambios térmicos relacionados con diferentes estados emocionales. Esta información puede ser utilizada para ajustar las actividades o entornos de Realidad Mixta, por ejemplo, introduciendo elementos visuales o escenarios que se sabe que influyen en la sensación de bienestar, como entornos naturales tranquilos.

## **3. Sensor Óptico PPG**

Uso en el proyecto: El sensor PPG permite medir la variabilidad de la frecuencia cardíaca y la propia frecuencia cardíaca, que son indicativos de la respuesta del sistema nervioso autónomo. Estos datos son fundamentales para evaluar el nivel de relajación o excitación del usuario, ajustando en consecuencia las experiencias de Realidad Mixta para promover la relajación o activación según sea necesario.

## **4. Acelerómetro y Giroscopio**

Uso en el proyecto: Estos sensores capturan el movimiento y la orientación, proporcionando datos sobre la actividad física y la postura del usuario. En el proyecto, esta información puede ser utilizada para detectar niveles de actividad que podrían correlacionarse con estados emocionales, como la inquietud durante la ansiedad, permitiendo intervenciones oportunas para promover la calma.

### **Obtención de Datos con Arduino**

Para la integración de EmotiBit en el proyecto, se utilizó Arduino como plataforma de desarrollo para recoger y procesar los datos de los sensores de EmotiBit, debido a que el software que trae solo nos permite visualizar los datos pero para extraerlos no tiene una función a tiempo real, ya que la manera de almacenarlos es mediante una tarjeta de memoria sd, por lo que sería necesario quitar el dispositivo del paciente y extraer dicha información, además que sería difícil saber que suceso ha ocasionado esos datos.

Se desarrolló un programa en el IDE de Arduino para leer los datos de los sensores de EmotiBit.

Al comienzo del desarrollo surgieron varios problemas a la hora de la instalación y configuración del software y drivers del dispositivo, debido a que el dispositivo no es tan conocido ni se han desarrollado muchas aplicaciones, es por eso que cierta información de instalación en la documentación oficial es incorrecta o faltante, pero tras varios días investigando en foros se dedujo el problema, la falta de unos drivers.

Tras conseguir la configuración e instalación del software se comenzó con las pruebas para ver de qué forma se podían obtener los datos, al comprobar que mediante las herramientas que proporciona dicho dispositivo no era posible se optó por el uso de Arduino.

El código en Arduino incluye algoritmos para filtrar y procesar los datos preliminares, asegurando que solo se envíen datos relevantes y precisos al servidor o datahub.

Mediante la documentación oficial se pudo extraer una parte del código crucial para la obtención de los datos que proporcionan los sensores, se puede apreciar en la Ilustración 29.

```
size_t dataAvailable = emotibit.readData(EmotiBit::DataType::PPG_GREEN, &data[0], dataSize);
if (dataAvailable > 0)
{
    // Hey cool, I got some data! Maybe I can light up my shoes whenever I get excited!

    // print the data to view in the serial plotter
    bool printData = false;
    if (printData)
    {
        for (size_t i = 0; i < dataAvailable && i < dataSize; i++)
        {
            // Note that dataAvailable can be larger than dataSize
            Serial.println(data[i]);
        }
    }
}
```

Ilustración 29 - Código obtención de datos de los sensores

Este código lee datos de un sensor, es este caso del PPG\_GREEN. Mediante dataAvailable se obtiene llamando a emotibit.readData para leer datos del sensor y almacenarlos, se verifica si dataAvailable es mayor que 0 para asegurarse de que hay datos disponibles, ya que dependiendo del sensor puede tardar un poco procesar. Luego, la variable printData controla si se deben imprimir los datos. Si es true, se imprime cada dato disponible en el monitor serie utilizando un bucle. Este proceso permite la lectura y visualización opcional de datos del sensor en tiempo real, útil para la depuración y análisis.

Mediante este código se obtienen los valores proporcionados por un sensor, por lo que para la obtención del resto se ha realizado varias modificaciones para el correcto funcionamiento de la extracción de datos. Una vez recopilados se procede a verificar éstos sean correctos mediante un filtro y se guardan usando JSON, añadiendo parámetros necesarios para el datahub tal como la hora, el tipo de sensor y otros datos que requiere la empresa.

### Comunicación con datahub

EmotiBit transmite datos a través de una conexión inalámbrica o mediante cables directamente conectados a una placa Arduino. Para este proyecto, se optó por una conexión inalámbrica para garantizar una transmisión de datos de la manera ergonómicamente más adecuada para el paciente.

La transmisión de datos a través de una conexión inalámbrica utilizando WiFi permite una transmisión de datos constante y sin interrupciones, aprovechando la capacidad de WiFi para manejar mayores tasas de transferencia y volúmenes de datos.

Una vez que los datos son recogidos y procesados por Arduino, se transmiten a través de un módulo WiFi conectado a la placa Arduino. Este módulo envía los datos directamente al datahub donde se integran en la aplicación de Realidad Mixta.

Para llevar a cabo ese proceso de comunicación se requiere en primer lugar una conexión WiFi con la red a la que este conectada el datahub. Cabe destacar que la ubicación del sistema puede cambiar, teniéndose que conectar a otra red WiFi, en ese caso, es necesario cambiar en el

Arduino la configuración, y no es una tarea cómoda, por lo que se añadieron varias redes conocidas para facilitar la conexión.

Se consideró inicialmente el uso de ZeroMQ para la comunicación de los datos al datahub como en la aplicación del Pixel Watch 2, pero se encontró que no era compatible con el entorno de Arduino utilizado para EmotiBit. Por lo tanto, se optó por utilizar MQTT, un protocolo de mensajería ligero y eficiente, adecuado para las comunicaciones M2M (máquina a máquina) e IoT (Internet de las Cosas).

Se configuró un broker <sup>6</sup> MQTT en el archivo proxy para recibir los datos transmitidos y en el lado de Arduino, se programó el módulo WiFi para establecer una conexión MQTT con el broker.

El archivo proxy es un intermediario que conecta Emotibit con el datahub, este archivo tiene como finalidad recibir mediante MQTT los datos de los sensores que vienen en JSON y enviarlos al datahub usando ZMQ. Este proceso se estuvo debatiendo con los responsables del proyecto ARCADIA, ya que había otra solución que era el uso de un cable, la cual permitía pasar los datos directamente y más fácil pero no era cómodo para el paciente. Se optó finalmente por usar el proxy como intermediario, se configuró el broker y la conexión con el datahub para la comunicación efectiva entre datahub y Emotibit.

Los datos recogidos y transmitidos por Arduino son recibidos en el datahub, donde se analizan y utilizan para ajustar la experiencia del usuario en la Realidad Mixta. Por ejemplo, cambios en la conductancia de la piel pueden activar una respuesta en la aplicación que ayuda al usuario a manejar el estrés.

Utilizando EmotiBit y Arduino, se dotó a ARCADIA de la capacidad de capturar una amplia gama de datos fisiológicos de forma eficaz, pero debido a que no estaba planeado la implementación de dicho dispositivo no se añadió interacción con estos sensores, lo que pudo enriquecer la experiencia del usuario al proporcionar retroalimentación personalizada basada en su estado emocional y fisiológico real. Esta futura integración demuestra la potencia de combinar tecnologías wearables avanzadas con plataformas de desarrollo accesibles como Arduino para aplicaciones en salud y bienestar emocional.

### 3.8 Uso de metodologías ágiles, Git Flow

En el desarrollo de la aplicación para el Pixel Watch 2, el desarrollo del avatar físico y en el Emotibit, se adoptó un enfoque de metodologías ágiles para garantizar flexibilidad, eficiencia y adaptabilidad durante el proceso de desarrollo que además es el método que se usa en el ITI para trabajar eficientemente con el resto del equipo. También, se implementó Git Flow como un modelo de gestión de versiones que complementa esta metodología ágil, facilitando la gestión de versiones y el mantenimiento del código de manera estructurada.

#### Metodologías Ágiles

Las metodologías ágiles se centran en entregas iterativas y el desarrollo incremental de productos de software. Este enfoque permite responder de manera flexible a los cambios y requisitos emergentes durante el ciclo de desarrollo. En el contexto de este proyecto, se utilizaron prácticas ágiles:

---

<sup>6</sup> **Broker** actúa como intermediario que facilita la transmisión de mensajes entre dos protocolos de comunicación diferentes, administrando y distribuyendo datos entre publicadores y suscriptores.

- **Sprints:** Divisiones del tiempo de desarrollo en intervalos cortos y manejables, conocidos como sprints, que suelen durar entre una y cuatro semanas, pero en este caso era semanal debido a la forma de trabajar de la empresa. Cada sprint comienza con una reunión de planificación donde se seleccionan las tareas a completar, y termina con una revisión y una retrospectiva para evaluar el progreso y discutir mejoras. Una vez a la semana se reunía todo el equipo y se planificaba el trabajo individual de cada miembro.
- **Scrum:** Implementación de reuniones diarias de scrum para asegurar una comunicación continua entre los miembros del equipo, identificar posibles obstáculos y sincronizar actividades, en este caso como he mencionado antes las reuniones eran semanales, se realiza de esta manera para evitar que todos los días se pierda una hora de trabajo. La reunión era impartida por el organizador y en esta se iba exponiendo el trabajo realizado a lo largo de la semana, comentando los avances y/o problemas de las tareas, tras esto se debatía sobre las siguientes tareas o en caso de no finalizarla se seguía con la misma.
- **Desarrollo iterativo:** Construcción de la aplicación en ciclos iterativos que permiten la creación rápida de prototipos y la incorporación temprana de comentarios de los usuarios finales. Cada cierto tiempo se lanzaba una versión de la aplicación en la que se estuviese trabajando para realizar pruebas y dar opiniones para mejorar el desarrollo.

### Git Flow

Git Flow es un modelo de flujo de trabajo basado en Git que establece una estructura organizada para manejar proyectos de desarrollo de software. Las principales características de Git Flow que fueron aplicadas en este proyecto incluyen:

- **Ramas principales y de soporte:** Uso de dos ramas principales permanentes en el repositorio: main para el código de producción y dev para el desarrollo. Las ramas adicionales de soporte se crean para nuevas características (feature branches), para preparar lanzamientos (release branches). Cada objetivo dispone de un repositorio donde se almacena y gestiona el código, al desarrollar una característica nueva se añadía al repositorio.
- **Integración y pruebas:** Las ramas feature se utilizan para desarrollar nuevas características antes de integrarlas en la rama dev. De esta manera se consigue mantener la estabilidad del código en desarrollo mientras se prueba y perfecciona cada nueva función. Tras finalizar la función nueva se añadía a dev.
- **Lanzamientos y mantenimiento:** Cuando una versión de la aplicación está lista para ser lanzada, se pasa el desarrollo de dev a main. Tras este proceso se etiqueta la versión del desarrollo y se explican sus características para poder saber a la perfección que hace esa versión.

El uso de metodologías ágiles junto con Git Flow proporcionó un marco sólido para el desarrollo dinámico y eficiente de todas las aplicaciones realizadas en este trabajo. Estos enfoques facilitaron la gestión óptima de versiones del software y la capacidad de adaptarse rápidamente a las necesidades cambiantes del proyecto.

### Ejemplos del uso en los proyectos

Las imágenes adjuntas muestran el uso de Git Flow en diferentes proyectos, evidenciando la aplicación de ramas para características específicas, integraciones y lanzamientos.

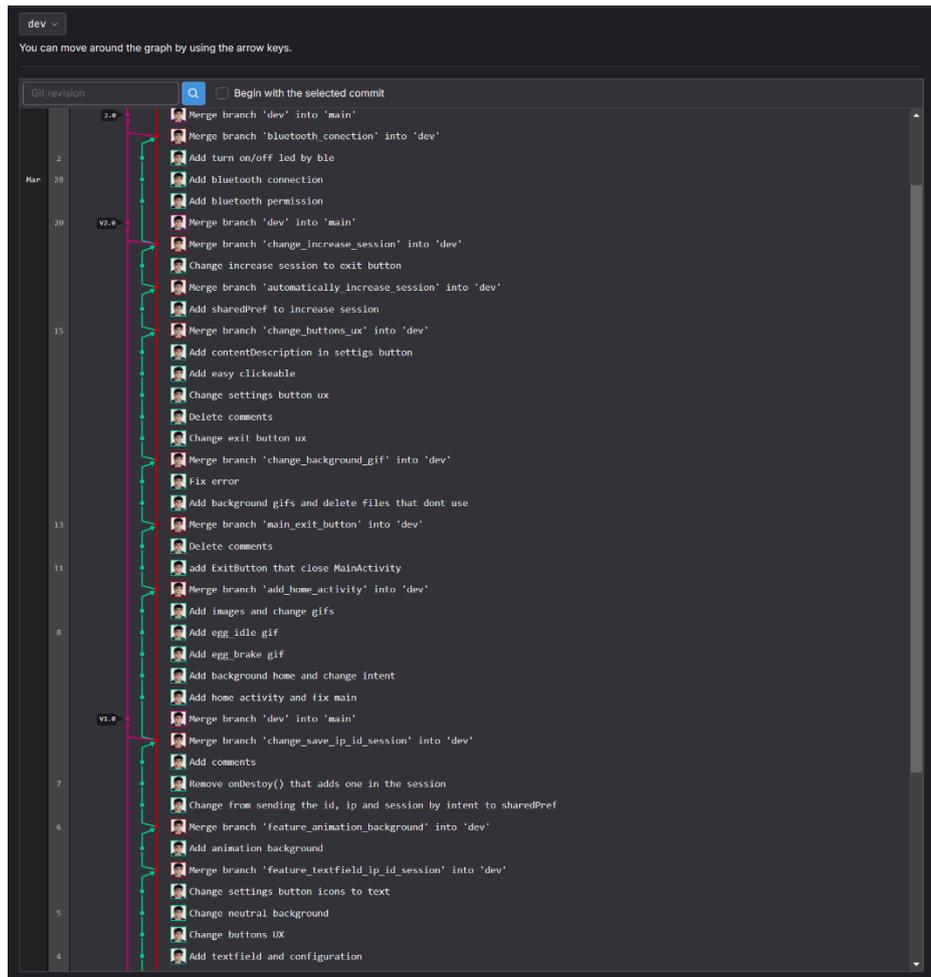


Ilustración 30 - GitFlow Aplicación Pixel Watch 2

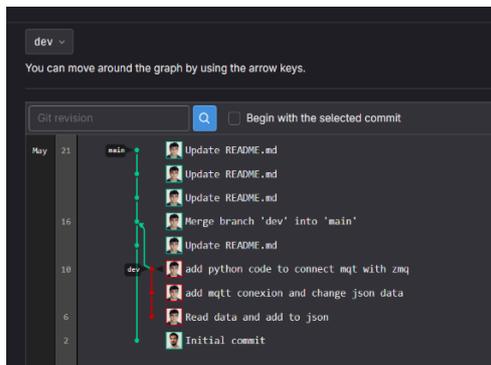


Ilustración 31 - GitFlow Emotibit

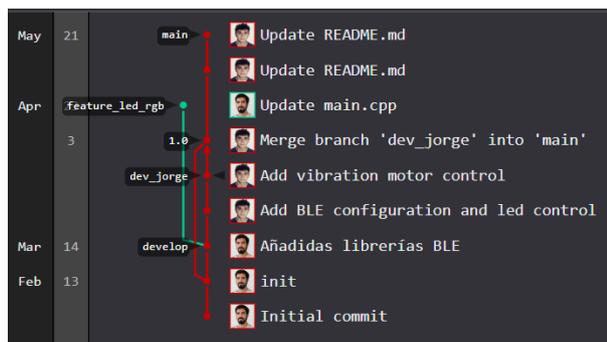


Ilustración 32 - GitFlow Avatar Físico

- **WearOS Project:**

- La Ilustración 30 muestra un gráfico del repositorio del proyecto WearOS en GitLab, destacando la estructura de ramas dev y main, así como las múltiples fusiones de ramas de características específicas, como bluetooth\_connection, increase\_session, y change\_button\_text\_ux.

- **EmotiBit Project:**

- La Ilustración 31 ilustra el flujo de trabajo en el proyecto EmotiBit, mostrando cómo se gestionaron las ramas dev, main, y las fusiones de las ramas de características y correcciones, como `add_home_activity` y `change_save_ip_id_session`.
- **Avatar Físico Project:**
  - La Ilustración 33 proporciona un ejemplo de un proyecto ficticio, con ramas como `feature_led_rgb`, y cómo se integran de manera organizada en dev y main.

Estas imágenes destacan cómo Git Flow permite una gestión clara y estructurada del código, facilitando la colaboración entre los desarrolladores y asegurando que las nuevas características y correcciones se integren de manera controlada y eficiente.

Para finalizar, es crucial incluir un archivo README en cada repositorio. Este archivo debe proporcionar instrucciones claras sobre cómo instalar y usar el software. Un buen README ayuda a que cualquier desarrollador, ya sea parte del equipo original o un colaborador externo, pueda entender rápidamente el propósito del proyecto, los requisitos necesarios, los pasos para la instalación y la manera de utilizar la aplicación. Esto no solo mejora la accesibilidad y usabilidad del software, sino que también facilita la colaboración y contribuciones de otros desarrolladores.

En resumen, el uso de metodologías ágiles, Git Flow y un buen archivo README proporcionan un marco completo y eficiente para el desarrollo, mantenimiento y colaboración en proyectos de software.

### 3.9 Resultados

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo y la implementación de los objetivos plantados al inicio del trabajo de fin de grado. Se detallan los procesos de captura de datos, su procesamiento preliminar, y cómo estos datos se visualizan de manera interactiva para el usuario final. También se presenta cómo interactúan los datos obtenidos tanto en el avatar físico como en el digital. Los resultados demuestran la efectividad del sistema en monitorear parámetros fisiológicos clave y ofrecer una interfaz amigable y comprensible para su interpretación, ayudando en la representación del estado anímico del paciente.

#### 3.9.1 Captura y visualización de datos fisiológicos en el Smartwatch y Unity

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos en la captura y visualización de datos fisiológicos utilizando el Smartwatch y cómo interactúan en la plataforma Unity. Un elemento clave para el éxito de este proceso ha sido la combinación de una estética cuidada con una representación precisa del estado del paciente, especialmente en lo que respecta al sensor de pulso cardíaco.

El resultado principal de este objetivo ha sido la representación correcta y efectiva de la frecuencia cardíaca en el Smartwatch. Para lograr esto, se implementaron animaciones y temas visuales atractivos que no solo captan la atención del usuario, sino que también facilitan la comprensión de los datos fisiológicos. Estas visualizaciones mejoran significativamente la experiencia del usuario, haciéndola más intuitiva y menos técnica.

A pesar del desafío que supone la dificultad para obtener información de otros sensores del reloj, se logró una expresión adecuada de los datos extraídos del sensor de pulso cardíaco. La representación gráfica de estos datos ha sido diseñada no solo para ser estéticamente agradable sino también para ser accesible y comprensible para personas con problemas emocionales o dificultades para expresarse.

La correcta implementación del protocolo de comunicación ZMQ permite el envío de datos al datahub en tiempo real por parte del Pixel Watch 2, el datahub recibe dichos datos y son enviados por ZMQ al entorno en Realidad Mixta de Unity, donde se procesan para la interacción.

Un enfoque innovador adoptado ha sido el uso de avatares virtuales, como dragones u otros animales, en la interfaz de usuario en Unity. Este método ayuda a los usuarios a conectarse emocionalmente con la aplicación, facilitando una interacción más natural y cómoda. El avatar actúa como un intermediario emocional, reflejando los estados fisiológicos del usuario de manera que este puede entender intuitivamente, cambiando de aspecto y el fondo por cada estado. Por ejemplo, cambios en el color a un tono más rojizo y cambio de clima en el para indicar un aumento en el estrés o la ansiedad, ayudando al usuario a reconocer y, potencialmente, gestionar sus emociones.

En el desarrollo de la aplicación de Realidad Mixta en Unity, se implementaron con éxito los datos fisiológicos capturados para facilitar interacciones dinámicas y visuales, las cuales dependen de la colaboración con otras partes del equipo de desarrollo de la empresa. Esta integración ha sido crucial para representar el estado emocional del paciente.

La interacción del usuario con la aplicación se representa mediante la visualización reactiva del avatar virtual. Los datos de pulso cardíaco, en particular, se utilizan para ajustar dinámicamente la representación del avatar en la plataforma Unity. Se ajusta el tamaño y el color del avatar al detectar un aumento en la frecuencia cardíaca, el avatar aumenta de tamaño y cambia de color a unos tonos más cálidos para representar mayor actividad o estrés por parte del paciente, de igual forma que se presenta en el reloj inteligente. Pasa de forma parecida cuando disminuye el pulso, pero esta vez disminuye el tamaño y cambia a colores más fríos. Además de posibles cambios en el entorno para enfocar todavía más el impacto del estrés o nervios, lo que ayuda tanto al paciente como al personal encargado de la sesión para identificar algún problema.

De forma similar a las implementaciones en el smartwatch, las técnicas utilizadas en Unity para la representación visual y la interacción buscan mantener una consistencia estética y funcional. Esto asegura una experiencia de usuario coherente y fluida a través de diferentes dispositivos y plataformas, facilitando una comprensión intuitiva del propio estado de salud y emocional del usuario.

Para comprender el resultado de forma más completa y detallada de cómo se implementaron y funcionan las interacciones basadas en los datos fisiológicos en la plataforma Unity y en el Pixel Watch 2, se ha preparado un video demostrativo. Este video ilustra de manera efectiva los cambios dinámicos en el avatar virtual y el entorno de fondo, destacando cómo estos elementos responden a las variaciones en el pulso cardíaco del usuario. Para más detalles ver el [\[Video1\]](#) del Anexo 6.2.

### 3.9.2 Interacción de datos con el avatar físico y el reloj inteligente

Este apartado detalla la implementación y resultados de la interacción entre los datos fisiológicos capturados a través del reloj inteligente y su representación a través de un avatar físico. Este desarrollo busca enriquecer la experiencia del usuario proporcionando una representación tangible y visualmente atractiva de sus estados emocionales y fisiológicos.

El reloj inteligente, que mide la frecuencia cardíaca captura datos fisiológicos en tiempo real. Estos datos son esenciales para monitorear el estado emocional del usuario, proporcionando información sobre su nivel de estrés, ansiedad o relajación. Los datos capturados son transmitidos desde el reloj inteligente al avatar físico, es decir, a la placa Nano 33 Ble mediante tecnologías inalámbricas Bluetooth Low Energy. En el sistema, los datos son procesados y analizados para determinar los estados emocionales que serán representados por el avatar físico.

El avatar físico, diseñado para ser interactivo con los datos en tiempo real para que el usuario puede ver de forma tangible su pulso cardíaco, utiliza un LED y un motor de vibración para representar visual y táctilmente los estados emocionales del usuario. Estos elementos se activan en respuesta a los datos fisiológicos procesados en tres estados:

**Calmado:** Representado por un color azul en el LED y vibraciones suaves y lentas, indicando un estado de relajación o baja ansiedad.

**Agitado:** Mostrado con un color amarillo y vibraciones más frecuentes, reflejando un estado de inquietud o estrés moderado.

**Nervioso:** Indicado por un color rojo y vibraciones intensas y rápidas, señalando altos niveles de ansiedad o estrés.

Estos cambios visuales y táctiles en el avatar proporcionan una ayuda directa y fácilmente interpretable tanto al usuario como a los profesionales de la salud, facilitando la autoconsciencia, la gestión de sus estados emocionales y ayuda a entender al responsable cómo se siente el paciente en caso de que las palabras no sean suficientes.

Para una representación más personalizada y para una experiencia mejorada, se ha diseñado y se sigue diseñando un avatar utilizando tecnología de impresión 3D para que sea de un material blando. Este avatar no solo mejora la conexión visual y táctil del usuario con su estado emocional, sino que también permite una personalización más detallada en términos de apariencia y funcionalidad.

Dentro del avatar impreso en 3D, se integrarían todos los sensores necesarios para detectar y reaccionar a los cambios fisiológicos del usuario, pero por motivos ajenos al estudiante, solo se han implementado algunos prototipos.

Una parte del equipo está activamente involucrado en realizar y perfeccionar pruebas para asegurar que la incorporación de estos componentes en el avatar 3D funcione de manera óptima. Estas pruebas son cruciales para garantizar que la interacción del usuario con el avatar sea fluida y efectiva, proporcionando una retroalimentación precisa y útil sobre su estado emocional.

La implementación de un avatar físico impreso en 3D con sensores integrados ofrece una experiencia de usuario mucho más rica y personalizada. Los usuarios pueden interactuar con una representación física de sus emociones, lo que potencia la comprensión y gestión de sus

estados emocionales. La integración de un avatar físico impreso en 3D con sensores internos representa un avance significativo en la interacción del usuario con dispositivos wearables.

Se puede ver el funcionamiento del avatar y la calidad de la impresión 3D en el [\[Video 2\]](#) del anexo 6.2.

### 3.9.3 Captura y visualización de datos con EmotiBit

En este apartado, se detalla el proceso de captura y visualización de datos fisiológicos utilizando EmotiBit.

EmotiBit es un dispositivo que está equipado con múltiples sensores, incluyendo un sensor de conductancia de la piel (EDA), un sensor de temperatura corporal, un sensor óptico PPG para la medición de la frecuencia cardíaca, un acelerómetro, un giroscopio, y un magnetómetro. Juntos, estos sensores ofrecen una visión holística del estado físico y emocional del usuario, capturando datos como la respuesta emocional, la actividad física, y la orientación espacial. Sensores muy interesantes que el reloj no tiene o no se pueden extraer datos.

Los datos son capturados en tiempo real y transmitidos al datahub. La integración de EmotiBit permite recopilar datos complejos que son esenciales para un análisis detallado del bienestar del usuario, conociendo a la perfección sus emociones mediante datos.

Inicialmente, el uso de EmotiBit no estaba contemplado en el diseño del proyecto. Sin embargo, debido a las limitaciones impuestas por el software del reloj inteligente, que restringía el acceso a datos de varios sensores esenciales, se hizo necesario el uso de este para la captura de datos fisiológicos más amplia y detallada. EmotiBit, con su variedad de sensores avanzados, se integró como una solución para superar estas restricciones y enriquecer la recopilación de datos necesarios para el análisis del bienestar emocional y físico del usuario.

La configuración inicial de EmotiBit presentó desafíos, principalmente debido a problemas con la documentación incompleta o poco clara. Este obstáculo complicó la configuración y calibración de los sensores. Además, la comunicación inicialmente prevista para usar ZeroMQ para transmitir los datos desde EmotiBit al datahub no fue posible debido a incompatibilidades y limitaciones por parte de Arduino. Esto requería otra forma de plantear la comunicación.

Se optó por implementar MQTT, ideal para los casos de uso de IoT como éste, donde la eficiencia y la confiabilidad en la transmisión de datos desde dispositivos wearable son cruciales.

Para facilitar la comunicación entre EmotiBit y el datahub, se configuró un proxy. Este proxy actúa como un intermediario, recibiendo datos de EmotiBit a través de MQTT y luego retransmitiéndolos al datahub usando ZMQ, garantizando que la transmisión de datos sea fluida y efectiva.

Dado que el uso de EmotiBit no fue contemplado desde el inicio del proyecto, no se implementó la representación de sus datos en Realidad Mixta. Es una oportunidad perdida para este trabajo, ya que la integración de tales datos en un entorno de Realidad Mixta podría haber enriquecido significativamente la interactividad y la inmersión de la aplicación, pero es una manera de enriquecer en un futuro todo lo planteado en este documento.

Estos datos podrían ser representados en Realidad Mixta de diversas maneras. Por ejemplo, los datos podrían utilizarse adaptar entornos virtuales en tiempo real, respondiendo a los estados emocionales y fisiológicos del usuario. Para un futuro sería algo lógico seguir con esta idea, ya

que con tantos sensores que dispone EmotiBit mejoraría la capacidad de comprender las emociones del paciente.

La incorporación de EmotiBit en el trabajo de fin de grado, aunque no estuvo planteada desde el principio, ha ampliado notablemente las capacidades de captura de datos fisiológicos del sistema y también ha sido de los apartados más complicados. Para ver los resultados correctamente acudir al [\[Vídeo 3\]](#) del Anexo 6.2.

### 3.10 Discusión

Esta sección, la discusión del proyecto, explora las implicaciones de los resultados obtenidos a través del desarrollo y la implementación de la tecnología wearable y de Realidad Mixta, centrándose en su impacto en la salud mental, en su impacto en la visualización interactiva de datos y la facilitación de estrategias de autorregulación, gracias a los datos recogidos del paciente en tiempo real. Estos aspectos son importantes para comprender la relevancia y la eficacia del proyecto.

#### 3.10.1 Implicaciones de los resultados en la promoción de la salud mental

Los objetivos impuestos para este trabajo han demostrado tener resultados significativas para la promoción de la salud mental mediante la integración de tecnologías wearables. Estas herramientas han permitido un obtener los datos fisiológicos del paciente de forma continua y en tiempo real, lo que es esencial para la detección temprana de patrones que podrían indicar estrés, ansiedad o depresión.

Al proporcionar datos continuos sobre la condición fisiológica del usuario, el personal cualificado puede realizar una investigación temprana y una hipótesis antes de que el estrés o la ansiedad se intensifiquen, sobre todo para personas con dificultades a la hora de expresar emociones. Esto es especialmente valioso en entornos clínicos y terapéuticos donde la prevención juega un papel crucial, para terapias más inmersivas y entretenidas, dando lugar a que el paciente se encuentre en un entorno tranquilo y con un avatar que represente de forma visual sus emociones.

La capacidad de monitorizar y analizar datos específicos del usuario en tiempo real facilita la personalización del tratamiento, permitiendo que terapeutas y médicos ajusten las intervenciones basadas en la información exacta del estado emocional y fisiológico del paciente.

Es un avance importante que puede ayudar a muchas personas a prevenir ansiedad y otro tipo de enfermedades mentales, de forma más entretenida y amigable que ir a terapia. Siendo más un acto deseado que una obligación. Acercando tanto a los jóvenes como a personas más adultas a cuidar su salud mental.

#### 3.10.2 Visualización interactiva de datos fisiológicos y conciencia emocional

La visualización interactiva de datos fisiológicos juega un papel fundamental en la mejora de la conciencia emocional del usuario. A través de interfaces intuitivas y representaciones gráficas de estados emocionales, los usuarios pueden comprender mejor sus propias reacciones y estados internos.

Aprovechando las tecnologías actuales y dándole un giro a las terapias tradicionales, implementando sensores que no incordian ni al paciente ni al terapeuta y representando emociones de forma ingeniosa, entretenida y fácil de entender.

Al visualizar sus datos fisiológicos en tiempo real, los usuarios se vuelven más conscientes de sus respuestas emocionales y físicas a diferentes situaciones, lo que es un paso crucial hacia el manejo efectivo de la salud emocional.

Proporcionar a los usuarios las herramientas para visualizar y entender sus propios datos les empodera para tomar un papel activo en el manejo de su salud mental, lo que puede llevar a mejoras significativas en su calidad de vida. Fomentando a todas las personas a cuidar su salud mental de una forma visual y atractiva.

### 3.10.3 Facilitación de estrategias de autorregulación

Este trabajo proporciona información valiosa sobre la condición emocional y fisiológica del usuario, además facilita la implementación de estrategias de autorregulación que son esenciales para el manejo a largo plazo de la salud mental.

A través de las aplicaciones desarrolladas, se pueden sugerir técnicas de relajación y manejo del estrés basadas en los datos capturados, como la respiración profunda, meditación o actividad física, personalizadas según las necesidades de cada usuario, siempre bajo supervisión de profesionales.

El sistema puede proporcionar “feedback” instantáneo y sugerencias basadas en los cambios detectados en los datos fisiológicos, permitiendo al usuario aplicar técnicas de autorregulación en momentos críticos para prevenir o mitigar respuestas emocionales negativas.

El conjunto de los dispositivos y software utilizados dan como resultados del proyecto un gran potencial para transformar significativamente la manera en que los individuos gestionan su salud mental. La integración de wearables y tecnología de Realidad Mixta ofrece nuevas posibilidades para la monitorización, análisis y manejo de la salud mental, proporcionando una plataforma para la prevención, intervención temprana, y estrategias de regulación y bienestar emocional personalizadas para cada paciente.

## 4 Conclusiones

En la realización de este trabajo de Fin de Grado se han cumplido satisfactoriamente los dos objetivos principales planteados, para ello, se ha explorado el desarrollo de aplicaciones para wearables con un enfoque en Realidad Mixta, centradas en la recopilación y comunicación de datos fisiológicos para la mejora del bienestar emocional mediante el uso de Realidad Mixta. A continuación, se presenta un resumen de los principales hallazgos y contribuciones del proyecto:

### 4.1 Resumen de hallazgos y contribuciones

Se ha desarrollado una solución tecnológica que integra wearables, como el reloj inteligente y EmotiBit, con plataformas de Realidad Mixta. Esta integración permite la captura y análisis en tiempo real de datos fisiológicos del paciente para la evaluación del estado emocional y para que el personal cualificado pueda intervenir respecto a los datos visualizados.

El proyecto ha mejorado significativamente la capacidad de monitorizar el bienestar emocional del usuario. Los sensores en los dispositivos wearables capturan datos como la frecuencia

cardíaca, la conductancia de la piel, y la temperatura corporal, los cuales son cruciales para identificar estados emocionales como el estrés o la calma.

Respecto a la comunicación, ZeroMQ fue seleccionado inicialmente como una solución potencial para facilitar la comunicación eficiente de datos entre los dispositivos wearables y el sistema central de procesamiento, debido a sus características de alto rendimiento y su capacidad para manejar múltiples conexiones de datos simultáneas en tiempo real.

Durante la fase de desarrollo, se encontraron desafíos técnicos específicos relacionados con la integración de ZMQ en el ecosistema del proyecto, particularmente en lo que respecta a la compatibilidad con ZMQ y Arduino. Pero esto no limitó el proceso, sino que ayudó al aprendizaje, hizo que se replanteara la comunicación lo que permitió añadir otro protocolo de comunicación.

Se han implementado métodos de visualización avanzados que facilitan la interpretación de los datos fisiológicos por parte de los usuarios. Esto incluye la transformación de datos complejos en representaciones visuales intuitivas en el reloj inteligente y en entornos de Realidad Mixta, mejorando así la conciencia emocional del usuario. Además del uso de una estética atractiva y fácil de comprender para todo tipo de personas.

La aplicación desarrollada permite una interacción intuitiva y significativa con los datos a través de interfaces de usuario amigables y avatares virtuales en Realidad Mixta que responden a los cambios en los datos fisiológicos del usuario. Esto no solo aumenta el compromiso del usuario, sino que también mejora su capacidad para gestionar su bienestar emocional.

El sistema implementado facilita estrategias de autorregulación, ofreciendo a los usuarios herramientas y técnicas basadas en la evidencia para manejar sus emociones en tiempo real. Esto es vital para la promoción de la salud mental y el bienestar a largo plazo.

El desarrollo del avatar físico en este proyecto representa un enfoque innovador para la interacción humana con la tecnología, particularmente en el campo del bienestar emocional. Este avatar no es simplemente una representación visual, sino compañía interactiva que reacciona en tiempo real a los datos fisiológicos capturados por dispositivos wearables. Este punto tiene grandes desarrollos futuros y puede llegar a proporcionar mucha ayuda.

Este proyecto demuestra el potencial de las tecnologías emergentes para transformar la manera en que monitorizamos y gestionamos la salud emocional. A través de la innovación en wearables y Realidad Mixta, se ha proporcionado una solución avanzada que no solo mejora la comprensión y gestión del bienestar emocional, sino que también establece un nuevo estándar en la atención de la salud mental personalizada. Esta investigación abre varias vías para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la tecnología de la salud y el bienestar emocional.

#### 4.2 Áreas de investigación futura y aplicaciones prácticas

El proyecto ha dejado varios desarrollos e ideas para futuras investigaciones y ha presentado numerosas aplicaciones prácticas potenciales, como se ha mencionado anteriormente durante el documento, este proyecto no ha finalizado ya que hay muchas mejoras que se pueden implementar. Estas oportunidades no solo pueden ampliar el alcance del proyecto ARCADIA, sino también contribuir significativamente al campo del bienestar emocional y la salud mental. Por parte de ITI, sigue en desarrollo tanto la recopilación de datos como la implementación en Realidad Mixta, este documento solo muestra una parte que se ha realizado para un objetivo mayor. A continuación, se exploran algunas de estas áreas:

- Dispositivos Wearables:

En esta área se puede investigar en tecnologías avanzadas para mejorar la precisión y la capacidad de respuesta de los sensores utilizados en wearables. Esto podría incluir el desarrollo de nuevos sensores biométricos que puedan capturar una gama más amplia de datos fisiológicos con mayor precisión. Uno de los problemas que ha tenido este trabajo ha sido que el Pixel Watch 2 no ha permitido obtener más información de los sensores que tiene integrados, por lo tanto, un reloj inteligente que permita obtener más datos fisiológicos aportaría mucho.

Asimismo, se pueden explorar métodos para personalizar aún más las interfaces de usuario de las aplicaciones de Realidad Mixta basadas en las preferencias y necesidades individuales de los usuarios. Esto podría incluir interfaces adaptables que cambien según el estado emocional del usuario. Una de las ideas que se planteó fue que el avatar a personalizar en Realidad Mixta fuese el que apareciera en el Pixel Watch 2, para una mejor inmersión, pero no se llevó a implementar, por lo que es una buena idea como mejora.

- Avatar Físico:

En este aspecto, se pueden añadir sensores de feedback biológico, incorporar sensores directamente en el avatar físico para medir la respuesta al estrés o la excitación emocional del usuario, permitiendo al avatar reaccionar de forma más sincronizada con el estado emocional del usuario.

Además, sería interesante utilizar materiales que cambian de color con la temperatura o que tienen propiedades luminiscentes para añadir una dimensión visual más rica a la respuesta del avatar. Explorar técnicas de impresión 3D multimaterial para crear avatares que combinan varios tipos de texturas y flexibilidades, lo que puede mejorar la interacción táctil y visual.

Las mejoras en el avatar físico podrían tener aplicaciones en varios campos, desde la terapia en salud mental hasta la educación y el entrenamiento en habilidades sociales y emocionales. Por ejemplo, en el contexto de la terapia para niños con trastornos del espectro autista, un avatar físico mejorado podría ser especialmente útil para enseñar reconocimiento de emociones y habilidades de interacción social de una manera amigable y accesible.

- EmotiBit

En esta última área, la integración de datos capturados por EmotiBit en aplicaciones de Realidad Mixta es una oportunidad que no se ha explorado en este trabajo. EmotiBit, con su capacidad para capturar una amplia gama de señales fisiológicas, puede ser utilizado para ajustar y personalizar experiencias de RM de manera que respondan dinámicamente al estado emocional y físico del usuario.

Utilizar los datos de EmotiBit para controlar cambios en el entorno de RM, como colores, iluminación y sonido. Por ejemplo, aumentar la intensidad de la luz y los colores cálidos cuando se detecta estrés para calmar al usuario, o ajustar la música de fondo para reflejar y modificar el estado emocional percibido.

Por último, también se podrían diseñar interfaces de usuario dentro de la aplicación de RM que respondan a los cambios en los datos fisiológicos, facilitando a los usuarios la navegación y la interacción con el entorno virtual de manera que se sientan cómodos y controlados.

## 5 Referencias Bibliográficas

- [1] COVID-19 pandemic triggers 25% increase in prevalence of anxiety and depression worldwide. (s. f.). Who.int. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://www.who.int/news/item/02-03-2022-covid-19-pandemic-triggers-25-increase-in-prevalence-of-anxiety-and-depression-worldwide>
- [2] (S. f.). Apa.org. Zara Abrams. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://www.apa.org/monitor/2022/10/mental-health-campus-care#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.apa.org%2Fmonitor%2F2022%2F10%2Fmental,100>
- [3] Fleming, L. (2022, agosto 25). What role could wearable tech play in the future of mental health care? Verywell Mind. <https://www.verywellmind.com/wearable-devices-help-with-mental-health-symptoms-6502966>
- [4] Navas-Medrano, S., Soler-Dominguez, J. L., & Pons, P. (2024). Mixed Reality for a collective and adaptive mental health metaverse. *Frontiers in psychiatry*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1272783>
- [5] Hickey, B. A., Chalmers, T., Newton, P., Lin, C. T., Sibbritt, D., McLachlan, C. S., ... & Lal, S. (2021). Smart devices and wearable technologies to detect and monitor mental health conditions and stress: A systematic review. *Sensors*, 21(10), 3461.
- [6] Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., & Joinson, A. (2016). The rise of consumer health wearables: Promises and barriers. *PLoS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
- [7] Gómez Bergin, A. D., & Craven, M. P. (2023). Virtual, augmented, mixed, and extended reality interventions in healthcare: a systematic review of health economic evaluations and cost-effectiveness. *BMC Digital Health*, 1. <https://doi.org/10.1186/s44247-023-00054-9>
- [8] De Massari, D., Pacheco, D., Malekshahi, R., Betella, A., Verschure, P. F. M. J., Birbaumer, N., & Caria, A. (2014). Fast mental states decoding in mixed reality. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00415>
- [9] Lauener, J., Sliwinski, W., & CERN, G. (2017, October). How to design & implement a modern communication middleware based on ZeroMQ. In Proc of ICALEPCS (Vol. 17, pp. 45-51).
- [10] Gracia, L. (2013, febrero 25). Un poco de ZeroMQ. Un poco de Java. <https://unpocodejava.com/2013/02/25/un-poco-de-zeromq/>
- [11] BLE (Bluetooth Low Energy): ¿qué es y cómo usarlo en IoT? (2019, septiembre 5). Novidá. <https://www.novida.com/es/blog/ble/>
- [12] (S. f.-b). Murkyrobot.com. Murky. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://www.murkyrobot.com/guias/comunicacion/mqtt>
- [13] Primeros pasos en Android Wear: Desarrollo de aplicaciones para dispositivos Wear OS. (s. f.). Samsung Dev Spain. Brais Moure. Recuperado 20 de julio de 2024, de [https://www.europe-samsung.com/smsdev/Noticias/Detalle/primeros\\_pasos\\_en\\_android\\_wear\\_desarrollo\\_de\\_aplicaciones\\_para\\_dispositivos\\_wear\\_os/f36db1e9-044a-481e-8045-3029c860fb34](https://www.europe-samsung.com/smsdev/Noticias/Detalle/primeros_pasos_en_android_wear_desarrollo_de_aplicaciones_para_dispositivos_wear_os/f36db1e9-044a-481e-8045-3029c860fb34)

- [14] Kotlin for android. (s. f.). Kotlin Help. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://kotlinlang.org/docs/android-overview.html>
- [15] Goilav, N., & Geoffrey, L. O. I. (2016). Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes. Ediciones ENI.
- [16] Antes de continuar. (s. f.). Google.com. Recuperado 20 de julio de 2024, de [https://store.google.com/es/product/pixel\\_watch\\_2\\_specs?hl=es&pli=](https://store.google.com/es/product/pixel_watch_2_specs?hl=es&pli=)
- [17] Google Pixel Watch technical & device specifications. (s. f.). Google.com. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://support.google.com/googlepixelwatch/answer/12651869?hl=en>
- [18] *Get started*. (s. f.). ZeroMQ. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://zeromq.org/get-started/?language=python>
- [19] *Procreate dreams*. (s. f.). Procreate. Recuperado 25 de julio de 2024, de <https://procreate.com/dreams>
- [20] Conectarse con un servidor GATT. (s. f.). Android Developers. Recuperado 20 de julio de 2024, de <https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/ble/connect-gatt-server?hl=es-419>
- [21] Montgomery, S. M., Nair, N., Chen, P., & Dikker, S. (2024). Validating EmotiBit, an open-source multi-modal sensor for capturing research-grade physiological signals from anywhere on the body. *Measurement. Sensors*, 32(101075), 101075. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101075>
- [22] Langevin, A., Bégin, W., Lavallière, M., Beaulieu, L. D., Ménélas, B. A. J., Gaboury, S., ... & Paquette, L. (2021). Criterion validation of an open-source wearable physiological sensors device. In *Proceedings of the 9th International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support-icSPORTS*, (pp. 95-105).
- [23] Rizzi, J., D'Antona, A., Proto, A., Piva, G., Lamberti, N., Bonfè, M., & Farsoni, S. (2023). A framework integrating Augmented Reality and wearable sensors for the autonomous execution of rehabilitation exercises. *Electronics*, 12(24), 4958. <https://doi.org/10.3390/electronics12244958>

## 6 Anexos

### 6.1 ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X

ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Para este trabajo de fin de grado, los ODS más relevantes podrían ser:

- **ODS 3: Salud y Bienestar** - Este objetivo busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. Este proyecto contribuye directamente a este objetivo al intentar mejorar el bienestar emocional mediante el uso de tecnologías avanzadas.
- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura** - Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación. Este trabajo, al desarrollar nuevas aplicaciones tecnológicas para wearables, puede estar contribuyendo a este ODS mediante la innovación en dispositivos electrónicos personales y aplicaciones de salud.

## 6.2 Vídeos

[Vídeo 1] - Vídeo explicación del funcionamiento y resultados de la aplicación para el SmartWatch:

[https://drive.google.com/file/d/16txNAWD\\_cRueGTnJcEBKMakEdOWo10Sh/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/16txNAWD_cRueGTnJcEBKMakEdOWo10Sh/view?usp=sharing)

[Vídeo 2] - Vídeo explicación del funcionamiento y resultados del Avatar Físico:

<https://drive.google.com/file/d/1sTmsxPPae0VhoXvSymlVQT7EOxSO0w3m/view?usp=sharing>

[Vídeo 3] - Vídeo explicación del funcionamiento y resultados del Emotibit:

[https://drive.google.com/file/d/1rTcv8bG3uuxi9k0Mp0-Z2Mx\\_64KjMIB-/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1rTcv8bG3uuxi9k0Mp0-Z2Mx_64KjMIB-/view?usp=sharing)