



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Sensores fisiológicos para la evaluación de
aplicaciones interactivas

Autor/es

Beatriz Aguas Luzón

Directora: Dra. Sandra Baldassarri

Grado en Ingeniería Informática
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2016

Agradecimientos

A mi tutora, Sandra Baldassarri, por plantearme este proyecto, haberme ayudado con su desarrollo y la redacción de la memoria. Gracias por su inestimable ayuda y paciencia.

A Javier Marco, por darle color a este proyecto. Gracias por la ayuda prestada y el interés mostrado.

A mis padres, por su infinita paciencia y estar siempre a mi lado apoyándome durante estos años. Gracias por ayudarme a cumplir mis sueños.

A mis abuelos, por cuidarme y enseñarme tantos valores. En especial a mí abuelo Ramón, te fuiste antes de lo pensado y sé que hoy estarías muy orgulloso de mí.

A Carlos, porque de no ser por ti no habría llegado hasta aquí. Gracias por tu ánimo y apoyo, sobre todo en los momentos más duros, y no dejar que me rindiera nunca.

Y por último, agradecer al resto de mi familia y amigos. Especialmente, a los más que compañeros, amigos hechos en la carrera. Gracias por todos estos años juntos y hacer que los días encerrados en el laboratorio no parecieran tan malos. Sobre todo a vosotras, sois lo mejor que me llevo.



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

[Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea dispensado para su evaluación.]

D./D^a. BEATRIZ AGUAS LUZON

con nº de DNI 73001022B en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo dc Fin de (Grado/Máster) Grado _____, (Título del Trabajo) "Sensores fisiológicos para la evaluación de aplicaciones interactivas"

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 18 de Noviembre de 2016

Fdo: BEATRIZ AGUAS LUZON

Sensores fisiológicos para la evaluación de aplicaciones interactivas

Resumen ejecutivo

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido desarrollado en el Grupo de Informática Gráfica Avanzada (GIGA) *AffectiveLab* perteneciente al Departamento de Ingeniería Informática de Sistemas (DIIS) de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA). Este proyecto se engloba dentro de la rama del desarrollo de nuevas formas de interacción natural con los ordenadores y su objetivo es el estudio y uso de diferentes sensores para medir lo que sienten los usuarios al interactuar con una aplicación interactiva o juego pervasivo.

Los sensores fisiológicos permiten la monitorización de factores como el ritmo cardíaco o estimulación cerebral; de modo que es posible obtener información acerca de la experiencia que viven los usuarios (UX) a través del grado de nerviosismo, tensión o relajación que sientan. Dichos sensores se integrarán en el espacio colaborativo que el *GIGA AffectiveLab* tiene en *Etopía* para ser usados en distintas aplicaciones o juegos.

El trabajo exige abordar dos tipos de soluciones. Por un lado consta de una parte enfocada a la investigación que ha abarcado casi todo el desarrollo del mismo, que se ha centrado en la búsqueda, estudio y evaluación de las tecnologías (características y datos a extraer) y aplicaciones similares a las propuestas. Durante este proceso se han seleccionado los sensores usados en el desarrollo de este trabajo que han servido para realizar casos de estudio con el fin de establecer patrones de comportamiento de los usuarios. Por otro lado, requiere de desarrollo de software de una demo interactiva, que consiste en estudiar la configuración de los diferentes dispositivos que componen el entorno antes citado e integrar los sensores fisiológicos seleccionados en ellos.

Por último, una vez se ha desarrollado el proyecto, se han realizado un conjunto de pruebas respecto a los juegos utilizados que permiten verificar los datos obtenidos y determinar el estado emocional en el que se encuentra el usuario cuando interacciona con ellos.

Índice

Capítulo 1. Introducción	13
1.1. Motivación.....	13
1.2. Contexto del proyecto.....	15
1.3. Objetivos del proyecto	17
1.4. Estructura del documento	18
Capítulo 2. Análisis del problema.....	21
2.1. Metodología de investigación.....	21
2.2. Estado del arte	22
2.3. Conclusiones sobre el estado del arte.....	31
Capítulo 3. Estudio del hardware	33
3.1. Análisis de los dispositivos	33
3.2. Problemas y soluciones del hardware	39
Capítulo 4. Casos de estudio y resultados	43
4.1. Caso de estudio	43
4.2. Análisis de los resultados obtenidos.....	45
Capítulo 5. Generación y evaluación de la demo interactiva	49
5.1. Planificación y diseño	49
5.2. Diseño de pruebas.....	50
5.3. Resultados obtenidos y evaluación de la demo.....	51
Capítulo 6. Conclusiones	55
6.1. Consecución de objetivos	55
6.2. Trabajo futuro.....	55
6.3. Valoración personal	56
Anexos	57
Anexo A. Gestión del proyecto	57
Anexo B. API de la pulsera Fitbit Charge HR	61
Anexo C. Conceptos básicos de electroencefalografía para la banda <i>Muse</i>	65
Anexo D. Kit de desarrollo Muse	69
Anexo E. Aplicación Muse Monitor.....	73
Anexo F. Implementación de la demo	77
Anexo G. Evaluación de la experiencia de usuario	83
Bibliografía	85

Índice de Figuras

Figura 1: Ejemplo de dispositivos wearables [2]	13
Figura 2: Señales biológicas en dispositivos wearables [4]	14
Figura 3: Espacio colaborativo en Etopía	15
Figura 4: Ejemplo de juego pervasivo	16
Figura 5: Metodología de investigación	22
Figura 6: Q Sensor	23
Figura 7: Runtastic Orbit	24
Figura 8: Pulsera E4	24
Figura 9: Pulsera Embrace	25
Figura 10: Pulsera Fitbit Charge HR	25
Figura 11: Hiji Band	26
Figura 12: Casco Muse	26
Figura 13: Emotiv EPOC	27
Figura 14: Chaleco GPS	28
Figura 15: Ger mood sweater	28
Figura 16: Body termocrómico	29
Figura 17: Garmin Premium ANT Figura 18: Polar H7	29
Figura 19: Suunto Smart Belt	29
Figura 20: Bellabeat Leaf	30
Figura 21: Ear-O-Smart	30
Figura 22: Dos posibles maneras de llevar la Runtastic	33
Figura 23: Ejemplo aplicación Runtastic Me	35
Figura 24: Pulsera Fitbit Charge HR	35
Figura 25: Sensor de pulso óptico flanqueado por dos LED	36
Figura 26: Ejemplo datos en la aplicación de Fitbit	36
Figura 27: Ejemplo de datos en la aplicación web	37
Figura 28: Banda Muse	38
Figura 29: Primera pantalla juego de Tarzán	43
Figura 31: Extracto fichero csv con los valores de las ondas cerebrales	44
Figura 30: Datos extraídos de la API de Fitbit	44
Figura 32: Gráfica Actividad 1	45
Figura 33: Gráfica Actividad 2	46
Figura 34: Gráfica Actividad 3	46
Figura 35: Gráfica Actividades 1, 2 y 3 medidas por la Fitbit	48
Figura 36: Juego de las mariposas	49
Figura 37: Prueba del juego con el valor <i>concentración</i>	51
Figura 38: Prueba del juego con el valor <i>relajación</i>	52
Figura 39: Diagrama de Gantt	57

Figura 40: Conexiones implicadas en el acceso a la API	61
Figura 41: Ejemplo de petición a datos antiguos	62
Figura 42: Ejemplo de petición a datos a tiempo real	63
Figura 43: Puntos reconocibles del cráneo	65
Figura 44: Interpretación EEG	66
Figura 45: Tipos de ondas	68
Figura 46: <i>Muse Monitor</i> con las distintas ondas cerebrales	73
Figura 47: <i>Muse Monitor</i> con los distintos canales	73
Figura 48: Ejemplo de formato CSV	74
Figura 49: Media de los canales	75
Figura 50: Canales izquierdo y derecho	75
Figura 51: Arquitectura que forma el entorno	77

Capítulo 1. Introducción

El presente documento tiene como objetivo recoger toda la información relacionada con el proceso de realización de este Trabajo de Fin de Grado (TFG). En concreto, en este primer capítulo se realiza una introducción del mismo, exponiendo la motivación para llevarlo a cabo, el contexto y los objetivos que se buscan con su realización. Por último se detalla cuál es la estructura de este documento y sus anexos, explicando brevemente el contenido de cada sección.

1.1. Motivación

En la actualidad existen grandes barreras en la monitorización de los parámetros fisiológicos, estos indican cómo funciona el cuerpo humano, concretamente el estado hemodinámico de una persona. Se consideran como principales parámetros: la frecuencia cardíaca y respiratoria, la presión arterial, temperatura corporal, los reflejos y el tiempo de vigilia. Los sensores tradicionales que captan este tipo de parámetros han dejado paso a los sensores inteligentes, capaces de integrarse sin necesidad de cables con las redes de datos de una manera rápida y transparente [1].

A estos sensores inteligentes se les conoce con el nombre de *dispositivos wearables*, cuya traducción significa “dispositivos llevables, vestibles o ponibles”. Es decir, tecnología para llevar encima, bien sea en la ropa o a través de aparatos o accesorios permitiendo realizar otras tareas al mismo tiempo ya que actúan como extensión del cuerpo o de la mente de la persona que los lleva. En la actualidad los dispositivos más importantes dentro de este sector son relojes inteligentes o *smartwatches*, pulseras de actividad, gafas o ropa inteligente entre otros [2]. Un ejemplo de todo ello puede apreciarse en la *Figura 1*.

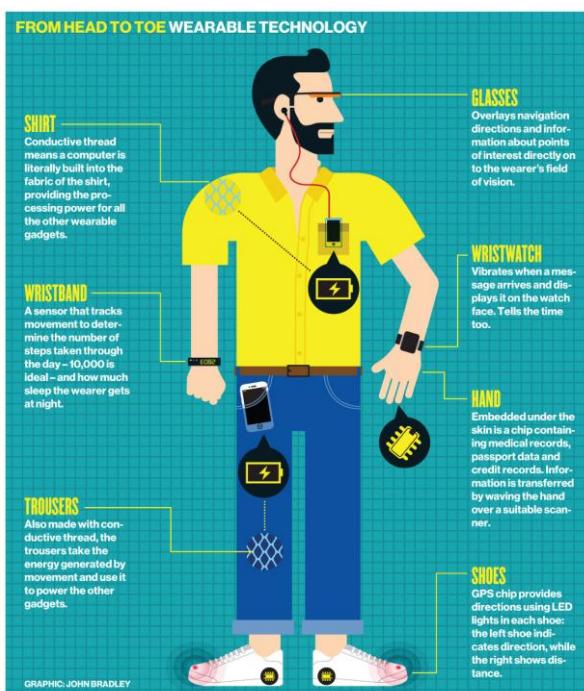


Figura 1: Ejemplo de dispositivos wearables [2]

Dentro de los *dispositivos wearables* existen los llamados *affective wearables* [3], estos son dispositivos que se usan para determinar el estado emocional de la persona que los lleva puestos. Se basan principalmente en cuatro señales biológicas: la actividad muscular, la presión sanguínea, la conductividad de la piel y la respiración (ver *Figura 2*).

El desempeño de los *affective wearables* depende de la calidad de los datos recolectados por las señales biológicas. Cuanto más amplia sea la variedad y cuanto mayor sea la escala de los datos emocionales, los resultados tendrán una mejor precisión. Es por eso que el fin de este proyecto es poder determinar las emociones a partir de las señales fisiológicas detectadas por los *dispositivos wearables*. La detección de las emociones puede ser de gran utilidad en diferentes aplicaciones para todas las personas, pero en particular, resulta de gran interés para aquellas personas que tienen algún tipo de discapacidad que les impide entender correctamente sentimientos y emociones.

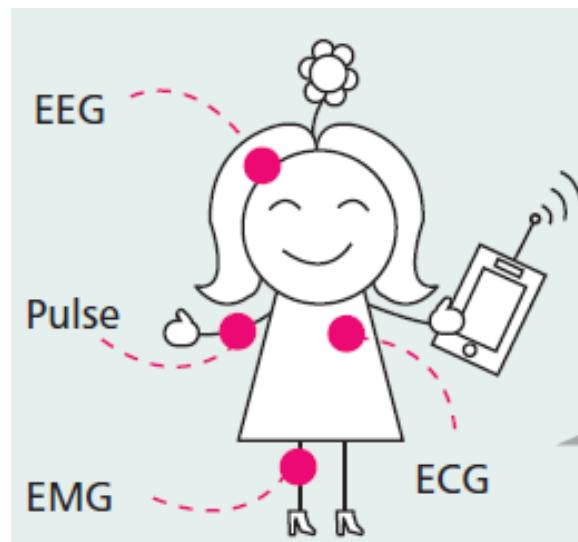


Figura 2: Señales biológicas en dispositivos wearables [4]

1.2. Contexto del proyecto

Este Trabajo de Fin de Grado ha sido desarrollado en el *GIGA AffectiveLab* [5], grupo de investigación centrado en el ámbito de la interacción persona-ordenador perteneciente al Departamento de Ingeniería Informática de Sistemas (DIIS) de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) de la Universidad de Zaragoza. El trabajo de este grupo durante los últimos años se ha centrado en cuatro temas principales: el manejo de agentes virtuales para utilizarlos en aplicaciones en tiempo real como interfaces multimodales, la creación de interfaces tangibles para aplicaciones educativas, y el desarrollo de nuevas formas de interacción con los ordenadores (interacción natural y afectiva), así como su aplicación en entornos educativos, convirtiendo los juegos en una herramienta didáctica.

Este trabajo de fin de grado se engloba dentro de este grupo de investigación, concretamente en la rama del desarrollo de nuevas formas de interacción natural con los ordenadores. El trabajo del *GIGA AffectiveLab* en esta área se ha ocupado de dos líneas de investigación principales enfocadas a la computación afectiva: reconocimiento de las emociones a través de diferentes dispositivos y la fusión multimodal de la información afectiva extraída de diferentes canales comunicativos.

El *GIGA AffectiveLab* dispone de unas instalaciones en el edificio Etopía (Centro de Arte y Tecnología de Zaragoza) [6]. Éstas cuentan con un espacio colaborativo formado por cuatro mesas interactivas tangibles (*tabletop NikVision*), pantallas de proyección y diversos sensores y actuadores (ver *Figura 4*). Se entiende por espacio colaborativo aquel en el que más de una persona está involucrada e interactúa con diferentes dispositivos tecnológicos.



Figura 3: Espacio colaborativo en Etopía

En este espacio colaborativo tienen lugar los llamados juegos pervasivos [7], estos suceden simultáneamente en el mundo real y virtual. Se basan en expandir la realidad alternativa del juego con elementos como pueden ser los lugares físicos, la movilidad y posición de los jugadores, los objetos de la realidad, las interacciones sociales con personas ajena al juego o las actividades cotidianas de un jugador, dejando que otro tipo de realidades entren en el propio juego.

Las experiencias que se diseñan y desarrollan dentro del ámbito de los juegos pervasivos no tienen por qué tener todas las características que se definen dentro de la pervasividad. Un tipo particular de juego son los denominados juegos geolocalizados en los que la experiencia de juego se expande en la dimensión espacial. Los límites de localización de los elementos del juego (escenarios, personajes, retos, etc.) se ven aumentados al incluir el mundo real en la dinámica del juego y del jugador. Desde el punto de vista de éste último, se puede hablar de experiencias geolocalizadas, en las que dicha experiencia se ve enriquecida con elementos propios del contexto físico en el que se está desarrollando el juego, donde el escenario de este es el mundo real.

El área de los juegos pervasivos proporciona una interesante oportunidad para estudiar la interacción persona-ordenador desde la perspectiva de la experiencia. Estos juegos amplían la visión de interactividad que puede obtenerse de los sistemas tradicionales y el entendimiento de estas experiencias puede abrir paso a nuevos paradigmas en el diseño de interfaces y de nuevos sistemas.

En el espacio de Etopía se están desarrollando juegos pervasivos. Un ejemplo de este tipo de juegos puede verse en la *Figura 4*, el cual se lleva a cabo proyectando en varias pantallas con varias mesas tangibles y en donde los niños están localizados con un sistema de posicionamiento.



Figura 4: Ejemplo de juego pervasivo

1.3. Objetivos del proyecto

La monitorización de los parámetros fisiológicos tradicional presenta algunas barreras. Una de ellas es respecto a la posible incomodidad si se usan métodos invasivos en la monitorización. Por otro lado existe una limitación en la tecnología usada para monitorizar a las personas; ya que se precisa de cables para recopilar todos los datos. Ésta se ve acrecentada con la obtención de esos datos a tiempo real y en particular en espacios colaborativos como el mencionado anteriormente, donde se llevan a cabo juegos pervasivos. Por todo ello, se pretende romper con todas esas barreras mediante el uso de dispositivos que, en primer lugar, no incomoden al usuario y después no interfieran en el desarrollo del juego, ni en la percepción del jugador.

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado consisten, en primer lugar, en el estudio y uso de los diferentes sensores que se emplean para monitorizar parámetros fisiológicos tales como el ritmo cardíaco o estimulación cerebral de modo que es posible obtener información acerca de la experiencia que viven los usuarios (UX) a través del grado de nerviosismo, tensión o relajación que sientan. En segundo lugar se desea medir lo que sienten esos usuarios al interactuar con una aplicación interactiva o juego pervasivo según los resultados obtenidos mientras son monitorizados con esos sensores.

Los objetivos de este trabajo se desglosan en detalle a continuación:

- Estudio y análisis de los diferentes sensores existentes en el mercado que cumplan determinadas características requeridas (tipo de entrada, poco invasivos, etc.) así como una comparativa entre ellos de la que se eligen los dispositivos usados en este proyecto.
- Puesta en marcha de los sensores, usándolos en diferentes usuarios y ante distintas tareas para poder realizar un análisis de los datos.
- Manipulación de los datos obtenidos con el fin de establecer patrones acerca de la experiencia de los usuarios.
- Creación de una demo interactiva en el espacio colaborativo de *Etopía* para evaluar los patrones definidos con el posterior diseño de pruebas y evaluación de la misma.

1.4. Estructura del documento

Este documento se divide en dos partes: la primera de ellas contiene la memoria que resume el proyecto mientras que la segunda contiene los anexos que explican en detalle ciertos aspectos del mismo.

La memoria principal consta de cinco capítulos que se presentan a continuación:

- **Capítulo 1 – Introducción.** Este capítulo presenta brevemente la motivación y contexto del proyecto así como sus objetivos generales. Como último apartado se presenta la estructura de la memoria.
- **Capítulo 2 – Análisis del problema.** Este capítulo describe una visión global del proyecto el cual consta de la metodología de investigación llevada a cabo. A continuación se define el estado del arte sobre las distintas aplicaciones y estudios previos que se han llevado a cabo con *dispositivos wearables*. Y por último una conclusión respecto al estado del arte.
- **Capítulo 3 – Análisis de los dispositivos.** Este capítulo plantea, en un primer apartado, un estudio detallado del hardware seleccionado en este trabajo de fin de grado. Como último apartado se analizan los problemas encontrados y soluciones adoptadas en el estudio de los diferentes dispositivos.
- **Capítulo 4 – Casos de estudio.** Este capítulo describe la puesta en marcha de los sensores, la cual consiste en un caso de estudio con los *dispositivos wearables*. Por último se analizan los resultados obtenidos tras la realización de dicho caso de estudio.
- **Capítulo 5 – Resultados obtenidos y pruebas.** Este capítulo explica, en un primer apartado, cada uno de los pasos tomados a la hora de generar la demo interactiva, desde su planificación hasta su realización. A continuación, se exponen las pruebas que se llevan a cabo para probar dicha demo y, por último, se presentan los resultados obtenidos y la evaluación de los mismos tras la realización de la demo.
- **Capítulo 6 – Conclusiones.** Este capítulo está dedicado a las conclusiones y, además, se mencionan algunas líneas de trabajo futuro basadas en este proyecto así como la valoración personal.

Este documento contiene, además, una serie de anexos que completan y amplían la información ya presentada en los capítulos anteriores. Los anexos son los siguientes:

- **Anexo A – Gestión del proyecto.** Este anexo presenta las actividades relacionadas con la gestión del proyecto indicando el desarrollo temporal del mismo así como las herramientas utilizadas.
- **Anexo B – API de la pulsera Fitbit Charge HR.** Este anexo describe y detalla la API de la pulsera *Fitbit Charge HR*.
- **Anexo C – Conceptos básicos de encefalografía para la banda Muse.** Este anexo describe y detalla el concepto de *Electroencefalografía* y todo lo que deriva de él.
- **Anexo D – Kit de desarrollo Muse.** Este anexo describe el kit de desarrollo de *Muse*. Este contiene todo lo necesario para construir una aplicación para *Android* y/o *iOs* y herramientas de investigación.
- **Anexo E – Aplicación Muse Monitor.** Este anexo describe y detalla la aplicación *Muse Monitor*.
- **Anexo F – Implementación de la demo.** Este anexo detalla la implementación que se lleva a cabo a la hora de integrar los sensores *Fitbit* y *Muse* en el entorno colaborativo de Etopía como paso previo a la realización de la demo interactiva.
- **Anexo G – Evaluación de la experiencia de usuario.** Este anexo muestra la evaluación de la demo realizada a través del cuestionario *IMI*.

Capítulo 2. Análisis del problema

En este capítulo se describe el análisis del problema a resolver que consiste en la búsqueda, estudio y evaluación de los sensores fisiológicos utilizados en el mercado. En primer lugar, en la sección 2.1, se presenta una visión global del proyecto explicando la metodología de investigación seguida. A continuación, en la sección 2.2., se presenta un estado del arte sobre los distintos dispositivos así como las distintas aplicaciones y estudios previos que se han llevado a cabo con ellos gracias a otras personas. Finalmente, en la sección 2.3., se detalla una conclusión acerca del estado del arte, explicando los motivos a la hora de elegir los dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto.

2.1. Metodología de investigación

En esta sección se define la metodología de investigación seguida en la elaboración de este trabajo. Dado que la mayor parte del proyecto consiste en una labor de investigación, la metodología seguida consiste en obtener una visión global acerca del desarrollo del mismo. Esta se aborda en tres fases y puede verse con mayor detalle en el *Anexo A: Gestión del Proyecto*. Estas fases se detallan a continuación (ver *Figura 5*):

- En la primera fase se detallan las tareas a realizar, acotando los temas, los pasos a seguir y que resultados se desean entregar. Esta fase es una de las más importantes ya que al plantear este trabajo de fin de grado no estaba claro si se podrían alcanzar todos los objetivos propuestos. La idea inicial para empezar a trabajar en este proyecto es recopilar y analizar información acerca de la temática del mismo ya que se trata de un tema que no se ha abordado como tal en las asignaturas realizadas en la universidad.
- Una vez se tienen claros los diferentes conceptos necesarios para poder afrontar el tema se establecen una serie de tareas que se deben seguir para poder desarrollar el trabajo. Las tareas que planteadas son las siguientes:
 - Realización de un estudio de mercado muy minucioso para obtener toda la información necesaria acerca de los sensores disponibles en el mercado, seleccionando al final los que se utilizan en el desarrollo de este proyecto.
 - Se realiza un análisis de los sensores seleccionados con el fin de saber su funcionamiento así como posibles problemas que puedan surgir y a los que haya que buscar una solución.
- La fase tres consiste en la puesta en marcha de los sensores, esta se divide en dos etapas:
 - En primer lugar se realizan varios casos de estudio con los sensores y los resultados obtenidos tras la realización de los mismos. Estos resultados permiten establecer patrones acerca de la experiencia de un usuario frente al uso de los diferentes dispositivos.

- Finalmente, se crea una demo interactiva para evaluar los patrones definidos con la posterior evaluación de la misma.

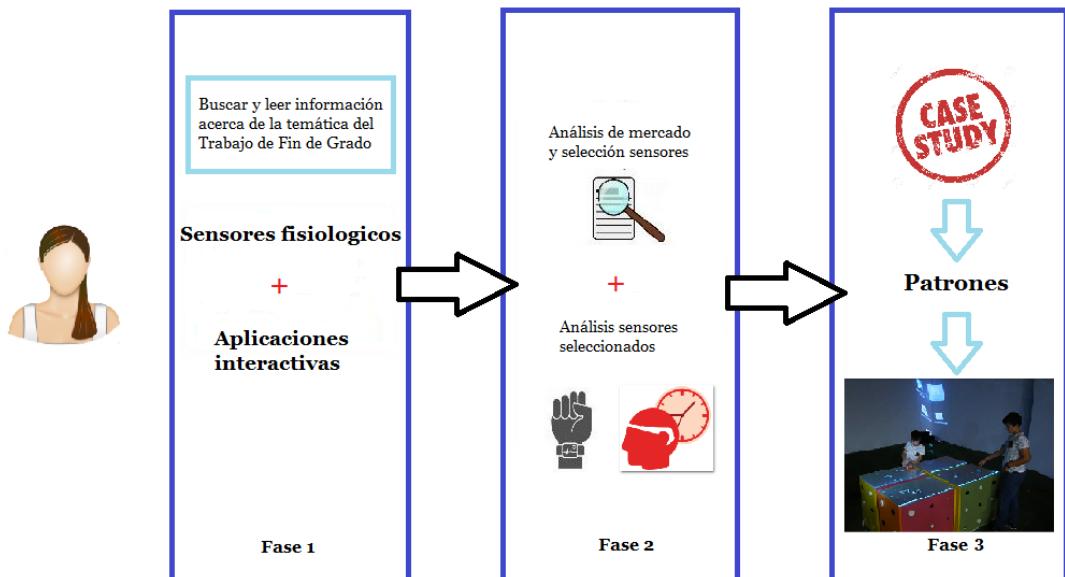


Figura 5: Metodología de investigación

2.2. Estado del arte

En esta sección se define el estudio de distintos *dispositivos wearables*, concretamente los *affective wearables* así como las distintas aplicaciones y estudios previos que se han llevado a cabo con ellos.

Cuando se llevan *dispositivos wearables*, equipados con sensores especiales y herramientas de procesamiento de señales, estos pueden reconocer patrones físicos y fisiológicos, especialmente los que corresponden a estados afectivos: estrés, relajación, concentración a la hora de realizar una tarea, etc. [3].

Al estudio de los *affective wearables*, capaces de reconocer, interpretar, procesar y estimular las emociones humanas, se le conoce con el nombre de computación afectiva; cuya pionera es Rosalind Picard [8] fundadora y directora del Grupo de Investigación en Computación Afectiva en el Media Lab del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts).

A la hora de explicar en mayor detalle el estudio de los distintos *affective wearables*, es común observar en la literatura una clasificación basada en cinco categorías: pulseras de actividad, bandas para la cabeza, ropa, bandas para el pecho y joyas. Las dos primeras se centran en el análisis de dispositivos similares a los usados en este trabajo; mientras que las tres categorías restantes analizan otros dispositivos relevantes existentes en el mercado [9].

Dichas categorías se detallan a continuación:

➤ **Pulseras de actividad (smartbands)**

Se trata de bandas cuya función es la monitorización de la actividad del usuario. Su uso se puede trasladar al ámbito deportivo o al día a día del usuario. Pueden almacenar información sobre el ritmo cardíaco, horas y calidad de sueño, pasos andados, etc.

En este apartado se analizan las siguientes pulseras:

- **Q Sensor**

Este es el primer sensor [10], que se lleva cómodamente en la muñeca, de actividad electrodérmica (ver *Figura 6*). Permite medir la temperatura corporal, la respuesta galvánica, grado de conducción de la piel y dispone de un acelerómetro que controlaba los movimientos del sujeto. Fue creado por *Affectiva* en el año 2010 aunque apenas tres años después dejó de venderlo y ofrecer soporte debido a la evolución del mercado y la necesidad de especializarse en otros productos. Por ello no se tiene constancia del precio del dispositivo

Este sensor sirvió para detectar porque los clientes de una conocida cadena de restaurantes no regresaban a pesar de que decían que les gustaba la comida. Se les pidió a los clientes que usaran este sensor mientras comían, el resultado fue que a los comensales les estresaba comer en esos restaurantes ya que estos servían la comida en bandejas de metal y cubiertos de plásticos. Estos resultados ayudaron a inspirar un nuevo diseño de la cadena, que en la actualidad ofrece la comida en platos reales y cubiertos de metal [8].



Figura 6: Q Sensor

- Runtastic Orbit

Es una pulsera deportiva (ver *Figura 7*), creada por *Runtastic*, resistente al agua que registra la actividad física diaria, incluyendo actividades como caminar o nadar así como las calorías quemadas. Por otro lado, monitoriza la duración y ciclos del sueño cada noche. Por último, posee un sensor de temperatura aunque todavía no puede ser utilizado ya que no distingue entre temperatura ambiente y temperatura corporal [12]. El precio de este dispositivo es de 120 euros. En el capítulo 3 se realiza un análisis más detallado sobre este dispositivo.



Figura 7: Runtastic Orbit

- E4 Wristband

Esta pulsera [13], creada por *Empatica*, consta de seis sensores (ver *Figura 8*) que permiten medir la excitación del sistema nervioso, el ritmo cardíaco o los cambios de temperatura en la piel. Por lo tanto, la pulsera mide las dos principales ramas del sistema nervioso autónomo: simpático y parasimpático. El precio de la *E4* es de 1700 dólares.

Este sensor se usó en un estudio de observación con diez personas que padecían hipertensión. El objetivo era vigilar a los participantes durante su jornada de trabajo, estos llevaban la pulsera *E4* todos los días. Durante el tiempo que duró el estudio los participantes respondían a una serie de preguntas formuladas por expertos y, al final del estudio, hubo una sesión de consejería con psicólogos para evaluar efectividad del estudio [14].

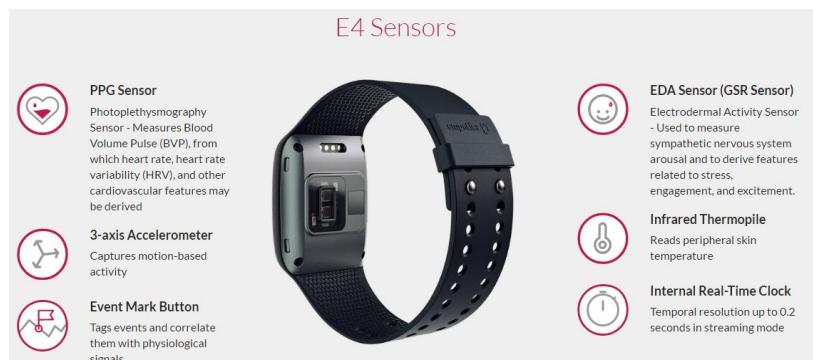


Figura 8: Pulsera E4

- Embrace

Es un *wearable* [15], creado por *Empatica*, que hace las funciones de un reloj inteligente y de dispositivo médico, aunque su característica principal es, su capacidad para detectar crisis epilépticas. Este dispositivo tiene la capacidad de medir la actividad electrodérmica del usuario mediante un sensor electrodérmico, un acelerómetro, un giroscopio y un termómetro. Gracias a estos sensores, el *wearable* mide tanto el movimiento como los síntomas fisiológicos a través del pulso del usuario y envía una alarma a la persona o personas que hayan sido previamente designadas para que acudan a socorrer al usuario (ver *Figura 9*). Su precio es de 200 dólares.

La pulsera *Embrace* fue probada, antes de salir al mercado, en el hospital infantil de Boston dando unos excelentes resultados que permitieron su comercialización un año después [16].

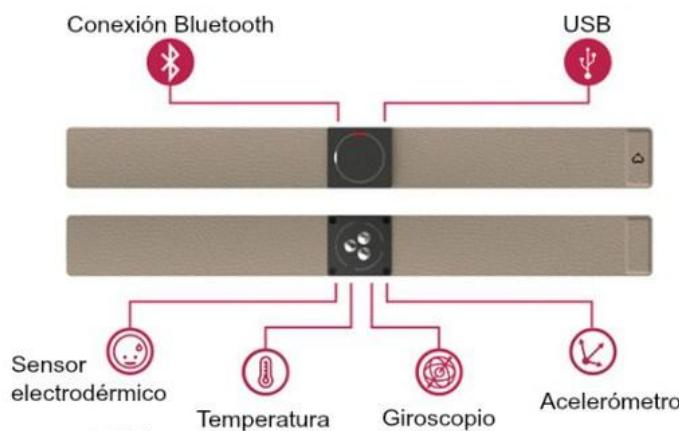


Figura 9: Pulsera Embrace

- Fitbit Charge HR

La pulsera *Fitbit Charge HR* (ver *Figura 10*), creada por *Fitbit*, mide y registra las constantes vitales así como actividades diarias: nadar, caminar o dormir, de la persona que la lleva gracias al sensor de pulso óptico que se encuentra en la parte trasera de la pulsera [17]. El precio de la pulsera es de 110 euros. Sobre este dispositivo se realiza un análisis más en profundidad en el capítulo 3.



Figura 10: Pulsera Fitbit Charge HR

➤ Bandas para la cabeza

Se trata de bandas o diademas que, por lo general, se llevan en la frente y que monitorizan la actividad electroencefalográfica. Esto resulta interesante para poder conocer el rendimiento en el estudio o trabajo o ritmo de sueño de la persona que lo lleva. Dentro de estos dispositivos se estudian:

- **Hiji Band**

Es un detector de contusiones diseñado para todos los deportes, se trata de una banda de movimiento interactivo que lleva integrado un sensor en la parte frontal, este es capaz de alertar el momento exacto en el que se produce una contusión (ver *Figura 11*). Tan pronto como un traumatismo cerebral ocurre la banda esta emite un sonido para alertar al jugador que debería de concluir de inmediato la actividad que esté realizando. Este *wearable* [18], cuyo precio es de 150 euros, posee una app que envía una alerta al entrenador o persona que esté dirigiendo la actividad, todo esto en tiempo real. De esta manera la atención sería inmediata y se previene una lesión mucho más grave.



Figura 11: Hiji Band

- **Muse: The brain sensing headband**

Muse [19] es una banda para la cabeza (ver *Figura 12*) que proporciona *feedback* sobre lo que ocurre en el cerebro. Este ha sido desarrollado por *InteraXon*, fabricante de tecnología y aplicaciones de ondas cerebrales y su precio es de 300 euros. Cuenta con tres posiciones ajustables para la cabeza y utiliza siete sensores EEG: cinco en la parte frontal de la banda que corresponde con la frente y uno detrás de cada oreja. Está dirigido a dos grupos diferenciados de personas: *Muse* para usuarios finales y *Muse* para investigadores y desarrolladores. En el capítulo 3 se realiza un análisis más detallado sobre este dispositivo.



Figura 12: Casco Muse

- **Emotiv EPOC**

Este dispositivo (ver *Figura 13*), creado por la compañía *Emotiv Systems*, es el primer controlador basado en reconocimiento neuronal, un aparato programado para interactuar en videojuegos o con otros elementos mediante el pensamiento consciente y las emociones que se registran en el subconsciente. Su sistema de detección analiza unas treinta expresiones, emociones y acciones diferentes. En lo emocional, *EPOC* [20] es capaz de reconocer sensaciones de excitación, meditación, concentración y tensión. Posteriormente se amplió el uso de este casco llegando a ser una herramienta para que personas con alguna minusvalía puedan llegar a controlar hasta su silla de ruedas. El precio de este dispositivo es de 800 dólares.

Este casco se usó en la realización de la aplicación *NeuroPhone*, esta consistía en la utilización del *Emotiv EPOC* para poder realizar llamadas desde un *iPhone* seleccionando el contacto al cual se deseaba llamar mediante el pensamiento [21].



Figura 13: Emotiv EpoC

➤ **Ropa**

Se trata de prendas que no solo brindan abrigo, confort o la posibilidad de estar más o menos atractivos o elegantes sino que estas, a su vez, sean elementos útiles y funcionales. Esta ropa interactiva es capaz desde monitorizar los signos vitales, indicando el estado de ánimo de la persona que la lleva puesta, hasta prevenir lesiones o el estrés. En este apartado destacan las siguientes prendas:

- **Chaleco GPS**

El deporte de élite avanza muy deprisa y los equipos recurren cada vez más a dispositivos con los que medir y valorar el rendimiento de un deportista. El chaleco GPS [22] es un claro ejemplo de ello ya que, no sólo revela la distancia recorrida, sino también puede averiguar el promedio de velocidad de un jugador, en qué momento la intensidad comienza a bajar o si está por encima o por debajo de su nivel habitual. La información puede ser transmitida en tiempo real y puede ayudar a evitar riesgos de lesiones. Incluso contiene un sensor que monitoriza el ritmo cardíaco que puede identificar problemas potenciales. Equipos de fútbol como el *Fútbol Club Barcelona* y casi todos clubes ingleses o en otras disciplinas como los *Chicago Bulls* en la *NBA* o los *Chiefs Rugby* hacen uso de esta prenda fabricada por *StatSports*.

Un caso curioso es el del *Fútbol Club Barcelona* [23] que en la pasada liga, para el partido ante el Valencia, *Jordi Alba* no tuvo minutos debido a los datos recogidos durante la semana de entrenamientos por el chaleco ya que estos indicaban que había riesgo de lesión.



Figura 14: Chaleco GPS

- Ger mood sweater

Este suéter [24], creado por *Sensoree*, monitoriza el cuerpo con sensores y pantallas proporcionando información visual a los demás en tiempo real. Este analiza las reacciones fisiológicas de la persona que lo lleva y se ilumina con colores diferentes dependiendo de su estado de ánimo (ver *Figura 15*). Más allá de cuestiones de marketing y venta, el objetivo de este suéter no es comercial. En este caso, la herramienta está pensada sobre todo para las personas con autismo, para las que no suele ser sencillo comunicarse de forma verbal y para las que un accesorio de este tipo puede ser muy valioso.



Figura 15: Ger mood sweater

- Body termocrómico

Este body [25], creado por *Rapife*, avisa cuando el bebé tiene fiebre. Esta prenda (ver *Figura 16*) incorpora un sensor crómico en la zona del cuello, ya que es donde mejor se controla la temperatura corporal, que cambia de color (de morado a rojo) cuando el bebé tiene fiebre. Cuando la temperatura del niño se estabiliza, el body vuelve a su estado inicial. El precio de este body es de 18 euros.



Figura 16: Body termocrómico

➤ Bandas para el pecho

Se trata de bandas alrededor del pecho que miden y monitorizan la frecuencia cardíaca mientras se realiza alguna actividad. El sistema se basa en la emisión de una serie de impulsos eléctricos, no nocivos para el corazón, generados por la pastilla de la banda que se transmiten directamente al corazón mediante los electrodos situados en la correa para medir de esta manera la frecuencia cardíaca. En este apartado se encuentran las siguientes bandas y su precio ronda entre los 40 y 60 euros:

- **Sensor de pulso Garmin Premium ANT+** (ver *Figura 17*).
- **Polar H7** (ver *Figura 18*).
- **Suunto Smart Belt** (ver *Figura 19*).



Figura 17: Garmin Premium ANT



Figura 18: Polar H7



Figura 19: Suunto Smart Belt

➤ Joyas

Se trata de complementos de moda como relojes, pulseras, pendientes, etc. a los que la tecnología ha hecho avanzar un paso más y los ha convertido en dispositivos imprescindibles para cualquiera que quiera desde realizar actividades cotidianas como hacer deporte o realizar una llamada hasta tener controlados sus signos vitales. Algunas de las joyas *wearables* son:

- Bellabeat Leaf

Esta joya [26], que puede usarse como colgante y pulsera, ayuda a controlar la actividad diaria, la calidad del sueño, así como los niveles de estrés y el ciclo menstrual. Es el primer dispositivo pensado exclusivamente para las mujeres, este accesorio ayuda a mejorar aspectos de la rutina diaria y su precio es de 130 euros (ver *Figura 20*).



Figura 20: Bellabeat Leaf

- Ear-O-Smart

Los pendientes [27], creados por la *startup BioSensive Technologies*, realizan las funciones básicas de las pulseras deportivas: monitorización del ritmo cardíaco, las calorías quemadas y los minutos activos (ver *Figura 21*). Estos todavía no están disponibles y solo se pueden reservar, su venta se prevé en los próximos meses.

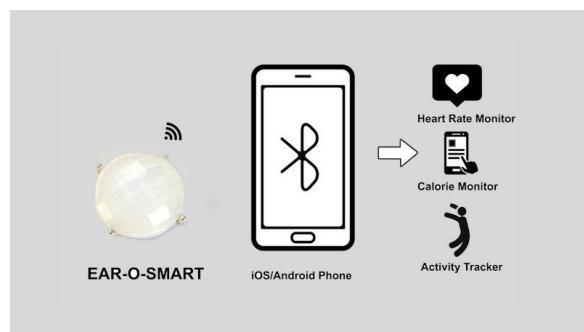


Figura 21: Ear-O-Smart

2.3. Conclusiones sobre el estado del arte

En esta sección se explican los motivos de porque se han elegido los dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto y no otros existentes en el mercado, todos ellos han sido analizados en el apartado anterior (ver [2.1. Estado del arte](#)). Para esta elección se han seguido dos pasos:

- En primer lugar clasificando todos los dispositivos según su funcionalidad y considerando si ésta era acorde con las necesidades planteadas para el desarrollo de este proyecto. Aquellos *wearables* que no se adaptaban a lo requerido fueron desechados.
- A continuación, con los *wearables* resultantes, se valoró uno a uno en función de la calidad-precio de los mismos para ver cuáles podrían ser útiles. Se ha optado por esta clasificación ya que, por un lado, hay *wearables* con precios muy elevados y a la vez muy completos mientras que por otro lado hay dispositivos cuyo precio no es tan elevado y sin embargo cumplen con las características requeridas en la elaboración de este trabajo.

Antes de comenzar con la elección, el dispositivo *Q Sensor* y los pendientes *Ear-O-Smart* quedaron automáticamente descartados. Mientras que el primero la empresa que lo creó dejó de venderlo hace unos años, el segundo no ha salido a la venta todavía.

➤ Clasificación por funcionalidad

Parte de la finalidad de este trabajo es obtener información acerca de la experiencia que viven los usuarios a través del grado de nerviosismo, tensión o relajación que sienten mientras llevan puestos los *wearables*. Es por eso que, de los dispositivos analizados, hay algunos que por la funcionalidad que tienen no sirven de ayuda para alcanzar la finalidad propuesta. Estos son los siguientes:

- **Hiji Band:** está pensando para ayudar en el terreno deportivo, detectando posibles contusiones en un golpe o una caída. Por ello hace no tenga mucha utilidad para el desarrollo de este proyecto.
- **Bandas para el pecho:** por un lado, se precisan de dos dispositivos para la medición del ritmo cardiaco, la banda del pecho más un receptor para poder visualizar los datos. Por otro lado puede resultar incómodo tener que llevar la banda en el pecho mientras que hay cuantificadores que miden lo mismo y se llevan en la muñeca.
- **Ger mood sweater:** con este suéter solo se tiene información visual, ya que este se ilumina con diferentes colores, acerca del estado de ánimo de la persona que lo lleva puesto. Un fallo es que no se puedan obtener los valores fisiológicos que proporcionen la explicación de por qué el usuario se encuentra así.

- **Body termocrómico:** está pensando para saber si un bebe, cuando lo lleva puesto, tiene fiebre o no por lo que su funcionalidad en relación con este trabajo es nula.
- **Chaleco GPS:** por un lado, está más orientada hacia el ámbito deportivo, ya que mide con exactitud la velocidad que alcanza un jugador y en qué momento sube o baja y, por otro lado, presenta el mismo problema que las bandas del pecho, puede resultar incómodo de llevarlo puesto.
- **Bellabeat leaf:** está pensando para mujeres ya que se centra en controlar aspectos como el ciclo menstrual y como afecta este al estado anímico de la persona que lo lleva por lo que no tiene mucha utilidad en el desarrollo de este proyecto.

➤ Clasificación por calidad-precio

Una vez desechados los dispositivos que han sido analizados según su funcionalidad, se han valorado los restantes en función de su relación calidad-precio. Como estos pertenecen a las categorías de pulseras de actividad y bandas para la cabeza, la valoración se ha realizado respecto a ellas con la idea de tener al menos un dispositivo de cada categoría. El resultado de esta clasificación es el siguiente:

- **Pulseras de actividad**

A simple vista la *E4 wristband* y la *embrace* pueden ser las pulseras más completas de todas la analizadas, ya que aparte de monitorizar el ritmo cardíaco y los minutos que un usuario está activo, como hacen la *Fitbit* y la *Runtastic*, miden los cambios de temperatura en la piel. Como inconvenientes se pueden comentar el altísimo precio de la *E4*, 1700 dólares y los gastos de envío, así como posibles problemas en las aduanas, de la *embrace*, ya que esta se comercializa en Estados Unidos. La *Runtastic* posee un sensor de temperatura y aunque este no distingue entre la temperatura ambiental y la corporal, al contactar con la compañía se informó que la actualización del *firmware* estaba a punto de salir. Por todo ello se seleccionaron la *Fitbit* y la *Runtastic* para el desarrollo de este trabajo.

- **Bandas para la cabeza**

El casco *Emotiv EPOC* puede parecer más completo que el *Muse* ya que con él se puede interactuar con videojuegos o con otros elementos mediante el pensamiento consciente. No obstante, el uso que se le quiere dar en este trabajo es saber que ocurre en la mente de la persona que lo lleva puesto y para eso ambos cascos sirven ya que los dos miden la actividad cerebral. Sin embargo el altísimo precio del *EPOC*, 800 euros, hace que sea *Muse*, de 300 euros, el dispositivo usado en el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 3. Estudio del hardware

En este capítulo se lleva a cabo un estudio del hardware utilizado en el desarrollo de este trabajo así como los problemas encontrados y soluciones adoptadas. En primer lugar, en la sección 3.1., se realiza un análisis detallado de los dispositivos empleados en este proyecto. A continuación, en la sección 3.2., se tratan los problemas encontrados durante el análisis del hardware usado y, en el caso de haberla, la solución empleada.

3.1. Análisis de los dispositivos

En este apartado, se realiza un análisis y comparativa de los *dispositivos wearables* utilizados en la elaboración de este trabajo de fin de grado. Estos son dos pulseras de actividad, la *Runtastic Orbit* y la *Fitbit Charge HR*, y una banda para la cabeza, *Muse: The brain sensing band*.

Este estudio de mercado dio como resultado los siguientes dispositivos:

➤ Runtastic Orbit

Es una pulsera deportiva [9], creada por *Runtastic*, resistente al agua que registra la actividad física, incluyendo actividades como caminar, nadar e incluso dormir. Esta pulsera entra dentro de la categoría de los cuantificadores extraíbles. Es decir, se puede usar de dos maneras: llevarla en la muñeca como una pulsera o con una pequeña funda con clip para engancharlo en el bolsillo o cinturón, ver *Figura 22*.



Figura 22: Dos posibles maneras de llevar la Runtastic

En la parte frontal tiene una pantalla OLED de pequeñas dimensiones, que resulta mucho más visible que una LCD. El botón frontal sirve para controlar el dispositivo y ver el estado de cada una de las variables que registra: minutos activo, calorías quemadas, distancia recorrida y pasos, así como consultar la hora. También permite poner la pulsera en modo sueño o registrar momentos felices.

A continuación se van a ir desglosando cada una de las variables que registra:

- **Monitor de actividad:**

- **Pasos:** la pulsera ofrece información acerca de los pasos recorridos por medio del acelerómetro que incorpora. Esta no es 100% precisa, por lo que para obtener una medición más exacta es recomendable utilizarla sujetada al cinturón ya que si se usa como pulsera, con un simple movimiento del brazo, puede dar falsos positivos de pasos.
- **Minutos activos:** ofrece información acerca de los minutos que se está activo a lo largo del día y reconoce cuándo se está en movimiento sin tener en cuenta gestos esporádicos, como por ejemplo cuando se está escribiendo.
- **Calorías quemadas:** muestra las calorías quemadas a lo largo del día, no solo en función de la actividad física realizada sino también las quemadas en reposo.

- **Monitor de sueño:** ofrece estadísticas de la calidad del sueño realizando un registro de los movimientos de la persona que lo lleva para conocer la profundidad de su sueño. El registro del sueño hay que indicarlo de forma manual, es decir, cuando la persona que lleva la pulsera tiene intención de irse a dormir debe pulsar durante unos segundos el botón que ésta lleva. Posteriormente, se puede visualizar un gráfico con las etapas de sueño ligero, sueño profundo o tiempo despierto.

- **Momentos felices:** Permite registrar y guardar momentos felices, la idea es pulsar el botón frontal dos veces seguidas cada vez que la persona que la lleva se sienta feliz.

- **Sensor de temperatura:** el dispositivo constará de un sensor de temperatura que todavía no puede ser utilizado, ya que aún no distingue entre temperatura ambiente y temperatura corporal.

Este dispositivo consta de una aplicación móvil que sirve para recoger todos los datos de la *Runtastic Orbit*. El nombre de dicha aplicación es *Runtastic Me*, ver *Figura 23*, y está disponible para *iOS* y *Android* pero no para *Windows Phone*. Permite navegar casi por completo a través de gestos y no satura información ni la oculta. Esta aplicación se sincroniza con el dispositivo *Orbit* mediante Bluetooth, cabe destacar que la comunicación entre uno y otro funciona bien ya que es rápida y apenas falla. Un dato a tener en cuenta es que la pulsera *Runtastic Orbit* no dispone de API para poder desarrollar.

Como puede verse en la *Figura 23*, hay diferentes apartados que indican los pasos, minutos de actividad, etc. Si se pulsa cada uno de ellos, la aplicación muestra un cronograma con información más detallada de lo que se ha realizado en cada hora del día así como realizar una comparativa entre varios días.

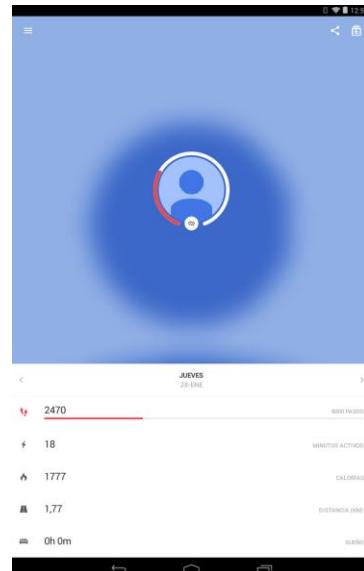


Figura 23: Ejemplo aplicación Runtastic Me

➤ Fitbit Charge HR

La pulsera *Fitbit Charge HR* [17], creada por *Fitbit*, mide y registra las constantes vitales así como actividades diarias, caminar, nadar o dormir, de la persona que la lleva gracias al sensor de pulso óptico que se encuentra en la parte trasera de la pulsera (ver *Figura 24*).



Figura 24: Pulsera Fitbit Charge HR

La pequeña pantalla usa tecnología OLED, con mayor brillo y contraste que una pantalla LCD, ofreciendo al mismo tiempo un menor consumo. Entre las variables que registra se encuentran: medición de los pasos, calorías quemadas, distancia recorrida y tiempo que se está activo con gran precisión, sincronización en segundo plano y de manera casi instantánea, registro del sueño de manera completamente automática sin ningún tipo de acción por parte del usuario y medición del pulso de manera continua.

A continuación se presenta cada una de las variables que registra:

- **Monitor de actividad:** ayuda a cuantificar los **minutos activos** según dos métricas principales: el número total de pasos diarios y el número de pisos subidos por escalera. Estos datos son tomados por medio del acelerómetro y del altímetro barométrico que incorpora el dispositivo. Haciendo uso de diferentes algoritmos se tiene la estimación de pasos y pisos subidos, y gracias a ellos un cálculo de los **pasos** a lo largo del día y las **calorías consumidas**.
- **Monitor de sueño:** registra como se duerme durante la noche. El cambio de modo, de monitorizar el estar despiertos a dormidos, es automático. En realidad no hay un cambio como tal, sino que todos los datos se sincronizan y es el servidor el encargado de interpretarlos y determina cuándo se ha comenzado a dormir. Permite visualizar esos datos en la web.
- **Monitorización de la frecuencia cardíaca:** consta de un sensor de pulso óptico (ver *Figura 25*) este se encuentra en la parte trasera de la pulsera y está formado por dos LED. Dicho sensor, mientras la pulsera está en la muñeca, nunca se detiene en la toma de datos y va registrándolos con muchísima precisión.



Figura 25: Sensor de pulso óptico flanqueado por dos LED

Este dispositivo consta de una aplicación móvil y una aplicación web que sirve para recoger todos los datos de la *Fitbit Charge HR*.

La aplicación móvil (ver *Figura 26*) está disponible para las principales plataformas: *Android*, *iOS* y *Windows Phone*. Lo único que se debe tener en cuenta es que el dispositivo que contenga la aplicación debe disponer de *Bluetooth Smart 4.0* para poder sincronizar ambos dispositivos. Un dato a tener en cuenta es que la pulsera *Fitbit Charge HR* dispone de API para poder desarrollar y que puede leerse acerca de ella, más detalladamente, en el *Anexo B: API de la pulsera Fitbit Charge HR*.



Figura 26: Ejemplo datos en la aplicación de Fitbit

En las diferentes pantallas se puede comprobar la evolución de los parámetros del usuario en la última semana, cambiando la vista a meses o años.

En el panel de la página web (ver *Figura 27*) se puede ver la información recogida por la pulsera.

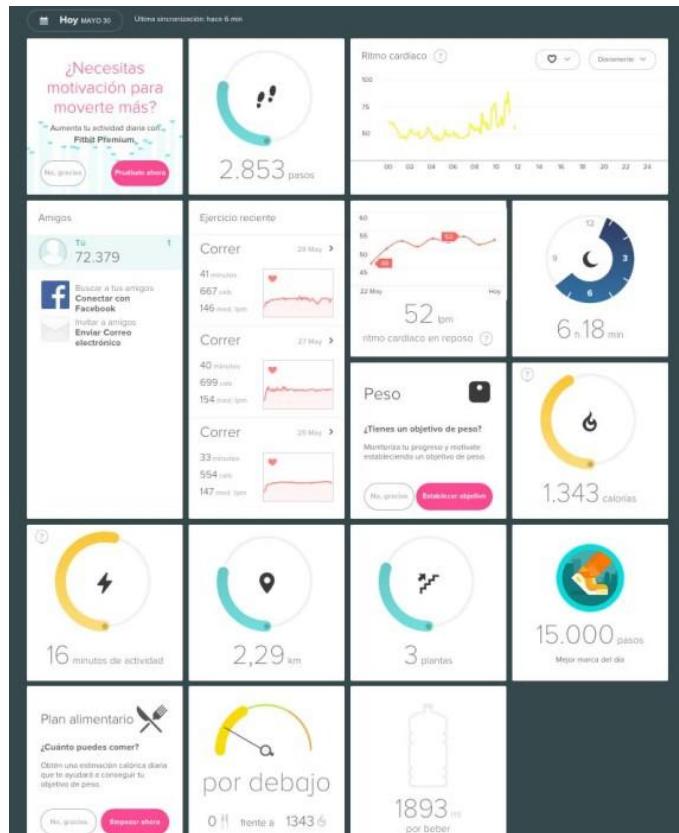


Figura 27: Ejemplo de datos en la aplicación web

Toda la información sobre ambas pulseras queda recogida en la *Tabla 1*:

	Runtastic Orbit	Fitbit Charge HR
Pasos	SI	SI
Minutos activos	SI	SI
Calorías quemadas	SI	SI
Sueño	SI (activación manual)	SI (activación automática)
Momentos felices	SI	NO
Temperatura	SI (no implementado)	NO
Ritmo cardíaco	NO	SI
Aplicación móvil		
iOS	SI	SI
Android	SI	SI
Windows Phone	NO	SI
API	NO	SI

Tabla 1: información pulsera *Runtastic* y *Fitbit*

➤ Muse: The brain sensing headband

Muse [19] es una banda para la cabeza que proporciona *feedback* sobre lo que ocurre en el cerebro. Este dispositivo ha sido desarrollado por *Interaxon*, fabricante de tecnología y aplicaciones de ondas cerebrales. Cuenta con tres posiciones ajustables para la cabeza y utiliza siete sensores EEG: cinco en la parte frontal de la banda que corresponde con la frente y uno detrás de cada oreja tal y como se puede ver en la *Figura 28*.

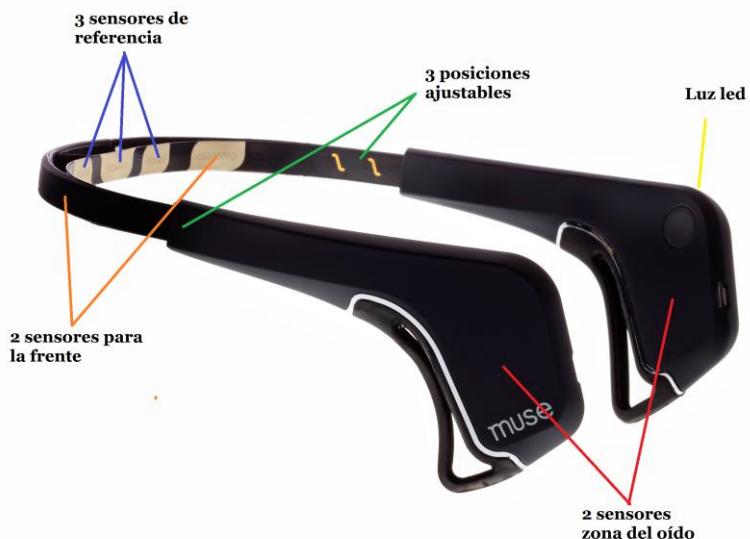


Figura 28: Banda Muse

EEG o *Electroencefalografía* [28] es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones mediante un equipo de electroencefalografía, este concepto puede leerse con más detalle en el *Anexo C: Conceptos básicos de electroencefalografía para la banda Muse*. En este caso, dicho equipo es la banda *Muse* que mediante métodos no invasivos e inofensivos registra la actividad eléctrica de los grupos de las células cerebrales en tiempo real.

Muse está dirigido a dos grupos diferenciados de personas:

- **Muse para usuarios finales.**

Muse ha sido desarrollado como un asistente personal de meditación. Las personas inexpertas que realizan meditación generalmente luchan con dos cuestiones: saber si están “haciéndolo bien” y mantenerse motivados. *Muse* se ocupa de estas cuestiones proporcionando en tiempo real *feedback* acerca del estado de ánimo y ofreciendo un interesante marco de motivación. Este *feedback* se obtiene gracias a la aplicación, que lleva el mismo nombre y que está disponible para *iOS* y *Android* pero no para *Windows Phone*. *Muse* se conecta con la aplicación mediante *Bluetooth*.

Esta aplicación guía a la persona que lleva la banda a llegar a un estado de relajación. Mientras se realiza esto, la banda mide si la mente está calmada o activa y traduce esto mediante diferentes sonidos. Todo este proceso puede seguirse mediante la monitorización del mismo en la aplicación. Al finalizar la sesión, se presenta, a modo de gráfica, los datos de manera que ayuden a su comprensión.

- **Muse para investigadores y desarrolladores.**

Muse se utiliza en hospitales, clínicas y universidades como herramienta de investigación. Los campos de investigación se extienden desde la neurociencia cognitiva, la psicoterapia, la salud cerebral, la cognición musical, entre otras.

Muse contiene un kit de desarrollo, SDK, con todo lo necesario para construir una aplicación para *Android* y/o *iOs* y herramientas de investigación, ver *Anexo D: Kit de desarrollo Muse*. En este proyecto no se desean construir aplicaciones *Muse* por lo que solo se usan las herramientas de investigación del kit. Al descargarlas se obtiene:

- **MuseIO:** un driver con entorno de escritorio que envía datos de *Muse* como mensajes *OSC, Open Sound Control*.
- **MuseLab:** visualiza, graba y filtra los datos de *Muse*.
- **MusePlayer:** desvía, repite y convierte datos de *Muse* en una variedad de formatos incluido *Matlab, .muse* y *.csv*.

Por otro lado, *Muse* tiene *Muse Monitor*, que permite ver lo que realmente está ocurriendo dentro de la cabeza de la persona que lleva la banda en tiempo real (ver *Anexo E: Aplicación Muse Monitor*).

3.2. Problemas y soluciones del hardware

En esta sección se describen las incidencias y soluciones adoptadas, en el caso de haberlas, de las dos pulseras de actividad, la *Runtastic Orbit* y la *Fitbit Charge HR* y de la banda para la cabeza, *Muse*. En primer lugar se presenta el estudio de las dos pulseras, seguido del de las APIs y finalmente se describe el estudio de la banda y a continuación el de las herramientas de desarrollo.

➤ Estudio pulseras de actividad

Uno de los principales problemas de la *Runtastic Orbit* es que posee un sensor de temperatura que no distingue entre temperatura ambiental y corporal. Antes de adquirir esta pulsera se preguntó por este detalle a la compañía y esta informó que la actualización del firmware que permitiría realizar la distinción estaba a punto de salir. Sin embargo tras varios meses de espera dicha actualización no ha llegado y no se puede hacer uso de ese sensor.

Por otro lado, otro problema que plantea la *Runtastic* es que no mide el ritmo cardíaco, este detalle ya se sabía cuando se adquirió pero la idea era usar la *Fitbit Charge*, la cual sí posee un sensor de pulso óptico, para monitorizar la frecuencia cardíaca, y la *Runtastic* para medir la temperatura corporal. Al no poder realizar esto último, la pulsera queda muy limitada ya que los datos que aporta, minutos activos, pasos, calorías quemadas y monitorización del sueño, no son relevantes para el desarrollo de este trabajo por lo que finalmente no se ha hecho uso de ella utilizando únicamente la *Fitbit*.

➤ **Estudio de las APIs de las pulseras**

Como la *Runtastic* no se va a usar para la elaboración de este proyecto, en este apartado se comentan los posibles problemas encontrados en el kit de desarrollo de la *Fitbit Charge*.

Una de las principales dificultades que presenta la API de la pulsera *Fitbit* es que esta realiza las peticiones al servidor de *Fitbit* y no a la pulsera en sí; por lo que la pulsera se ha de sincronizar previamente con dicho servidor para poder acceder a los datos. Una solución a ello es forzar la sincronización, lo cual se realiza abriendo manualmente la aplicación de *Fitbit*.

Como consecuencia de este proceso de sincronización obligatorio de la *Fitbit* se obtiene una limitación a la hora de querer trabajar en tiempo real. Concretamente, la aplicación propia de *Fitbit* solo sincroniza la pulsera de forma automática cada 5-10 minutos y siempre y cuando esta aplicación esté abierta en primer plano. Por ello, si se quisiera trabajar en tiempo real o cercano a ello habría que tomar como solución la realización de un servicio o demonio ejecutándose en segundo plano y que sincronizara la pulsera en periodos de tiempo muy pequeños.

La API de *Fitbit* soporta la mayoría de los lenguajes de lectura y escritura de información permitiendo que cualquier persona pueda desarrollar una aplicación para acceder y manipular los datos recogidos. Esto se puede realizar siempre y cuando se cumpla el siguiente requisito: estos datos deben estar relacionados con un usuario que sea él y no otra persona.

➤ **Estudio banda para la cabeza**

La principal dificultad que presenta *Muse* es el tamaño de la banda, la cual parece estar diseñada para personas adultas con un tamaño de cabeza ya desarrollado. Dado que este proyecto va enfocado a niños y niñas, a la hora de colocarles la banda hay muchos problemas ya que no les encaja bien y hace que no monitorice la actividad cerebral de manera óptima. Ya que la principal fuente de datos de este trabajo proviene de *Muse*, este problema debía ser resuelto. Para solucionar este problema se optó por realizar un ajuste manual de la banda mientras el niño o la niña realiza la actividad propuesta para evitar así que no haya problemas en la monitorización de los datos. Sin embargo esta solución no es óptima ya que solo sirve cuando la actividad realizada no requiere mucho movimiento por parte del usuario.

➤ **Estudio de las herramientas de desarrollo**

La banda *Muse* dispone de herramientas de desarrollo que permiten obtener y manipular los datos recabados sin necesidad de escribir ningún tipo de código fuente. Dado que se presentan en formato ejecutable, la primera duda que se presentó fue para qué Sistemas Operativos estaban disponibles. Tras consultar la web, se comprobó que existen versiones tanto para *iOS* como para *Windows* y *Linux*. Esto solucionaba el posible problema ya que se tiene acceso a los dos últimos Sistemas Operativos para poder trabajar en la realización del presente proyecto.

Una vez se descarga el SDK de *Muse*, este contiene una serie de herramientas de investigación. Entre todas las herramientas disponibles, la que se usa para este trabajo es *MuseIO* un driver que se encarga de conectar y transmitir datos de *Muse*. Para ello se conecta la banda con el ordenador y se ejecuta este driver enviando datos de *Muse* mediante mensajes *OSC*. Esto puede ocasionar algún problema, tanto de conexión entre *Muse* y el driver o de que no reconozca el puerto. Muchas veces este fallo se subsanaba encendiendo y apagando el dispositivo *Muse* o volviendo a ejecutar el driver *MuseIO*.

Capítulo 4. Casos de estudio y resultados

En este capítulo se plantea, en la sección 4.1, los casos de estudio, consistentes en el uso los dispositivos con distintos usuarios y ante unas tareas seleccionadas con anterioridad. A continuación, en la sección 4.2 se detallan los resultados obtenidos tras realizar los casos de estudio.

4.1. Caso de estudio

En esta sección se describe los casos de estudio llevados a cabo en la puesta en marcha de los dispositivos. Éstos consisten en elegir a un usuario para que realice ciertas actividades definidas previamente. El usuario seleccionado para llevar a cabo la actividad es preferiblemente un niño o niña, ya que este trabajo está enfocado para ellos, pero un usuario adulto ha realizado una de las actividades, la de lectura, debido a lo complicado que resulta tener a un niño leyendo durante un período de tiempo largo.

Se han llevado a cabo tres actividades en un ambiente relajado y sin ningún tipo de distracción con dos usuarios diferentes, dos de ellas con un niño de ocho años y otra realizada por un adulto de veinticinco años.

Estas actividades son las siguientes:

- **Leer un libro:** actividad realizada por un adulto que consiste en la lectura del libro *El psicoanalista* (thriller psicológico) durante cuarenta minutos.
- **Ver una película:** actividad realizada por un niño de ocho años que consiste en la visualización de un fragmento de treinta minutos de la película *Pesadillas: creerás en los monstruos* (comedia de misterio). Este fragmento consiste en una parte de la película en la que se entremezclan momentos de sustos con comedia.
- **Jugar a un videojuego:** actividad realizada por un niño de ocho años que consiste en jugar durante treinta minutos a un par de pantallas de dificultad fácil-media del videojuego de *Tarzán* (juego de aventuras). Puede apreciarse esta actividad en la *Figura 29*.



Figura 29: Primera pantalla juego de Tarzán

El procedimiento es el mismo para todas las actividades, se le coloca la pulsera *Fitbit* y la banda *Muse* al usuario.

Por un lado, con la pulsera no hace falta realizar ninguna operación más allá de encenderla y colocarla en la muñeca del usuario ya que esta va grabando los datos de forma automática y guardándolos en la memoria interna de la misma, para posteriormente realizar una sincronización con los servidores de *Fitbit* que es donde quedarán almacenados los datos de forma persistente (ver *Anexo B: API de la pulsera Fitbit Charge HR*).

Por otro lado, se conecta la aplicación *Muse Monitor* y una vez la conexión entre la banda *Muse* y la aplicación es estable, se procede a realizar la actividad propuesta mientras se graba segundo a segundo la actividad cerebral del usuario mediante dicha aplicación. Como se desea poder analizar con detalle los datos obtenidos, se ha optado por usar la aplicación *Muse Monitor* (ver *Anexo E: Aplicación Muse Monitor*) en lugar de las herramientas de investigación *Muse* (ver *Anexo D: Kit de desarrollo Muse*). Esto es debido a que la aplicación proporciona un fichero *csv* con los valores obtenidos lo que permite un análisis más exhaustivo mientras que las herramientas de investigación permiten visualizar y manipular los datos a tiempo real. Como se trata de la puesta en marcha de los dispositivos no tiene mucho sentido usar esta segunda opción sino que ésta servirá para la realización de la demo final.

El resultado de la grabación es, por un lado, la frecuencia cardíaca (ver *Figura 30*) del usuario (esto se obtiene realizado una petición a la API de Fitbit tal y como se explica en el *Anexo B: API de la pulsera Fitbit Charge HR*) y, por otro lado, un fichero *csv* formado por los valores de las diferentes ondas cerebrales que capta la banda *Muse* a lo largo de la realización de la actividad (ver *Figura 31*).

```

  {
    "activities-heart": [
      {
        "dateTime": "2015-12-28",
        "value": [
          {
            "customHeartRateZones": [
              {
                "heartRateZones": [
                  {
                    "caloriesOut": 545.6407,
                    "max": 98,
                    "min": 30,
                    "minutes": 577,
                    "name": "Out of Range"
                  },
                  {
                    "caloriesOut": 8.20446,
                    "max": 137,
                    "min": 98,
                    "minutes": 3,
                    "name": "Fat Burn"
                  }
                ],
                "datasetInterval": 1,
                "datasetType": "minute"
              }
            ],
            "time": "09:58:00",
            "value": 82
          },
          {
            "time": "09:59:00",
            "value": 83
          },
          {
            "time": "10:00:00",
            "value": 88
          },
          {
            "time": "10:01:00",
            "value": 86
          }
        ]
      }
    ]
  }

```

Figura 30: Datos extraídos de la API de Fitbit

TimeStamp	Alpha_TP9	Alpha_FP1	Alpha_FP2	Alpha_TP10
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,32038403	-0,63884157	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,15423809	-0,49954957	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,1371941	-0,13578132	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,16840063	-0,11838756	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,14706096	-0,20922846	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,04162064	-0,41751125	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,2550109	-0,53547835	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,73979145	-0,9101989	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,67772895	-0,7448349	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,63357073	-0,84538496	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,1885264	-0,404132	0,02435353
28/12/2015 9:58	0,2115146	-0,21249151	-0,2696934	0,02435353

Figura 31: Extracto fichero csv con los valores de las ondas cerebrales

4.2. Análisis de los resultados obtenidos

En esta sección se describen y se analizan los resultados obtenidos tras la realización de las diferentes actividades de los casos de estudio. Su objetivo consigue discernir qué características de entre las medidas aportan unos valores relevantes a la hora de caracterizar el estado del usuario. En primer lugar se abordan los resultados obtenidos por la banda y seguidamente los obtenidos por la pulsera.

➤ Resultados de la banda para la cabeza *Muse*

Los resultados obtenidos por la banda *Muse* tras haber realizado las Actividades 1, 2 y 3 pueden verse expresados en forma de gráfica en las *Figura 32*, *33* y *34*, respectivamente. Los valores representados consisten en un valor medio de cada una de las cinco ondas cerebrales junto con dos valores de relajación (*mellow*) y concentración (*concentration*) que son proporcionados y calculados automáticamente por la banda *Muse*. Se puede encontrar una explicación más detallada acerca de estos dos valores en el *Anexo D: Kit de desarrollo Muse* así como acerca de las ondas cerebrales en el *Anexo C: Conceptos básicos de Electroencefalografía para la banda Muse*. Los datos han sido muestreados cada 10 segundos para evitar un ruido excesivo en su representación y así poder caracterizarlas mejor.

- Actividad 1: leer un libro

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 1 pueden verse en la *Figura 32*, de ellos se puede observar que al inicio de la actividad la concentración (color mostaza) no era muy alta pero que, según se avanzaba, iba subiendo. Por otro lado, la relajación (*mellow*) es bastante alta durante toda la actividad. Estos dos resultados concuerdan con la temática de la actividad ya que cuando se está leyendo se tiende a estar relajado y concentrado.

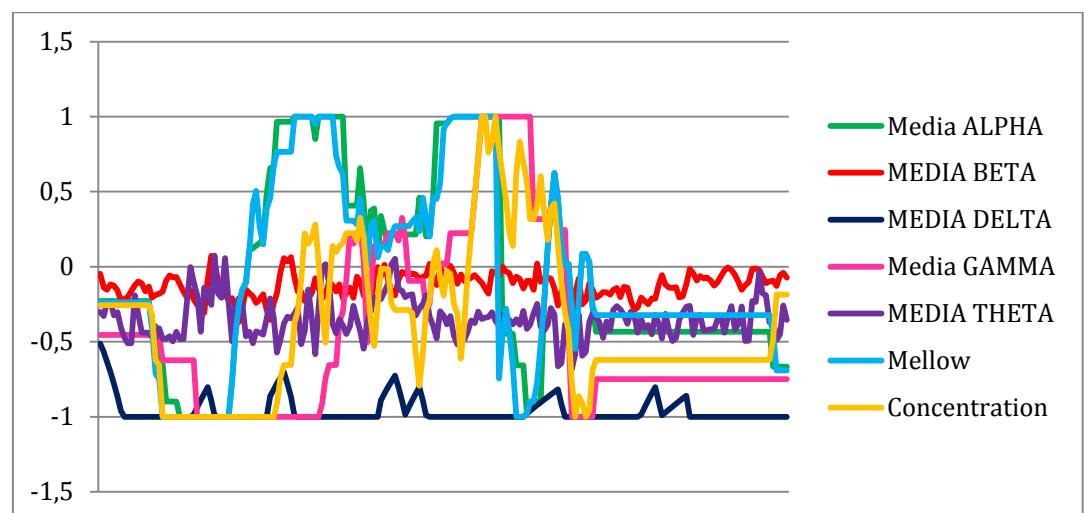


Figura 32: Gráfica Actividad 1

- Actividad 2: ver película

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 2 pueden verse en la *Figura X*, de ellos se puede observar que tanto la concentración como la relajación (*mellow*) son cambiantes durante toda la actividad. Esto tiene sentido ya que durante la visualización de la película se van viviendo situaciones de tensión, relajación, etc.

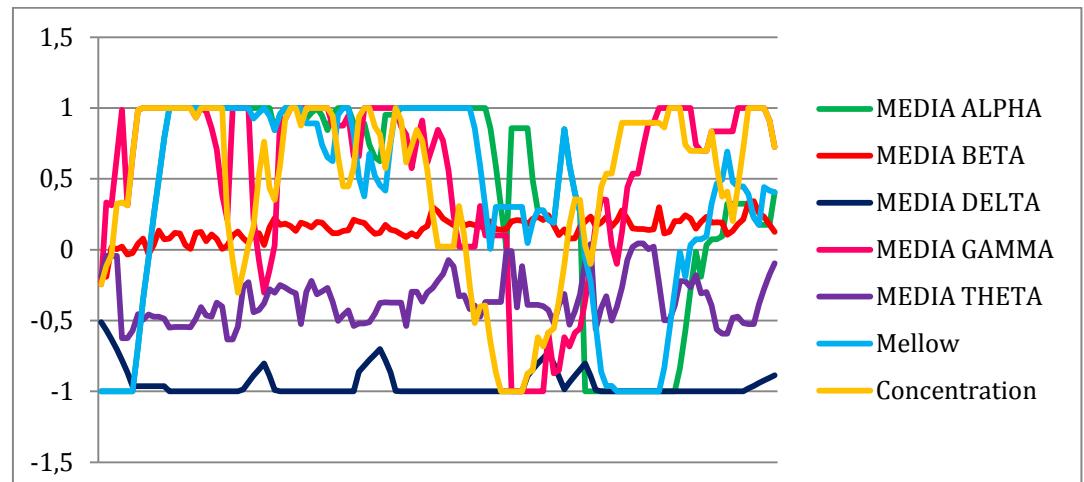


Figura 33: Gráfica Actividad 2

- Actividad 3: jugar a un videojuego

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 3 pueden verse en la *Figura X*, de ellos se puede observar que la concentración, en general, se mantiene en valores altos mientras que la relajación (*mellow*) es cambiante durante toda la actividad. Estos resultados tienen sentido ya que, al estar jugando a un videojuego, se está concentrado y a la vez en tensión por lo que está ocurriendo.

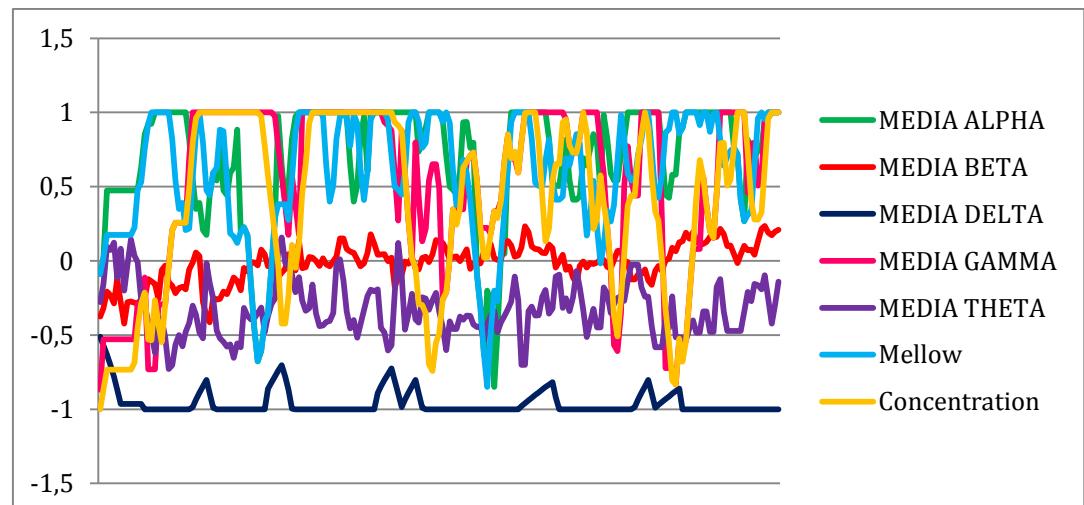


Figura 34: Gráfica Actividad 3

Tras realizar un análisis detallado se puede observar una serie de comportamientos comunes en las tres actividades para cada uno de los valores que se han medido. En primer lugar, la onda *Delta* tiene un valor igual a -1 en la mayor parte del tiempo, lo que equivale a un valor nulo. Esto es debido a que dicha onda guarda relación con la actividad cerebral realizada durante el sueño profundo, el cual no tiene lugar en la realización de las actividades.

Por otro lado, las ondas *Theta* y *Beta* devuelven valores válidos no nulos pero que se mantienen prácticamente constantes durante todo el tiempo que se realizan las actividades. Tal comportamiento conlleva que ambas ondas no tengan unas propiedades lo suficientemente descriptivas y determinantes para ser tenidas en cuenta a la hora de realizar la caracterización del estado del usuario.

Finalmente se observa que las ondas *Alpha* y *Gamma* siguen la misma tendencia que los valores *mellow* y *concentration*, respectivamente. Esto ocurre porque dichos valores se calculan mediante una media ponderada de cada una de las ondas antes citadas. Se puede encontrar una información más detallada en el *Anexo D: Kit de desarrollo Muse*.

Por lo tanto, de todas las ondas y valores medidos, se usan *mellow* y *concentration* en lugar de las ondas ya que se utilizan para calcular esos valores unos algoritmos más elaborados y basados en un mayor conocimiento de la temática que en el caso de las ondas.

➤ Resultados de pulsera

Los resultados obtenidos por la pulsera *Fitbit* tras haber realizado las Actividades 1, 2 y 3 se pueden ver en forma de gráfica en la *Figura 35*. Los valores representados consisten en un valor de latidos del corazón por minuto (lpm) o *heart rate* (HR) del usuario a lo largo de la duración de cada una de las actividades. Dado que la pulsera *Fitbit* solo registra una única señal útil dentro del marco de este proyecto, no es necesario realizar una selección de los valores medidos como en el caso de la banda *Muse*.

En esta ocasión los datos han sido muestreados cada minuto para simplificar su representación. Sin embargo, el número de pulsaciones se puede calcular con un intervalo de tiempo menor tal y como se utiliza en el caso de la demo interactiva y cuya explicación puede encontrarse en el *Anexo F: Implementación de la demo*. A continuación se detallan brevemente los resultados obtenidos por cada una de las actividades:

- **Actividad 1: leer un libro**

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 1 se encuentran en un rango de 65-85 pulsaciones por minuto. Estos valores concuerdan con la realización de una actividad en reposo en la que el usuario está relajado y sin realizar ningún tipo de esfuerzo.

- Actividad 2: ver película

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 2 tienen un valor mínimo de 85 lpm y un máximo de 120 lpm. Estos valores tienen una silueta en forma de picos debido a que, al tratarse de una película de misterio, el ritmo cardíaco aumenta en los momentos de tensión mientras que disminuye en los momentos de comedia.

- Actividad 3: jugar a un videojuego

Los resultados obtenidos tras realizar la actividad 3 varían desde 72 hasta 95 lpm. Durante el desarrollo de esta actividad se mantiene un ritmo cardíaco estable, sin picos como en el caso de la Actividad 2 pero con un valor medio más elevado que en el caso de la Actividad 1. Esto es debido a que se trata de un juego de aventuras en el que el usuario debe de mantener un estado de concentración/tensión prácticamente constante con el objetivo de ser capaz de superar todas las dificultades que el juego le plantea de forma constante.

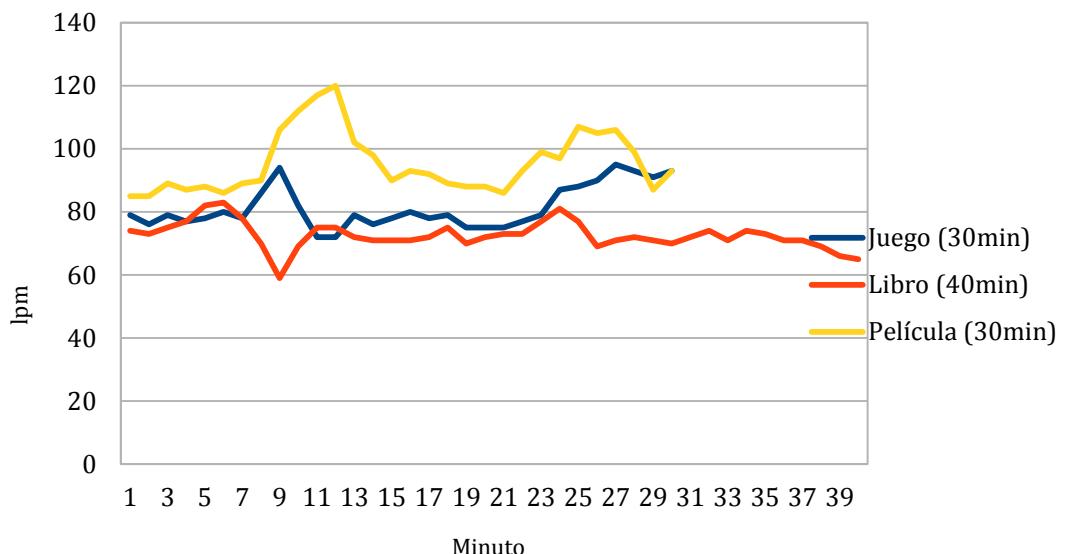


Figura 35: Gráfica Actividades 1, 2 y 3 medidas por la Fitbit

➤ Selección de datos medidos

Una vez analizados los datos medidos por ambos sensores que se han seleccionado para la realización de este proyecto se puede inferir el hecho de que solo ciertos valores medidos son útiles a la hora de otorgar valor práctico. Concretamente y debido a los motivos expresados con anterioridad en el presente capítulo, los datos utilizados para la realización de una demo, la cual se detalla en el *Capítulo 5: Generación y evaluación de la demo interactiva*, son las señales de concentración y relajación en el caso de la banda *Muse* y la señal de latidos del corazón por minuto en el caso de la pulsera *Fitbit*.

Capítulo 5. Generación y evaluación de la demo interactiva

En este capítulo se detallan cada uno de los pasos tomados a la hora de generar la demo interactiva, desde su planificación hasta su realización. En primer lugar, en la sección 5.1. se explica la creación de la demo en el espacio de *Etopía*. En la sección 5.2. se exponen las pruebas que se llevan a cabo tras la realización de dicha demo y, por último, en la sección 5.3. se presentan los resultados obtenidos y la evaluación de los mismos.

5.1. Planificación y diseño

Tras comprobar la utilidad para realizar una caracterización del estado del usuario por parte de la banda *Muse* y de la pulsera *Fitbit* se decide realizar una demo interactiva, con la intención de ilustrar de forma práctica los resultados obtenidos tras analizar los datos medidos por dichos sensores (ver *Capítulo 4: Casos de estudio y resultados*). Para ello se planifica la realización de un juego pervasivo que reaccione según sea el estado del usuario en base a los parámetros de concentración, relajación y ritmo cardiaco.

La integración de los sensores en el juego es el elemento más relevante a la hora de realizar la demo. Es por esto que no se ha optado por una implementación desde cero de un juego propio si no por la adaptación de uno ya existente. Con dicha intención se realiza un análisis de todos los juegos pervasivos de los que se dispone y que son aptos para ser modificados de cara a la finalidad requerida. De entre todos ellos se selecciona *El juego de las mariposas* por ser aquel que se adapta mejor a las necesidades del proyecto y permite visualizar los resultados de una forma más intuitiva.

El juego de las mariposas consiste en un prado verde lleno de flores con mariposas de distintos colores revoloteando (ver *Figura 36*), las cuales son visualizadas mediante una serie de proyectores en el espacio colaborativo que el *GIGA AffectiveLab* tiene en *Etopía*. Este espacio se compone de un total de ocho paredes dispuestas en forma semicircular y cuatro proyectores que emiten las imágenes del juego sobre ellas, a la par que cuenta con una serie de sensores ya integrados para darle vida al juego, tales como sensores de posicionamiento o una cámara RGB-D .

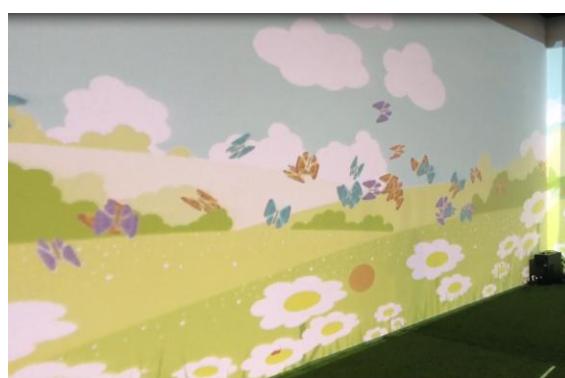


Figura 36: Juego de las mariposas

Inicialmente el juego está programado para que interactúen hasta dos usuarios al mismo tiempo. Su ubicación en el espacio se detecta utilizando un sensor de posicionamiento colgado en el cuello, esta ubicación se muestra mediante un círculo de color sobreimpreso a la imagen del juego. Las mariposas reaccionan ante señales acústicas tales como una palmada o un grito, alejándose de la fuente de dicho ruido.

La modificación planteada del juego consta de dos partes. Por un lado, las mariposas han de reaccionar al estado de concentración o relajación del usuario, alejándose o acercándose de él según la señal medida tenga un valor mayor o menor, respectivamente. Por otro lado, el tamaño del círculo que indica la ubicación del usuario ha de variar en base a su ritmo cardíaco. Los detalles específicos de la implementación de estas modificaciones pueden verse en el *Anexo F: Implementación de la demo*.

5.2. Diseño de pruebas

El objetivo inicial es que la demo interactiva fuera utilizada y probada por niños, ya que la línea futura con la que se quiere trabajar es la detección de emociones en niños y niñas con algún tipo de discapacidad. Sin embargo, mientras que el uso de la pulsera *Fitbit* no presenta ningún problema, al volver a probar la banda *Muse*, esta vez con un niño de edad más avanzada, se observa que cuando hay mucho movimiento los resultados que se obtienen son aún peor que los detectados en la sección 3.2.: *Problemas y soluciones del hardware*. Por todo ello, se opta por utilizar un usuario adulto, en el que todos los sensores funcionen de forma adecuada, para llevar a cabo las diferentes pruebas. Concretamente, estas han sido realizadas por un usuario de 25 años. Dichas pruebas se han realizado por duplicado variando la señal medida por la banda *Muse* (concentración o relajación) ya que en la pulsera *Fitbit* solo se encarga de medir la frecuencia cardíaca y esta es común a ambas. Estas pruebas consisten en lo siguiente:

- Se configura e inicia el juego, proyectándolo en las diferentes paredes del espacio colaborativo.
- El usuario se coloca los distintos dispositivos: la pulsera, la banda y el sensor de posicionamiento. Se espera un minuto para que los sensores comiencen a recabar información del usuario y a partir de ese momento el usuario ya puede comenzar a jugar.
- El usuario se aproxima a las pantallas del entorno hasta que el juego detecta su presencia, localizándolo con un círculo de color tal y como se ha explicado previamente. Éste puede desplazarse entre las diferentes pantallas moviéndose a lo largo de una línea de color blanco proyectada en el suelo.
- El tamaño del círculo comienza a variar en función del ritmo cardíaco del usuario medido mediante la pulsera *Fitbit*. Cuanta más alta es la frecuencia cardíaca, más grande es el diámetro de dicho círculo. Además, el color del círculo también varía en relación al valor de la señal medida por la banda *Muse* (concentración o relajación): rojo si es bajo y azul si es alto.

- En un primer momento las mariposas se encuentran revoloteando de forma aleatoria por todo el prado. En el momento que el usuario se acerca a ellas, empieza a interactuar con el espacio del juego. Las mariposas reaccionan al estado del usuario en base a la señal medida por la banda *Muse* (concentración o relajación); huyendo de él si el valor es alto y calmándose si es bajo.

5.3. Resultados obtenidos y evaluación de la demo

En esta sección se muestran y explican en detalle los resultados obtenidos tras la realización de la demo. Posteriormente se realiza una evaluación por parte del usuario final realiza la demo interactiva.

➤ Resultados obtenidos

A continuación se muestra un ejemplo de la realización de las diferentes pruebas. Tal como se ha dicho anteriormente, éstas se hicieron por duplicado, tomando en un primer momento el valor de la señal de concentración leído por la banda *Muse* y luego utilizando la señal de relajación.

- Concentración

Tal y como se puede apreciar en la imagen izquierda de la *Figura 37*, las mariposas se encuentran calmadas y posadas en las flores alrededor del círculo de color azul, el cual indica la posición del usuario dentro del juego. El color azul indica que el usuario está muy concentrado. Transcurridos unos instantes se observa en la imagen de la derecha que el estado del usuario cambia, ya que las mariposas huyen del círculo que en este caso cambia a un color rojo. Esta alteración del juego viene motivada por un decremento en el nivel de concentración por parte del usuario.

Cabe destacar que el tamaño del círculo es ligeramente grande y similar en ambas imágenes. Como consecuencia de esto, y pese a variar el nivel de concentración del usuario, su ritmo cardíaco no se ve alterado; si no que se mantiene elevado y constante debido a un estado de nerviosismo durante la realización de la primera parte de la demo. De ello se puede deducir que el usuario puede no estar concentrado y estar nervioso, donde la frecuencia cardíaca sería alta, y viceversa.



Figura 37: Prueba del juego con el valor *concentración*

- Relajación

Tal y como se puede apreciar en la imagen izquierda de la *Figura 38*, las mariposas están agitadas y huyendo del círculo de posicionamiento del usuario, el cual es de color rojo. Esto es debido a que el usuario se encuentra poco relajado. Seguidamente el usuario se centra en aumentar su relajación tal y como se observa en la imagen de la derecha, lo que hace que las mariposas se calmen y se posen en las flores cercanas al círculo, que en este caso cambia a un color azul.

Respecto al tamaño del círculo de posicionamiento, en la imagen de la izquierda se puede ver como su tamaño es menor que en la imagen de la derecha. Este hecho cobra sentido a la hora de considerar que la segunda imagen representa al usuario en un estado de relajación máximo, por lo que es normal que su ritmo cardíaco disminuya; mientras que en la primera, en la cual este no se encuentra relajado, su ritmo cardíaco aumente.



Figura 38: Prueba del juego con el valor *relajación*

Respecto a los resultados que se obtienen tras la realización de ambas pruebas podemos señalar que en las dos se ve claramente el estado del usuario que proporciona la banda *Muse*. Es decir, cómo pasa éste de estar poco a muy concentrado y el caso análogo de poco a muy relajado. En el caso de los resultados proporcionados por la pulsera *Fitbit*, pese a que no son tan intuitivos, también se observa una relación con el estado del usuario; ya que, como se ha comentado anteriormente, la concentración no altera tanto el ritmo cardíaco como lo hace la relajación. En todas las pruebas realizadas para medir la concentración, el círculo se ha mantenido de un tamaño similar durante todo el proceso mientras que en las pruebas para medir la relajación éste varía, siendo pequeño si el usuario está relajado y de un tamaño mayor si no lo está.

➤ Análisis de la experiencia de usuario

Una vez se realiza la demo, se evalúa la experiencia que siente el usuario (UX) al interactuar con ella. A la hora de realizar dicha evaluación existen gran cantidad de cuestionarios ampliamente extendidos en la comunidad y con preguntas previamente estipuladas con la idea de ser capaces de comparar la experiencia de usuario de dos sistemas diferentes.

En este proyecto se opta por utilizar el cuestionario *Intrinsic Motivation Inventory (IMI)* [29] ya que se desea determinar si los usuarios se sienten motivados durante la realización de la actividad. El objetivo de dicho cuestionario es el de realizar una evaluación de la experiencia subjetiva de los participantes. Éste está compuesto por una serie de elementos o preguntas los cuales son puntuados en una escala del 1 al 7 de *Likert*; donde 1 significa estar totalmente en desacuerdo y 7 significa estar totalmente de acuerdo. Cada elemento mide una de las seis subescalas: interés/disfrute, competencia percibida, esfuerzo, valor/utilidad, tensión/presión percibida y elección percibida.

En este proyecto se selecciona un conjunto de 19 elementos basándose en su relevancia para la evaluación de este proyecto. Estos valoran las subescalas de interés/disfrute (8 cuestiones), presión/tensión (3 cuestiones), competencia percibida (2 cuestiones), elección percibida (2 cuestiones) y valor/utilidad (4 cuestiones). Tras llenar el cuestionario *IMI*, cuyas respuestas se pueden apreciar en el *Anexo G: Evaluación de la experiencia de usuario*, se calcula la puntuación del sistema para cada una de las subescalas de tal forma: cada pregunta tiene una valoración del 1 al 7 salvo para las preguntas 2, 3, 11, 12 y 13 cuya puntuación es igual a 8 menos el valor seleccionado. De este modo los resultados son los siguientes:

- **Interés/disfrute:** 6 puntos
- **Presión/tensión:** 2,6 puntos.
- **Competencia percibida:** 5,5 puntos.
- **Elección percibida:** 5,5 puntos.
- **Valor/utilidad:** 5,75 puntos.

Haciendo un análisis de estos resultados se puede deducir que se trata de una actividad muy amigable, que despierta el interés del usuario y que el uso de los sensores no influye en esta percepción. Además el sujeto de pruebas se ha sentido libre y sin ningún tipo de tensión a la hora de realizar la demo por lo que la presencia de los supervisores no ha tenido efecto alguno en los valores medidos por los sensores. Por último, se valora la actividad como una experiencia útil y enriquecedora.

Capítulo 6. Conclusiones

En este último capítulo se realiza una valoración global sobre este proyecto. En primer lugar, en la sección 6.1., se explica la consecución de objetivos. En la sección 6.2. se exponen una serie de trabajos o líneas futuras que sería interesante llevar a cabo para ampliar el alcance del mismo y, por último, en la sección 6.3. se presenta la valoración personal y conclusiones obtenidas tras el desarrollo del proyecto.

6.1. Consecución de objetivos

Según los objetivos planteados en el capítulo 1 de este documento, y tal y como se ha podido observar a lo largo del mismo, se ha realizado lo siguiente:

- Se ha estudiado y analizado los diferentes sensores existentes en el mercado y que cumplan con las características requeridas. Finalmente, de ese estudio, se seleccionaron tres dispositivos que han sido los usados en este proyecto.
- Los sensores elegidos, con excepción de uno de ellos, han sido utilizados por diferentes usuarios y realizando varias tareas. Los resultados de estas pruebas han sido analizados de modo que se han podido establecer patrones acerca de la experiencia de los usuarios.
- A raíz de los patrones establecidos, se han podido evaluar gracias a la creación de una demo interactiva que muestra unos resultados muy claros acerca del estado en el que se encuentra el usuario.

Por todo ello se puede afirmar que los objetivos han sido cumplidos casi en su totalidad. El único problema ha sido que inicialmente, el público objetivo de este proyecto, eran niños. Finalmente, debido al diseño de la banda *Muse* ha sido imposible llevar a cabo pruebas con niños, y se ha decidido realizar la evaluación de la demo con un adulto.

6.2. Trabajo futuro

En esta sección se presentan tres posibles trabajos futuros que se consideran interesantes para avanzar en el trabajo que se ha desarrollado. Respecto a los dos primeros se tiene intención de realizarlos en la mayor brevedad posible mientras que el último se desea desarrollar en un futuro a largo plazo. Estos trabajos son los siguientes:

- Se pretende realizar un mayor número de pruebas sistemáticas, similares a las realizadas en la demo, pero con diferentes juegos y un gran número de usuarios para así obtener más información.

- Se pretende probar la pulsera de actividad *Fitbit* en niños con necesidades especiales, ya que la banda *Muse* no es posible, planteándoles juegos sencillos en el *tabletop NikVision* y así, a través de su ritmo cardíaco, obtener información acerca de cómo se encuentran.
- Al no haber dispositivos de bajo coste adaptados a niños se plantea la posibilidad de desarrollar uno específico *ad-hoc*. En un primer momento la idea era realizar un dispositivo tipo pulsera pero, dado que los sensores pueden disponerse en cualquier distribución que se desee, se puede estudiar la posibilidad de configurar uno del tipo banda para la cabeza ya que se ha comprobado que es dónde radica la información más valiosa.

6.3. Valoración personal

A la hora de buscar un trabajo de fin de grado a realizar, lo que se pretende es poder aprovechar los conocimientos adquiridos y, por supuesto, aprender otros nuevos con el objetivo de hacer algo útil para otras personas.

Eso es lo que me ha pasado con la realización de este trabajo ya que, por un lado, he podido aplicar y reforzar los conocimientos adquiridos durante la carrera y, por otro lado, he aprendido multitud de nuevos conceptos y tecnologías. Concretamente sobre cómo a partir de unos datos fisiológicos se puede saber cómo se encuentra la persona que los lleva y como plasmar ese estado en un juego dentro de un espacio virtual. Además, al tratarse de un proyecto de investigación, me ha servido para comprender y mejorar la fase de análisis y darme cuenta de la importancia que tiene documentar todo lo que se va realizando.

Por todo ello ha supuesto una experiencia muy enriquecedora, en la cual me siento enormemente satisfecha con lo aprendido durante la elaboración del mismo y de los resultados que se han obtenido, pese a no haber podido cumplir todos los objetivos planteados. El hecho de hacer algo que puede servir de base para ayudar a gente que realmente lo necesita ha hecho que estuviera muy ilusionada a lo largo de su desarrollo

Anexos

Anexo A. Gestión del proyecto

Este anexo tiene por objetivo describir las actividades relacionadas con la gestión del proyecto. En la sección A.1. se muestra la planificación que se ha seguido para el desarrollo del trabajo, mostrando las estimaciones de tiempo empleadas en cada una de las etapas. En la sección A.2. se describen las herramientas utilizadas.

A.1. Desarrollo temporal

Este Trabajo de Fin de Grado comenzó a principios de Diciembre de 2015 y ha finalizado en Noviembre de 2016. El desarrollo se ha dividido principalmente en tres fases como se ha comentado en el presente documento. El período de tiempo empleado en cada una de las fases se puede observar en el diagrama de Gantt [30] de la *Figura 39*.

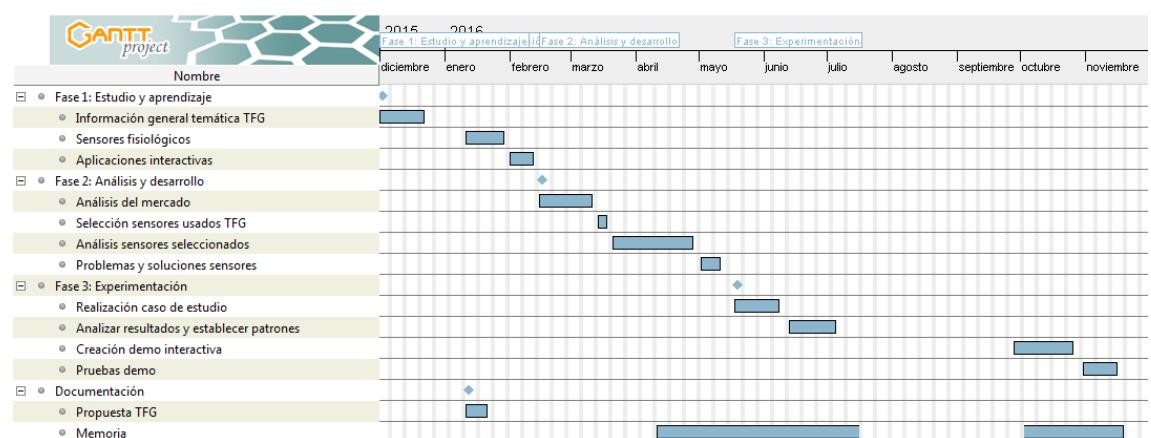


Figura 39: Diagrama de Gantt

Estas fases se detallan a continuación:

➤ Fase 1

En esta primera fase se detallan las tareas a realizar, acotando los temas, pasos a seguir y que resultados se desean entregar. En primer lugar se realizó la búsqueda de información acerca de la temática del TFG, ya que se trataba de un tema que no se había abordado en las asignaturas realizadas durante la carrera. Una vez se tuvieron claros los conceptos más importantes, se centró la búsqueda de información sobre conceptos más detallados, en este caso acerca de sensores fisiológicos y aplicaciones interactivas ya que ambos constituyían el eje del proyecto. Esta fase abarcó desde el comienzo del proyecto, en diciembre de 2015 hasta mediados de febrero de 2016.

➤ **Fase 2**

Una vez se tuvieron claros los diferentes conceptos necesarios para afrontar el tema se establecieron una serie de tareas para poder desarrollar el trabajo. En primer lugar, se realizó un estudio de mercado muy detallado acerca de todos los sensores disponibles en el mercado con el fin de obtener toda la información posible sobre ellos. Al finalizar este estudio, se seleccionaron los dispositivos que se han utilizado durante el desarrollo de este proyecto. Tras la selección de los sensores, se realizó un análisis de mismos con el fin de saber su funcionamiento así como posibles problemas que pudieran surgir y a los que había que buscar una solución. Esta fase comenzó a mitad de febrero de 2016 y duró hasta principios de mayo de 2016.

➤ **Fase 3**

La última fase consiste en la puesta en marcha de los dispositivos seleccionados, esta se dividió en dos etapas. En primer lugar, se realizaron varios casos de estudio con los sensores y los resultados obtenidos tras la realización de los mismos. Dichos resultados permitieron establecer patrones acerca de la experiencia de un usuario frente al uso de diferentes dispositivos. Finalmente, se creó una demo interactiva para evaluar los patrones definidos establecidos en los casos de estudio así como las distintas pruebas para comprobar la motivación de usuario cuando interactuaba con la demo realizada. Esta fase comenzó a mitad de mayo de 2016 y finalizó a mitad de noviembre de 2016, cabe mencionar que durante los meses de julio y agosto no se pudo trabajar en el desarrollo de este proyecto debido a problemas familiares.

A.2. Herramientas utilizadas

En este apartado se presentan las diferentes tecnologías y herramientas utilizadas para el desarrollo de este proyecto clasificadas en función de su ámbito de aplicación.

➤ Análisis y desarrollo del proyecto

- API de Fitbit
- Herramientas de investigación de Muse, concretamente el *driver* MuseIO.
- Muse Monitor
- Eclipse
- Processing
- Java
- NikVision
- Cuestionarios IMI

➤ Gestión y documentación del proyecto

- Microsoft Word
- Microsoft Excel
- Gantt Project
- Gimp
- Dropbox

➤ Sistemas Operativos

- Microsoft Windows 8 y 7
- Linux

Anexo B. API de la pulsera Fitbit Charge HR

En este anexo se describe y detalla la API de la pulsera *Fitbit Charge HR*. En la sección 2.3 se ha explicado el funcionamiento del dispositivo [17] así que para una mayor comprensión acerca de cómo acceder a su API se ha realizado un pequeño esquema de las distintas conexiones implicadas, ver *Figura 40*.

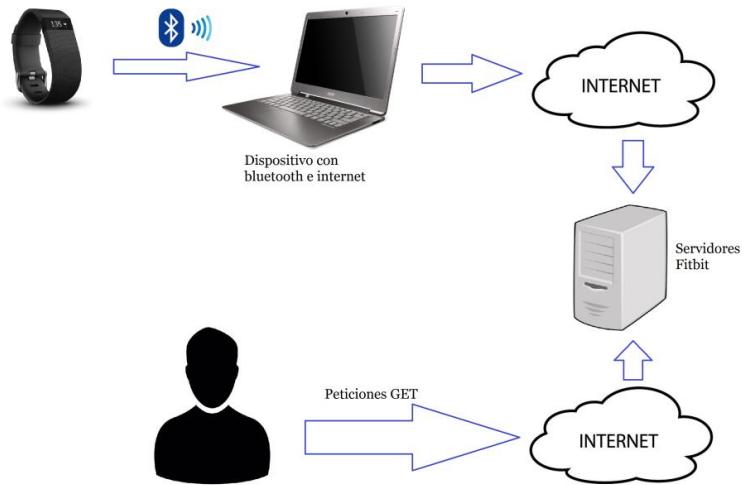


Figura 40: Conexiones implicadas en el acceso a la API

La API de *Fitbit* facilita a los desarrolladores el trabajo de interacción con los datos recogidos, ya sea para una aplicación, un dispositivo o un servicio. Esta API soporta la mayoría de lenguajes de lectura y escritura de información permitiendo que cualquier persona pueda desarrollar una aplicación para acceder y manipular los datos recogidos por un dispositivo *Fitbit*. Esto se puede llevar a cabo siempre y cuando se cumplan dos requisitos: deben ser datos relacionados con un usuario que sea él y no otra persona y cumplir con las condiciones de uso que establece la documentación de la propia API

Antes de hablar del funcionamiento de la API se deben tener en cuenta una serie de pautas para acceder a ella. Esta son las siguientes:

- El registro de la aplicación permite obtener credenciales de cliente de la API. Para hacerlo es necesario disponer primero de una cuenta en el servicio de *Fitbit*.
- **El acceso a los datos de usuario** se hace a través de autenticación *OAuth*. Las solicitudes a la API de *Fitbit* para leer y escribir datos de usuarios se hacen a través un explorador de la API. Es posible también suscribirse a la API para tener la actualización de los datos en tiempo real.
- **El desarrollador debe escoger alguna librería *OAuth 2.0*** que opere con el lenguaje de programación y marco de desarrollo utilizado para el flujo de datos. Sin esa librería no se puede crear el protocolo de autorización.
- **Las peticiones a la API necesitan de credenciales de usuario autorizado.**

El funcionamiento de la API es simple, en primer lugar la pulsera se sincroniza con el dispositivo mediante bluetooth, en este caso mediante *Bluetooth Smart 4.0*. El uso de esta versión de bluetooth supone una disminución del consumo haciendo que la batería dure mucho más tiempo.

Una vez se ha sincronizado la pulsera con el dispositivo, este debe tener conexión a internet, sube todos los datos registrados con ella a los servidores de *Fitbit*. Una vez los datos se encuentran en los servidores ya se pueden realizar peticiones a los mismos con el fin de obtener la información deseada. Cabe destacar que estas peticiones pueden realizarse sobre datos guardados con anterioridad o a tiempo casi real.

A continuación se presenta un ejemplo de petición para obtener datos sobre el ritmo cardíaco, esto se va a realizar tanto a datos guardados con anterioridad como a datos que se van obteniendo a tiempo real.

- Get Heart Rate Time Series

Ofrece información del ritmo cardíaco del día especificado en la petición, hay dos formas de realizarla:

- GET [https://api.fitbit.com/1/user/\[user-id\]/activities/heart/date/\[date\]/\[period\].json](https://api.fitbit.com/1/user/[user-id]/activities/heart/date/[date]/[period].json)
 - GET [https://api.fitbit.com/1/user/\[user-id\]/activities/heart/date/\[base-date\]/\[end-date\].json](https://api.fitbit.com/1/user/[user-id]/activities/heart/date/[base-date]/[end-date].json)
- **[user-id]**: en el caso de que se esté logueado, user-id es una “-”.
 - **[date]**: *yyyy-mm-dd* o *today*.
 - **[period]**: *1d, 7d, 30d, 1w, 1m*.
 - **[base-date]**: inicio fecha.
 - **[end-date]**: final fecha.

Un ejemplo es:

```

  {
    "activities-heart": [
      {
        "dateTime": "2015-12-28",
        "value": [
          {
            "customHeartRateZones": [],
            "heartRateZones": [
              {
                "caloriesOut": 545.6407,
                "max": 98,
                "min": 30,
                "minutes": 577,
                "name": "Out of Range"
              },
              {
                "caloriesOut": 8.20446,
                "max": 137,
                "min": 98,
                "minutes": 3,
                "name": "Fat Burn"
              }
            ],
            "time": "09:58:00",
            "value": 82
          },
          {
            "time": "09:59:00",
            "value": 83
          },
          {
            "time": "10:00:00",
            "value": 88
          },
          {
            "time": "10:01:00",
            "value": 86
          }
        ],
        "datasetInterval": 1,
        "datasetType": "minute"
      }
    ]
  }

```

Figura 41: Ejemplo de petición a datos antiguos

- **Get Heart Rate Intraday Time Series**

Permite consultar los datos a tiempo real sin necesidad de dejar que pase todo el día. Ofrece la opción de mostrar esos datos **segundo a segundo o minuto a minuto**.

Un ejemplo es:

```
[{"time": "14:38:55", "value": 79}, {"time": "14:39:05", "value": 80}, {"time": "14:39:10", "value": 81}, {"time": "14:39:20", "value": 82}], "datasetInterval": 1, "datasetType": "second"
```

Figura 42: Ejemplo de petición a datos a tiempo real

Anexo C. Conceptos básicos de electroencefalografía para la banda Muse

En este anexo se describe y detalla el concepto de *EEG* o *Electroencefalografía* y como se aplican estos conceptos en *Muse*. *EEG* es una exploración neurofisiológica que se basa en el registro de la actividad bioeléctrica cerebral en condiciones basales de reposo, en vigilia o sueño, y durante diversas activaciones mediante un equipo de electroencefalografía. Se estudia el equipo *Muse* que mediante métodos no invasivos e inofensivos registra la actividad eléctrica de los grupos de las células cerebrales en tiempo real.

Esta exploración neurofisiológica se realiza mediante electrodos que recogen la actividad eléctrica de la corteza cerebral. La señal que se obtiene es tan pequeña que es necesario utilizar varios sistemas de amplificación. La colocación de dichos electrodos sobre el cuero cabelludo está sujeta a un Sistema Internacional o Sistema 10-20 [31], denominado así porque los electrodos están esparcidos entre el 10% y el 20% de la distancia total entre los puntos reconocibles del cráneo. Estos puntos clave, a partir de los cuales se realizan las medidas, ver *Figura 43*, son:

- **Nasión:** indentación entre la frente y la nariz.
- **Inión:** protuberancia occipital.
- **Vértext:** parte más alta de la bóveda craneal.
- **Nose:** nariz.
- **Ear:** oreja.

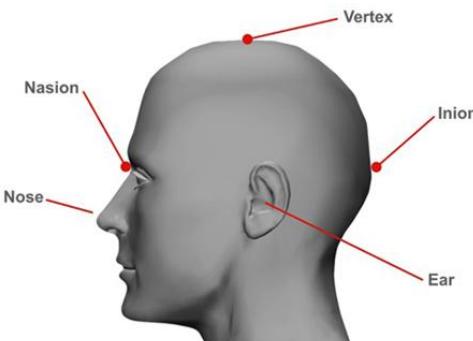


Figura 43: Puntos reconocibles del cráneo

La localización de cada electrodo se define por una letra y un número. La letra corresponde al área cerebral:

- **PG:** ocular
- **FP:** frontopolar
- **F:** frontal
- **P:** parietal
- **C:** central
- **T:** temporal
- **A:** auricular
- **O:** occipital

El número, si es impar corresponde al hemisferio izquierdo y si es par al hemisferio derecho.

Muse tiene cuatro canales de electrodos: oreja izquierda y derecha y frente izquierda y derecha, ver *Figura 44*.

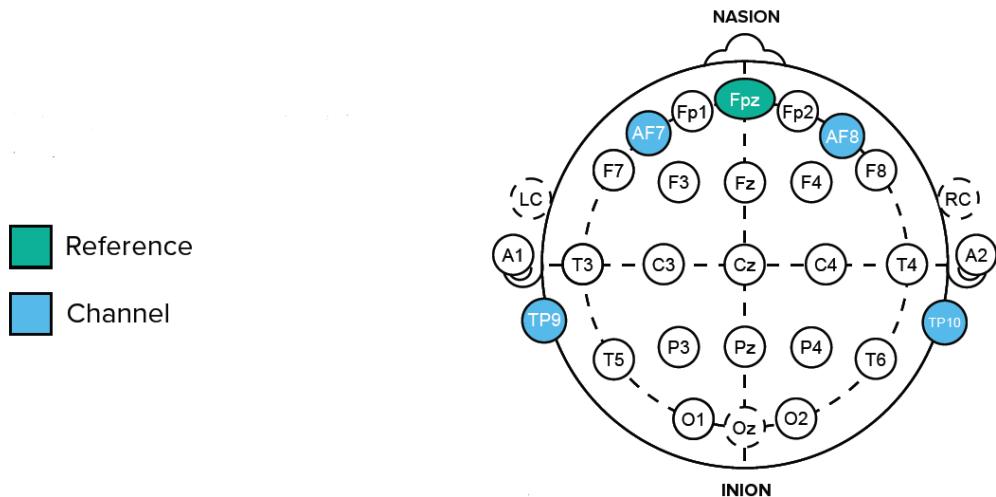


Figura 44: Interpretación EEG

La actividad cortical recogida en el *EEG*, se compone de un número variado de ondas que aparecen aisladas o en grupos (ritmo). Estas ondas se diferencian unas y otras por los siguientes parámetros:

- **Frecuencia:** número de veces que aparece un tipo de onda formando parte de un ritmo. Se expresa en ciclos por segundo o *Hertzios* (Hz) estableciéndose las siguientes bandas de frecuencia:
 - **Delta:** actividad de 1 a 4 Hz.
 - **Theta:** actividad de 4 a 8 Hz.
 - **Alpha:** actividad de 7.5 a 13 Hz.
 - **Beta:** actividad de 13 a 30 Hz.
 - **Gamma:** actividad de 30 a 44 Hz.
- **Distribución topográfica:** indica el lugar cerebral en el que aparece un fenómeno eléctrico. También hace referencia a la ubicación fisiológica de las distintas frecuencias dependiendo del área cerebral correspondiente.
- **Forma, amplitud y duración:** la forma de una onda aislada puede ser: regular, irregular, aguda, compleja, etcétera. La amplitud se mide en *microvoltios* (uV) y la duración de una onda se expresa en *milisegundos* (msg)
- **Reactividad:** capacidad de modificación de un ritmo, ante estímulos como apertura y cierre de ojos, estimulación eléctrica, proceso mental, etcétera.

El cerebro humano es capaz de procesar una cantidad enorme de pensamientos. El ser humano, cuando percibe y está consciente, emite un patrón de ondas cerebrales que pueden identificar su estado. Se ha comentado anteriormente que existen diferentes bandas de frecuencia para cada onda y estas se dan dependiendo en que etapa se encuentre la actividad cerebral. Las distintas etapas son:

- **Etapa 1** (adormecimiento)

Estado de somnolencia que dura unos 10 minutos, donde el *EEG* muestra una cierta actividad de onda *theta*. Transición entre la vigilia y el sueño.

- **Etapa 2** (sueño ligero)

Disminuyen tanto el ritmo cardíaco como el respiratorio. El registro del *EEG* muestra períodos de actividad *theta*. De este modo, se sufren variaciones en el tráfico cerebral, períodos de calma y súbita actividad, lo cual hace más difícil despertarse. En algunos casos, se llega a un proceso en el cual las pulsaciones son extremadamente bajas y el sueño es tan profundo que el cerebro presenta dificultades para registrar contacto con el cuerpo, por lo que manda un impulso para corroborar que dicha conexión entre el cerebro y el cuerpo esté en normal funcionamiento (como cuando soñamos que caemos).

- **Etapa 3**

Fase de transición hacia el sueño profundo. Se pasa unos 2-3 minutos aproximadamente en esta fase.

- **Etapa 4** (sueño delta)

Fase de sueño lento, las ondas cerebrales en esta fase son amplias y lentas así como el ritmo respiratorio. Cuesta mucho despertarse en esa fase, que dura unos 20 minutos aproximadamente. No suelen producirse sueños. Ocupa el 20% del tiempo total de sueño. Se considera que ésta es la fase que determina una buena o mala calidad del sueño en términos de su eficiencia, esto es, la experiencia subjetiva de que el sueño ha sido o no reparador.

- **Fase REM**

Fase en la que el cerebro está muy activo, el tronco cerebral bloquea las neuronas motrices de manera que no se puede mover la persona. *REM* proviene de la frase en inglés *Rapid Eye Movement* (Movimiento del Ojo Rápido), debido al característico movimiento de los globos oculares bajo los párpados. Ésta es la fase donde se sueña y se capta gran cantidad de información del entorno debido a la alta actividad cerebral que se tiene. En esta fase se muestra una actividad cerebral semejante a la de la vigilia.

A continuación se van a explicar con más detalle los tipos de ondas existentes:

- **Ondas Delta**

Ondas de mayor amplitud y menor frecuencia (1 a 3 Hz). Normalmente están asociadas con etapas del sueño profundo. En la actividad cerebral, estas ondas se presentan en las etapas 3 y 4 del sueño, en casos de daño cerebral y coma. Estas se presentan en sueño profundo sin soñar y no están presentes en las otras etapas del sueño (1,2 y REM).

- **Ondas Theta**

Asociadas a las primeras etapas de sueño (fase 1 y 2). Se alcanzan bajo un estado de calma profunda.

- **Ondas Alpha**

Se originan durante periodos de relajación, con los ojos cerrados pero mientras se está todavía despierto. Estas ondas se atenúan al abrirse los ojos, con la somnolencia y el sueño. Se piensa que representan la actividad de la corteza visual en un estado de reposo.

- **Ondas Beta**

Son las ondas más frecuentes en comparación con el resto. Están asociadas con etapas de sueño nulo, donde se está despierto y consciente. Al realizar las actividades diarias, se está en Beta. Los niveles de beta más altos se traducen en estrés, ansiedad e inquietud.

- **Ondas Gamma**

Aunque se sabe poco de este estado de ánimo, la investigación inicial muestra que las ondas gamma están asociadas con explosiones de perspicacia y de alto nivel de procesamiento de la información.

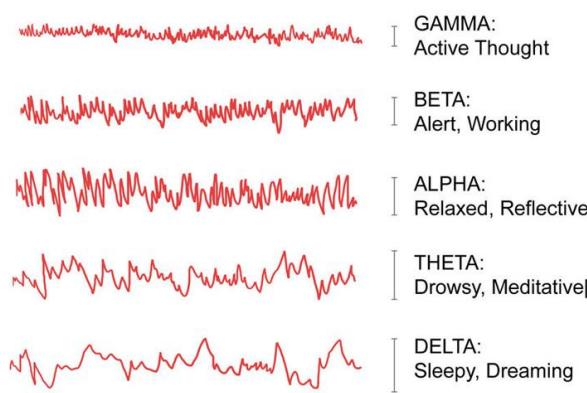


Figura 45: Tipos de ondas

Anexo D. Kit de desarrollo Muse

En este anexo se describe el kit de desarrollo de *Muse*. Este contiene todo lo necesario para construir una aplicación para *Android* y/o *iOs* y herramientas de investigación.

El SDK para crear aplicaciones de detección cerebral para *Android* y/o *iOs* contiene:

- **LibMuse:** una librería con todas las funciones que permiten desarrollar aplicaciones que usa la banda para la cabeza *Muse*.
- **Ejemplos de aplicaciones:** para usar como punto de partida, ya sea que esté desarrollando con *Android Studio*, *Xcode* o *Unity 3D*.
- **Documentación específica de la API de la librería.**

Las herramientas de investigación permiten sumergirse en los datos de *Muse* sin escribir ningún código y están disponibles para entornos de escritorio *Windows*, *Mac* o *Linux*. Estas contienen:

➤ MuseIO

Es un *driver* con entorno de escritorio que envía datos de *Muse* como mensajes *OSC*, *Open Sound Control* con los que otros programas pueden interactuar.

Su funcionamiento consiste en conectar *Muse* con el ordenador y ejecutar el *driver MuseIO*. Con ello se consigue enviar una corriente de mensajes *OSC* que contienen datos de *Muse* que otros programas pueden recibir. *OSC* es compatible con casi todos los principales lenguajes de programación.

Por ejemplo, puede enviar todos esos datos a *MuseLab*, herramienta para visualizar y grabar datos de *Muse*. O bien, puede enviar los datos a un programa que haya sido creado.

MuseIO proporciona acceso a diferentes datos, esto son: datos *EEG*, datos *Muse*, estado del casco, movimiento de los músculos, experimental, estado de la batería y la configuración del casco. Los más relevantes de cara a este proyecto son los siguientes:

- **Datos EEG**

Son los datos de *EEG* sin procesar para cada canal de *Muse*, estos se miden en *microvoltios*. Estos datos son muy complejos de analizar sin tener un conocimiento en neurociencia.

- **Datos Muse**

Como se indica en el punto anterior, es muy difícil trabajar con los datos sin procesar de *EEG*. Los datos *Muse* difieren a los datos *EEG* en que los primeros se calculan a partir de los valores de los segundos mediante diversos algoritmos de procesamiento.

En este apartado de Datos Muse se encuentran:

- **Potencia absoluta de banda**

La potencia absoluta de banda para un intervalo de frecuencias dado es el logaritmo de la suma de la Densidad Espectral de Potencia de los datos de *EEG* en ese intervalo de frecuencia. Son proporcionados por cada uno de los 4 a 6 canales o electrodos disponibles en *Muse*. Puesto que es un logaritmo, algunos de los valores serán negativos (es decir, cuando la potencia absoluta es menor que 1). Se dan en una escala logarítmica y las unidades son *Bels*.

- **Potencia relativa banda**

La potencia relativa de banda se calcula dividiendo la potencia absoluta de escala lineal en una banda sobre la suma de las potencias absolutas de escala lineal en todas las bandas. La potencia de banda de escala lineal se puede calcular a partir de la potencia de banda de escala logarítmica:

$$\text{Potencia de banda de escala lineal} = 10^{\text{potencia de banda de escala logarítmica}}.$$

Por lo tanto, las potencias relativas de banda pueden ser calculadas como porcentajes de potencias de banda de escala lineal en cada banda. Por ejemplo el *alpha* relativo es:

$$\frac{10^{\text{alpha_absolute}}}{10^{\text{alpha_absolute}} + 10^{\text{beta_absolute}} + 10^{\text{delta_absolute}} + 10^{\text{gamma_absolute}} + 10^{\text{theta_absolute}}}$$

El valor del resultado está dentro del rango 0 y 1.

- **Estado del casco**

Estos valores son usados para determinar si *Muse* está colocado en la cabeza correctamente y la conexión es buena. Tiene tres indicadores del estado del casco:

- **Touching Forehead:** es un valor booleano que indica que el casco toca la frente.
- **Headband Status Indicator:** indica el estado de cada uno de los cuatro canales, 1 equivale a *good*, 2 equivale a *OK* y mayor o igual que 3 equivale a *bad*.
- **Strict Headband Status Indicator:** indica el estado de cada uno de los cuatro canales, 1 equivale a *good* y 0 equivale a *bad*.

De estos indicadores el más útil es el segundo y es el que se usa en este tfg, ya que no solo muestra si el estado del canal es bueno o malo, si no tiene un paso intermedio que es *OK* que indica que hay actividad en el *Muse* pero esta llega de forma muy débil.

- **Movimiento de los músculos**

- o **Parpadeo:** es un valor *booleano* que indica que hay parpadeo.
- o **Mandíbula apretada:** es un valor *booleano* que indica que la mandíbula esta apretada.

- **Experimental**

En este apartado se mide la relajación y la concentración del usuario, estos valores están basados en *alpha* y *gamma* respectivamente. El cálculo de la relajación y la concentración se calcula, en todo momento, mediante una media ponderada en la que se puntúa de forma independiente cada canal de *alpha* y *gamma*.

- o **Concentración:** este valor sube cuando se está enfocado o pensando en algo en particular o tratando de resolver un problema. El valor es próximo a 1 cuando la atención se dirige a algo muy particular y con alta intensidad y va bajando hasta 0 conforme se pierde esa atención.
- o **Relajación:** este valor sube cuando se está relajado sin controlar las cosas que suceden alrededor o estando sin una tarea activa. El valor es próximo a 1 cuando la relajación es máxima y va bajando hasta 0 conforme se pierde esa relajación.

Todos estos datos los manda *Muse* cada 10Hz, es decir cada 0.1 segundos.

➤ **MuseLab**

Es una herramienta de visualización y grabación para ondas cerebrales y otros tipos de datos. Este recibe datos sobre *OSC* de *MuseIO* o de otro cliente *OSC* permitiendo ver dichas ondas y datos en tiempo real, grabarlos y anotarlos.

➤ **MusePlayer**

Es un programa de escritorio que puede grabar, reproducir, reenviar y convertir datos grabados como *OSC*. Esto puede ser usado para ver una sesión previamente grabada dentro de *MuseLab* o desarrollar y probar aplicaciones. Es un proyecto de código abierto, todo el código fuente y los ejemplos están disponibles en *Bitbucket*.

Anexo E. Aplicación Muse Monitor

En este anexo se describe y detalla la aplicación *Muse Monitor*. Dicha aplicación permite obtener en tiempo real datos de las ondas cerebrales de *EEG* representados gráficamente, directamente en el móvil o en la tablet, basta con llevar puesta y encendida la banda que se sincroniza mediante bluetooth con la aplicación. Los datos están divididos por canales: izquierda/derecha del cerebro, delante o detrás o incluso en sensores individuales.

Una de las características principales de esta aplicación es que permite grabar datos *EEG* a *Excel*, formato *CSV*, o en formato *Muse Protocol Buffer*. Este último para la reproducción en *Muse Player*.

El aspecto que presenta *Muse Monitor* puede observarse en las *Figuras 46 y 47*. En la *Figura 46* aparece una imagen con las distintas ondas cerebrales mientras que en la *Figura 47* aparece una imagen con los diferentes canales.



Figura 46: *Muse Monitor* con las distintas ondas cerebrales



Figura 47: *Muse Monitor* con los distintos canales

En la pantalla de *Muse Monitor* aparecen:

- Un símbolo con forma de herradura en el margen inferior izquierdo, según figuras antes citadas, que representa los sensores de *Muse* y cómo estos están conectados.
 - o Óvalos sólidos indican una buena conexión.
 - o Sólo el contorno coloreado indica una conexión pobre.
 - o Óvalos vacíos indican no conexión.
- Si la aplicación está activada para que pinte las distintas ondas que capta *Muse*, *Figura 48*, en la pantalla aparecerán los valores de *alpha*, *beta*, *delta*, etcétera. Estos son valores absolutos basados en el logaritmo de Densidad Espectral de Potencia [32].

Los valores de las ondas leídos del sensor están, por lo general, en el rango [-1 : +1]. Para el valor del texto estos son mostrados en un rango más legible, [0 : 100].

Los valores de *Mellow* y *Concentration* son interpretados subjetivamente, ya que son calculados por la interacción de algoritmos. Estos se muestran como porcentaje [0 : 100] en la pantalla mientras que en el *csv* se escriben en el rango [-1 : +1] para facilitar los gráficos juntos con los otros valores.

- Batería que le queda al dispositivo, en el margen inferior derecho.
- Permite seleccionar el formato en el que se muestran los datos, *CSV* o *Muse Format Buffer (.muse)*. Un ejemplo del formato *CSV*, que es el más utilizado, se puede ver en la *Figura X*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	TimeStamp	Alpha	TP9_Alpha	TP2_Alpha	TP10_Alpha	TP10_Beta	TP9_Beta	FP1_Beta	FP2_Beta	TP10_Delta	TP9_Delta	FP1_Gamma	TP9_Gamma	FP2_Gamma	TP10_Theta	TP9_Theta	FP2_Theta	TP10_Mellow	Concentration	RAW_W	RAW_FP1	RAW_FP2	RAW_TP10	TP10		
2	2016-02-22 12:22:31.0 2115146	-0.32038403	-0.63884157	0.02435352	0.189963	-0.13840937	-0.43720940	0.19473885	-0.10515776	-0.88070744	0.13937765	-0.35952457	0.04826073	-0.26264178	0.724202	-0.072793074	0.015589285	-0.8135049	-0.27929317	-0.1257127	-0.23844206	-0.25565714	876	77454	834	205.829
3	2016-02-22 12:22:32.0 2115146	-0.18890189	-0.468997	0.02435352	0.189963	-0.070216	-0.527788	0.19473885	-0.05157761	-1.0062244	0.13937765	-0.35952457	0.04826073	-0.344487	-0.3649802	-0.072779074	-0.015589285	-0.82974934	-0.308307	0.10257127	0.23844206	0.25565714	865.3994	87	295.360	10.848
4	2016-02-22 12:22:33.0 2115146	-0.18781312	-0.46899663	0.02435352	0.189963	-0.0507212	-0.504770	0.19473885	-0.05157761	-0.88070744	0.13937765	-0.35952457	0.04826073	-0.482835	-0.37379374	-0.015589285	-0.8135049	-0.27929317	-0.1257127	-0.23844206	-0.25565714	876	77454	834	205.829	
5	2016-02-22 12:22:34.0 2115146	-0.16840695	-0.41893796	0.02435352	0.189963	-0.047725	-0.4639395	0.19473885	-0.05157761	-0.5205924	0.13937765	-0.35952457	0.04826073	-0.42238874	-0.47258815	-0.027793074	-0.015589285	-0.801036	-0.23844206	-0.25565714	865.4983	874.821	833.821	780.15	846.5496	
6	2016-02-22 12:22:35.0 2115146	-0.16840695	-0.41893796	0.02435352	0.189963	-0.047725	-0.4639395	0.19473885	-0.05157761	-0.5205924	0.13937765	-0.35952457	0.04826073	-0.42238874	-0.47258815	-0.027793074	-0.015589285	-0.801036	-0.23844206	-0.25565714	865.4983	874.821	833.821	780.15	846.5496	

Figura 48: Ejemplo de formato CSV

- A la hora de grabar la actividad cerebral permite seleccionar el intervalo de tiempo: constante, 0.5 segundos, 1 segundo o 2 segundos.
- Permite seleccionar el servidor y el puerto OSC

Respecto a la representación de las ondas cerebrales:

- Permite seleccionar que ondas u ondas se quieren mostrar así como el algoritmo deseado: *alpha*, *beta*, *gamma*, *delta*, *tetha*, *mellow* o *concentration*.

- Permite seleccionar el tipo de canales que se desea mostrar, algunos de ellos son:

- Media de todos los canales: FP1, FP2, TP9 Y TP10



Figura 49: Media de los canales

- Muestra los canales FP1 y TP9 (izquierdo) y los canales FP2 y TP10 (derecho).



Figura 50: Canales izquierdo y derecho

Anexo F. Implementación de la demo

En este anexo se detalla la implementación que se ha llevado a cabo a la hora de integrar los sensores *Fitbit* y *Muse* en el entorno colaborativo de Etopía como paso previo a la realización de la demo interactiva. En primer lugar, se introduce la arquitectura que conforma dicho entorno (ver *Figura 51*) con el objetivo de implantar un marco general en el que se engloba el trabajo realizado. Ésta se divide en tres grupos: sensores, actuadores y un nivel intermedio.

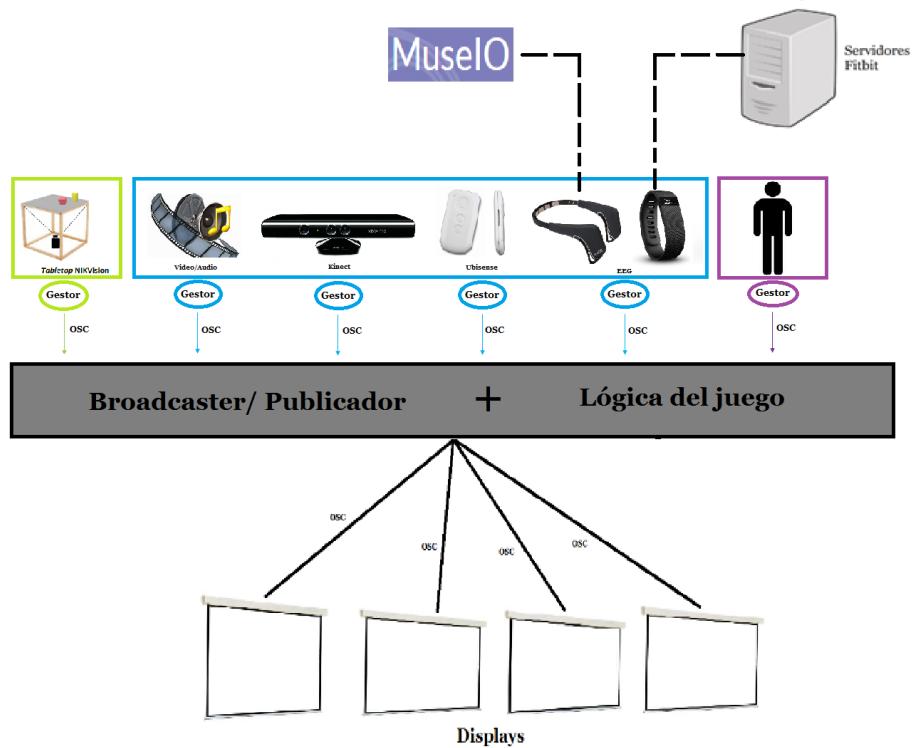


Figura 5151: Arquitectura que forma el entorno

El conjunto engloba todos los elementos utilizados para obtener información del mundo real y va desde sensores tangibles como puede ser el *Tabletop NikVision*, hasta el propio usuario que realiza la demo, pasando por sistemas de captura como audio/vídeo, *Kinects*, sensores de posicionamiento, etc. En el segundo grupo se encuentran los actuadores o *displays*, los cuales permiten visualizar el juego incorporando la información recaba por los sensores. El proceso de transformación de dichos datos en elementos visibles proyectados en los *displays* es realizado por un nivel intermedio. Dicho nivel comprende dos elementos altamente diferenciables:

- **Publicador/broadcaster:** recibe todos los datos proporcionados por los sensores mediante una comunicación OSC. La información recibida ha de haber sido previamente normalizada entre 0 y 1. Su papel es el de intermediario entre los sensores y la lógica del juego, ya que es el único agente que se comunica ésta.
- **Lógica del juego:** se encarga de interpretar los valores transmitidos por el *broadcaster* y fusionarlos dentro de la dinámica del juego. Esto conlleva una serie de transformaciones o modificaciones en el mundo del juego, las cuales se envían a los *displays* en forma de órdenes a pintar.

Los cambios llevados a cabo en esta arquitectura para la implementación de la demo en este trabajo consisten en introducir la pulsera de actividad *Fitbit* y la banda para la cabeza *Muse* como dos nuevos sensores. Estos han de comunicarse con el *broadcaster* para que el juego ejecutado varíe en función de los datos medidos. Aunque cada sensor tiene sus peculiaridades a la hora de recabar los datos, ambos siguen el mismo flujo: el sensor se conecta con un ordenador, éste se registra en el entorno, se crea un canal de comunicación entre ambos elementos y se envían los datos leídos a través de él. A continuación se especifican los detalles existentes en la integración de cada uno de los dos sensores.

➤ Integración de la banda *Muse*

En este caso existe un paso intermedio para realizar la conexión entre la banda para la cabeza y el ordenador. Se utiliza un driver facilitado por *Muse* denominado *MuseIO* que hace un papel de intermediario al conectarse con la pulsera y reenviar los datos a la dirección especificada en forma de paquetes OSC. Es por ello que se implementa un servidor OSC que recibe los mensajes trasmítidos por el driver y los trasforma al formato deseado para finalmente enviarlos al nivel intermedio. Tanto el driver como servidor son ejecutados en la misma máquina. El código realizado en este proceso es el siguiente:

```
import oscP5.*;
import netP5.*;

// OSC PARAMETERS & PORTS
int listenPort = 13000;
OscP5 oscP5;
NetAddress myBroadcastLocation;
String remoteIP="192.168.0.2"; // IP de la mesa
String remotePort=32000 // Puerto de la mesa

// DISPLAY PARAMETERS
int WIDTH = 100;
int HEIGHT = 100;

/* Inicializacion del programa*/
void setup() {
    size(WIDTH,HEIGHT);
    frameRate(60);

    /* Creacion del servidor OSC.
     * Automaticamente se asocia la funcion oscEvent a la
     * llegada de cualquier paquete OSC */
    oscP5 = new OscP5(this, listenPort);
    /* Direccion de la mesa */
    myBroadcastLocation = new
    NetAddress(remoteIP,remotePort);
    /* Inicio de la conexion */
    connect();
    background(0);
}
```

```

/* Esta funcion realiza la conexion con la mesa dejando
abierto un canal de comunicacion.*/
public void connect() {
    /* Conexion */
    OscMessage m;
    println("conectar");
    String address="/sensor/connect";
    m = new OscMessage(address,new Object[0]);
    m.add(listenPort);
    OscP5.flush(m,myBroadcastLocation);
    /* Registro */
    OscMessage mAdd;
    address="/sensor/1D/casco";
    mAdd = new OscMessage(address,new Object[0]);
    mAdd.add("add");
    mAdd.add("1");
    mAdd.add("1");
    mAdd.add(1f);
    OscP5.flush(mAdd,myBroadcastLocation);
}
void draw() {
    background(0);
}

/*Funcion que se ejecuta siempre que el servidor recibe un
paqueteOSC. Lo transforma al formato deseado y lo envia al
broadcaster.*/
void oscEvent(OscMessage msg) {
/* Concentracion */
/*if
(msg.checkAddrPattern("/muse/elements/experimental/concentrati
on")==true) {
    System.out.print("***** Concentracion: " +
    msg.get(0).floatValue() + " !!!\n");
    OscMessage mConcentracion;
    String address="/sensor/1D/casco";
    mConcentracion = new OscMessage(address,new Object[0]);
    mConcentracion.add("move");
    mConcentracion.add("1");
    mConcentracion.add("1");
    mConcentracion.add(msg.get(0).floatValue());
    OscP5.flush(mConcentracion,myBroadcastLocation);
}*/
/* Relajacion */
if
(msg.checkAddrPattern("/muse/elements/experimental/mellow")=
=true) {
    System.out.print("***** Relajacion: " +
    msg.get(0).floatValue() + " !!!\n");
    OscMessage mConcentracion;
    String address="/sensor/1D/casco";
    mConcentracion = new OscMessage(address,new Object[0]);
    mConcentracion.add("move");
    mConcentracion.add("1");
    mConcentracion.add("1");
    mConcentracion.add(msg.get(0).floatValue());
    OscP5.flush(mConcentracion,myBroadcastLocation);
}
}

```

➤ Integración de la pulsera de actividad *Fitbit*

El uso de la pulsera Fitbit conlleva más complicaciones ya que no dispone de un driver que se comunica con la ella. Tras estudiar la aplicación existente para dispositivos móviles se ha comprobado que el protocolo de comunicación no sigue ningún estándar ni se encuentra descrito en la documentación ofrecida por Fitbit en su página web. Por ello la única alternativa consiste en consultar los datos almacenados en sus servidores, realizando la sincronización de los datos de forma forzosa mediante un dispositivo móvil externo.

De este modo el servidor OSC es sustituido por un proceso periódico que se ejecuta cada medio minuto y realiza peticiones a la API de Fitbit para obtener los datos previamente sincronizados. Al realizar peticiones en intervalos inferiores a un minuto, los valores de pulso son calculados por Fitbit tomando en cuenta el ritmo cardiaco de las mediciones anteriores.

Finalmente, dicho proceso parsea los resultados devueltos por la API para poder separar los valores de pulsaciones por minuto, normalizarlos y enviarlos al entorno en forma de paquete OSC. La resolución con la que se piden los datos a la API es la máxima que sea posible en ese intervalo, por lo que se puede llegar a medir más de un valor de pulso cardiaco en cada intervalo. Todos esos valores medidos son enviados al entorno para suavizar la espera entre cada consulta. El código realizado en este proceso es el siguiente:

```
package tfg;

import java.util.Timer;

public class Gestor {

    public static void main(String[] args){
        // Crear una tarea de recopilación de datos cada 30s
        Timer timer = new Timer();
        timer.schedule(new Tarea(), 0, 30000);
    }
}

package tfg;

import java.util.ArrayList;
import java.util.TimerTask;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStreamReader;
import java.net.HttpURLConnection;
import java.net.URL;

import oscP5.*;
import netP5.*;
```

```

public class Tarea extends TimerTask {

    // Token de autentificacion de la API de Fitbit
    private final String TOKEN =
"eyJhbGciOiJIUzI1NiJ9eyJzdWIiOiIzWDQ3MkMiLCJhdWQiOiIyMjdZO
VMiLCJpc3MiOiJGaXRiaXQiLCJ0eXAiOiJhY2Nlc3NfdG9rZW4iLCJzY29w
ZXMiOiJyc29jIHZjZXQgcmFjdCBybG9jIHZjZWkgcmhyIHJudXQgcnBybyB
yc2xliiwZXhwIjoxNDc5NTg0MTE0LCJpYXQiOjE0Nzk1NTUzMTR9.r6Xn_
bHZjp1Au5HgJcWQLJjy2otj2J2tf1W-q36Z538";
    // URL de la API de Fitbit sobre la que hacer las consultas
    private final String URL = "https://api.fitbit.com/1/user-"
        "/activities/heart/date/today/1d/1sec.json";
    private final String remoteIP = "192.168.0.2"; //IP mesa
    private final int remotePort = 32000; // Puerto de la mesa
    OscP5 oscP5;
    NetAddress myBroadcastLocation;

    public void run() {
        System.out.println("Enviando petición!");
        this.myBroadcastLocation = new
        NetAddress(remoteIP,remotePort);
        // Inicio de la conexion
        connect();

        try{
            // Creacion de la peticion GET a la API
            URL obj = new URL(URL);
            HttpURLConnection con = (HttpURLConnection)
            obj.openConnection();
            con.setRequestMethod("GET");
            // Añadir token de seguridad a la peticion
            con.setRequestProperty("Authorization", "Bearer
            "+TOKEN);

            // Leer respuesta con los datos
            BufferedReader in = new BufferedReader(new
            InputStreamReader(con.getInputStream()));
            String inputLine;
            StringBuffer response = new StringBuffer();
            while ((inputLine = in.readLine()) != null) {
                response.append(inputLine);
            }
            in.close();

            // Parsear la respuesta devolviendo un array de
            // las pulsaciones medidas en el ultimo intervalo
            // normalizadas entre 0 (60 lpm) y 1 (120 lpm)
            ArrayList<Float> pulsaciones =
            parsearRespuesta(response.toString());
        }
    }
}

```

```

        // Enviar mediciones al broadcaster
        for(int i=0; i<pulsaciones.size();i++) {
            System.out.print("***** Pulsación: " +
            pulsaciones.get(i) + "\n");
            OscMessage mConcentracion;
            String address="/sensor/1D/casco";
            mConcentracion = new
            OscMessage(address,new Object[0]);
            mConcentracion.add("move");
            mConcentracion.add("1");
            mConcentracion.add("1");
            mConcentracion.add(pulsaciones.get(i));
            OscP5.flush(mConcentracion,
            myBroadcastLocation);
        }

        }catch(Exception e){
            System.err.println("ERROR");
        }
    }

    private void connect(){
        // Conexion
        OscMessage m;
        System.out.println("conectar");
        String address="/sensor/connect";
        m = new OscMessage(address,new Object[0]);
        m.add(13000);
        OscP5.flush(m,myBroadcastLocation);
        // Registro
        OscMessage mAdd;
        address="/sensor/1D/pulsera";
        mAdd = new OscMessage(address,new Object[0]);
        mAdd.add("add");
        mAdd.add("1");
        mAdd.add("1");
        mAdd.add("1");
        OscP5.flush(mAdd,myBroadcastLocation);
    }

}

```

Anexo G. Evaluación de la experiencia de usuario

En este anexo se muestra el cuestionario *IMI* [29] y las respuestas dadas por el usuario. Dicho cuestionario, tal y como se ha comentado en la sección 5.3. *Evaluación de la experiencia de usuario*, ha sido llevado a cabo para la valoración de la demo realizada.

Danos una rápida opinión sobre la actividad que acabas de realizar

Nombre: CARLOS BELLO GIMENO

	Muy en desacuerdo					totalmente de acuerdo	
1. Durante la actividad, pensaba en lo mucho que estaba disfrutando					████		
2. No me he sentido nervioso@ para nada durante la actividad		████					████
3. La actividad no ha sido capaz de mantener mi atención	████						
4. Pienso que lo he hecho realmente bien durante la actividad.					████		
5. La actividad me ha parecido muy interesante					████		
6. Me he sentido muy tens@ durante la actividad		████					
7. La actividad ha sido muy divertida					████		
8. Estoy satisfecho con mi rendimiento en esta actividad				████			
9. Durante la actividad, en todo momento sentía que tenía el control de lo que hacía				████			
10. Me he sentido presionado durante la actividad	████						

11. Durante la actividad, estaba pensando en otras cosas

1	2	3	4	5	6	7

12. Me he distraído frecuentemente con otras cosas ajenas a la actividad

1	2	3	4	5	6	7

13. He sentido que no era mi elección el realizar la tarea

1	2	3	4	5	6	7

14. La actividad ha sido intrínsecamente interesante

1	2	3	4	5	6	7

15. La actividad ha despertado mi curiosidad

1	2	3	4	5	6	7

16. Me he sentido tan inmerso en la actividad que he perdido la noción del tiempo

1	2	3	4	5	6	7

17. Salgo con una opinión muy positiva de la actividad

1	2	3	4	5	6	7

18. La actividad ha estimulado mi imaginación

1	2	3	4	5	6	7

19. Estoy deseando participar en otra actividad similar

1	2	3	4	5	6	7

Bibliografía

- [1] MORILLO, H.; MACIÁ, F.; JORQUERA, D. Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes. Aplicación a la Monitorización de Variables Fisiológicas. 2013.
- [2] ALDECOA, José Antonio Vázquez. La llegada de las nuevas tecnologías afectivas al sector cultural.
- [3] PICARD, Rosalind W.; HEALEY, Jennifer. Affective wearables. *Personal Technologies*, 1997, vol. 1, no 4, p. 231-240.
- [4] CHEN, Min, et al. AIWAC: affective interaction through wearable computing and cloud technology. *IEEE Wireless Communications*, 2015, vol. 22, no 1, p. 20-27.
- [5] GIGA Affective Lab.
<http://giga.cps.unizar.es/affectivelab/>
- [6] ETOPIA – Centro de Arte y Tecnología.
<http://www.zaragoza.es/ciudad/etopia/>
- [7] ACTAS DEL XVII CONGRESO INTERNACIONAL DE INTERACCIÓN PERSONA-ORDENADOR – INTERACCIÓN: Juegos pervasivos 2016 Lourdes Moreno López; Ernesto Jesús de la Rubia Cuestas; Víctor M. R. Penichet; Francisco José García-Peña, p. 2-5.
- [8] Página oficial de Rosalind Picard.
<http://web.media.mit.edu/~picard/index.php>
- [9] Clasificación wearables
<http://www.vadewearables.com/>
- [10] Q Sensor.
<http://www.affectiva.com/>
- [11] Uso Q Sensor.
<http://www.technologyreview.es/negocios/37701/prevenir-que-los-clientes-se-estresen/>
- [12] Runtastic Orbit.
<https://www.runtastic.com/es/orbit>
- [13] E4.
<https://www.empatica.com/e4-wristband>

- [14] GHOSH, Arindam, et al. Detection of essential hypertension with physiological signals from wearable devices. En *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. IEEE, 2015. p. 8095-8098.
- [15] Embrace.
<https://www.empatica.com/product-embrace>
- [16] Uso Embrace.
<http://boston.cbslocal.com/2014/12/16/boston-childrens-hospital-testing-epileptic-seizure-detecting-watch/>
- [17] Fitbit Charge HR.
<https://www.fitbit.com/es/chargehr>
- [18] Hiji Band.
<http://www.hijiband.com/>
- [19] Muse: the brain sensing headband.
<http://www.choosemuse.com/>
- [20] Emotiv EPOC.
<https://www.emotiv.com/>
- [21] CAMPBELL, Andrew, et al. NeuroPhone: brain-mobile phone interface using a wireless EEG headset. En *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networking, systems, and applications on mobile handhelds*. ACM, 2010. p. 3-8.
- [22] Chaleco GPS.
<http://statsports.com/football/>
- [23] Uso chaleco GPS.
http://deportes.elpais.com/deportes/2015/04/04/actualidad/1428169956_793269.html
- [24] Sensoree.
<http://sensoree.com/>
- [25] Body termocrómico
<http://www.rapife.com/web/es/tecnologia-saludable>
- [26] Bellabeat Leaf.
<https://webshop.bellabeat.com/pages/leaf>
- [27] Ear-O-Smart
<http://www.earosmart.com/>
- [28] Electroencefalografía.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Electroencefalograf%C3%A3>

- [29] IMI de Souza Alcantara T, Ferreira J, & Maurer F (2013) Interactive prototyping of tabletop and surface applications. In Proceedings of the 5th ACM SIGCHI symposium on Engineering interactive computing systems (pp. 229–238). ACM
- [30] Diagrama de Gantt
https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Gantt
- [31] Sistema 10-20.
[https://en.wikipedia.org/wiki/10-20_system_\(EEG\)](https://en.wikipedia.org/wiki/10-20_system_(EEG))
- [32] Densidad espectral.
https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad_espectral