

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Evaluación de experiencia de usuario mediante sensores biométricos cerebrales

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

Ivan Ubaldo Carrillo Rodríguez

Ensenada, Baja California, Diciembre del 2016.

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Evaluación de experiencia de usuario mediante sensores biométricos cerebrales

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta

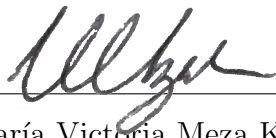
Ivan Ubaldo Carrillo Rodríguez

Aprobada por:



Dr. Alberto Leopoldo Morán y Solares

Director de Tesis



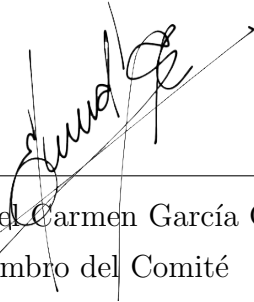
Dra. María Victoria Meza Kubo

Codirectora de Tesis



Dra. María Trinidad Serna Encinas

Miembro del Comité



Dra. Eloísa del Carmen García Canseco

Miembro del Comité



MC. Gilberto Mnauel Galindo Aldana

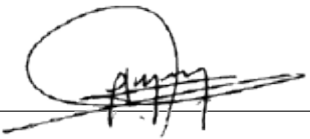
Miembro del Comité

Ensenada, Baja California, Diciembre del 2016.

RESUMEN de la Tesis de **Ivan Ubaldo Carrillo Rodríguez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS. Ensenada, Baja California. Diciembre del 2016.

**Evaluación de experiencia de usuario mediante sensores biométricos
cerebrales**

Resumen aprobado por:



Dr. Alberto Leopoldo Morán y Solares
Director de Tesis

Existen diferentes técnicas tradicionales para poder determinar la experiencia de usuario, incluyendo: cuestionarios, pensar en voz alta, observación directa, observación indirecta, entre otros.

Sin embargo, cada uno de estos métodos permite registrar sólo una parte de la información necesaria para determinar dicha experiencia, por lo cual es necesario emplear más de uno de ellos para poder tener mayor información, incrementando el tiempo necesario para la obtención y análisis de la información para los evaluadores.

En estudios de experiencia de usuario en el área de videojuegos, además de emplear técnicas tradicionales para evaluar la experiencia de juego, se emplean datos psicofisiológicos, estos datos son registrados mediante dispositivos tecnológicos que hacen factible la adquisición de señales como: electroencefalografía, respuesta galvánica de la piel, electromiografía, y seguimiento de ojos, entre otros.

En este trabajo de tesis se propuso determinar la experiencia de usuario utilizando registros de actividad eléctrica cerebral (datos psicofisiológicos) y contrastar dichos resultados con los de las técnicas tradicionales.

Para ello, se empleó el dispositivo Emotiv Epoc que registra la actividad eléctrica cerebral. Además se implementaron un conjunto de algoritmos para el preprocesamiento de dichos registros, y se diseñó una red neuronal supervisada, Paternet, para la clasificación de los datos e inferir emociones del usuario. Así mismo, se emplearon

técnicas tradicionales como cuestionarios y observación indirecta con el fin de contrastar los resultados que genera la red neuronal y los obtenidos mediante estas otras técnicas.

Primeramente, se realizó un estudio para determinar qué tipo de emociones pueden ser identificadas con el dispositivo Emotiv Epoc. Posteriormente se realizó un estudio para obtener los registros de actividad eléctrica cerebral correspondientes a cada emoción identificada. Las emociones de agrado y desagrado fueron claramente diferenciadas en este estudio, y sirvieron como entrada para el entrenamiento de la red neuronal. La red neuronal entrenada arrojó un 93.3% de efectividad en el reconocimiento de ambas emociones.

Se realizó el caso de estudio con la aplicación AbueParty. El análisis comparativo de los resultados obtenidos empleando la red neuronal diseñada y los obtenidos con las técnicas tradicionales sugieren que las técnicas como el autoreporte por cuestionarios suelen arrojar resultados subjetivos. Por un lado, el 100% de los participantes indicó haber tenido una experiencia agradable utilizando la aplicación, mientras que en el análisis por observación se concluyó que un 65.22% muestra actitudes de agrado del uso de la aplicación, 17.9% de desagrado y 17.39% neutrales.

Por otro lado, los resultados obtenidos con la red neuronal fueron que el 73.91% de los participantes mostró actitudes de agrado del uso de la aplicación y 26.09% de desagrado, lo cual es muy semejante a la evaluación por observación indirecta.

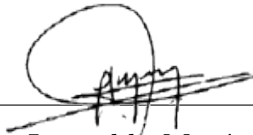
Finalmente, estos resultados demuestran la factibilidad de utilizar datos psicofisiológicos para determinar la experiencia de usuario, además de que pueden emplearse técnicas tradicionales para validar los resultados obtenidos.

Palabras clave: Experiencia de usuario, técnicas tradicionales, red neuronal, AbueParty, datos psicofisiológicos, electroencefalograma, actividad eléctrica cerebral, Emotiv Epoc.

ABSTRACT of the thesis, presented by **Ivan Ubaldo Carrillo Rodríguez**, in order to obtain the MASTER IN SCIENCE. Ensenada, Baja California. Diciembre del 2016.

Assessment of user experience using brain biometric sensors

Approved by:



Dr. Alberto Leopoldo Morán y Solares

Thesis Advisor

There are different traditional techniques to assess user experience, including: questionnaires, think aloud, direct and indirect observation, among others.

However, each of these methods allows to register only a part of the information needed to assess the user experience, so it is necessary to use more than one of them in order to obtain more information, increasing the time required by evaluators to gather and analyse data.

In videogames user experience studies, psychophysiological data is used in addition to traditional techniques to determine the game experience, these data are recorded through technological devices that make feasible signal acquisition, such as: electroencefalography, galvanic skin response, electromyography, and eye tracking, among others.

In this thesis, it is proposed to determine the user experience using cerebral electrical activity (psychophysiological data) and to compare these results with those of traditional techniques.

To do so, the Emotiv Epoc device was used to record the brain electrical activity. In addition, a set of algorithms for data preprocessing were implemented, and a supervised Paternetneural network was designed to classify the data and infer user emotions. Also, traditional techniques such as questionnaires and indirect observation were used in order to contrast the results generated by the neural network and those obtained by these other techniques.

Firstly, a study was conducted to determine what type of emotions can be identified with the Emotiv Epoc device. Subsequently an evaluation was performed to obtain records of brain electrical activity corresponding to each emotion identified. Pleasure and unpleasure emotions were clearly differentiated in this study, and served as input for neural network training. The trained neural network showed a 93.3 % effectiveness in the recognition of both emotions.

An evaluation was carried out with the AbueParty application. The comparative analysis of the results obtained using the designed neural network and those obtained with the traditional techniques suggested that techniques such as self-report using questionnaires usually yield subjective results. On the one hand, 100 % of participants indicated having had a pleasant experience using the application; while, in the analysis by observation, it was concluded that 65.22 % shown attitudes of satisfaction of the use of the application, 17.9 % of displeasure and 17.39 % of neutral.

On the other hand, the results obtained with the neural network were that 73.91 % of the participants shown attitudes of pleasure on the use of the application and 26.09 % of displeasure.

These results show the feasibility of using psychophysiological data to determine the user experience, in addition to the use of traditional techniques to validate the obtained results.

Keywords: User experience, traditional techniques, neural network, AbueParty, psychophysiological data, electroencephalogram, Brain electrical activity, Emotiv Epoc.

Agradecimientos

Quiero agradecer:

A mi Comité de tesis, por todas sus observaciones durante los avances de tesis y las recomendaciones para que este documento tuviera una mejor calidad y claridad.

A mis compañeros de posgrado, Ana y Cristina, Takao, Edgar y Gilberto, muchas gracias por su amistad y por su apoyo durante esta etapa.

A mis profesores, tanto de UABC como de CICESE por todo lo aprendido y sus recomendaciones brindadas.

A todos los adultos mayores que participaron en este estudio; muchas gracias por tener la disposición de participar en las actividades a las que fueron invitados.

Y finalmente, a la Universidad Autónoma de Baja California y la Facultad de Ciencias, por las facilidades otorgadas para la realización de éste trabajo y a CONACYT.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Área de oportunidad	2
1.3. Trabajo Relacionado	2
1.4. Las emociones	5
1.4.1. ¿Qué son las emociones?	5
1.4.2. Emociones básicas	5
1.4.3. Emociones y regiones cerebrales	6
1.5. Propuesta	9
1.6. Justificación	9
1.7. Planteamiento del problema	12
1.8. Objetivos de la investigación	12
1.8.1. Objetivo general	12
1.8.2. Objetivos específicos	12
1.9. Metodología	13
1.10. Contribuciones	14
1.11. Contenido de la tesis	14
2. Registro y Procesamiento de la Señal EEG	16
2.1. Anatomía del cerebro	16
2.1.1. La neurona	17
2.1.2. Métodos para el registro de la actividad cerebral	18
2.1.3. Sistema Internacional 10 -20	19
2.1.4. Ondas cerebrales	20
2.1.5. Artefactos en la señal EEG	21

2.2. Análisis EEG	22
2.2.1. Filtrado de la señal eléctrica cerebral	22
2.2.2. Ventanas	23
2.2.3. Procesado de señales	24
2.2.4. Clasificación	25
2.2.5. Resumen del capítulo	29
3. Estimulación afectiva y estudios preliminares	30
3.1. Las Emociones	30
3.1.1. Sistema Internacional de Imágenes Afectivas	30
3.1.2. Maniquí de Auto Evaluación	31
3.1.3. Evaluación para identificar estados emocionales utilizando estímulos visuales de IAPS	32
3.1.4. Prueba Piloto I: Obtener características de las emociones (agrado y desagrado) registradas en el EEG empleando estímulos visuales de IAPS	41
3.1.5. Resultados obtenidos	43
3.1.6. Resumen del capítulo	53
4. Prueba Piloto II: AbueParty	54
4.0.7. Descripción de AbueParty	54
4.0.8. Actividades de la prueba piloto	56
4.0.9. Resumen del capítulo	66
5. Caso de Estudio: AbueParty	67
5.1. Resultados	73
5.1.1. Experiencia de Usuario: Cuestionario TAM	73
5.1.2. Experiencia de Usuario: Análisis Cualitativo de Videos	74
5.1.3. Experiencia de Usuario: Registros de Actividad Cerebral	76
5.2. Discusión	76
6. Conclusiones, Contribuciones y Trabajo Futuro	79
6.1. Conclusiones	79
6.2. Contribuciones	80

6.3. Trabajo Futuro	81
A. Anexo I: Primer prueba piloto con IAPS.	83
A.0.1. Alegría	83
A.0.2. Desagrado	84
A.0.3. Neutral	85
A.0.4. Miedo	86
B. Anexo II: Segunda prueba piloto con IAPS.	87
B.0.5. Alegría	87
B.0.6. Desagrado	88
B.0.7. Neutral	89
C. Anexo III: Documentos utilizados.	90
C.0.8. Documento de Consentimiento	90
C.0.9. Entrevista Estructurada	94
C.0.10. MMSE	96
C.0.11. Cuestionario TAM	100

Índice de figuras

1.1. Metodología	13
2.1. Estructura externa del cerebro ¹	17
2.2. Estructura básica de la neurona.	18
2.3. Ejemplo de EEG, ECoG y Micro electrodos	19
2.4. Sistema Internacional 10-20.	20
2.5. Ondas cerebrales.	21
2.6. Ejemplo de una red bayesiana ²	26
2.7. Ejemplo de una SVM ³	27
2.8. Ejemplo de una cadena de Markov ⁴	27
2.9. Ejemplo de un árbol de desición ⁵	28
2.10. Relación entre la estructura básica de una neurona artificial y una neurona biológica.	29
3.1. Ejemplo de imágenes de IAPS y su nomenclatura.	31
3.2. Respuesta controlado.	32
3.3. Respuesta excitado.	32
3.4. Respuesta feliz.	32
3.5. Ejemplo de imágenes seleccionadas de IAPS para cada categoría	34
3.6. Secuencia de presentación de estímulos visuales IAPS.	36
3.7. Ejemplo de la evaluación.	37
3.8. Respuestas verbales categoría de agrado.	37
3.9. Respuestas verbales categoría de desagrado.	37
3.10. Respuestas verbales categoría de miedo.	38
3.11. Respuestas verbales categoría neutral.	38
3.12. Espectro de la onda cerebral Alfa.	38

3.13. Espectro de la onda cerebral Beta.	39
3.14. Espectro de la onda cerebral Theta.	39
3.15. Ejemplo de imágenes de IAPS utilizadas.	41
3.16. SAM Modificado.	42
3.17. Diagrama de la presentación de imágenes IAPS.	42
3.18. Diagrama de las actividades realizadas.	43
3.19. Matriz de confusión de red neuronal.	51
3.20. Estructura de la red neuronal utilizada.	52
4.1. Diagrama de actividades en la prueba piloto.	57
4.2. Adultos mayores que participaron en la prueba piloto.	58
4.3. Resultados de autoreporte TAM.	63
4.4. Actividades realizadas para el análisis con la red neuronal.	64
5.1. AbueParty	68
5.2. Etapas de la evaluación.	70
5.3. Captura de los nombres de cada participante.	71
5.4. Tablero AbueParty.	72
5.5. Participantes en la evaluación.	72
A.1. Imágenes seleccionadas para evocar Alegría.	83
A.2. Imágenes seleccionadas para evocar Desagrado.	84
A.3. Imágenes seleccionadas para evocar un estado Neutral.	85
A.4. Imágenes seleccionadas para evocar Miedo.	86
B.1. Imágenes seleccionadas para evocar Alegría.	87
B.2. Imágenes seleccionadas para evocar Desagrado.	88
B.3. Imágenes seleccionadas para evocar un estado Neutral.	89

Índice de tablas

1.1. Ejemplo de dispositivos utilizados para la detección de emociones. . . .	8
1.2. Dispositivos comerciales de bajo costo para registrar la actividad eléctrica cerebral.	10
1.3. Especificaciones del dispositivo Emotiv Epoc.	11
2.1. Tipos de artefactos biológicos y técnicos	22
2.2. Ventanas más comunes.	24
2.3. Algunas propiedades básicas de la Transformada de Fourier.	25
4.1. Emociones y sus características a buscar en los videos.	59
4.2. Experiencia de Usuario de acuerdo al análisis de los videos.	61
4.3. Experiencia de Usuario de acuerdo al análisis de las respuestas TAM. .	63
4.4. Experiencia de Usuario de acuerdo a la clasificación de la Red Neuronal.	64
4.5. Resultados de la Experiencia de Usuario en Prueba Piloto	66
5.1. Tabla con los resultados de la experiencia de usuario.	77

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO por sus siglas en inglés) define la experiencia de usuario como "las percepciones y respuestas generadas por una persona, ya sea por el uso anticipado o no de un producto, sistema o servicio" [Petrie and Bevan, 2009].

Medir la experiencia de usuario es muy complicado ya que intervienen múltiples factores que no se pueden controlar o son ajenos al producto, sistema o servicio que el usuario esté utilizando.

Algunos factores que pueden modificar la experiencia de usuario son: a) el contexto, por ejemplo el entorno (físico y social) en el cual se desarrolla la interacción; b) el grupo social, el cual puede ser infantil, juvenil, adulto o adulto mayor; c) el estado de ánimo; d) los problemas físicos, éstos son factores que pueden estar presentes en una persona. Otros factores que pueden presentarse en referencia al contexto de las aplicaciones o productos incluyen: a) la funcionalidad; b) el diseño; d) la estética; e) y la simbología, entre otros [Roto et al., 2011].

Existen diferentes técnicas para medir la experiencia de usuario tales como: observación ya sea directa o indirecta [Kuniavsky, 2003] [Turunen et al., 2009], cuestionarios [Laugwitz et al., 2008], y diarios [Turunen et al., 2009] entre otras; empleando más de una técnica durante una evaluación es posible obtener mayor información para determinar la experiencia de usuario [Bevan,] [Arhippainen, 2003] [Hornb et al., 2006].

Sin embargo, utilizar diferentes técnicas incrementa de manera considerable el número de horas que hay que dedicar al análisis de los datos.

1.2. Área de oportunidad

Existe evidencia de que al aplicar técnicas para evaluación de la experiencia de usuario se presentan algunas limitaciones, por ejemplo, al emplear cuestionarios la respuesta es subjetiva y no corresponde a la actividad que se está realizando al momento [Mandryk et al., 2005]; al utilizar grabaciones de audio y/o video es necesario llevar a cabo un análisis riguroso de los datos para la codificación de gestos, expresiones verbales y no verbales, entre otras [Mandryk et al., 2005]; por otro lado, la técnica de pensar en voz alta no es recomendable en evaluaciones de tecnologías del entretenimiento ya que puede llegar a distraer a los participantes [Mandryk et al., 2006]; finalmente, emplear la observación directa requiere conocimientos relacionados con la cognición y el reconocimiento de expresiones faciales con el fin de interpretar de manera adecuada las respuestas dadas por el usuario en la actividad [Arhippainen, 2003].

En este trabajo de investigación se desea explorar técnicas psicofisiológicas para evaluar la experiencia de usuario empleando la actividad eléctrica cerebral de los participantes. Los resultados obtenidos serán contrastados con técnicas tradicionales.

Este trabajo se enfoca en la evaluación de experiencia de usuario en adultos mayores.

1.3. Trabajo Relacionado

La evaluación de la experiencia de usuario no puede ser mediante la bitácora de una aplicación, donde se toma el tiempo que se tarda un usuario en realizar alguna tarea, o el número de clicks realizados o el número de errores cometidos; la experiencia de usuario es subjetiva, por ello es necesario saber cómo se va sintiendo el usuario mientras interactúa con la aplicación, ya que las motivaciones y expectativas que tiene el usuario llegan a afectar su experiencia de uso [Obrist and Roto, 2009].

La experiencia de usuario depende mucho del contexto, la experiencia sobre un mismo diseño pero en diferentes circunstancias siempre es muy diferente [Obrist and Roto, 2009].

Para poder evaluar la experiencia de usuario hay que tomar en consideración que

existen diferentes factores, algunos de los cuales no podemos controlar. Estos factores influyen en cómo un usuario interactúa ya sea con un dispositivo o software, entre otros [Arhippainen, 2003].

A continuación se describen diferentes técnicas que pueden ser empleadas para evaluar la experiencia de usuario:

1. Entrevista y/o Cuestionario:

Es una manera apropiada de obtener información acerca de la interacción además de poder obtener datos estadísticos de manera rápida. En las entrevistas narrativas el usuario describe las situaciones que se presentan mientras interactúa con el producto y es posible identificar contenido emocional durante la narración [Mirza-babaei et al., 2011] [Arhippainen, 2003].

2. Observación directa o indirecta:

En la observación ya sea directa o indirecta el evaluador va tomando notas sobre la interacción que está teniendo el usuario, además de estar pendiente de sus expresiones faciales y lenguaje corporal. Esto conlleva a tener una interpretación precisa por parte del evaluador [Arhippainen, 2003] [Mandryk et al., 2006] [Mirza-babaei et al., 2011] [Mor et al., 2012].

3. Pensar en voz alta (Thinking aloud):

En esta técnica se le pide al usuario que diga en voz alta las acciones que va realizando, los sentimientos y motivaciones que está presentando en dicha actividad. Esta técnica permite obtener datos que no son observables [Mirza-babaei et al., 2011].

4. Historias y escenarios:

Estas técnicas son muy eficientes para obtener información acerca del contexto de uso, tareas que realiza el usuario y la interacción con el producto. Es muy útil en las fases tempranas del diseño y desarrollo de producto.

5. SUXES:

Es un método diseñado para evaluar la experiencia de usuario en sistemas y/o aplicaciones basadas en voz, dicho método captura la expectativa y la experiencia de usuario empleando diferentes tipos de cuestionarios [Turunen et al., 2009].

6. Prototipos:

Permiten modelar el producto además de poder generar pruebas de usabilidad, y experiencia de uso, entre otras [Arhippainen, 2003].

7. Técnicas Psicofisiológicas:

Este tipo de técnicas son mayormente empleadas en tecnologías del entretenimiento, permiten inferir las emociones con los datos que van capturando de manera automática mientras el sujeto realiza la actividad.

Para esto se emplean dispositivos más sofisticados que permiten obtener diferentes tipos de datos; por ejemplo, la frecuencia de la respiración, ritmo cardiaco, repuesta galvánica de la piel, actividad eléctrica cerebral, actividad eléctrica muscular, entre otros [Mandryk et al., 2005] [Drachen et al.,] [Nacke et al., 2008] [Mirza-babaei et al., 2011] [Yao et al.,] [Tychsen, 2008] [Vermeeren et al., 2010] [Nacke et al., 2000] [Ganglbauer and Schrammel, 2009].

Podemos encontrar en la literatura diferentes trabajos que hablan sobre evaluaciones de experiencia de usuario.

Hakvoort, [Hakvoort et al., 2011] realizó una evaluación de experiencia de usuario empleando el método SUXES, modificado para juegos con interfaz cerebro computadora (BCI por sus siglas en inglés), capturando datos sobre la expectativa del usuario.

Por otro lado, Swallow, et al [Swallow et al., 2004] hace tres evaluaciones de experiencia de usuario en un dispositivo móvil (smartphone), a través de diarios en audios.

Tukiainen [Tukiainen and Bednarik, 2013] aplica una evaluación de experiencia de usuario a un prototipo de juego para niños que tienen la condición de autismo, para dicha evaluación se emplea la observación indirecta.

En el área de videojuegos también se emplea la evaluación de la experiencia de usuario; algunos de los métodos que se han empleado son encuestas [Mandryk et al., 2006], entrevistas o video grabaciones [Tukiainen and Bednarik, 2013] realizadas durante las sesiones de juego [Tychsen, 2008].

Mandryk [Mandryk et al., 2006] evalúa el videojuego NHL 2003 en la consola Sony PS2; las técnicas empleadas para el registro de datos es mediante la observación indirecta y pensar en voz alta grabando las expresiones faciales de los jugadores

al igual que sus comentarios y se emplean datos psicofisiológicos como la respuesta galvánica de la piel, un electrocardiograma para obtener la velocidad de los latidos del corazón y un electromiograma para conocer la activación de los músculos; durante las diferentes actividades que se realizaron en dicho estudio los participantes contestaban un cuestionario.

Otro ejemplo es el estudio realizado por Drachen [Drachen et al.,] en el cual evalúan la experiencia de usuario en los juegos Prey, Doom 3 y Bioshock, los cuales son del tipo Primera Persona. En dicha evaluación se utilizaron datos psicofisiológicos como la respuesta galvanica de la piel y el ritmo cardiaco, y se realizó una correlación de los datos psicofisiológicos con los registros obtenidos mediante cuestionarios para evaluar la jugabilidad (gameplay) de los juegos mencionados.

Como puede observarse son variadas las técnicas que se pueden emplear para obtener la experiencia de usuario, sin embargo, la interpretación de las emociones es realizada de manera subjetiva ya que depende de la capacidad del evaluador de identificar de manera correcta los diferentes estados emocionales que presente un individuo durante la evaluación.

1.4. Las emociones

1.4.1. ¿Qué son las emociones?

La Real Academia de la Lengua Española define la emoción como la "Alteración del ánimo intensa y pasajera, agradable o penosa, que va acompañada de cierta conmoción somática" [Rae, 2001].

Existen diferentes factores que pueden alterar la respuesta emocional a un estímulo ya sea por el entorno que nos rodea o bien el temperamento y la personalidad de cada persona [Balconi et al., 2009].

1.4.2. Emociones básicas

Se ha establecido que los seres humanos tenemos cinco emociones básicas las cuales son: alegría, tristeza, enojo, desagrado y sorpresa; dichas emociones son reconocidas de una mejor manera por las personas mediante gestos faciales [Kohler et al., 2004] [Othman et al., 2013] [Adolphs, 2002].

Así mismo, se identifica de manera general que las emociones pueden ser positivas o negativas. En todo momento sin importar el contexto de la situación (público o privado), las personas experimentan una serie de emociones ya sean positivas o negativas; entre las emociones positivas podemos encontrar (alegría, agradecimiento, simpatía, felicidad, amor, entre otras) y en las negativas (desprecio, irritabilidad, desagrado, ira, tristeza, entre otras) [Fredrickson and Losada, 2005] [Piqueras Rodriguez et al., 2009].

De manera general, las investigaciones referentes al estado emocional indican que la actividad cerebral prefrontal izquierda está asociada con expresiones faciales positivas, mientras que la actividad cerebral prefrontal derecha está asociada con expresiones faciales negativas [Harmon-Jones and Sigelman, 2001].

Las emociones positivas se relacionan con el hemisferio izquierdo mientras que las emociones negativas se relacionan con el hemisferio derecho [Harmon-Jones and Sigelman, 2001] [Simón, 2007] [Sánchez Navarro, Juan Pedro and Román Lapuente, 2004] [Winkler et al., 2010].

1.4.3. Emociones y regiones cerebrales

Cuando una persona se encuentra en algún estado emocional, diferentes estructuras cerebrales intervienen en dicho proceso [Adolphs, 2002] [LeDoux, 2003]:

1. Amígdala:

La amígdala está asociada al reconocimiento de la emoción de miedo, si esta sección del cerebro sufre algún daño, la persona pierde la capacidad de percibir o expresar el miedo [Kohler et al., 2004] [Othman et al., 2013] [Adolphs, 2002] [Lindquist, 2010].

2. Ínsula y Ganglios Basales:

Estas secciones cerebrales están relacionadas con la identificación de la emoción de disgusto, lesiones en estas áreas cerebrales imposibilitan a una persona poder identificar esta emoción e inclusive poder experimentarla [Adolphs, 2002].

3. Cortex Orbitofrontal:

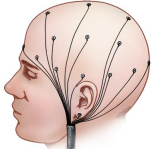
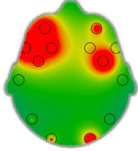
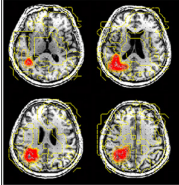
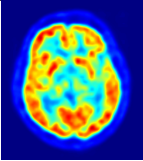
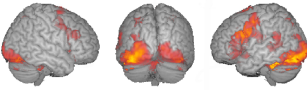
Lesiones o daños en esta sección cerebral conllevan a imposibilitar a una persona a reconocer emociones ya sea por medio de gestos faciales o la voz [Adolphs, 2002].

Por otro lado, en neuroimagen se emplean diferentes dispositivos tecnológicos para identificar distintas emociones, incluyendo, Electroencefalograma (EEG), Tomografía de Emisión por Positrones (PET), Imagen de Resonancia Magnética Funcional, Magnetoencefalografía (MEG).

Dependiendo del dispositivo utilizado se identifican cierto tipo de emociones, por ejemplo con el EEG se han identificado alegría, tristeza, agresión, entre otros, y con el MEG se han identificado alegría, tristeza, miedo, disgusto, entre otros. Cada uno de estos dispositivos obtiene la actividad cerebral de diferente manera además de las tecnologías utilizadas en cada uno de ellos.

En la Tabla **1.1** se aprecian los diferentes métodos de neuroimagen que se pueden emplear para identificar ciertas emociones mediante la actividad cerebral.

Tabla 1.1: Ejemplo de dispositivos utilizados para la detección de emociones.

Dispositivo	Actividad Cerebral		Emociones Identificadas
EEG			Alegría, tristeza, agresión, ansiedad, intención [Esslen et al., 2004].
MEG			Alegría, tristeza, miedo, ira, sorpresa y disgusto [Esslen et al., 2004].
PET			Tristeza e ira [Esslen et al., 2004].
fMRI			Ira, miedo y disgusto [Esslen et al., 2004] [Vuilleumier, 2005].

1.5. Propuesta

En este trabajo se pretende realizar una evaluación de experiencia de usuario en adultos mayores empleando registros de actividad eléctrica cerebral.

Para ello se desarrollaron una serie de algoritmos para el procesamiento de la señal eléctrica cerebral, los resultados referentes a la experiencia de usuario obtenidos serán contrastados con los registros que se obtengan implementando otras técnicas tradicionales (cuestionarios y observación) [Meza-kubo, 2012] [Morán and Meza-kubo, 2012] [Mahmud et al., 2009] [Nurkka, 2008].

1.6. Justificación

Debido a las limitantes o elementos a tener en consideración al emplear alguna de las técnicas tradicionales mencionadas para evaluar la experiencia de usuario; se ve la oportunidad de emplear nuevos métodos psicofisiológicos para determinar la experiencia de usuario, aprovechando los nuevos avances que hay en la tecnología. En específico se propone utilizar un dispositivo para la captura de la actividad eléctrica cerebral con el fin de determinar la experiencia de usuario en adultos mayores usando este tipo de registros.

¿Por qué emplear datos de actividad eléctrica cerebral?

Los datos de actividad eléctrica cerebral proporcionan una alta resolución temporal asociada con procesos cognitivos y cerebrales funcionales, además de que pueden ser capturados de manera automática, el usuario no tendrá que preocuparse por recordar qué actividad lo frustró, cuál le agradó, etc., esto es muy importante ya que nuestros usuarios serán adultos mayores.

La utilización de dispositivos que permiten la captura de datos cerebrales sobre la interacción que realice el adulto mayor pueden ser complementados con información obtenida mediante cuestionarios, entrevistas, observación directa o indirecta o cualquier otra técnica tradicional que se desee emplear.

La Tabla **1.2** muestra algunos dispositivos comerciales con los cuales poder obtener registros de actividad eléctrica cerebral, esto nos permitió seleccionar el que más se ajustara a los requerimientos para realizar esta investigación.

Tabla 1.2: Dispositivos comerciales de bajo costo para registrar la actividad eléctrica cerebral.

Nombre	Imagen	Descripción
Emotiv Epoc		Dispositivo EEG cuenta con 14 sensores, permite acceder a los datos capturados. Cuenta con un giroscopio y una API para desarrollar en C++, Java, Python y Matlab. Costo del dispositivo: 750 dolares. http://emotiv.com
Enobio		Dispositivo EEG cuenta con 2 ó 20 sensores, incorpora un acelerómetro y conectividad Bluetooth. http://neuroelectrics.com
MindWave		Dispositivo EEG que tiene compatibilidad con dispositivos móviles iOS y Android, conectividad Bluetooth. Costo del dispositivo: 129.99 euros. http://store.neurosky.com
Mouse		Dispositivo EEG que cuenta con compatibilidad con dispositivos móviles iOS y Android, conectividad Bluetooth. Costo del dispositivo: Preorden. http://interaxon.ca
NeuroWerk		Dispositivo EEG que permite realizar grabaciones EEG además de incorporar un sistema de poligrafía, de 23 a 40 sensores. Precio del dispositivo: No especificado. http://www.somatco.com
Mynde		Dispositivo EEG tiene compatibilidad con dispositivos móviles como iPhone, iPad y otros, conectividad Bluetooth. Costo del dispositivo: No especificado. http://neurogadget.com

Se seleccionó el dispositivo Emotiv Epoc debido a que cuenta con las siguientes características: cuenta con 14 sensores distribuidos de acuerdo al sistema internacional 10-20 que establece las áreas donde deben ser colocados los electrodos para registrar la actividad cerebral. Además cuenta con un giroscopio y proporciona una API para desarrollar aplicaciones en diferentes lenguajes (C++, Python, Matlab, Java).

Algo importante para considerar este dispositivo sobre los demás, fue que permite acceder a los datos obtenidos por los sensores y trabajar sobre ellos y no sólo mostrar los resultados.

En resumen ya se cuenta con dispositivos que son asequibles y permiten capturar

mediciones de datos psicofisiológicos, con los cuales es posible realizar evaluaciones de experiencia de usuario y complementar los resultados de las evaluaciones tradicionales.

En la Tabla **1.3** se muestran las especificaciones técnicas del dispositivo Emotiv Epoc3 ¹.

Tabla 1.3: Especificaciones del dispositivo Emotiv Epoc.

Número de canales	14 (plus CMS/DLR para referencia, localizados en P3 / P4)
Canales (Sistema Internacional 10-20)	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
Método de muestreo	df
Cortex Frontoparietal Izquierdo	Muestreo secuencial
Velocidad de muestreo	128 muestras por segundo (interno a 2048 Hz)
Resolución	14 bits 1 LSB = 0.51 microVolts (16 bit ADC, 2 bits de ruido instrumental descartado)
Ancho de banda	0.2 - 45 Hz, filtro digital Notch a 50 / 60 Hz
Filtrado	Filtro digital Sinc de 5to orden
Rango dinámico (entrada de referencia)	8400 microV (pp)
Conexión	Conexión AC
Conectividad propietaria	Inalámbrica (Banda de 2.4 GHz)
Batería	LiPoly
Duración de la batería	12 horas
Medición de la impedancia	Calidad del contacto en tiempo real usando un sistema patentado

¹<http://emotiv.com/upload/manual/EEGSpecifications.pdf>

1.7. Planteamiento del problema

Pregunta de investigación

¿Qué emociones pueden ser identificadas mediante la actividad eléctrica cerebral utilizando los electrodos del dispositivo Emotiv Epoc para determinar la experiencia de usuario?

1.8. Objetivos de la investigación

1.8.1. Objetivo general

Evaluar la experiencia de usuario mediante la construcción de un algoritmo para el procesamiento y clasificación de la señal eléctrica cerebral obtenida con el dispositivo Emotiv Epoc utilizando una red neuronal comparando los resultados obtenidos con los de otras técnicas tradicionales.

1.8.2. Objetivos específicos

1. Identificar los factores que influyen en la experiencia de usuario.
2. Determinar qué mediciones se pueden realizar con Emotiv Epoc y cuáles son las características.
3. Determinar qué interpretación se le puede dar a la medición obtenida por el dispositivo Emotiv Epoc, tomando en cuenta las zonas cerebrales que generan los datos.
4. Diseñar un conjunto de algoritmos para el proceso de la señal eléctrica cerebral capturada por el dispositivo Emotiv Epoc.
5. Realizar una evaluación de experiencia de usuario utilizando los algoritmos y la red neuronal propuestos y comparar los resultados obtenidos con los de otras técnicas.

1.9. Metodología

Se propone la siguiente metodología (Ver figura 1.1):

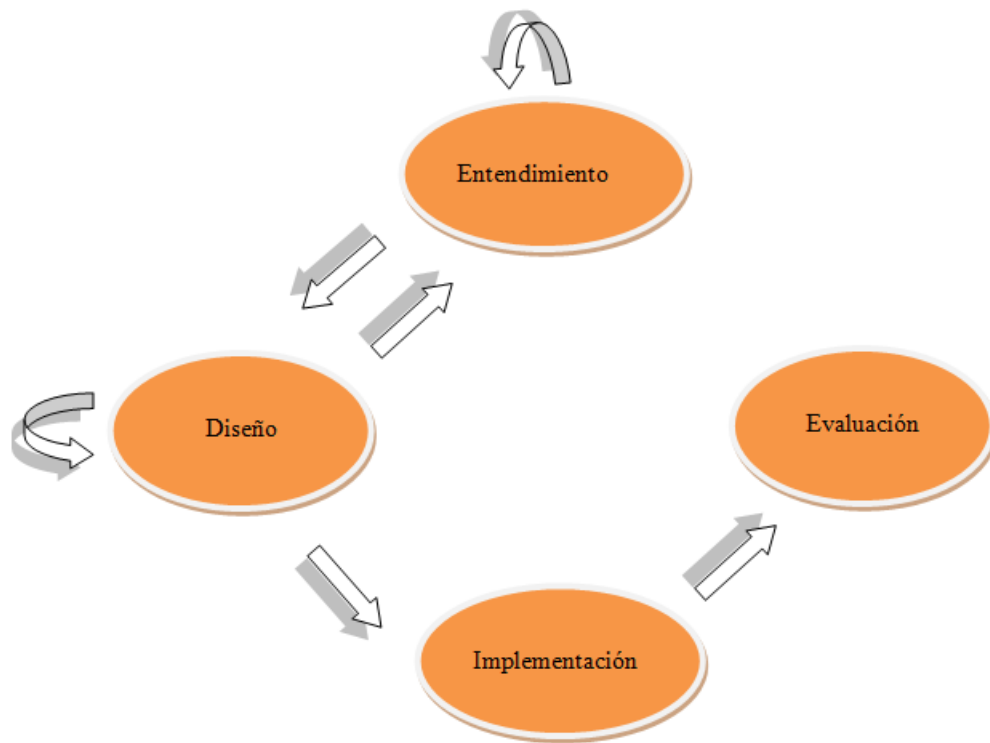


Figura 1.1: Metodología

1. Entendimiento

- Entender los conceptos y las técnicas de evaluación de experiencia de usuario.
- Trabajar con el dispositivo Emotiv Epoc para familiarizarse con éste.
- Analizar los datos obtenidos por el dispositivo Emotiv Epoc.
- Identificar los factores que intervienen en la experiencia de usuario.
- Identificar qué mediciones se pueden realizar con el dispositivo Emotiv Epoc además de relacionar las mediciones EEG y los electrodos.

2. Diseño

- Realizar la prueba piloto I: Relacionar y extraer los registros EEG para cada uno de los estímulos visuales mostrados.

- Diseñar un conjunto de algoritmos a emplear para el procesamiento de los datos y la evaluación de experiencia de usuario.
- Realizar la prueba piloto II: AbueParty.

3. Evaluación

- Implementar el caso de estudio de la experiencia de usuario utilizando AbueParty.
- Analizar los registros EEG obtenidos durante el estudio utilizando el conjunto de algoritmos elaborados.
- Analizar los registros del autoreporte y videos capturados.
- Realizar un análisis comparativo con los resultados obtenidos durante el estudio y los registrados con las otras técnicas.

4. Escritura de la tesis

1.10. Contribuciones

- Un conjunto de algoritmos que permiten el procesamiento de la señal eléctrica cerebral.
- Una red neuronal como parte de los algoritmos desarrollados para clasificar la experiencia de usuario en emociones de agrado y desagrado, utilizando los datos de actividad eléctrica cerebral obtenidos con el dispositivo Emotiv Epoc.
- Un conjunto de resultados de la evaluación de experiencia de usuario realizada.
- Un conjunto de registros de actividad eléctrica cerebral.

1.11. Contenido de la tesis

- Capítulo 2

En este capítulo se da un contexto sobre el cerebro y los diferentes dispositivos existentes para registrar la actividad eléctrica cerebral, se describen también los

diferentes procesos que se deben aplicar a la señal eléctrica cerebral para poder trabajar con ella.

- Capitulo 3

Aquí se describen algunos métodos para evocar emociones, se describe un estudio y una prueba piloto realizados y se presentan los resultados obtenidos.

- Capitulo 4

Se presenta la prueba piloto realizada con la aplicación *AbueParty*, además se describen los diferentes procedimientos que se siguieron (los utilizados para aplicar la prueba y posteriormente los empleados para el proceso de la señal y la red neuronal) y los resultados obtenidos con la red neuronal utilizada y con las técnicas tradicionales. Esta prueba sirvió como entrenamiento para la aplicación del caso de estudio a realizar en este estudio además para probar la capacidad de la red neuronal para identificar emociones.

- Capitulo 5

En este capítulo se presenta el caso de estudio realizado para evaluar la experiencia de usuario en adultos mayores empleando una aplicación de estimulación cognitiva llamada *AbueParty* además de presentar los resultados obtenidos.

- Capitulo 6

En este capítulo final se describen las contribuciones y las conclusiones a las que se llegaron en la realización de este trabajo considerando los resultados obtenidos, además de indicar los trabajos futuros a realizar.

Capítulo 2

Registro y Procesamiento de la Señal EEG

En este capítulo se brinda una descripción de la anatomía de cerebro, en la cual se dan a conocer las características del mismo, hemisferios y los diferentes lóbulos que lo componen. Se habla también sobre los diferentes métodos que se pueden utilizar para registrar la actividad eléctrica cerebral, se brinda una descripción de las diferentes ondas cerebrales y se proporciona una descripción sobre el proceso que se debe seguir para trabajar con señales eléctricas, por ultimo se mencionan diferentes técnicas de clasificación.

2.1. Anatomía del cerebro

El cerebro humano se encuentra totalmente resguardado en la cavidad craneal, en promedio mide 17 cm en sentido anteroposterior; 14 cm en sentido transversal y 12 cm en sentido vertical. El peso que posee es de aproximadamente 1200 g en hombres y 1100 g en mujeres.

El cerebro se encuentra constituido por dos mitades simétricas las cuales se conocen como hemisferios cerebrales (hemisferio derecho y hemisferio izquierdo). Cada uno está destinado a realizar diferentes funciones; el hemisferio cerebral izquierdo controla todas las actividades de la parte derecha del cuerpo y el hemisferio derecho controla la parte izquierda del cuerpo [Mosquera and Daniel, 2012].

En los hemisferios podemos encontrar surcos los cuales dividen al cerebro en 4 diferentes lóbulos cerebrales: frontal, parietal, occipital y temporal, en la Figura 2.1 es posible apreciar dichas áreas.

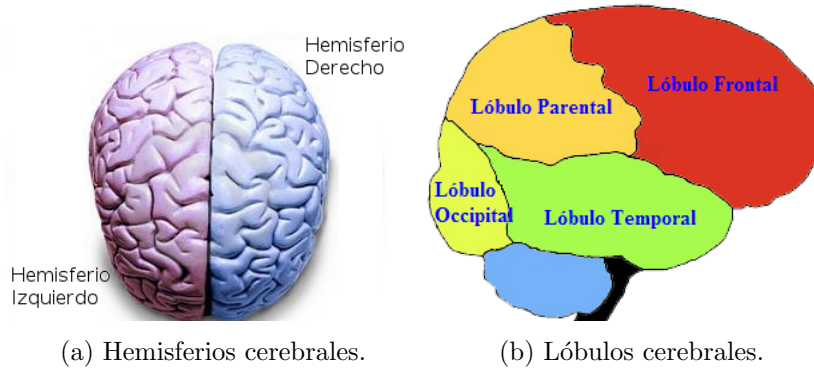


Figura 2.1: Estructura externa del cerebro¹.

2.1.1. La neurona

Las neuronas son células que transmiten información en el cerebro mediante actividad eléctrica y química [Brito et al., 2013]. La estructura de la neurona consiste de un cuerpo celular con dendritas y un axón [Hoffmann, 2010].

El total de neuronas que una persona llega a tener es de aproximadamente 100,000,000.000 [Telpan, 2002].

Las neuronas se pueden clasificar en dos tipos: las neuronas sensitivas las cuales se encargan de percibir lo que sucede en el medio ambiente o lo que sucede en el interior del cuerpo [Quiróz G., 1975] y las neuronas motoras o efectoras las cuales se encargan de transmitir la señal al órgano o músculo donde se lleva a cabo la reacción que corresponde al impulso recibido [Brito et al., 2013] [Quiróz G., 1975]; en la Figura 2.2 se aprecia la estructura de la neurona.

¹<http://m1.paperblog.com/i/143/1430289/5-ejercicios-nivelar-el-cerebro-logico-el-cre-L-VvE6il.jpeg>

¹<http://medina-psicologia.ugr.es/cienciacognitiva/files/2008-22-b.png>

¹<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neurona.svg>

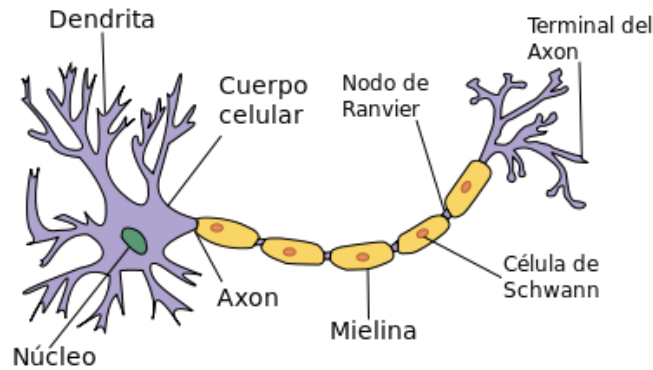


Figura 2.2: Estructura básica de la neurona.

2.1.2. Métodos para el registro de la actividad cerebral

Existe una variedad de dispositivos que nos permiten observar la actividad cerebral que se esté presentando en un individuo [Schalk and Mellinger, 2010] [Valderrama, E. & Ulloa, 2011], [van de Laar, 2009].

1. Métodos Invasivos

- a) Electrocorticografía (ECoG)
- b) Micro electrodos

2. Métodos No Invasivos

- a) Electroencefalografía (EEG)
- b) Magnetoencefalografía (MEG)
- c) Tomografía por Emisión de Positrones (PET)
- d) Imagen por Resonancia Magnética Funcional (fMRI)
- e) Espectroscopia Funcional por Infrarrojo (fNIRS)
- f) Estimulación Magnética Transcraneal (TMS)
- g) Imagen por Resonancia Magnética (MRI)

En la Figura 2.3 se puede apreciar algunos de los métodos invasivos (micro electrodos) y no invasivos (EEG y ECoG).

La electroencefalografía es una técnica no invasiva utilizada para el diagnóstico de diferentes síntomas y enfermedades neurológicas tales como depresión,

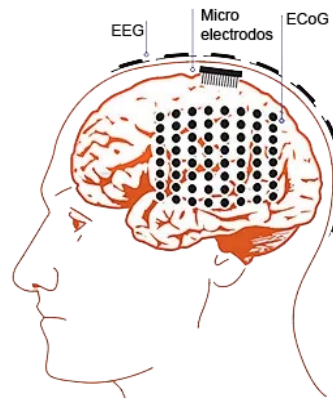


Figura 2.3: Ejemplo de EEG, ECoG y Micro electrodos

epilepsia, tumores, lesiones cerebrovasculares, problemas causados por traumas [Subha et al., 2010], además permite describir y caracterizar funciones y procesos mediante técnicas de potenciales evocados relacionados a eventos o bien mediante análisis global de la actividad eléctrica cerebral ante estados cognitivos o conductuales determinados.

Dicha técnica emplea electrodos que van colocados en el cuero cabelludo, en áreas de acuerdo al sistema internacional 10-20, mediante estos electrodos es posible registrar la actividad eléctrica cerebral [Yaomanee et al., 2012].

2.1.3. Sistema Internacional 10 -20

El sistema internacional 10-20 establece la convención de la posición de los electrodos para registrar la actividad eléctrica cerebral de determinadas regiones cerebrales además de proporcionar la nomenclatura correspondiente para dichas posiciones [Herwig et al., 2003] [Koessler et al., 2009].

En la figura 2.4 se pueden apreciar las posiciones de los electrodos y la nomenclatura utilizada para cada una de las regiones cerebrales, la nomenclatura que se utiliza es la siguiente: Fp = Frontal anterior, F = Frontal, T = Temporal, C = Central, P = Parietal, O = Occipital, A = Oreja, Z = Línea media, siendo los valores pares correspondientes al hemisferio derecho y los impares a hemisferio izquierdo.

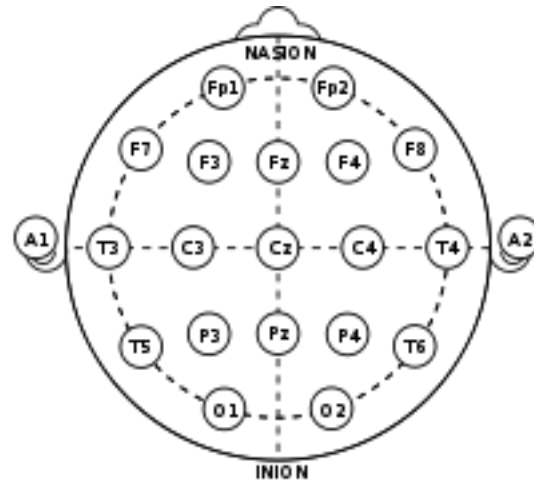


Figura 2.4: Sistema Internacional 10-20.

2.1.4. Ondas cerebrales

El cerebro produce diferentes ondas cerebrales, las cuales se describen a continuación [Jatupaiboon et al., 2013] [Telpan, 2002]. En la Figura 2.5 es posible observar los diferentes trazos de cada una de las ondas cerebrales.

1. Onda cerebral Alfa:

Generalmente se asocia a un estado de relajación [Wehbe and Nacke, 2013]. Su presencia disminuye con los ojos abiertos o bien si la persona se encuentra en algún estado de alerta (pensando, calculando) [Telpan, 2002]. Se presentan de mayor manera en la parte posterior (occipital) del cerebro [Mosquera and Daniel, 2012].

2. Onda cerebral Beta:

Este tipo de onda está relacionada con un estado de concentración [Wehbe and Nacke, 2013] [Mosquera and Daniel, 2012].

3. Onda cerebral Delta:

Esta onda se presenta en adultos cuando se encuentran en sueño profundo [Mosquera and Daniel, 2012] [Brito et al., 2013], o ante daño cerebral e inmadurez funcional.

4. Onda cerebral Mu:

La onda Mu se registra en la parte central del cerebro, está relacionada con las funciones motoras del cerebro, se presentan cuando se realiza un movimiento o se intenta realizar dicho movimiento [Mosquera and Daniel, 2012].

5. Onda cerebral Theta:

Este tipo de onda está relacionada con un estado de somnolencia [Wehbe and Nacke, 2013]. Suele presentarse más a menudo en niños, se presentan en adultos que se encuentran en estado de estrés [Mosquera and Daniel, 2012] o regularmente se presenta de manera más fuerte en niños con desorden de déficit de atención [Palke, 2004].

6. Onda cerebral Gamma:

Esta onda también es conocida como *onda beta rápida* ya que su frecuencia es por arriba de los 30 Hz [Varol, 2010]. Esta onda es empleada para detectar niveles altos de actividad cognitiva o bien para algunas demencias.

Las ondas Alfa y Theta están relacionadas con la experiencia emocional [Othman et al., 2013].

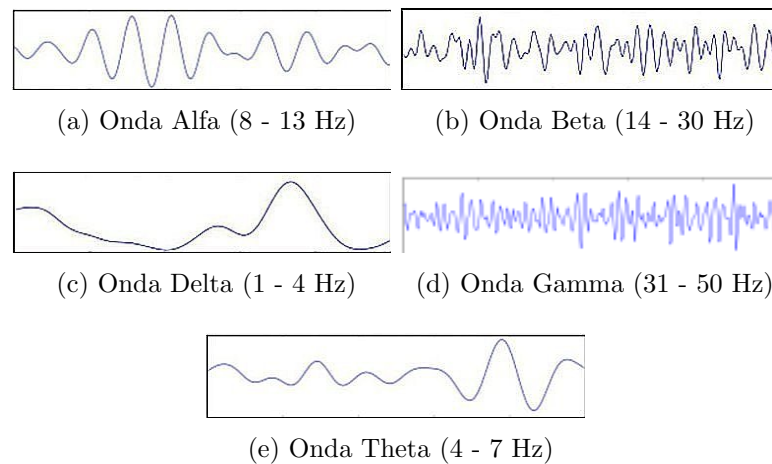


Figura 2.5: Ondas cerebrales.

2.1.5. Artefactos en la señal EEG

Durante el registro de la actividad cerebral, ésta puede ser contaminada por diferentes artefactos ya sean técnicos o biológicos [Subha et al., 2010]

[Vecchio et al., 2013] [Telpan, 2002]. En la Tabla **2.1** se describen los dos grupos de artefactos que se pueden encontrar al trabajar con señales.

Tabla 2.1: Tipos de artefactos biológicos y técnicos

Biológicos	Respiración, transpiración, movimiento de los ojos, parpadeo, contracciones musculares, actividad cardiaca.
Técnicos	Movimiento de los cables, carga de baterías baja, Ruido por la corriente de alimentación (50 - 60 Hz)

2.2. Análisis EEG

La señal de la actividad eléctrica cerebral obtenida utilizando el dispositivo Emotiv Epoc tiene que ser procesada para poder ser utilizada en la clasificación de las emociones que se están buscando. Es por ello que es necesario realizar una serie de pasos en los cuales se trabaja la señal para finalmente poder hacer la clasificación.

2.2.1. Filtrado de la señal eléctrica cerebral

El filtrado de la señal permite eliminar artefactos que se encuentren en la misma además de tomar unicamente las frecuencias con las que se van a trabajar, este es el primer proceso que se realiza sobre la señal EEG.

Podemos encontrar dos tipos de filtros que pueden ser aplicados a la señal, los de Respuesta Finita al Impulso (FIR, Finite Impulse Response) y los de Respuesta Infinita al Impulso (IIR, Infinite Impulse Response) [Li and Lu, 2009].

Representación matemática de un filtro IIR digital [Ambardar, 1999]:

$$y[n] + A_1 y[n-1] + \dots + A_N y[n-N] = B_0 x[n] + B_1 x[n-1] + \dots + B_M x[n-M] \quad (2.1)$$

Dicha ecuación permite describir un filtro recursivo cuyo orden es N , el valor de

salida actual de este filtro toma en cuenta los valores de salida obtenidos previamente $y[n - k]$ y de los valores presente y pasado de la entrada.

Representación matemática de un filtro FIR digital [Ambardar, 1999]:

$$y[n] = B_0x[n] + B_1x[n - 1] + \dots + B_Mx[n - M] \quad (2.2)$$

Esta ecuación representa un filtro cuya respuesta de salida actual sólo toma en cuenta los términos de entrada y no depende de las respuestas previas.

Los filtros se pueden identificar dependiendo de cómo trabajan, algunos son: a) filtros "**pasa bajas**", este tipo de filtrado permite pasar señales menores al valor establecido en el filtro; b) filtros "**pasa altas**", éstos permiten pasar las señales mayores al valor establecido en el filtro; c) filtros "**pasa bandas**", en este tipo de filtrado se utilizan dos valores: uno inferior y otro superior; el valor inferior indica que únicamente se permitirán señales mayores a ese valor y el superior indica el tope superior de la señal permitida.

Para el procesamiento de la señal eléctrica cerebral capturada con el dispositivo Emotiv Epoc se utiliza un filtro FIR pasa bandas con un corte inferior de 0.2 Hz y un corte superior de 30 Hz, esto indica que sólo se están tomando en cuenta las frecuencias a partir de 0.2 Hz hasta los 30 Hz ignorándose las otras frecuencias.

Se está trabajando con las ondas cerebrales Alfa, Beta y Theta que se encuentran respectivamente en las frecuencias 8 Hz - 12 Hz, 12 Hz - 30 Hz y 4 Hz - 8 Hz [Hoffmann, 2010] [Vourvopoulos and Liarokapis, 2011], recordando lo que se mencionó en la sección 2.1.4, las ondas cerebrales Alfa se relacionan a un estado de relajación, ó en algún estado de alerta (pensado, calculando), las ondas Beta se relacionan a un estado de concentración y finalmente las ondas Theta pueden llegarse a presentar cuando se está en un estado de estrés.

2.2.2. Ventanas

La técnica de ventaneo o aplicación de algún tipo de ventana permite trabajar con tramos o subsecciones de una señal e inclusive agregar una nueva sección a una señal. La función de una ventana es poder eliminar las discontinuidades que se lleguen a presentar en los extremos de una subsección de señal.

Podemos encontrar diferentes tipos de ventanas, cada una de ellas tiene una representación diferente por lo cual cada una de las ventanas modifica la señal de

manera diferente. Para este estudio se aplicó la ventana Hamming ya que es la misma que se aplica en el software que incluye el dispositivo Emotiv Epoc.

En la Tabla **2.2** se pueden observar las ventanas más comunes y su función matemática [Ambardar, 1999].

Tabla 2.2: Ventanas más comunes.

Tipo de ventana	Expresión matemática
Rectangular	$rect(k/2N) = 1$
Bartlett	$tri(k/N) = 1 - k /N$
Hanning	$0.5 + 0.5\cos(k\pi/N)$
Hamming	$0.54 + 0.46\cos(k\pi/N)$
Coseno	$\cos(k\pi/2N)$
Rienmann	$senc(k/N)$
Blackman	$0.42 + 0.5\cos(k\pi/N) + 0.08\cos(2k\pi/N)$

2.2.3. Procesado de señales

1. Transformada Rápida de Fourier

La Transformada de Fourier es el método más utilizado para el procesamiento y análisis de señales; dicho algoritmo se basa en la Transformada Discreta de Fourier (DFT, Discrete Fourier Transform) la cual es aplicada a la señal EEG y esto permite separar la información en las diferentes ondas cerebrales [Larsen and Wang, 2011]. El tiempo de cómputo de la DFT es $O(N^2)$, sin embargo existe un algoritmo mucho más eficiente llamado Transformada Rápida de Fourier (FFT, Fast Fourier Transform), el cual reduce el tiempo de cómputo a $O(N\log N)$; es por ello que la FFT es muy utilizada para el análisis de señales EEG, entre otro tipo de señales [Larsen and Wang, 2011].

La Transformada de Fourier cuenta con diferentes propiedades básicas que pueden ser aprovechadas dependiendo del trabajo que se esté realizando [Coronel, 2010].

Tabla 2.3: Algunas propiedades básicas de la Transformada de Fourier.

Propiedad	Comentario	Expresión matemática
Linealidad	Para cualquier número complejo a, b	$z(t) = ax(t) + by(t) \Rightarrow Z(f) = a \cdot X(f) + b \cdot Y(f)$
Traslación	Para cualquier número real t_0	$z(t) = ax(t - t_0) \Rightarrow Z(f) = e^{-2\pi i t_0 f} X(f)$
Modulación	Para cualquier número real f_0	$z(t) = e^{2\pi i f_0 t} x(t) \Rightarrow Z(f) = X(f - f_0)$
Escalado	Para todo número real diferentes de cero a	$z(t) = x(at) \Rightarrow Z(f) = \frac{1}{ a } X(\frac{f}{a})$
	Cuando $a = -1$	$z(t) = x(-t) \Rightarrow Z(f) = X(-f)$
Conjugación	Donde el símbolo * denota una conjugación compleja	$z(t) = x(t)^* \Rightarrow Z(f) = X(-f)^*$
Teorema de Convolución	Donde x y z son funciones.	$z(t) = (x \star z)(t) \Leftrightarrow Y(f) = X(f) \cdot Z(f)$

2. Transformada Wavelet

La Transformada Wavelet permite realizar un análisis de la señal a diferentes frecuencias y con diferentes resoluciones, dicha transformada permite obtener información referente al tiempo y frecuencias al mismo tiempo [MORA and MEJÍA, 2006].

Lo que caracteriza a la transformada Wavelet es que ésta permite identificar todas las frecuencias que constituyen la señal durante todo el tiempo, existen diferentes familias de Wavelets, la selección de una de estas familias incidirá notablemente en la efectividad de la transformada, mientras más parecida sea la función seleccionada a los elementos de entrada los resultados obtenidos serán los mejores [Rioul and Vetterli, 1991] [Valderrama and Ulloa, 2011]. En [The MathWorks, 2015b] se puede encontrar una explicación amplia sobre esta transformada.

Ecuación que representa la Transformada Wavelet.

$$WTx(\tau, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) h * \left(\frac{t - \tau}{\alpha} \right) dt \quad (2.3)$$

2.2.4. Clasificación

Para clasificar generalmente se emplean características de cada uno de los objetos con el fin de diferenciar uno de otro; la señal EEG va compuesta de las diferentes

¹<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neurona.svg>

frecuencias las cuales corresponden a las ondas cerebrales (Alfa, Beta, Delta, Theta, Gamma), y es necesario separar la señal EEG en sus componentes de ondas cerebrales con el fin de obtener las características (energía, potencia, potencia media, media, entre otras) para cada una de éstas [Valderrama and Ulloa, 2011].

Existen diferentes técnicas desarrolladas que pueden ser utilizadas para clasificar [Lakshmi et al., 2014], [María, 2011]. A continuación se describen algunas técnicas o métodos que se pueden emplear para realizar una clasificación.

+ ***Redes Bayesianas:***

Este tipo de modelo de aprendizaje relaciona un conjunto de variables aleatorias mediante un grafo dirigido que muestra la influencia causal (Ver figura 2.6). Se utiliza el teorema de Bayes para determinar qué tanto afectará un dato además de permitir una nueva estimación probabilística para nuevos datos [Larsen and Wang, 2011] [Martín de Diego et al., 2006]. El aprendizaje que presenta es paramétrico, toma el nuevo conocimiento tomando en cuenta los casos presentados.

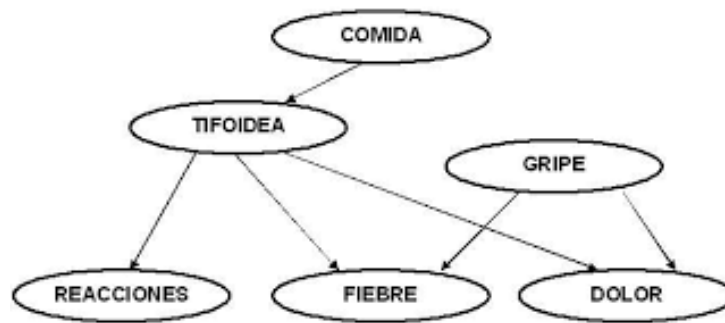


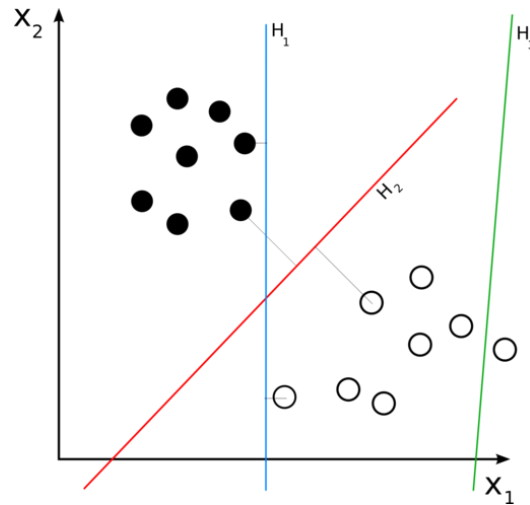
Figura 2.6: Ejemplo de una red bayesiana².

+ ***Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, Support Vector Machine):***

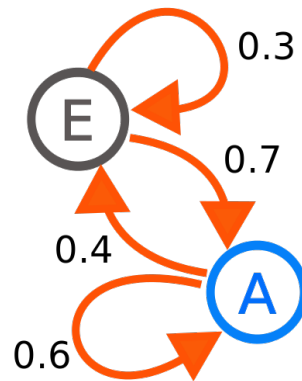
Este tipo de técnica fue desarrollada inicialmente para problemas de clasificación binaria. Existen diferentes variaciones de esta técnica que permite múltiples clases para la clasificación [Liang et al., 2006], las SVM emplean procesos de regresión y clasificación basados en la teoría de aprendizaje estadístico [Martín de Diego et al., 2006], [María, 2011], ver Figura 2.7. En la figura 2.7 se puede apreciar un ejemplo de éste tipo de clasificación.

+ ***Modelos Ocultos de Markov (HMM, Hidden Markov Model):***

³<http://ccc.inaoe.org>

Figura 2.7: Ejemplo de una SVM³.

Los HMM parten del supuesto que con el sistema que se trabaja éste sigue un proceso de Markov con parámetros desconocidos, la tarea principal radica en determinar esos parámetros desconocidos a través de los parámetros que ya se conocen [Martín de Diego et al., 2006], ver figura 2.8.

Figura 2.8: Ejemplo de una cadena de Markov⁴.

+ Árboles de Decisión:

Esta es una técnica muy utilizada en el área de minería de datos, este tipo de clasificador crea una estructura tipo árbol (ver figura 2.9) la cual representa de la mejor manera las características que son más relevantes de los elementos a clasificar

⁴<http://uring.iimas.unam.mx>

[Martín de Diego et al., 2006] [Wang et al., 2009].



Figura 2.9: Ejemplo de un árbol de decisión⁵.

+ **Redes Neuronales:**

Son modelos computacionales que buscan emular el cerebro. Dichos modelos tienen como motor de procesamiento a las neuronas artificiales, este tipo de neurona es muy similar a una neurona biológica en lo que respecta al funcionamiento (Ver figura 2.10). Al igual que una neurona biológica, la artificial tiene conexiones que pueden provenir de otras neuronas o de elementos sensores (entrada de datos) [Vélez, 2010], [Ramírez, 2012].

Las redes neuronales se pueden dividir en dos tipos: aquellas redes neuronales que no necesitan un entrenamiento para clasificar y las redes neuronales que requieren de un entrenamiento previo para realizar la clasificación. A continuación se describen estos dos tipos de redes neuronales.

■ **Redes neuronales supervisadas:**

La clasificación que hace este tipo de red neuronal se basa en que ya recibió un entrenamiento previo, es decir para cada clase que se va a clasificar ya se tienen identificados los elementos característicos. [Veronica, 2002]. Algunos ejemplos de este tipo de redes neuronales son: a) *Perceptrón*, b) *Adaline*, c) *Perceptrón Multicapa*, d) *Redes Neuronales LQV (Learning Vector Quantization)*,

⁵<https://es.wikipedia.org>

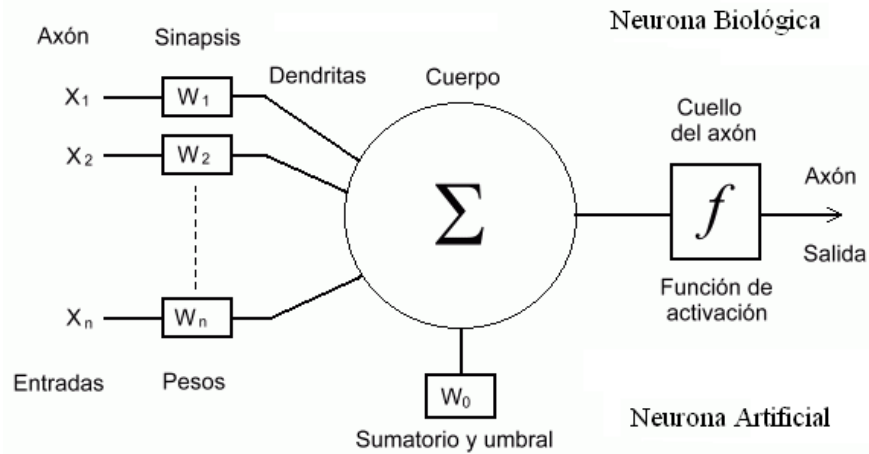


Figura 2.10: Relación entre la estructura básica de una neurona artificial y una neurona biológica.

entre otras [The MathWorks, 2015a], [Basogain, 2005], [María, 2011], [Tanco,], [Vélez, 2010].

■ **Redes neuronales no supervisadas:**

Al contrario a una red neuronal supervisada, este tipo de red neuronal no tiene un entrenamiento previo, los datos que se van pasando a la red son agrupados con aquellos semejantes y de esta manera se forman las clases [Veronica, 2002]. Algunos ejemplos de este tipo de redes neuronales son: a) Redes Competitivas, b) Red Hebbiana, c) Mapas Auto Organizativos de Kohonen, d) Red Hebbiana Diferencial, entre otras [The MathWorks, 2015a].

2.2.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se da una introducción referente al cerebro, las ondas cerebrales presentes en el mismo y cómo algunas regiones cerebrales están relacionadas a ciertas emociones. Además se hace mención a los diferentes elementos que componen un análisis de señal, entre éstos podemos encontrar técnicas para el filtrado de una señal, procesamiento o clasificación de la misma.

Capítulo 3

Estimulación afectiva y estudios preliminares

En este capítulo se da a conocer la herramienta utilizada para poder evocar emociones, además de presentar dos estudios realizados los cuales fueron fundamentales; uno para conocer si era posible detectar estados emocionales mediante la actividad eléctrica cerebral capturada con el dispositivo Emotiv Epoc y el otro para relacionar la actividad eléctrica cerebral con eventos de estimulación afectiva.

3.1. Las Emociones

Las emociones tienen un rol esencial en muchos aspectos de nuestra vida diaria tales como las decisiones que se toman, la percepción, el aprendizaje, el pensamiento racional, entre otros [Li and Lu, 2009].

Se pueden emplear diferentes estrategias para poder inducir emociones por ejemplo imágenes, audios, videos, palabras o combinando éstos con el fin de provocar una reacción emocional [Bradley and Lang, 2007] [Kemp et al., 2004] [Spreckelmeyer et al., 2006] [Enrique et al., 2008] [Bekkedal et al., 2011].

3.1.1. Sistema Internacional de Imágenes Afectivas

El Sistema Internacional de Imágenes Afectivas (IAPS, International Affective Picture System) fue desarrollado para establecer un conjunto normativo de imágenes

que proveen un estímulo emocional para la investigación en el área de las emociones y la atención [Bertron et al., 1997]. Dicho sistema fue desarrollado por el Instituto Nacional de Salud Mental (NIMH, National Institute of Mental Health, USA) y el Centro para el Estudio de Emociones y Atención (CSEA, USA).

IAPS cuenta con más de 1000 ejemplos de diferentes experiencias humanas representadas en imágenes, por ejemplo: agrado, tristeza, enojo, atractivo, fealdad, paisajes, tratamientos médicos, pacientes, insectos, niños, entre otras [Bradley and Lang, 2007]. En la Figura 3.1 es posible observar un ejemplo de las imágenes que vienen incluidas en IAPS junto con el tipo de nomenclatura que las acompaña, donde cada valor representa el número de imagen del catalogo de IAPS.

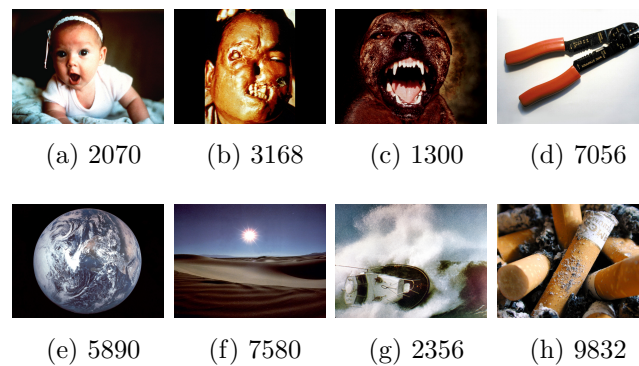


Figura 3.1: Ejemplo de imágenes de IAPS y su nomenclatura.

3.1.2. Maniquí de Auto Evaluación

El Maniquí de Auto evaluación (SAM, Self Assessment Manikin, por sus siglas en inglés) es un método no verbal el cual emplea imágenes (Ver figuras 3.2, 3.3 y 3.4) que permiten medir de manera directa el agrado o desagrado de un estímulo, si dicho estímulo nos mantiene relajados o no, si nos controlamos o no respecto al estímulo mostrado [Bertron et al., 1997] [Bradley and Lang, 1994].

El SAM ha sido utilizado de manera efectiva para medir las respuestas emocionales de las personas en diferentes situaciones, además de sus reacciones ante pinturas, imágenes, sonidos, anuncios, estímulos dolorosos, entre otros. Ha sido utilizado con niños, pacientes que presentan ansiedad, fobias, psicópatas, entre otros [Bradley and Lang, 1994].

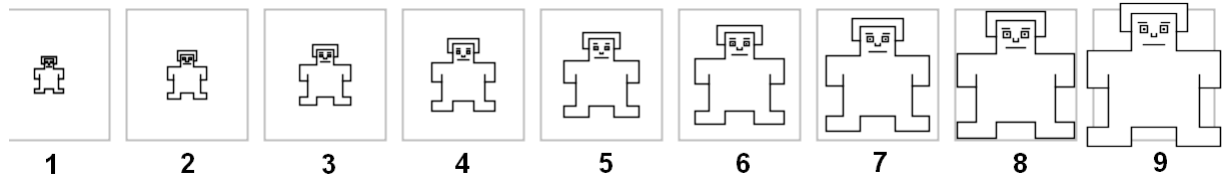


Figura 3.2: Respuesta controlado.

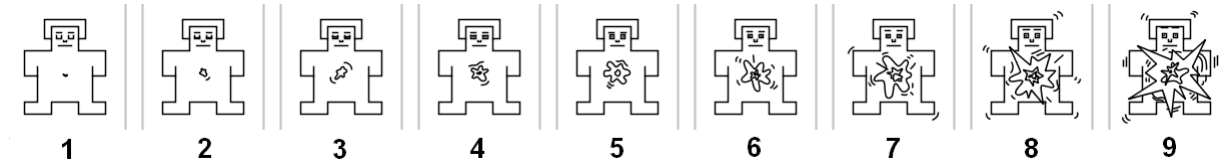


Figura 3.3: Respuesta excitado.

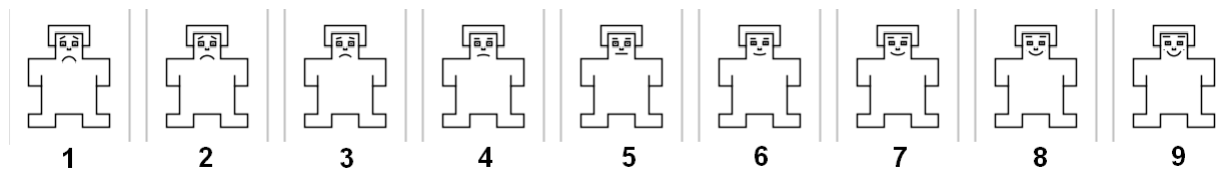


Figura 3.4: Respuesta feliz.

Para la realización de este trabajo se utilizó una versión modificada del SAM, específicamente el grupo de imágenes que se utiliza para obtener una respuesta de agrado, dicha imagen fue modificada dejando únicamente la imagen con número 1, la imagen con número 5 y la número 9.

Esto permitió delimitar las respuestas (1, 2 ó 3) que se esperaban además de evitar una posible confusión para los adultos mayores, con la variación para cada una de las respuestas. Éstas modificaciones fueron avaladas por el experto de acuerdo a lo observado en la evaluación que se describe en la sección **3.1.3**.

3.1.3. Evaluación para identificar estados emocionales utilizando estímulos visuales de IAPS

Objetivo: Capturar señales EEG asociadas a emociones conocidas *a priori* las cuales son evocadas a través de la estimulación visual por medio de imágenes, dichas imágenes permiten evocar agrado, desagrado, miedo y un estado neutral.

1. Participantes

Participaron 8 adultos mayores, 2 hombres y 6 mujeres, de entre 60 y 83 años de edad (72.3 en promedio). Los criterios de inclusión fueron: ser mayor de 60 años, no haber padecido algún trauma craneoencefálico, no mostrar problemas cognitivos moderados o severos y no tener problemas visuales (i.e. no poder ver bien sin lentes a una distancia de 30 - 50 cm).

Todos los participantes firmaron el consentimiento informado, las actividades del presente estudio no representaron ningún riesgo para ellos. Para determinar que los participantes no contaran con problemas cognitivos se les aplicó el Mini Examen de Estado Mental (MMSE, Mini Mental State Examination).

A continuación se describen los materiales utilizados.

2. Software

- TestBench: Software que permite la visualización y el registro de la actividad cerebral empleando el dispositivo Emotiv Epoc.
- Emotiv ControlPanel: Cuenta con 3 aplicaciones integradas (Expressive, Affective, Cognitive) las cuales permiten hacer un entrenamiento para cada usuario del dispositivo.
- EEGExProc: Este software fue utilizado para mostrar los estímulos visuales a los adultos mayores durante la prueba.
- EEGLAB: Es un Toolbox desarrollado en Matlab que permite trabajar con señales EEG [Delorme and Makeig, 2004].

3. Hardware

- Computadora: Laptop HP Pavilion DV5-1002NR, con un procesador AMD Turion X2 de 64 bits, SO Windows 7 con 4 GB de memoria RAM y un monitor de 15.4 pulgadas.
- Dispositivo de captura

Se utilizó el dispositivo Emotiv Epoc con el cual es posible obtener y registrar la actividad cerebral a través de 14 electrodos (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) que se encuentran distribuidos de acuerdo al Sistema Internacional 10-20.

- Otros: Solución salina para humedecer las almohadillas que se encuentran en los electrodos, jeringa para aplicar la solución salina.
4. Estimulación visual: Se empleó IAPS como herramienta de estimulación afectiva con el fin de evocar agrado, desagrado, miedo y un estado neutral (imágenes que no evoquen una emoción) [Kemp et al., 2004] [Balconi et al., 2009] [Uusberg et al., 2013] [Sabatinelli et al., 2005].

Se utilizaron 10 imágenes para evocar miedo, 10 para provocar agrado, 10 para estimular desagrado y 29 imágenes para propiciar un estado neutral.



Figura 3.5: Ejemplo de imágenes seleccionadas de IAPS para cada categoría

En el Apéndice **A** se encuentran las imágenes utilizadas para cada una de estas emociones buscadas.

Procedimiento

1. Introducción al estudio

Primeramente se le explicó al adulto mayor el objetivo del estudio y las características del dispositivo Emotiv Epoc; se le pidió firmar una hoja de consentimiento. El tiempo aproximado en que se llevó esta actividad fue de 7 minutos.

2. Calibración del dispositivo

Para un mejor funcionamiento del dispositivo, éste fue calibrado para cada participante mediante el reconocimiento de gestos faciales y la manipulación de un cubo virtual en 3D mediante la interacción cerebral.

El tiempo que llevó realizar esta actividad fue de 10 minutos.

3. Presentación de imágenes

En esta etapa, se le presentó a cada participante un conjunto de imágenes de acuerdo a la propuesta de [Kemp et al., 2004]. Las imágenes se mostraron de manera intercalada: agrado, miedo, neutral y desagrado durante 6 segundos cada una e inmediatamente después, se le solicitó al participante indicar cuál fue su impresión al ver la imagen de acuerdo a una de las siguientes categorías: agrado, miedo, neutral y desagrado.

Durante esta fase, la actividad eléctrica cerebral de cada participante fue registrada de manera automática con el software TestBeanch.

En la figura **3.6** se puede observar el proceso de la presentación de los estímulos visuales, primeramente se le muestra una cruz en el centro de la pantalla para llamar su atención, posterior a esto, se le muestra el estímulo visual durante 6 segundos, finalizado este tiempo la pantalla queda en negro durante 3 segundos, finalizados los 3 segundos se le presentan 4 posibles repuestas (del 1 al 4 las posibles emociones que pudo presentar al ver la imagen), el adulto mayor debe proporcionar un valor (del 1 al 4) para indicar que emoción le evocó la imagen visualizada durante los 6 segundos.

Previo al inicio de la actividad se le pedía al participante que se moviera lo menos posible ya que esto introduce artefactos a la señal EEG capturada con TestBeanch. Esta actividad duró aproximadamente 35 minutos.

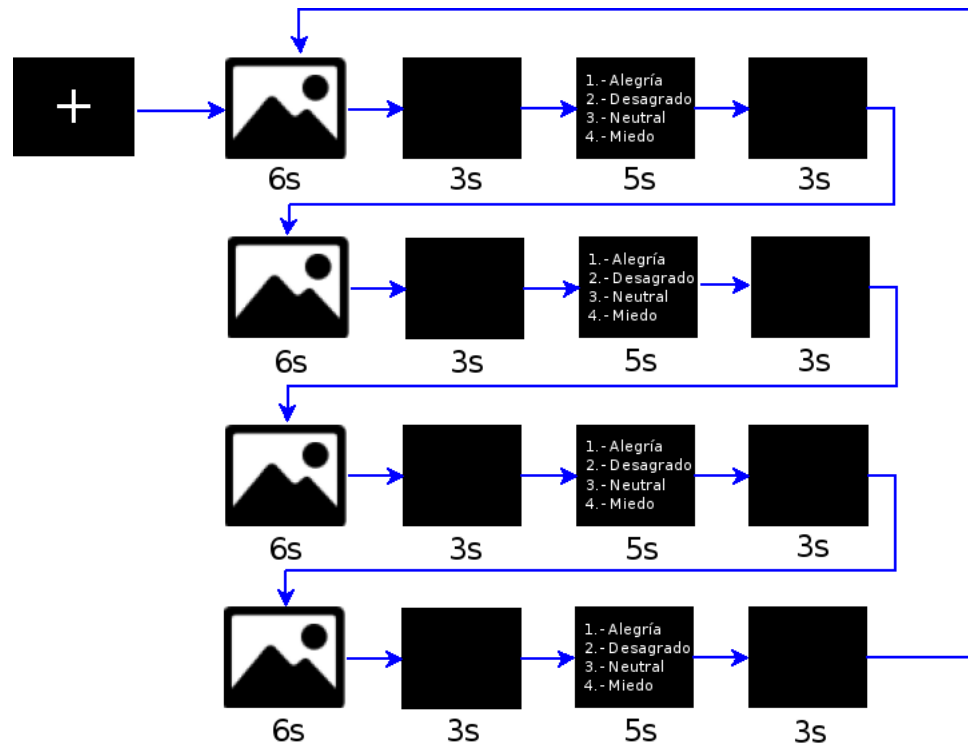


Figura 3.6: Secuencia de presentación de estímulos visuales IAPS.

Resultados obtenidos

De acuerdo a la clasificación reportada verbalmente por cada participante, se obtuvo que las respuestas a las imágenes seleccionadas para provocar emociones de agrado coinciden en un 92 % (Ver figura 3.8), por otro lado las respuestas a las imágenes de desagrado concordaron en un 84 % (Ver figura 3.9), en ambos casos, las imágenes convergen a las categorías de la prueba establecidas.

Las respuestas a las imágenes seleccionadas para evocar miedo corresponden en un 49 % (Ver figura 3.10) y las que fueron seleccionadas para la categoría de neutrales sus respuestas en un 56 % (Ver figura 3.11), las respuestas dadas en estas categorías no reportaron lo esperado. Posteriormente, una vez procesados los datos de la actividad cerebral se obtuvieron los diferentes espectros de frecuencia para cada una de las bandas.

El análisis de los datos del electroencefalograma fue realizado por un experto en el área de neurociencia y de este análisis se obtiene los siguientes resultados:

1. Análisis banda cerebral Alfa

La presencia del ritmo alfa en el AM1 sugiere sincronización de actividad eléctrica

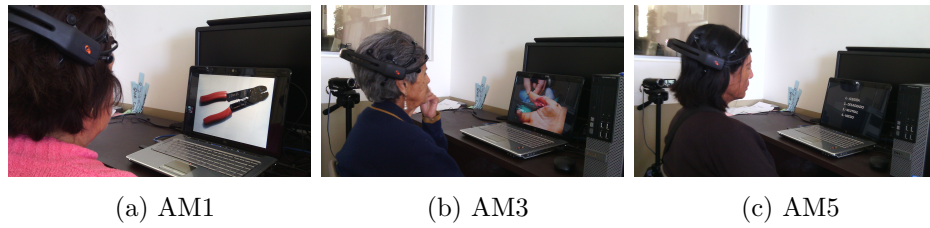


Figura 3.7: Ejemplo de la evaluación.

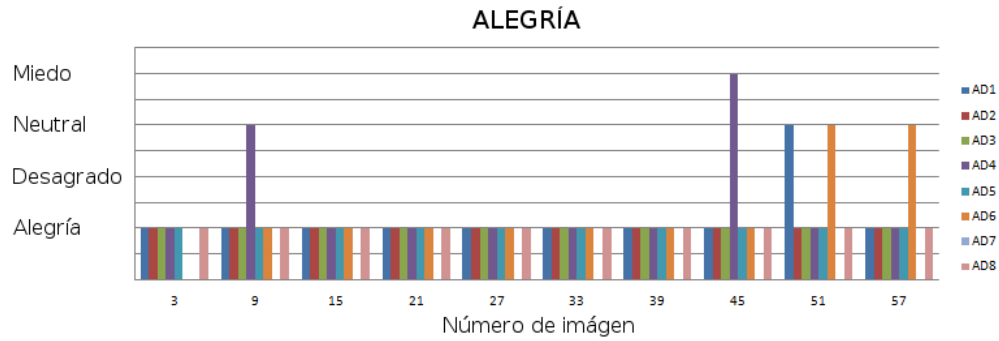


Figura 3.8: Respuestas verbales categoría de agrado.

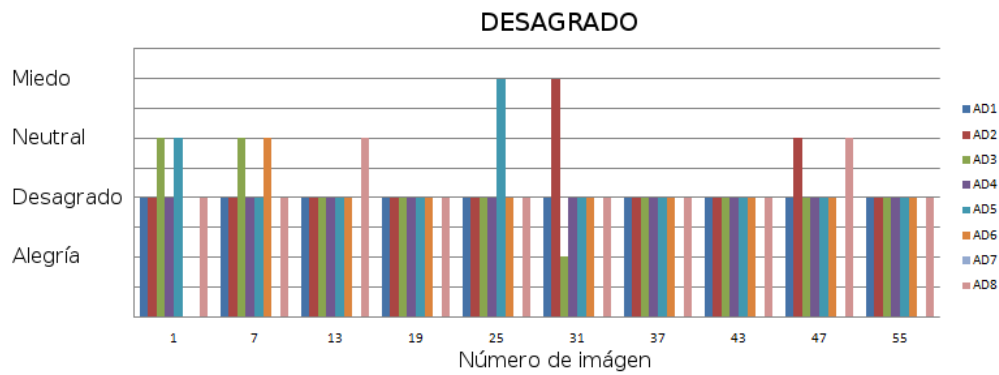


Figura 3.9: Respuestas verbales categoría de desagrado.

cerebral usualmente observada en el estado de reposo, la disminución sustituida por ritmo beta desincronizado sugiere activación de la zona cerebral en cuestión (Ver figura 3.12).

2. Análisis banda cerebral Beta

Referente a la potencia en la banda cerebral Beta, se observó una mayor presencia en la parte frontal dorso lateral del hemisferio izquierdo, dicha presencia se asocia

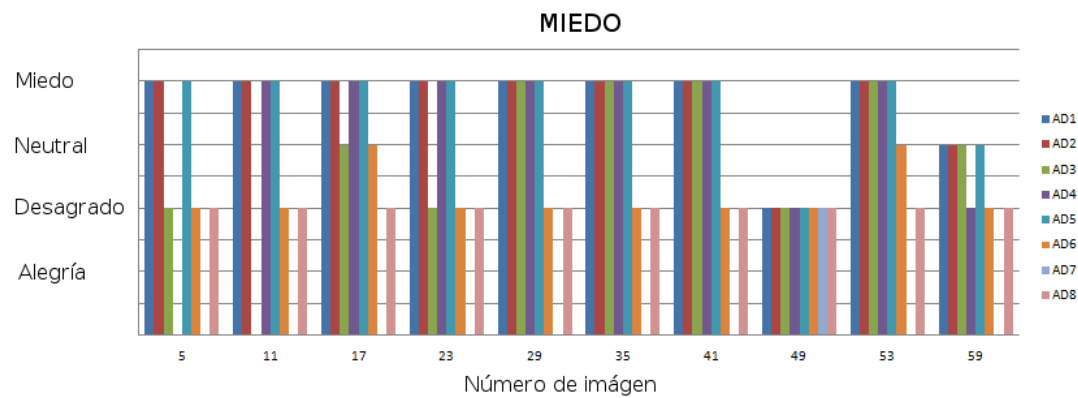


Figura 3.10: Respuestas verbales categoría de miedo.

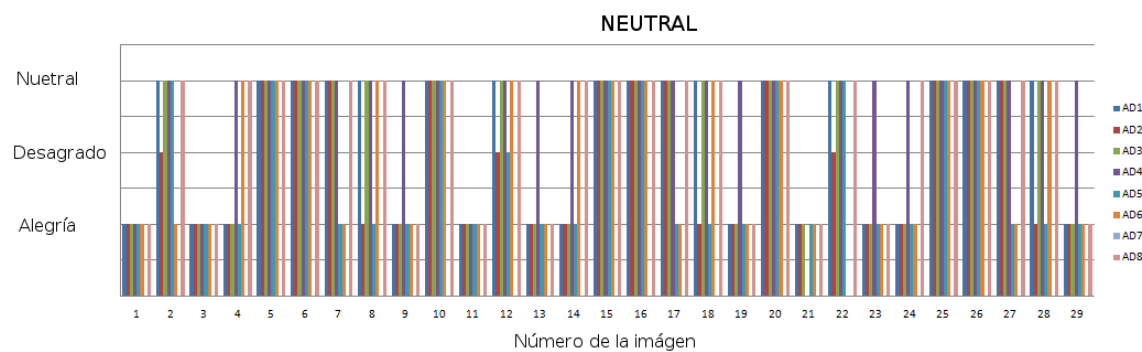


Figura 3.11: Respuestas verbales categoría neutral.

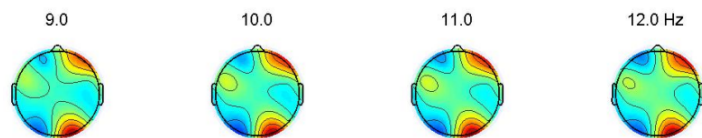


Figura 3.12: Espectro de la onda cerebral Alfa.

a los estímulos visuales de IAPS, (Ver figura **3.13**).

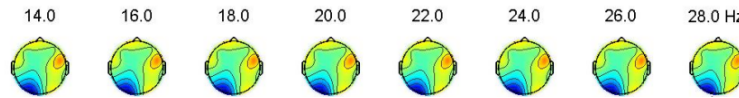


Figura 3.13: Espectro de la onda cerebral Beta.

3. Análisis banda cerebral Theta

Por último, el análisis referente a la potencia de la banda Theta permite establecer una disparidad en los valores registrados, siendo los más grandes, los que se presentan en la parte frontal del hemisferio cerebral derecho, estos resultados son generados de igual manera por los estímulos visuales proporcionados con IAPS.

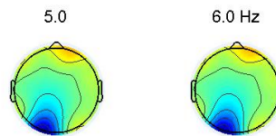


Figura 3.14: Espectro de la onda cerebral Theta.

Discusión

De los resultados obtenidos en las respuestas verbales para las imágenes de la categoría de agrado, el 92 % de las repuestas fueron reportadas como agrado, el 6 % como neutrales y 2 % como miedo (Ver figura **3.8**); en la imagen se observa que el participante AD4 expresó que la imagen 45 le causó miedo, en este caso la imagen correspondía a 3 niñas sonriendo, por lo que es probable que éste haya sido un error de codificación del participante, mientras que la imagen 51, la cual corresponde a una mujer mayor, fue clasificada por AD1 y AD6 como neutral.

En la Figura **3.9**, correspondiente a las respuestas verbales para las imágenes de la categoría de desagrado, puede observarse que más del 80 % transmitieron emociones de desagrado a los participantes mientras que el 10 % fueron reportadas como neutrales, el 3 % indicó miedo y el 2 % como agrado. El participante AD3 indicó que la imagen 31, la cual muestra una cirugía en la mano, le provoca agrado ya que era médico por lo que se puede concluir que las actividades que realizaba el AD3 como profesional afectaron en la respuesta proporcionada.

Para las imágenes de la categoría neutral se obtuvo que un 56 % de éstas provocaron dicha emoción, un 40 % de las imágenes provocó agrado y 2 % fueron reportadas como desagrado (Ver figura **3.11**). El participante AD2 indicó de manera consistente la misma respuesta de desagrado para las imágenes 4, 24 y 44 en las cuales aparece el mismo hongo, mientras que AD5, para la imagen 4 responde como neutral, para la imagen 24 como desagrado y finalmente para la imagen 44 como neutral, ellos fueron los únicos que dieron respuestas de desagrado.

Para la categoría de miedo, sólo el 49 % de las respuestas obtenidas indican que las imágenes provocaron tal emoción, el 39 % de las respuestas indican desagrado y el 10 % respondieron como neutrales (Ver figura **3.10**). De este grupo de imágenes, la imagen 59, la cual muestra una osamenta, fue la única que no causó miedo, el 40 % de los participantes respondió con neutral y el 30 % con desagrado.

Es importante mencionar que se presentó un caso especial con el participante AD7 ya que su respuesta para todas las imágenes siempre fue la misma, todas le causaron agrado. Se observó en el participante AD7 un gran nerviosismo durante la prueba lo que junto con posibles fallas al explicar la actividad haya provocado que siempre diera la misma respuesta.

El análisis que se ha realizado de los datos EEG ha sido de manera global, solamente se han obtenido los espectros de potencia para cada banda utilizando el registro de cada adulto mayor. Dicho análisis permitió identificar de manera visual diferentes regiones cerebrales donde se mostró una actividad relacionada a estímulos emocionales (Ver figuras **3.12**, **3.13** y **3.14**) dependiendo de la banda seleccionada; estos resultados se pueden relacionar con los obtenidos por las categorías de agrado (emoción positiva) y desagrado (emoción negativa).

3.1.4. Prueba Piloto I: Obtener características de las emociones (agrado y desagrado) registradas en el EEG empleando estímulos visuales de IAPS

Objetivo: Capturar señales EEG asociadas a emociones conocidas *a priori* las cuales son evocadas a través de la estimulación visual por medio de imágenes, dichas imágenes permiten evocar agrado, desagrado y un estado neutral; la señal EEG capturada será segmentada para obtener las secciones correspondientes a cada una de las emociones provocadas con el fin de obtener los elementos característicos de agrado y de desagrado.

En esta prueba las imágenes de IAPS fueron separadas en 3 categorías: agrado, desagrado y neutral; para cada una de las categorías fueron utilizadas 10 imágenes (Ver Apéndice **B**).

1. Participantes

Participaron 4 adultos mayores, 2 hombres y 2 mujeres, de entre 60 y 83 años de edad (72.3 en promedio). El procedimiento que se siguió fue similar al estudio anterior.

2. Presentación de los estímulos visuales con las siguientes variaciones

En esta etapa, se le presentó a cada participante el conjunto de imágenes seleccionadas para cada categoría establecida (Ver figura 3.15); a diferencia del estudio anterior, en éste se registró de forma automática la respuesta seleccionada por el adulto mayor al visualizar el SAM (Ver figura 3.16) ya que la respuesta que proporcionaba era mediante un teclado.



(a) Imagen de agrado. (b) Imagen de desagrado. (c) Imagen neutral.

Figura 3.15: Ejemplo de imágenes de IAPS utilizadas.

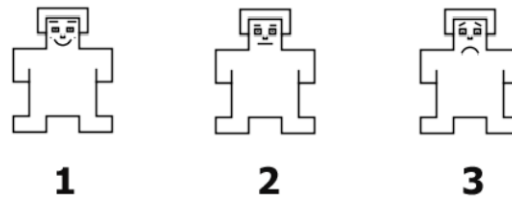


Figura 3.16: SAM Modificado.

Las imágenes se mostraron durante 6 segundos cada una (Ver figura **3.17**), posteriormente se le mostró al adulto mayor una imagen del SAM (Ver figura **3.16**) durante 6 segundos para que indicara mediante el teclado numérico (1 = agrado, 2 = neutral y 3 = desagrado) qué emoción le había provocado la imagen mostrada, al finalizar ese tiempo la pantalla se pone en negro y se inicia el proceso de nuevo.

Adicionalmente, durante esta fase, la actividad eléctrica cerebral de cada participante fue registrada de manera automática con el software TestBench, incluyendo marcadores cada vez que se mostraba un estímulo (al inicio) y cuando este terminaba (al final), esto permitió segmentar la señal EEG capturada por estímulo visual y de esta manera facilitar su procesamiento posterior.

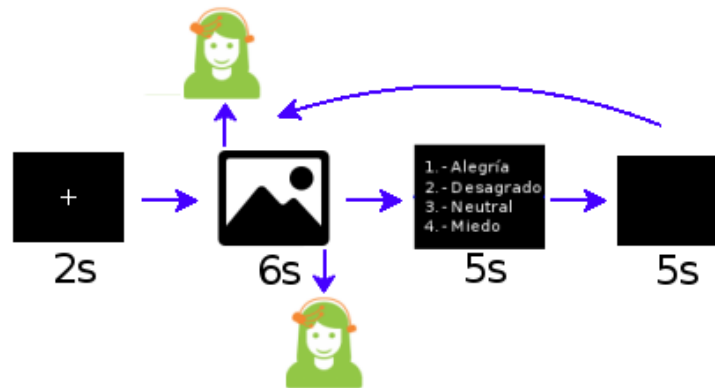


Figura 3.17: Diagrama de la presentación de imágenes IAPS.

3.1.5. Resultados obtenidos

En la evaluación realizada para identificar qué emociones se podían identificar, se logró concluir que el adulto mayor llega a presentar un estado emocional de agrado y desagrado durante la actividad de visualizar las imágenes del IAPS, en esta prueba piloto fue posible identificar las secciones de los registros correspondientes a los estímulos visuales presentados a los adultos mayores, mediante el registro de la actividad eléctrica cerebral y el uso de marcadores durante el mismo.

La Figura 3.18 muestra el diagrama de las actividades que se llevaron a cabo en esta prueba.

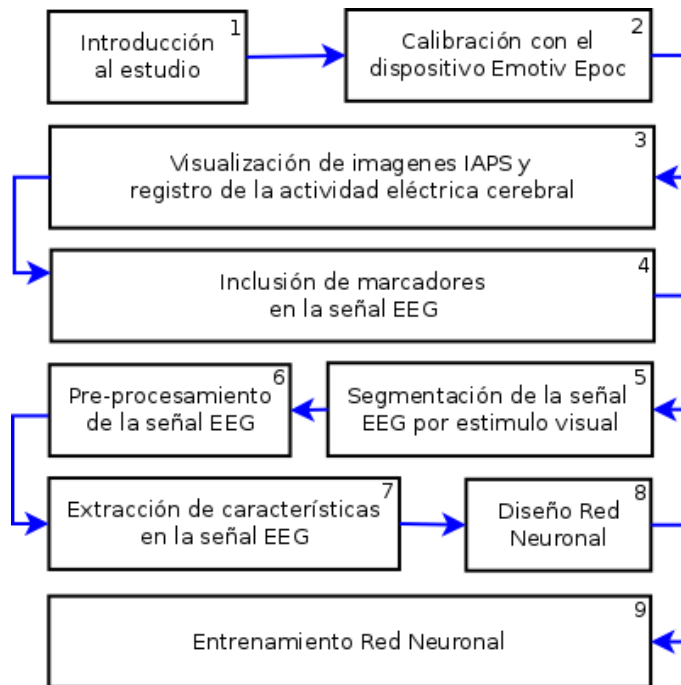


Figura 3.18: Diagrama de las actividades realizadas.

Las primeras 4 actividades corresponden a las diferentes tareas que se realizaron en dicho estudio, las 5 restantes corresponden a las actividades realizadas posterior al estudio, a continuación se describen dichas actividades.

1. Introducción al estudio

Como primer paso en el estudio se les informó a los participantes en qué consistía y la finalidad del estudio en el que participarían.

2. Calibración del dispositivo Emotiv Epoc

Para un correcto funcionamiento del dispositivo a utilizar es necesario realizar una calibración por cada uno de los participantes, previo a la realización del estudio.

3. Visualización de imágenes IAPS y registro de la actividad eléctrica cerebral

Se le presentan al adulto mayor una serie de imágenes con carga emocional, mientras se lleva a cabo el registro de la actividad eléctrica cerebral del mismo, este registro dura toda la sesión.

4. Inclusión de marcadores en la señal EEG

Durante dicho registro EEG, cada vez que se muestra o finaliza un estímulo visual, se coloca un marcador en la señal capturada con el fin de conocer la porción de la señal correspondiente para dicho estímulo.

5. Segmentación de la señal EEG por estímulo visual

Durante la visualización de los estímulos visuales por parte de los adultos mayores, se estuvieron insertando marcadores al inicio del estímulo y al final de éste, se utilizó un marcador diferente para cada tipo de estímulo proporcionado.

Con estos marcadores fue posible segmentar la señal por cada uno de los estímulos mostrados al adulto mayor, con esto se generaron 3 matrices por adulto mayor correspondientes a agrado, desagrado y neutral. Se obtuvieron 30 segmentos del registro EEG principal por cada uno de los participantes y en total fueron 120 segmentos, estos segmentos representan la actividad eléctrica cerebral registrada durante la presentación de los estímulos visuales de IAPS.

6. Pre-procesamiento de la señal EEG

Una vez segmentado cada uno de los registros EEG de los participantes en la evaluación, fue necesario desarrollar los algoritmos que permitirán realizar todo el pre-procesamiento, los algoritmos fueron diseñados en Matlab 2013.

a) Eliminación de la media y tendencia lineal de los datos

El primer paso que se realiza en el proceso de la señal es eliminar la media de los datos, para realizar esta actividad se utiliza la rutina de Matlab: *mean()* que permite obtener la media de un vector o matriz.

$$B = A - Ai \quad (3.1)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & \cdots & A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix}$$

Donde cada columna representa un electrodo (**AF3, F7, F3, FC5, O1, O2, F4, F8, AF4**).

Para cada columna de A se calcula su media aritmética, ésta es restada a cada uno de los elementos de esa misma columna. Sea Ai la media aritmética de la columna i -ésima.

$$B = \begin{bmatrix} A_{11} - Ai & A_{12} - Ai & \cdots & A_{1m} - Ai \\ A_{21} - Ai & A_{22} - Ai & \cdots & A_{2m} - Ai \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} - Ai & A_{n2} - Ai & \cdots & A_{nm} - Ai \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$B = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Ai & Ai & \cdots & Ai \\ Ai & Ai & \cdots & Ai \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Ai & Ai & \cdots & Ai \end{bmatrix}$$

b) Eliminar tendencia lineal en los datos

En este paso se utiliza la rutina de Matlab: *detrend()* con la cual se eliminan aquellos valores que provoquen en los datos una tendencia lineal, es decir, se eliminan aquellos valores que sistemáticamente hacen que los datos de la señal aumenten o disminuyan, esto se realiza utilizando una función que represente los datos mediante mínimos cuadrados.

$$C = \text{detrend}(B) \quad (3.3)$$

c) Filtrado de la señal EEG

Para el filtrado de la señal se utiliza un filtro Butterworth pasa bandas para las frecuencias, dicho filtro tiene un corte superior en 35 Hz y un corte inferior en 1 Hz, de esta manera se está tomando únicamente la señal eléctrica cerebral de 1 Hz a 35 Hz, ignorando las otras frecuencias presentes en los datos.

d) Función de Ventaneo

Se emplea la ventana Hamming la cual es representada por la ecuación

$$0.54 + 0.46\cos(k\pi/N) \quad (3.4)$$

e) FFT

Una vez realizado el proceso de ventaneo se aplica la FFT a la señal, de la cual es posible obtener la magnitud y a su vez la potencia de la señal, además de obtener el vector de frecuencias para toda la matriz de la señal eléctrica cerebral.

La FFT fue aplicada utilizando el comando de Matlab: *fft()*.

Sea C la matriz con los datos EEG ya pre-procesados, a esta matriz se le aplica la FFT.

$$C(x) = \sum_{j=1}^N c(j)W_n^{(j-1)(x-1)} \quad (3.5)$$

Donde tenemos:

$$W_N = e^{-2\pi i/N}$$

i = Números imaginarios N = Tamaño de los datos

Una vez realizado este proceso, se obtiene la potencia de la matriz C .

$$P = \text{abs}(C_{ij}) \quad (3.6)$$

$$P = \sqrt{\text{real}(C_{ij})^2 + \text{imag}(C_{ij})^2} \quad (3.7)$$

Este algoritmo arroja como resultados el archivo *eeg.csv* en el cual se encuentra la señal ya procesada (filtrada, ventaneo, *fft*), se crea el archivo

magnitud.csv el cual tiene los registros de la magnitud de la señal procesada, el archivo **power.csv** es creado y contiene la potencia de la señal EEG ya procesada y por último el archivo **frecuencias.csv** es creado, dicho archivo contiene las frecuencias que se encuentran en la señal EEG.

7. Extracción de las características

Una vez que la señal ha sido pre-procesada, ya es posible trabajar con ésta. De la potencia de cada uno de los segmentos / eventos se extraen los valores máximos y mínimos con los cuales se crea una matriz que será utilizada en la etapa de la clasificación, para las ondas cerebrales se extraen los siguientes datos.

- Para la señal α (8 - 12 Hz)

$$M\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

- a) Se calcula la media de α

$$\overline{M\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n M\alpha_i}{n} \quad (3.9)$$

Donde $n = a * c$

- b) Se calcula la desviación estándar de los datos de α_i

$$S\alpha = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (M\alpha_i - \overline{M\alpha})^2} \quad (3.10)$$

Donde $n = a * c$

- c) Se calculan los valores máximos y mínimos de α_i

$$\text{Min}\alpha = \min \{M\alpha_i \mid M\alpha_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.11)$$

$$\text{Max}\alpha = \max \{M\alpha_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.12)$$

d) Se normaliza la matriz $M\alpha$

$$N\alpha = \frac{M\alpha}{Max\alpha} \quad (3.13)$$

■ Para la señal β (8 - 12 Hz)

$$M\beta = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1m} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \cdots & \beta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \cdots & \beta_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

a) Se calcula la media de β

$$\overline{M\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n M\beta_i}{n} \quad (3.15)$$

Donde $n = a * c$

b) Se calcula la desviación estándar de los datos de β_i

$$S\beta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (M\beta_i - \overline{M\beta})^2} \quad (3.16)$$

Donde $n = a * c$

c) Se calculan los valores máximos y mínimos de β_i

$$Min\beta = \min \{M\beta_i \mid M\beta_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.17)$$

$$Max\beta = \max \{M\beta_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.18)$$

d) Se normaliza la matriz $M\beta$

$$N\beta = \frac{M\beta}{Max\beta} \quad (3.19)$$

■ Para la señal θ (8 - 12 Hz)

$$M\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1m} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \theta_{n1} & \theta_{n2} & \cdots & \theta_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

a) Se calcula la media de θ

$$\overline{M\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n M\theta_i}{n} \quad (3.21)$$

Donde $n = a * c$

b) Se calcula la desviación estándar de los datos de θ_i

$$S\theta = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (M\theta_i - \overline{M\theta})^2} \quad (3.22)$$

Donde $n = a * c$

c) Se calculan los valores máximos y mínimos de θ_i

$$Min\theta = \min \{M\theta_i \mid M\theta_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.23)$$

$$Max\theta = \max \{M\theta_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3.24)$$

d) Se normaliza la matriz $M\theta$

$$N\theta = \frac{M\beta}{Max\theta} \quad (3.25)$$

8. Diseño de la Red Neuronal

a) Establecer los datos a utilizar para crear la Red Neuronal:

Como datos a utilizar para crear la red neuronal se emplean las potencias de los registros EEG segmentados, recordar que ya se encuentran separados por estímulo visual.

b) Establecer el tamaño de la capa oculta:

Se indica el número de neuronas que va a contener la capa oculta de la red neuronal, el establecer este número es mediante pruebas hasta encontrar el número de neuronas que nos arroje el mejor resultado al valor esperado. Una vez que se establece el número de neuronas de la capa oculta, la red neuronal es creada.

c) Dividir los datos para entrenamiento, prueba y validación:

De los valores establecidos como datos de entrada, éstos son divididos en tres secciones, una para la parte del entrenamiento, otra para la validación y finalmente para las pruebas. La configuración que se está usando es la siguiente: 80 % de los datos se emplea para el entrenamiento, el 10 % de los datos para la validación y un 10 % de los datos para las pruebas.

9. Entrenamiento Red Neuronal

a) Entrenamiento:

Una vez establecidos los porcentajes de los datos para cada una de las secciones la red es entrenada. Del resultado de dicho entrenamiento se obtuvo la matriz de confusión en la cual se muestran los resultados obtenidos referentes al entrenamiento, validación, pruebas y resultado general de la red neuronal (Ver figura **3.19**).

Del conjunto de datos utilizados en la etapa de *Entrenamiento* para la clasificación de agrado el 45.8 % de los datos fueron clasificados de manera correcta como *agrado*, un 8.3 % de dichos datos marcados como *agrado* fueron clasificados como *desagrado* y el 45.8 % restante fue clasificado de manera correcta como *desagrado*.

Para el diseño de la arquitectura de la red neuronal se realizaron más de 100 pruebas, seleccionando aquella que obtuvo un mejor resultado en la validación de los datos. el mejor resultado fue de 93.3 % de identificación por parte de la red neuronal.

Respecto a los resultados con base en los datos seleccionados para la etapa de *Validación*, la matriz resultante indica que el 33.3 % de los datos fue para validar de manera correcta el estado de *agrado* mientras que con el 66.7 % se validaron de manera correcta los datos para el estado de *desagrado*.

La matriz de confusión resultante para los datos de *Prueba* indica que el 33.3 % de los datos empleados para validar el estado de *agrado* fueron identificados de manera correcta y el 66.7 % fueron utilizados para validar de manera correcta el estado de *desagrado*.

La matriz de confusión general indica que del 50 % de los datos seleccionados para *agrado*, 43.3 % fue clasificado de manera correcta mientras que un 6.7 % fue clasificado de manera errónea como *desagrado* y el 50 % de los datos para



Figura 3.19: Matriz de confusión de red neuronal.

ser identificados como desagrado fueron identificados en esta categoría, (Ver figura 3.20).

b) Utilización de la red:

Una vez concluido el entrenamiento, sólo queda utilizar la red, la red da como resultado un vector llamado *classes* el cual contiene los siguientes valores como respuesta (1 para agrado y 2 para desagrado).

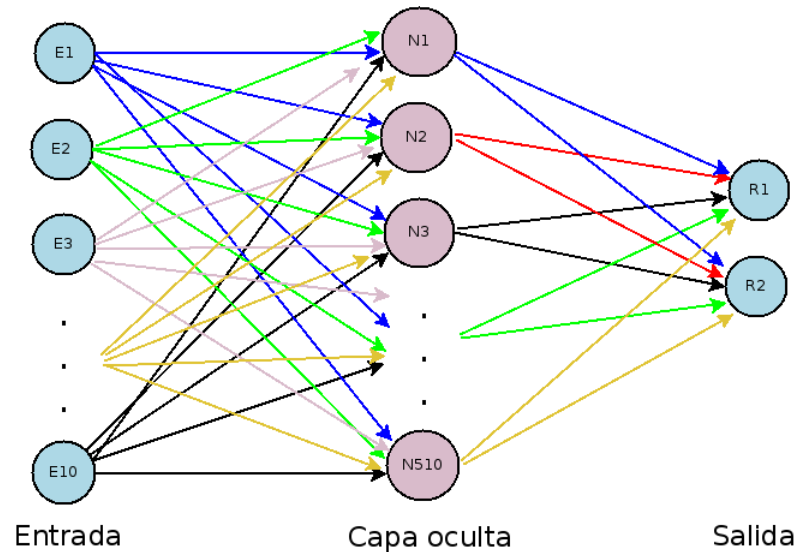


Figura 3.20: Estructura de la red neuronal utilizada.

10. Clasificación

La red neuronal realiza la clasificación de las señales para cada uno de los estados establecidos (agrado y desagrado) en el diseño de ésta, para realizar esta tarea existen diferentes métodos o técnicas de clasificación, en este trabajo se diseñó una red neuronal *patternnet* para realizar dicha clasificación empleando Matlab 2013.

Discusión

De los resultados obtenidos en la prueba piloto empleando estímulos visuales (imágenes IAPS) se obtuvieron los registros de la actividad eléctrica cerebral, los cuales ya contienen marcadores para poder identificar a qué tipo de emoción corresponden (agrado o desagrado), el conjunto de datos entre cada marcador varía de un adulto mayor a otro.

A diferencia de la evaluación con imágenes IAPS en la cual el adulto mayor daba una respuesta verbal, en esta prueba piloto las respuestas fueron acotadas a sólo 3 (agrado, neutral y desagrado), las cuales se indican presionando la tecla con el valor 1 para agrado, 2 para neutral y 3 para desagrado mediante un teclado numérico. Con esto se busca facilitarle al adulto mayor su respuesta.

Ahora el adulto mayor no tenía que usar palabras, sino que tenía que ver una forma gráfica (SAM) la cual está constituida por 3 caras, una para cada una de las respuesta buscadas.

La presentación de los estímulos emocionales fue establecida de manera aleatoria con el fin de evitar un acondicionamiento en el adulto mayor y que éste no pueda identificar un patrón en la presentación de las imágenes.

El establecimiento de un conjunto de algoritmos para el pre-proceso de la señal, permite emplear otros registros EEG y utilizar estos algoritmos para el mismo fin. Inclusive permiten modificar secciones dependiendo del tipo de señal utilizada.

En total se emplearon 600 valores para establecer las características de ambas emociones (agrado y desagrado), estos valores fueron los que se utilizaron para entrenar la red neuronal desarrollada. Los valores fueron divididos en 3 cantidades, el 80 % del total de los datos fue utilizado para la parte del entrenamiento, un 10 % para la validación y el otro 10 % para pruebas.

Con los resultados obtenidos en esta prueba piloto es posible realizar una prueba piloto del caso de estudio (AbueParty) para ver cómo trabaja la red neuronal y qué resultados arroja cuando se utilizan datos generados a partir de una actividad cognitiva.

3.1.6. Resumen del capítulo

En este capítulo se dan a conocer el estudio y la prueba piloto que se desarrollaron para poder, en primer caso, determinar la posibilidad de detectar emociones mediante estímulos visuales ya prediseñados para dicho fin, en el segundo caso, para extraer las características de dichas emociones encontradas además del conjunto de algoritmos desarrollados que facilitan el proceso de extracción de datos, y por último, el diseño y entrenamiento de una red neuronal que permite detectar estados emocionales de agrado y desagrado en los registros EEG.

Capítulo 4

Prueba Piloto II: AbueParty

Objetivo: Como parte de las evaluaciones establecidas, se realizó la prueba piloto con la aplicación de estimulación cognitiva para adultos mayores llamada **AbueParty**; esto con el fin de poder observar cómo se desarrolla toda la actividad de interacción entre los adultos mayores y la aplicación.

Identificar las limitantes que se presenten en esta prueba con el fin de evitar que sucedan en el caso de estudio, ver qué puntos se pueden mejorar para la prueba principal, además de probar la red neuronal desarrollada utilizando los registros de la actividad eléctrica cerebral capturados en el estudio donde se utilizaron estímulos visuales de IAPS.

4.0.7. Descripción de AbueParty

AbueParty es una aplicación que se diseñó para proporcionar estimulación cognitiva a adultos mayores, dicha aplicación se basa en el juego de mesa “Serpientes y Escaleras”, y pueden participar de 2 a 4 personas [Meza-kubo, 2012].

La aplicación integra varios minijuegos (retos cognitivos) que el adulto mayor debe realizar de manera satisfactoria, para poder ir avanzando a través del tablero virtual. En dicho tablero se encuentran serpientes (que hacen retroceder posiciones en el tablero), escaleras (permiten avanzar posiciones en el tablero) y casillas con diferentes retos (retos de coordinación RC, retos musicales RM, y retos artísticos RA) [Meza-kubo, 2012].

En total existen 8 diferentes minijuegos dentro de AbueParty, éstos se pueden dividir en tres categorías diferentes, cada uno de los retos tiene un tiempo límite para realizarlo de 30 segundos, pasado ese tiempo se finaliza el reto tomándose como no concluido, en

algunos casos es necesario realizar una votación para determinar si se realizó de manera correcta.

- ***Rompecabezas***

En este minijuego se le muestra una imagen al adulto mayor, dicha imagen se encuentra separada en dos partes de las cuales una de éstas se mantiene fija y la otra se puede desplazar por medio de la pantalla, el reto consiste en completar dicha imagen.

- ***Adivina la canción***

Este minijuego consiste en escuchar un fragmento (30 segundos) de una canción, al adulto mayor se le proporcionan cuatro títulos diferentes de la canción (de los cuales 1 es correcto), el reto consiste en indicar el título correcto.

- ***Cántala***

Para este reto se le muestra al adulto mayor una palabra de una canción, el reto consiste en que el adulto mayor debe cantar una canción (no inventada) que contenga dicha palabra, para este reto es necesaria una votación.

- ***Adimimo***

Aquí al adulto mayor se le presenta una palabra que indica una acción o animal, el reto consiste en imitar dicha acción o animal, para este reto es necesaria una votación.

- ***¿Qué falta?***

Este es un reto matemático, al adulto mayor se le muestra una operación de suma o resta en la cual falta un elemento, el reto consiste en completar dicha operación.

- ***Atrapa las manzanas***

En este reto van cayendo unas manzanas, el reto consiste en atrapar con una canasta las manzanas que caen.

- ***Dibújala***

En dicho reto al adulto mayor se le muestra una palabra y una sección para dibujar con el dedo, el reto consiste en realizar el dibujo de lo que indique la palabra, para este reto es necesaria una votación.

■ *Refranes*

Al adulto mayor se le muestran cuatro diferentes refranes los cuales no están completados, el reto consiste en completar dichos refranes.

4.0.8. Actividades de la prueba piloto

A continuación se describen las actividades realizadas para poder llevar a cabo la prueba piloto.

1. Participantes

Participaron 4 adultos mayores, 2 hombres y 2 mujeres, de entre 60 y 83 años de edad (72.3 en promedio). Los criterios de inclusión fueron: ser mayor de 60 años, no haber padecido algún trauma craneoencefálico, no mostrar problemas cognitivos moderados o severos, no tener problemas motrices y visuales (i.e. no poder ver bien sin lentes a una distancia de 30 - 50 cm).

Para determinar que los participantes no contaran con problemas cognitivos se les aplicó el Mini Examen de Estado Mental (MMSE, Mini Mental State Examination) y una encuesta estructurada conformada por 13 preguntas abiertas (Ver Anexo *C*).

2. Software

Además del software empleado en la evaluación anterior se utilizó la aplicación AbueParty, ésta es una aplicación de estimulación cognitiva desarrollada para adultos mayores [Meza-kubo, 2012].

3. Hardware

Se utilizó el dispositivo Emotiv Epoc con el cual es posible obtener y registrar la actividad cerebral a través de 14 electrodos (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) que se encuentran distribuidos de acuerdo al Sistema Internacional 10-20.

4. Otros

Solución salina para humedecer las almohadillas que se encuentran en los electrodos, jeringa para aplicar la solución salina.

En la figura 4.1 se pueden apreciar las diferentes actividades realizadas con el fin de obtener los datos necesarios para determinar la experiencia de usuario por parte de los adultos mayores en el uso de la aplicación AbueParty.

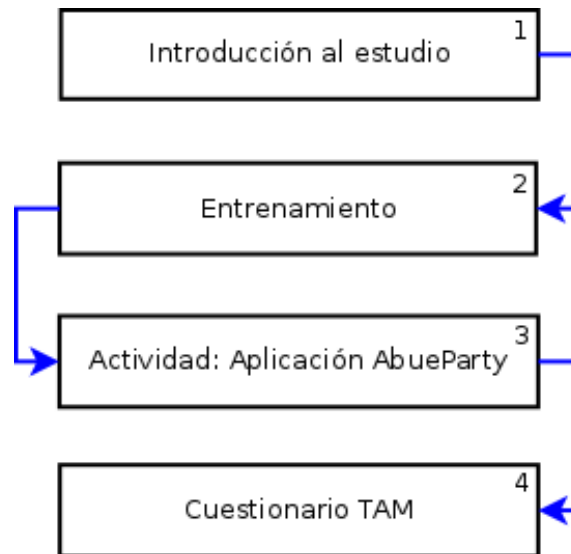


Figura 4.1: Diagrama de actividades en la prueba piloto.

1. Introducción al estudio

A cada uno de los participantes se les se les explicó de manera individual en qué consistía la actividad que debían realizar además de explicarles cómo sería la interacción con la aplicación, el uso del control y de los diferentes minijuegos que se encuentran incluidos en la aplicación AbueParty.

2. Entrenamiento

Es necesario realizar un entrenamiento previo para utilizar el dispositivo Emotiv Epoc. Para el entrenamiento se empleó la aplicación *Expressive* la cual permite identificar los gestos faciales que el adulto mayor realice, también se utilizó la aplicación *Cognitive*; con dicha aplicación es posible interactuar con un cubo virtual 3D a través de comandos mentales.

3. Actividad

Para llevar a cabo el uso de la aplicación, el adulto mayor fue acompañado por 1 ó 2 participantes adicionales, ya sea familiares que los acompañaban o auxiliares

de la evaluación. Durante la interacción del adulto mayor con la aplicación se estuvo registrando de manera automática su actividad eléctrica cerebral además de registrar video de la interacción (Ver figura 4.2).

Durante la actividad, en algunos casos, fue necesario brindar apoyo a los participantes indicando qué es lo que se tenía que hacer en el mini-juego que les aparecía.



Figura 4.2: Adultos mayores que participaron en la prueba piloto.

4. Cierre de las actividades

Una vez finalizada la actividad se le pidió al adulto mayor como última tarea a realizar el contestar un cuestionario de Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM, Technology Aceptation Model), dicho cuestionario se encuentra en el Apéndice C.

Resultados obtenidos

1. Análisis de videos:

Se realizó el análisis de los videos de los cuatro adultos mayores que participaron en esta prueba piloto, en los videos se buscaron diferentes expresiones corporales

y faciales o expresiones verbales de los adultos mayores durante la interacción con la aplicación AbueParty, con el fin de establecer qué elementos se tomarían en cuenta para establecer una relación con las emociones que se están buscando (agrado y desagrado).

Con base en las propuestas de (Morán, et al, 2012; Carver and Scheier, 1990; Fredrickson and Joiner, 2002; Fredrickson, 2001; Mandryk, Inkpen, Calvert, Science, and Canada, 2005) se definió un conjunto de gestos faciales o expresiones corporales que se pueden tomar en consideración para inferir los estados emocionales en los que se encuentren los adultos mayores.

Se desarrolló una tabla en la cual se especifican los dos estados emocionales (agrado y desagrado), dicha tabla se creó relacionando los gestos faciales indicados en la literatura y las características que se observaron en los videos.

En la Tabla 4.1 se puede observar qué elementos son los que se buscarán en los videos para inferir el estado emocional en el adulto mayor durante la actividad.

Tabla 4.1: Emociones y sus características a buscar en los videos.

Emociones a buscar	Elementos característicos
Agrado	Alegre
	Sigue la música, atento
	Sonríe
	Aplauda, efusivo, sorpresa
	Canta – tararea
	Sonríe
Desagrado	Interactúa, seguro
	Ansiedad
	Aburrido
	Desesperado
	Desánimo
	Duda, frustración, risa nerviosa, nervioso
	Neutral

Respecto a la experiencia de usuario percibida durante la actividad y con el análisis de los videos se establecen los siguientes resultados:

- Adulto Mayor 1 (AM1):

El AM1 desde el inicio de la actividad se mostraba nervioso, como compañero de juego en la aplicación AbueParty participó su hijo (adulto), durante la actividad se notó que en ocasiones se frotaba las mano dando una apreciación de nerviosismo; sin embargo, se observó interacción con su compañero de juego además de mostrarse efusivo durante o al finalizar algunos mini-juegos. Se pudo apreciar que el juego que más se le dificultó fue el de los *Refranes* y el que más le agrado, de acuerdo a lo observado, fue el minijuego *Adimimo*. La experiencia de usuario percibida para este adulto mayor fue de agrado.

- Adulto Mayor 2 (AM2):

Para el caso del AM2 como compañera de juego participó una colaboradora de la prueba. La AM2 se mostraba un poco nerviosa al inicio de la actividad, se pudo observar que hubo poca interacción entre ella y su compañera de juego, quizá esto fue debido a que no se conocían.

Durante la actividad se presentó una reacción de desagrado por parte del AM2 para realizar una actividad, específicamente en el reto '*Adimimo*', para el caso del AM2 la palabra que se presentó fue "*LLORAR*", en cuanto vio la palabra el AM2 comentó "*NO LO VOY HACER*", se le explicó que no tenía que llorar de verdad, simplemente imitar cómo lo hace un mimo que está llorando y el AM2 argumentó que no le gustaba llorar, inmediatamente se le indicó que no había problema.

Posteriormente, el AM2 se tornó un poco más seria durante el resto de la actividad. La experiencia de usuario percibida para este adulto mayor fue de desagrado.

- Adulto Mayor 3 (AM3):

Respecto al AM3 le tocó como compañero de juego un niño, por tal motivo la manera de interactuar y comportamiento por parte de AM3 pudo haber cambiado. A diferencia de los dos primeros participantes, el AM3 no se percibía nervioso, durante toda la actividad se le observó muy efusivo, sonriente y alegre además de interactuar mucho con su compañero de juego y

de ayudarlo en algunos retos, tales como '*Adivina la canción*'. La experiencia de usuario percibida para este adulto mayor fue de agrado.

■ Adulto Mayor 4 (AM4):

Por último, al AM4 le tocó como compañero de juego un colaborador de la prueba. Al inicio de la actividad al AM4 se le observó un poco nerviosa pero también atenta a todo lo que pasaba. Se observó una continua interacción entre ambos jugadores, el AM4 estuvo sonriente durante toda la actividad y en algunas ocasiones efusiva. La experiencia de usuario percibida para el AM4 fue de agrado.

Con estos resultados obtenidos en el análisis subjetivo de los videos, se obtiene la Tabla 4.2, en la cual se puede apreciar la experiencia de usuario identificada para cada uno de lo adultos mayores.

Tabla 4.2: Experiencia de Usuario de acuerdo al análisis de los videos.

Adulto Mayor	Experiencia de Usuario
AM1	Agrado
AM2	Desagrado
AM3	Agrado
AM4	Agrado

2. Análisis TAM

Para el análisis del TAM se utilizaron aquellas preguntas orientadas a identificar la ansiedad y el disfrute percibido por los participantes durante la actividad, es por ello que sólo se utilizaron las afirmaciones de la sección *Ansiedad al Utilizar el Sistema* (*La dinámica de la aplicación me pondría nervioso, Jugar con la aplicación me haría sentir incómodo*) y de la sección *Disfrute Percibido al Utilizar el Sistema* (*Disfrutaría jugar con la aplicación, Jugar con la aplicación me haría sentir incómodo, Me divertiría jugando con la aplicación*).

Para las respuestas de las preguntas de cada sección se utilizó una escala Likert [1 2 3 4 5], donde 1 = Totalmente de acuerdo y 5 = Totalmente en desacuerdo. De acuerdo a las respuestas proporcionadas por los adultos mayores para la sección

de preguntas que permite determinar el nivel de agrado en un rango de 0 a 100 % los resultados dan un 96.65 % para la emoción de alegría, mientras que para la sección de desagrado el resultado obtenido es de un 27.5 %. La primer categoría está constituida por las preguntas 9 y 10, mientras que la segunda categoría está conformada por las preguntas 11, 12 y 13.

En el caso del AM1, la respuesta que proporcionó para la pregunta 9 fue un 4, indicando que la dinámica de la aplicación lo puso nervioso. Mientras que para la pregunta 10 dio como respuesta un 1, indicando que jugar con la aplicación no lo hace sentir incómodo.

El AM2 respondió con un 4 (llegó a disfrutar jugar con la aplicación) para la pregunta 11, con un 5 (le hizo sentir mucha satisfacción jugar con la aplicación) para la pregunta 12 y con un 5 (se divirtió jugando con la aplicación) para la 13.

El AM2 dio como respuesta un 1 para la pregunta 9, indicando que la dinámica de la aplicación no lo hace sentir nervioso, y un 2 como respuesta para la pregunta 10. Asimismo, dio un 5 como respuesta (disfrutó jugar con la aplicación) para la pregunta 11, un 4 (llegó a sentir satisfacción al jugar con la aplicación) para la pregunta 12 y un 5 (se divirtió jugando con la aplicación) para la pregunta 13.

En el caso del AM3, éste contestó con un 1 las preguntas 10 y 11 indicando que tanto la dinámica como la aplicación no lo hicieron sentir incómodo en ningún momento. Para las preguntas 11, 12 y 13 dio como respuesta un 5, indicando que disfrutó el juego, sintió mucha satisfacción y se divirtió con la aplicación.

Finalmente el AM4 respondió con un 5 y un 1 para las preguntas 9 y 10 respectivamente, indicando haberse sentido nerviosa pero no incómoda al utilizar la aplicación. Finalmente, respondió con un 5 para las preguntas 11, 12 y 13.

Con estos resultados, de acuerdo con el cuestionario TAM, se determinó que la experiencia de usuario para cada uno de ellos fue de agrado (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3: Experiencia de Usuario de acuerdo al análisis de las respuestas TAM.

Adulto Mayor	Experiencia de Usuario
AM1	Agrado
AM2	Agrado
AM3	Agrado
AM4	Agrado

De acuerdo a las respuestas proporcionadas por los adultos mayores para la sección de preguntas que permiten determinar el nivel de agrado en un rango de 0 a 100 % (Ver figura 4.3), los resultados dan un 96.65 % para la emoción de alegría, mientras que para la sección de desagrado el resultado obtenido fue de 27.5 %.

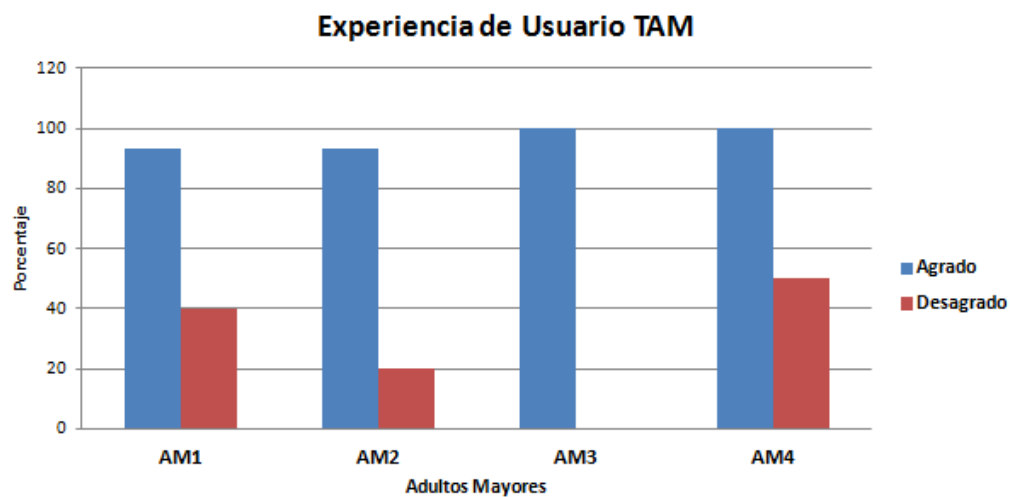


Figura 4.3: Resultados de autoreporte TAM.

3. Análisis Red Neuronal

En la Figura 4.4 se pueden observar los pasos que se siguieron para obtener los resultados que se muestran en la Tabla 4.4.

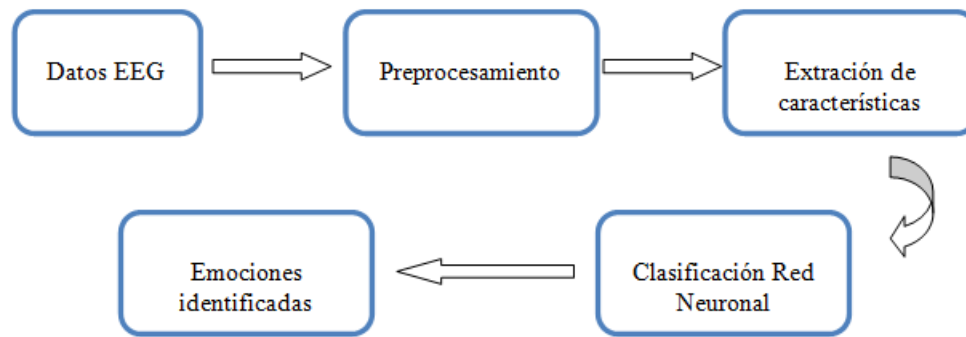


Figura 4.4: Actividades realizadas para el análisis con la red neuronal.

Tabla 4.4: Experiencia de Usuario de acuerdo a la clasificación de la Red Neuronal.

Adulto Mayor	Datos	Agrado (%)	Desagrado (%)	Experiencia de Usuario
AM1	1221	55.9	44.1	Agrado
AM2	4369	52.71	42.29	Agrado
AM3	1281	58.65	41.34	Agrado
AM4	2184	75.86	24.13	Agrado

Del AM1 se tiene que de los 1221 registros el 55.90 % representan el estado de agrado y el 44.10 % de dichos registros corresponden a desagrado, esto indica que la red neuronal arroja que el AM1 tuvo una experiencia de usuario agradable.

Para el AM2 se tiene un conjunto de 4369 datos de las cuales 2303, es decir el 52.71 %, representan el estado de agrado y 2066 o el 42.29 % de dichos registros corresponden a desagrado, por lo tanto la red neuronal indica que su experiencia de usuario es agradable.

Para el AM3 se tiene un conjunto de 1281 datos de los cuales 1281 o el 58.65 % representan el estado de agrado y 903 o el 41.34 % de dichos registros corresponden a un estado de desagrado.

Por último, para el AM4 se genera un conjunto de 2184 datos, con los cuales se obtuvo que 1281 de éstos, es decir el 75.86 %, representan el estado de agrado y 903 o el 24.13 % de dichos registros corresponden a un estado de desagrado.

Discusión

De manera general cada uno de los análisis realizados arroja que los adultos mayores tuvieron una experiencia de usuario agradable, no obstante durante la realización de la actividad y el análisis de los registros capturados se puede extraer lo siguiente:

En el caso de la observación indirecta (Video), el AM1 se observó nervioso durante algunas actividades (minijuegos) tales como *Refranes* y *¿Qué Falta?*, principalmente en el mini-juego de *Refranes* se observó que se le dificultaba hacer la actividad, sin embargo de manera general se observó alegre y efusivo en algunos de los retos.

En el caso del TAM para el AM1 en la categoría de *Ansiedad al Utilizar el Sistema*, la respuesta dada (responde con un 4) en la pregunta número 9 concuerda con lo observado en el video.

Para el adulto mayor AM2, en el caso de la observación indirecta (Video), ella se observa tranquila, en algunas ocasiones sonríe e interactúa con su compañera de juego.

El adulto mayor AM3, en el caso de la observación indirecta (Video), éste se observa muy alegre, sonríe y se muestra efusivo además de interactuar mucho con su compañero de juego, durante toda la actividad no se le vio nervioso, aburrido, frustrado, no mostró ninguna señal de los elementos a buscar para la categoría de desagrado.

La experiencia de usuario observada en el AM3 fue agradable, quizá un elemento que pudo haber favorecido al comportamiento tan alegre que mostró fue que su compañero de actividad fue un niño. Referente a las respuestas dadas en el TAM, éstas concuerdan con lo observado en el video registrado de la actividad.

Sin embargo, con base en los resultados de la observación y del TAM se esperaba que los resultados de la red neuronal tuvieran un mayor porcentaje de identificación de estados de agrado y que fuese el que mayor porcentaje que de los cuatro participantes se obtuviera, ya que fue este adulto mayor el que se observó alegre, efusivo, que interactuaba mucho con su compañero de juego, etc.

Para finalizar, en el caso del AM4 se observa en el registro del video que se ríe mucho, está alegre, se muestra efusiva principalmente en los minijuegos de *Adivínala* y *Atrapa las manzanas* e interactúa mucho con su compañera de juego. Se observa que el minijuego *¿Qué falta?* no es de su agrado, cabe mencionar que este adulto mayor presentaba un problema con sus rodillas (se le dificultaba caminar) afortunadamente no fue ninguna limitante para que ella se divirtiera o realizara los diferentes mini-juegos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en cada uno de los métodos utilizados para

establecer la experiencia de usuario de cada uno de los adultos mayores (ver Tabla 4.5). Se puede apreciar que el único resultado que difiere corresponde con el AM2, ya que en el TAM y Red Neuronal el resultado es de agrado, mientras que el resultado obtenido mediante el análisis del video difieren ya que arroja desagrado.

Con estos resultados, se puede considerar que la red neuronal utilizada tiene un 75 % de efectividad en identificar los dos estados emocionales con los que fue entrenada.

Tabla 4.5: Resultados de la Experiencia de Usuario en Prueba Piloto

Adulto Mayor	Red Neuronal	TAM	Video
AM1	Agrado	Agrado,	Agrado
AM2	Agrado	Agrado	Desagrado
AM3	Agrado	Agrado	Agrado
AM4	Agrado	Agrado	Agrado

4.0.9. Resumen del capítulo

En este capítulo se presenta la prueba piloto realizada con la aplicación AbueParty, con el fin de refinar el proceso a realizar además de identificar posibles problemas / inconvenientes que pudieran presentarse durante el estudio a realizar. También sirvió para trabajar con los diferentes métodos a utilizar para determinar la experiencia de usuario de los adultos mayores que participen en la actividad, principalmente trabajar con la red neuronal desarrollada y entrenada (**Capítulo 3**) y establecer la efectividad con la que puede identificar los estados emocionales a partir de los registros EEG.

Capítulo 5

Caso de Estudio: AbueParty

En este capítulo se da a conocer el estudio realizado para la evaluación de experiencia de usuario de la aplicación de estimulación cognitiva AbueParty.

Para dicho estudio se emplearon diferentes técnicas para obtener registros sobre la experiencia de uso en la aplicación por parte de los adultos mayores que participaron. Por un lado se empleó la técnica psicofisiológica empleando el dispositivo Emotiv Epoc para la captura de la actividad eléctrica cerebral de los participantes durante el uso de la aplicación, también se emplearon técnicas tradicionales como cuestionarios y observación indirecta.

1. Participantes

En el estudio participaron 41 adultos mayores, 16 hombres y 25 mujeres, de entre 61 y 80 años de edad (con un promedio de 62.24 años y una desviación estandar de 7.502). Los criterios de inclusión fueron: ser mayor de 60 años, no haber padecido algún trauma craneoencefálico, no mostrar problemas cognitivos moderados o severos, no tener problemas motrices y visuales (i.e. no poder ver bien sin lentes a una distancia de 30 - 50 cm).

Se contó con un grupo inicial de 41 adultos mayores participantes, de éstos, sólo 23 adultos mayores concluyeron el estudio; de los 18 participantes restantes, 3 fueron descartados del estudio por cuestiones de su propia seguridad ya que ellos tenían marcapasos, 7 no se presentaron al estudio y 8 dejaron de asistir por cuestiones personales.

A continuación se describen los materiales utilizados.

2. Software

+ Aplicación AbueParty: Se utilizó la aplicación AbueParty [Meza-kubo, 2012], dicha aplicación es un sistema de estimulación cognitiva el cual se basa de alguna manera en el juego *Serpientes y Escaleras* (Ver figura 5.1) donde cada casilla en el tablero es un mini-juego / reto, diseñados para estimular cognitivamente al jugador, la interacción con la aplicación se realiza mediante una pantalla touch y un control diseñado para la interacción con algunos mini-juegos y un sistema de votación. El número máximo de jugadores es de 4, para poder avanzar en el juego es necesario realizar los mini-juegos que van apareciendo dependiendo en qué casilla caigan, si no realizan el mini-juego, no podrán avanzar.



Figura 5.1: AbueParty

+ Camtasia v5 con el fin de registrar en video la actividad en la pantalla al igual que a los participantes.

+ EmotivControlPanel para agregar a cada uno de los usuarios del dispositivo Emotiv Epoc, además de utilizar herramientas integradas Expressive y Cognitive para el entrenamiento.

+ La aplicación Testbench permite hacer el registro de la actividad eléctrica cerebral de los adultos mayores durante la actividad.

+ SaveFrustration permite el registro de la frustración (frustration), compromiso (engagement), exaltación en periodo corto y largo de tiempo (short excitement y long excitement) de los adultos mayores durante la actividad. **Nota:** Estos datos son proporcionados por el dispositivo Emotiv Epoc de manera automática.

3. Hardware

+ Dispositivo Emotiv Epoc con el cual es posible obtener y registrar la actividad cerebral a través de 14 electrodos (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) que se encuentran distribuidos de acuerdo al Sistema Internacional 10-20.

+ Camara de video Sony para el registro de la actividad.

4. Otros

+ Cuestionario (Likert TAM-Like) para determinar la experiencia de usuario [Meza-kubo, 2012].

+ Solución salina para humedecer las almohadillas que se encuentran en los electrodos.

+ Jeringa para aplicar la solución salina.

En la Figura **5.2** se aprecian las diferentes fases de la evaluación y las actividades correspondientes.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

1. Introducción

La primer actividad realizada con los adultos mayores fue explicarles en qué consistía el estudio en el que estaban participando, además de contestar algunas dudas por parte de ellos sobre la naturaleza de dicho estudio.

Una vez explicado todo lo referente al estudio se prosiguió con la firma de un documento de consentimiento por parte del adulto mayor (Ver Anexo **C**).

Dentro de esta actividad los participantes contestaron una encuesta estructurada conformada por 13 preguntas abiertas (Ver Anexo **C**). Una vez concluida dicha entrevista, se prosiguió con la aplicación del Mini Examen de Estado Mental

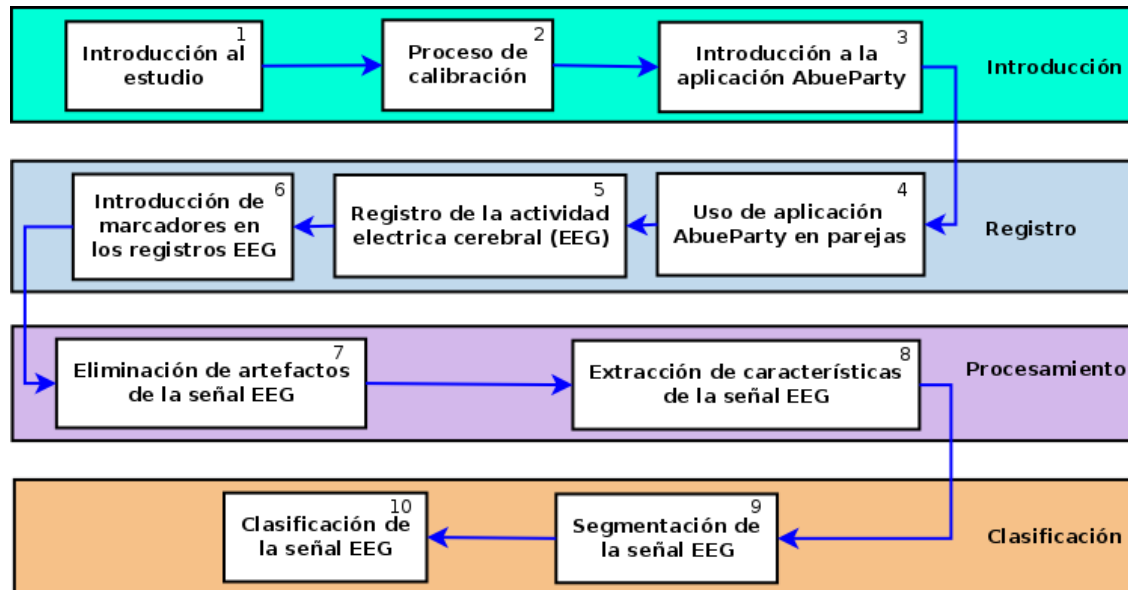


Figura 5.2: Etapas de la evaluación.

(MMSE, Mini Mental State Examination) con el fin de identificar si alguno de los participantes presentaba indicios de deterioro cognitivo (Ver Anexo C).

Todas estas actividades se realizaron de manera individual con cada participante con el fin de no sesgar las respuestas proporcionadas por los adultos mayores.

Para la etapa de entrenamiento se utilizó la herramienta *Expressive*, dicha herramienta permite relacionar un gesto facial realizado por el usuario y relacionarlo con los ya preestablecidos, el gesto facial identificado por el dispositivo es mostrado mediante un robot virtual el cual realiza el gesto facial identificado. También se utilizó la herramienta *Affective* con la cual el usuario puede interactuar con un cubo 3D virtual mediante comandos mentales.

La herramienta ya cuenta con acciones preestablecidas que se pueden utilizar en el cubo, primeramente se establece un estado base, una vez realizado esto se selecciona un comando preestablecido; el usuario genera un pensamiento el cual es asociado a ese movimiento en particular y como resultado da el movimiento del cubo dependiendo de la selección establecida.

Por otro lado, previo al inicio de la actividad se le explicó al adulto mayor cómo utilizar la aplicación AbueParty (interactuar con ella y cómo utilizar el control). Además se dio una explicación de cada uno de los diferentes

mini-juegos (Adimimo, Atrapa las mazanas, Adivina la canción, Cantala, Dibujala, ¿Qué falta?, y Rompecabezas) que se encuentran presentes en la aplicación y que podrían aparecer durante la actividad.

Se les indicó que si llegaban a presentar alguna duda sobre cómo jugar algún mini-juego, se les daría una explicación rápida de cómo realizar la actividad.

2. Registro

La evaluación consistió en jugar con la aplicación de estimulación cognitiva AbueParty, dicha aplicación está dirigida a adultos mayores.

La actividad fue realizada en parejas por conveniencia, debido a qué, aunque pueden jugar un máximo de 4 jugadores, sólo se contaba con dos dispositivos Emotiv Epoc para realizar la captura del EEG de este número de participantes en cada juego.

Al iniciar AbueParty es necesario introducir los nombres de los jugadores (Ver Figura 5.3), posteriormente a cada participante se le asigna una ficha en el juego para que pueda visualizar en qué posición se encuentra en el tablero (Ver Figura 5.4), dicha ficha se va moviendo en el tablero de manera automática conforme el adulto mayor resuelve los retos. El adulto mayor no necesita interactuar con esto.



Figura 5.3: Captura de los nombres de cada participante.

Toda la actividad se va registrando en video, al igual, la actividad eléctrica cerebral es registrada mediante el software TestBench.

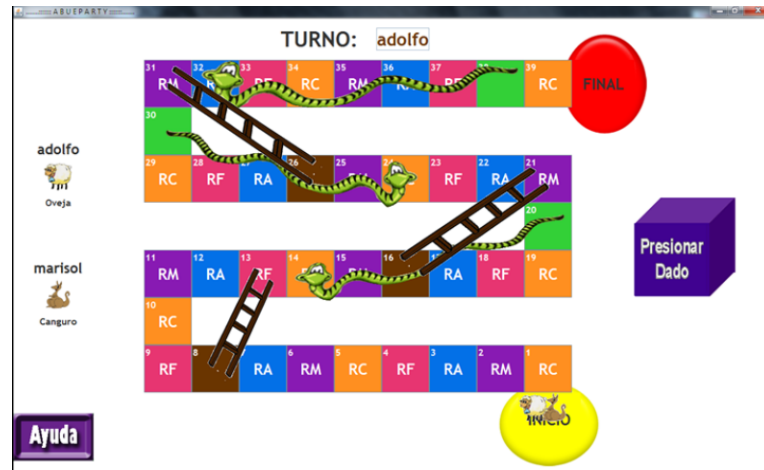


Figura 5.4: Tablero AbueParty.



Figura 5.5: Participantes en la evaluación.

Durante el registro de la señal EEG, se introdujeron marcadores con el fin de identificar los momentos en que se mostraron los mini-juegos y facilitar un posterior análisis. Los marcadores fueron introducidos al inicio del mini-juego y cuando éste hubo finalizado.

Una vez concluida la actividad, se le pidió al adulto mayor contestar un cuestionario TAM (Ver Anexo C), dicho cuestionario cuenta con 14 reactivos, dichos reactivos se encuentran distribuidos en 7 categorías diferentes, incluyendo: Utilidad, Usabilidad, Intención de Uso, entre otras.

3. Procesamiento

Para esta etapa se realizaron las mismas actividades que en la prueba piloto II, la señal capturada tuvo que ser pre-procesada para poder utilizarla en las actividades siguientes.

4. Clasificación

Una vez que la potencia de la señal EEG (característica a utilizar para determinar el estado de agrado o desagrado presente en el adulto mayor) se tiene, este registro es subdividido en secciones (matrices) de 60 x 10. Los resultados obtenidos mediante los datos de actividad eléctrica cerebral serán comparados con los resultados obtenidos a través de las técnicas tradicionales observación (video) y cuestionarios (TAM).

5.1. Resultados

En este trabajo se pretende establecer el uso de registros EEG para determinar la experiencia de usuario, los resultados obtenidos son comparados con los generados por las técnicas tradicionales utilizadas, en este caso observación (análisis cualitativo de video) y cuestionario. Los resultados obtenidos por cada uno de los métodos empleados se describen a continuación.

5.1.1. Experiencia de Usuario: Cuestionario TAM

Con el fin de obtener la experiencia de usuario de acuerdo a la percepción de los adultos mayores se empleó un cuestionario TAM, en el cual las respuestas están en una escala Likert del 1 al 5. De las diversas secciones del TAM, este estudio se enfocó en las secciones *Ansiedad al Utilizar el Sistema* (para determinar desagrado) y *Disfrute Percibido al Utilizar el Sistema* (para determinar agrado).

Las respuestas para la sección *Ansiedad al Utilizar el Sistema* muestran de manera general que los adultos mayores presentaron niveles bajos de ansiedad (9.78/100) durante la utilización de la aplicación AbueParty. De manera particular los adultos mayores AM3, AM4 y AM7 reportan en sus respuestas haber presentado niveles más altos de ansiedad durante la actividad realizada, dichos valores son (37.5/100, 50/100, y 50/100, respectivamente).

Lo reportado por los adultos mayores para la sección *Disfrute Percibido al Utilizar el Sistema* indica que disfrutaron el utilizar la aplicación al igual que la actividad, en promedio la respuesta fue (99.63/100).

La interpretación que se le puede dar a estos resultados obtenidos es que todos los

participantes (23/23, 100 %) presentaron una experiencia de usuario agradable durante la actividad con la aplicación AbueParty, no obstante algunos participantes (3, 13.04 %) indican en sus respuestas haberse sentido un poco ansiosos.

5.1.2. Experiencia de Usuario: Análisis Cualitativo de Videos

Como se ha indicado anteriormente la actividad realizada por los adultos mayores fue videograbada, para posteriormente realizar un análisis cualitativo [Moran, 2012] para determinar la experiencia de usuario.

Este tipo de análisis consiste en analizar las expresiones verbales y movimientos corporales para poder determinar estados emocionales en el participante. Se cuantificó la frecuencia de las expresiones identificadas además de un análisis cualitativo, con esta información se determinó la experiencia de usuario (agrado o desagrado) para cada participante.

Los resultados que se obtuvieron empleando una evaluación cualitativa indican que la mayoría de los adultos mayores mostraron expresiones y una actitud que se relacionan a un estado de agrado (15/23, 65.21 %) durante la actividad. Sin embargo algunos participantes (AM4, AM7, AM9 y AM17, 4/23, 17.39 %) mostraron expresiones o una actitud que se puede relacionar a un estado de desagrado durante la actividad.

También, hubo un participante que mostró ambos tipos de expresiones casi por igual (AM2, 1/23, 4.34 %), y algunos participantes se mostraron inexpresivos (AM1, AM10 y AM11) por tal motivo éstos fueron clasificados como en un estado Neutral (4/23, 17.39 %).

En el caso del AM1, él fue uno de los 3 adultos mayores que tuvo como compañero de juego a un colaborador del estudio. De los 3 adultos mayores en este caso, fue el que estuvo serio durante la actividad; no hubo expresiones que indicaran un estado de agrado o desagrado, y no se observó mucha interacción con su compañero de juego.

Cabe mencionar que le tocó jugar con una mujer mientras que a los otros dos adultos mayores les tocó con un hombre, quizá esto hizo que modificara su comportamiento dando lugar a lo observado durante toda la actividad. Al finalizar la actividad el AM1 comenta *“muy divertido esto”*. La experiencia de usuario determinada para el AM1 es neutral.

Los AM2 y AM17 fueron pareja de juego en la actividad, al inicio ambos

participantes se miraron nerviosos; el AM2 al finalizar el primer reto que aparece, comenta “*no traigo mis lentes, no veo muy bien*”. Sólo cuatro veces hubo interacción entre ellos durante todo el juego, estuvieron sonriendo algunas veces durante la actividad.

Se pudo observar que el reto que más se les dificultó fue el de *Refranes*; una vez finalizada la actividad fue cuando comenzaron a platicar entre ellos, el AM17 fue el que tuvo un semblante serio durante la actividad. La experiencia de usuario para AM2 fue considerada neutral mientras que para su compañero de juego AM17 fue de desagrado.

El AM9 tuvo como compañero de juego al AM14; durante la actividad el AM14 se mostró más participativo que el AM9, se puede apreciar que el juego “*Atrapa las manzanas*” les agrada mucho, mientras que al AM9 se le dificulta el juego de *Refranes*; aproximadamente a mitad de la actividad fue cuando interactuaron un poco entre ellos.

Aquí en particular, el AM14 comenzó a calificar los retos realizados por el AM9 como “Retos no aprobados”, es decir, que no se realizó de manera correcta la actividad, y el AM9 no avanza posiciones en el tablero; el sistema despliega la frase *SUERTE PARA LA PROXIMA y una carita triste* al AM9, y cada vez que pasa esto el AM9 hace comentarios como “*No se vale, otra vez lo mismo*”, “*Ya no quiero jugar*”, “*Puras malas para mí*”, “*Otra vez suerte para la próxima, mejor me voy*”.

Por tal motivo se establece la experiencia de usuario del AM14 como agrado mientras que para el AM9 como desagrado.

Para los AM4 y AM7 que fueron pareja de juego se observó que el AM4 se encontraba un poco nervioso al iniciar la actividad mientras que el AM7 estuvo muy serio. Durante la actividad se observa que a ambas les gusta el juego de *Atrapa las manzanas*, sin embargo se siguen mostrando muy serias en la actividad.

En una ocasión cuando se presenta el reto *Rompecabezas* el AM7 le da instrucciones de cómo moverse al AM4, el AM4 responde “*No me digas*”, el AM7 sólo sonríe y a partir de este incidente el AM7 siempre está seria, el AM4 sonríe en algunas ocasiones.

Se presenta el reto *Cántala* con la palabra “MICAELA” para el AM7, el AM7 comenta “*Micaela... , no me se ninguna de Micaela, vamos a irnos rápido*”. Debido a esto se establece la experiencia de usuario como desagrado para ambos participantes.

También se tiene a la pareja conformada por los AM10 y AM11, durante la actividad ambos adultos mayores se mantienen serios, interactuando entre ellos muy pocas veces, sonriendo en algunas ocasiones con el reto *Cántala*. De todas las parejas de juego

conformadas por dos adultos mayores, fueron los menos expresivos, por tal motivo su experiencia de usuario es considerada neutral.

Los resultados obtenidos del análisis de los videos indican que la experiencia de usuario de la mayoría de los participantes (15/23, 65.21 %) es de agrado mientras que (4/23, 17.39 %) es identificada como desagrado y el resto (4/23, 17.39 %) como una experiencia neutral.

5.1.3. Experiencia de Usuario: Registros de Actividad Cerebral

Los resultados obtenidos empleando la red neuronal desarrollada para detectar estados emocionales de agrado y desagrado utilizando registros de actividad eléctrica cerebral indican que la experiencia de usuario de (17/23, 73.91 %) de los adultos mayores es identificada como agrado ya que predominó la detección de agrado en sus registros EEG. La experiencia de usuario de los adultos mayores (AM1, AM2, AM9, AM11, AM17, AM19, 6/23, 26.09 %) es identificada como desagrado ya que sus registros EEG recaen en esta emoción.

La clasificación de los registros EEG de los adultos mayores AM1, AM11 y AM17 tuvieron muy pocas diferencias entre la frecuencia de agrado y desagrado sin embargo con una tendencia hacia desagrado, mientras que la clasificación de los registros EEG de los adultos mayores AM2, AM9 y AM19 muestran que el estado de desagrado tiene una mayor frecuencia de identificación (arriba del 67 %).

Con estos resultados se puede concluir que la experiencia de usuario de más de la mitad de los adultos mayores (17/23, 73.91 %) fue de agrado mientras que la experiencia de usuario de los otros (6/23, 26.09 %) adultos mayores es identificada como desagrado.

5.2. Discusión

De acuerdo a los registros mostrados en la Tabla 6.1 se tiene que los resultados del TAM arrojan que (23,100 %) de los adultos mayores, indican haber tenido una experiencia de usuario agradable.

Para el caso del análisis cualitativo de los videos registrados durante la actividad, se obtiene que sólo (15, 65.22 %) de los participantes se considera que obtuvieron

una experiencia de usuario agradable, (4,17.39 %) de los participantes tuvieron una experiencia de usuario desagradable y por último (4,17.39 %) de los adultos mayores tuvieron una experiencia neutral, sin embargo si se clasifica como desagrado a estos últimos, entonces se tiene que (8, 34.68 %) de los adultos mayores presentó una experiencia de usuario desagradable.

Finalmente de acuerdo con las respuestas proporcionadas por la red neuronal con base en los registros EEG de cada uno de los participantes se identifica que (17, 73.91 %) de los adultos mayores fueron clasificados por la red neuronal con una experiencia de agrado, mientras que para (6, 26.09 %) de los adultos mayores dichos registros fueron clasificados por la red neuronal como con una experiencia de desagrado.

Tabla 5.1: Tabla con los resultados de la experiencia de usuario.

Emociones	Autoreporte (TAM)	Análisis Cualitativo (Videos)	Clasificación EEG (Red Neuronal)
Agrado	23 (100 %)	15 (65.22 %)	17 (73.91 %)
Desagrado	0	4 (17.39 %)	6 (26.09 %)
Neutral	0	4 (17.39 %)	0

Validación de los resultados de la Experiencia de Usuario vs Costo de obtener dichos resultados

Considerando el costo-beneficio de llevar a cabo una evaluación de experiencia de usuario, utilizando alguno de los tres métodos utilizados en este trabajo, los resultados arrojan que es permisible utilizar dichos métodos con el fin de complementar los resultados obtenidos de cada uno de éstos e incrementar su validez.

■ Análisis de videos

El análisis cualitativo (videos), es el método que más información proporciona relacionada a la experiencia de usuario de los participantes durante una actividad, sin embargo es el método que más esfuerzo requiere además de que el evaluador puede llegar a introducir un sesgo en los resultados debido a experiencias pasadas o a sus creencias [Arhippainen and Tähti, 2003].

- Análisis TAM

El autoreporte es un método muy sencillo y que no requiere de mucho esfuerzo para su aplicación en evaluaciones de experiencia de usuario, no obstante, los participantes tienden a mejorar la percepción en los resultados debido a que se sienten evaluados o porque piensan que es lo que el evaluador quiere escuchar [Arhippainen and Tähti, 2003] [Hornb et al., 2006].

- Análisis registros de actividad eléctrica cerebral

Una evaluación de experiencia de usuario basada en datos neurofisiológicos podría resultar el método más objetivo para este tipo de evaluaciones, ya que no toma en cuenta lo que los participantes responden en un autoreporte o la percepción (subjetiva) del evaluador [Ahern and Schwartz, 1985].

Basado en la evidencia obtenida en la realización de este estudio, se puede recomendar para estudios futuros utilizar primeramente el método de autoreporte y el uso de los datos EEG con la red neuronal (estos métodos son más simples de utilizar) y contrastar dichos resultados; los resultados de este trabajo indican que el nivel de precisión con estos métodos puede ser aproximadamente de un 70 %.

Sin embargo hay que tomar en cuenta que en algunos casos los resultados obtenidos por cada uno de estos métodos pueden no coincidir, es por ello que se recomienda realizar un análisis de videos (análisis cualitativo), no sólo para validar los datos, sino, para conocer las diferentes causas que pudieron originar esa posible disparidad en los resultados de cada método.

Capítulo 6

Conclusiones, Contribuciones y Trabajo Futuro

6.1. Conclusiones

En esta tesis se exploró el determinar la experiencia de usuario en adultos mayores cuando éstos interactúan con una aplicación de estimulación cognitiva, el énfasis del trabajo es poder establecer la experiencia de usuario empleando datos de actividad eléctrica cerebral que son capturados durante la interacción de los adultos mayores con la aplicación utilizada para la actividad y comparar dichos resultados con los de otras técnicas utilizadas (observación y cuestionario).

Para lograr este fin, se realizó una revisión a la literatura especializada en el área de experiencia de usuario para conocer qué factores (elementos, características) son los que influyen en la experiencia de usuario. Con esto se lograron observar diferentes categorías para los factores que se han identificado, por ejemplo: factores relacionados al usuario, factores relacionados al producto, al contexto de uso, entre otros.

Identificar dichos factores fue una primera parte del entendimiento, la otra parte consistió en trabajar con el dispositivo Emotiv Epoc y con el tipo de datos que registra, es por ello que se llevó a cabo un estudio para identificar qué tipo de mediciones son las que se podrían hacer con el dispositivo Emotiv Epoc.

Una vez realizado esto, los registros EEG capturados fueron analizados con la ayuda de un especialista en neuroseñales, mediante este análisis se identificaron dos tipos de respuesta emocional, agrado y desagrado de acuerdo a las regiones cerebrales que

mostraron cambios en la actividad eléctrica cerebral.

Este resultado permitió diseñar y aplicar dos pruebas piloto; con la prueba piloto I se lograron obtener registros de actividad eléctrica cerebral relacionados a las emociones identificadas (agrado y desagrado) en el estudio previo.

Uno de los resultados importantes fue establecer los pasos que se requieren para poder trabajar la señal eléctrica cerebral, y la generación y entrenamiento de una red neuronal con la cual determinar la experiencia de usuario, empleando datos de actividad eléctrica cerebral.

Una vez entrenada la red neuronal se realizó la prueba piloto II con la aplicación AbueParty, esta prueba piloto permitió evaluar todo el proceso a realizar en el caso de estudio real además de capturar datos EEG, dichos registros fueron empleados en la red neuronal permitiendo probar su efectividad para poder clasificar los datos para identificar las emociones de agrado y desagrado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para estudios donde sea suficiente un aproximado del 70 % de confiabilidad, sobre todo cuando no se dispone de periodos largos de tiempo para evaluar, es recomendable emplear las técnicas de auto reporte y EEG para determinar la experiencia de usuario, y utilizar el análisis del video solo en aquellos casos donde sea necesario tener más precisión, ya que este es el método que más esfuerzo requiere y es subjetivo.

Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que la red neuronal utilizada para la prueba piloto II y el caso de estudio, está entrenada con registros EEG de estímulos visuales (recordando que se utilizaron estímulos visuales de IAPS).

Esto es importante, ya que AbueParty es un juego que presenta diferentes tipos de estímulos a los adultos mayores tales como visual, auditivo, cognoscitivo, interacción interpersonal, etc., esto propiciaría una mayor actividad eléctrica cerebral que la que activaría estar visualizando imágenes, por lo cual es importante el poder reentrenar la red neuronal con registros EEG que contengan este tipo de estímulos y ver los resultados que arroja.

6.2. Contribuciones

- + Conjunto de algoritmos que permiten el procesamiento de los registros EEG capturados con el dispositivo Emotiv Epoc.

Fue necesario desarrollar un conjunto de algoritmos que permitieran manejar los registros EEG capturados en las pruebas, es por ello que se estuvo investigando sobre las diferentes técnicas de preprocesamiento (filtros de señal, extracción de características), principalmente se siguió la documentación existente de Matlab sobre análisis de señales y el algoritmo base presentado por Muthuswamy [Muthuswamy and Thakor, 1998], siendo éste modificado para las necesidades del trabajo a realizar.

- + Diseño y entrenamiento de una red neuronal para clasificar registros EEG y determinar los estados de agrado y desagrado los cuales permiten determinar la experiencia de usuario en un adulto mayor.

También se realizó una revisión de literatura sobre las diferentes técnicas empleadas para clasificación. De entre las diferentes técnicas identificadas, se decidió utilizar la red neuronal como método de clasificación. Cabe mencionar que fue necesario realizar diferentes pruebas con la red neuronal hasta lograr obtener la configuración más adecuada a los resultados buscados. La red neuronal y su algoritmo fueron realizados en Matlab.

- + Red Neuronal funcional entrenada con registros EEG provenientes de estímulos visuales de IAPS.
- + Conjunto de registros EEG capturados con el dispositivo Emotiv Epoc.

6.3. Trabajo Futuro

- + Reentrenar la red neuronal con registros EEG de estímulos similares a AbueParty.
- + Mostrar la actividad cerebral durante la actividad ya que permitiría observar en tiempo real qué regiones cerebrales se activan durante las actividades que se realizan.
- + Identificar patrones en la señal EEG para los estados emocionales.
- + Realizar un análisis sobre los registros EEG segmentados (aquellos que tienen marcadores) por mini-juego.

- + Explorar el uso de otros métodos para la identificación (clasificación) de emociones tales como Modelos Ocultos de Markóv (HMM, Hidden Markov Model), Árboles de Decisión, Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, Support Vector Machine) [Martín de Diego et al., 2006], entre otros métodos establecidos. Lo anterior con el fin de verificar si los resultados obtenidos mediante la red neuronal utilizada en este trabajo, coinciden o se asemejan a los que se obtengan utilizando algunos de estos otros métodos.

Apéndice A

Anexo I: Primer prueba piloto con IAPS.

A.0.1. Alegría

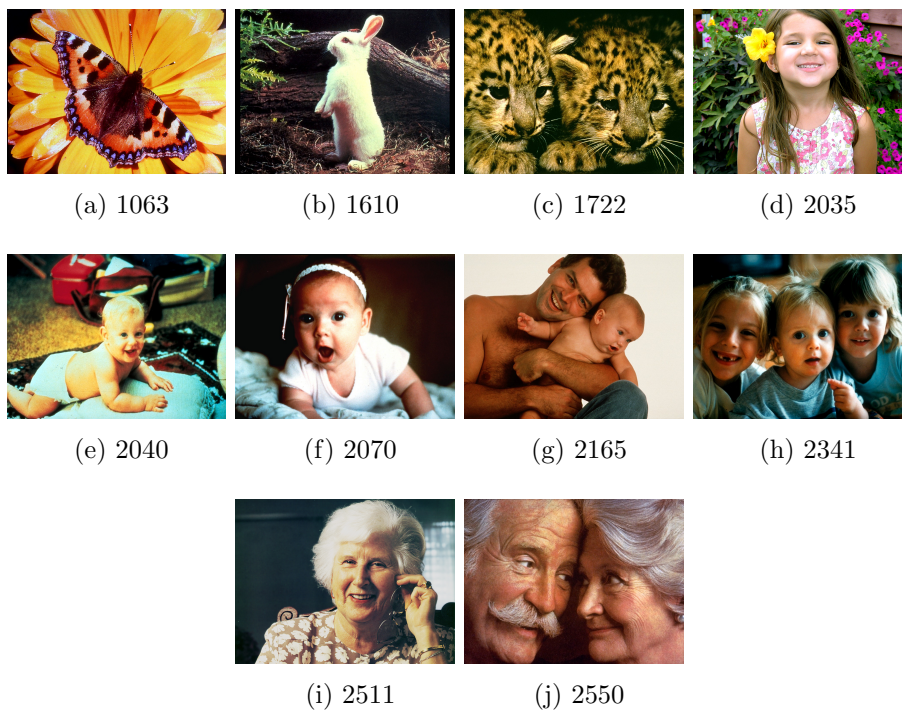


Figura A.1: Imágenes seleccionadas para evocar Alegría.

A.0.2. Desagrado



Figura A.2: Imágenes seleccionadas para evocar Desagrado.

A.0.3. Neutral

Figura A.3: Imágenes seleccionadas para evocar un estado Neutral.

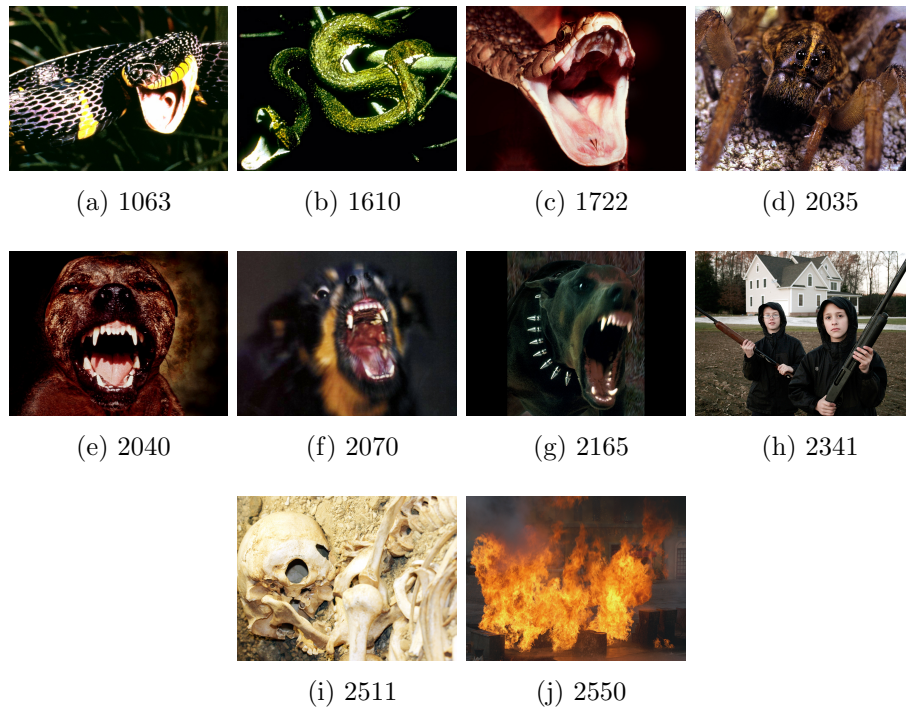
A.0.4. Miedo

Figura A.4: Imágenes seleccionadas para evocar Miedo.

Apéndice B

Anexo II: Segunda prueba piloto con IAPS.

B.0.5. Alegría

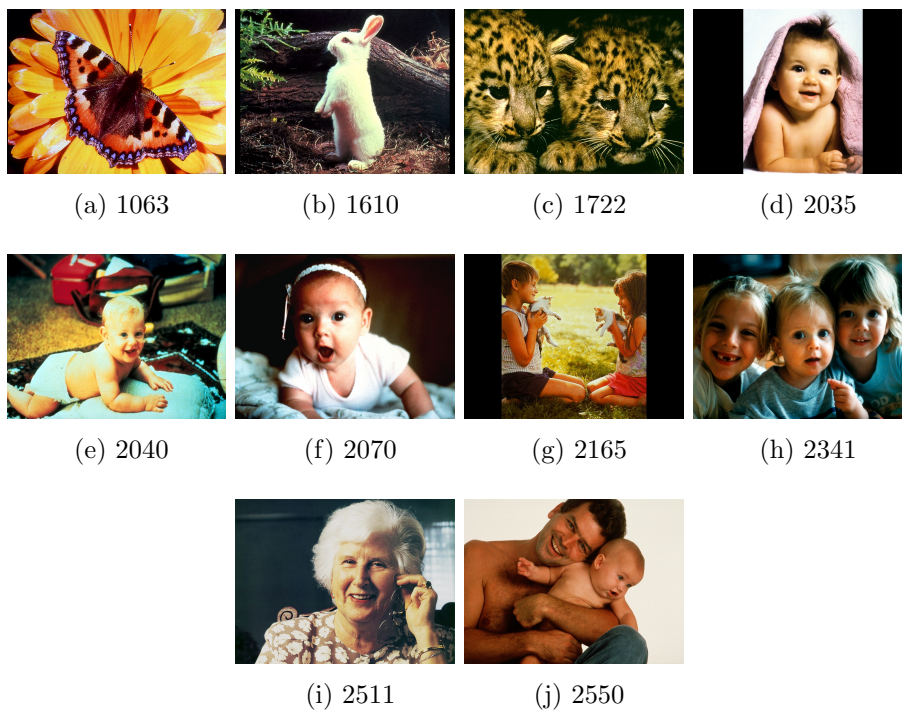


Figura B.1: Imágenes seleccionadas para evocar Alegría.

B.0.6. Desagrado

Figura B.2: Imágenes seleccionadas para evocar Desagrado.

B.0.7. Neutral

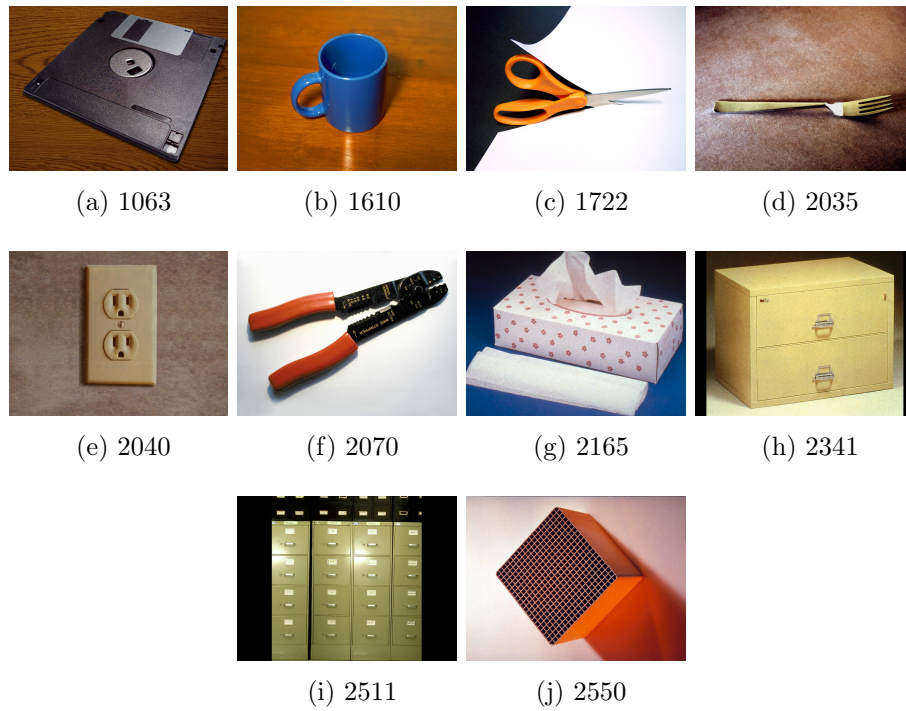


Figura B.3: Imágenes seleccionadas para evocar un estado Neutral.

Apéndice C

Anexo III: Documentos utilizados.

C.0.8. Documento de Consentimiento



Universidad Autónoma de Baja California

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Facultad de Ciencias, Ensenada

Documento de consentimiento

Se le solicita su consentimiento para su participación en el estudio de investigación. La participación en este estudio es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir participar. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigador líder:

Dr. Alberto Leopoldo Morán y Solares

Dra. María Victoria Meza Kubo

UABC

alberto.moran@uabc.edu.mx

mmeza@uabc.edu.mx

Investigador:

Carillo Rodríguez Ivan U.

ivan.carrillo@uabc.edu.mx

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio de investigación es para obtener los registros cerebrales durante la interacción con el sistema AbueParty.

TEMAS

Requerimientos

Contar con 60 años o más.

PROCEDIMIENTOS

Durante la investigación usted será videograbado con el objetivo de que el equipo de investigación analice y entienda su interacción con el sistema AbueParty. La información recopilada acerca sobre usted será estrictamente confidencial, únicamente se utilizará para publicaciones referentes a este estudio, protegiendo en todo momento su identidad.

Se le describirá el estudio permitiéndole hacer las preguntas que crea necesarias.

Como parte de la investigación se capturarán fotos, audios y videos. Algunas veces Dichas grabaciones se utilizarán de tal forma que usted no sea identificable.

RIESGOS E INCOMODIDADES

Debido a que el estudio se trata de recopilación y análisis de información, existe la posibilidad de una violación de la confidencialidad, sin embargo se tomarán medidas para proteger su confidencialidad, por lo que tanto la probabilidad y el nivel de riesgo es bajo.

BENEFICIOS

Beneficios a Otros y a la Sociedad

Esperamos que lo que aprendamos aquí ayudará a los investigadores a crear nuevas aplicaciones que mejoren la experiencia de uso y permitir que los adultos mayores tengan una mejor interacción con la tecnología.

COMPENSACIÓN

Compensación por la Participación

No se le pagará por su participación en este estudio de investigación.

TERMINACIÓN DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

Usted es libre de dejar el estudio en cualquier momento. **Si decide dejar el estudio usted deberá avisar al equipo de investigación inmediatamente.**

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Durante la duración de la investigación se tomarán fotos, audios y video de su interacción con la aplicación. Las grabaciones y fotografías serán de uso confidencial para la investigación, y únicamente con su autorización posiblemente en un futuro serán compartidas con otros investigadores para fortalecer el conocimiento e incrementar el apoyo a esta comunidad.

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar el equipo de investigación son los únicos que tienen la autorización de acceso a los datos, según los términos de confidencialidad mencionados. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre la identidad de usted no será voluntariamente revelada por este equipo (que tendrán acceso a los datos) sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad.

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos para futuras investigaciones.

Permiso para compartir datos con la audiencia en esta área

Pensando en los beneficios a la comunidad de adultos mayores, el equipo de investigación probablemente en un futuro le gustaría compartir algunas fotos y/o videos captados durante el estudio con la audiencia de investigadores en esta área. Por favor indique a continuación si da su permiso para compartir las fotos y videos.
____ Sí ____ No _____ Sus iniciales.

SI USTED TIENE ALGUNA PREGUNTA

Si tiene comentarios, dudas, preocupaciones con respecto a la forma en la que se llevará a cabo la investigación por favor contacte al equipo de investigación listado al inicio del presente documento.

ACUERDO DE PARTICIPACIÓN VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en este estudio es voluntaria.** Usted puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento sin sanciones. Su decisión no afectará su relación futura con UABC. Su firma indica que usted ha leído la información en este documento de consentimiento y ha tenido la oportunidad de hacer cualquier pregunta que tenga sobre el estudio.

Estoy de acuerdo de participar en el estudio.

_____ Nombre del adulto mayor	_____ Firma	_____ Fecha
Ivan Ubaldo Carrillo Rodríguez _____ Nombre del investigador	_____ Firma	_____ Fecha

C.0.9. Entrevista Estructurada



Universidad Autónoma de Baja California

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Facultad de Ciencias, Ensenada

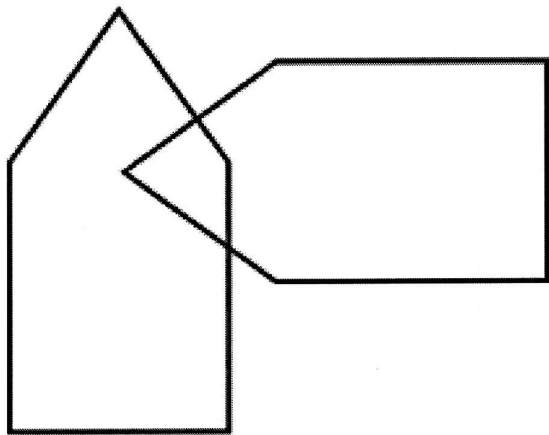
1.- Nombre:	2.- Sexo: F ☐ M ☐
3.- Edad: 4.- Lateralidad: D ☐ Z ☐ Ambas ☐	5.- Años de Escolaridad:
6.- Ocupación:	7.- Fecha de Nacimiento: (dd - mes - año)
8.- Antecedentes de Enfermedad crónica: (describa) Ejemplo: problema cardíaco, algún tipo de cáncer, diabetes, etc.	9.- ¿Tiene algún problema para comer? (describa)
Otros: Trastorno de los nervios, depresión.	10.- ¿Tiene algún problema para dormir? (describa)
8.1.- ¿Se le ha practicado algún estudio neurológico, psiquiátrico o psicológico? (describa)	11.- ¿Cómo describiría su estado de ánimo en los últimos 6 meses? Ejemplo: Adecuado o con algún problema.
12.- ¿Considera tener conflictos emocionales en los siguientes 6 meses? (describa: familiares, amigos)	13.- Condiciones de aseo y aliño observadas por el evaluador:
14.- El sujeto califica para el estudio: Si ☐ No ☐	

C.0.10. MMSE

Mini-examen cognoscitivo
(lobo et al, 1079)

Nombre del Paciente: _____ Edad: _____
Ocupación: _____ Escolaridad: _____
Examinado por: _____ Fecha: _____

	PUNTUACIÓN
ORIENTACIÓN TEMPORAL: ¿En qué día estamos?..... ¿En qué fecha?..... ¿En qué mes?..... ¿En qué estación?..... ¿En qué año?	____(5)
ORIENTACIÓN ESPACIAL: ¿En qué hospital o lugar estamos?..... ¿En qué piso o planta?..... ¿En qué pueblo o ciudad?..... ¿En qué provincia, región o Estado?..... ¿En qué país?	____(5)
FIJACIÓN: Repita estas 3 palabras: 'peso- caballo- manzana' (*Repetir hasta 5 veces, pero puntuar solo el primer intento) (**Pueden utilizarse series alternativas cuando se trata de reevaluaciones ej. Libro, queso, bicicleta)	____(3)
CONCENTRACIÓN Y CÁLCULO Si tiene 30 pesos y le van quitando de 3 en 3, ¿cuántos le quedan?.....(27) ¿y si le quitan otras 3?.....(24) ¿y ahora?.....(21) ¿y 3 menos son?.....(18) ¿y si le quitan otras 3?.....(15) (Anote un punto cada vez que la diferencia de 3 sea correcta)	____(5)
Repita 5-9-2 (hasta que los aprenda). Ahora hacia atrás..... (Como alternativa, decirle 'mundo' y que lo repita al revés)	____(3)
MEMORIA ¿Recuerda las 3 palabras que le he dicho antes?.....	____(3)
LENGUAJE Y CONSTRUCCIÓN Mostrarle un lápiz o un bolígrafo: ¿Qué es esto? Repetirlo con el reloj.....	____(2)
Repita la frase 'En un trigal había 5 perros' (Repetir hasta 5 veces, pero puntuar solo el primer intento)	____(1)
Una manzana y una pera son frutas, ¿verdad? ¿Qué son un perro y un gato? ; ¿Qué son el verde y el rojo?.....	____(2)
Coja este papel con la mano derecha, dóblelo por la mitad y póngalo encima de la mesa	____(3)
Lea esta frase y haga lo que dice.....	____(1)
Escriba una frase (con sujeto y predicado).....	____(1)
CIERRE LOS OJOS	
Copie este dibujo.....	____(1)
Puntuación TOTAL	____(35)



CIERRE LOS OJOS



C.0.11. Cuestionario TAM

Cuestionario TAM para la evaluación de la aplicación ABUEPARTY

Percepción de Facilidad de Uso

- 1) Aprender a usar la aplicación es fácil para mí.
- 2) Es fácil para mí llegar a ser hábil en usar la aplicación.
- 3) Me parece que la aplicación es fácil de utilizar.

Totalmente en desacuerdo			Totalmente de acuerdo		
1	2	3	4	5	

1	2	3	4	5

1	2	3	4	5

Percepción de Utilidad

- 4) Utilizar la aplicación mejoraría mi desempeño en mis Actividades Cognitivas.
- 5) Utilizar la aplicación mejoraría mi memoria.
- 6) Encuentro útil utilizar la aplicación.

Totalmente en desacuerdo			Totalmente de acuerdo		
1	2	3	4	5	

1	2	3	4	5

1	2	3	4	5

Intención de Uso

- 7) Asumiendo que tengo acceso a la aplicación, mi intención es utilizarla.

Totalmente en desacuerdo			Totalmente de acuerdo		
1	2	3	4	5	

Uso Real

- 8) ¿Cuántos días considera que utilizaría la aplicación durante la semana?
- 9) ¿Cuántos minutos considera que utilizaría la aplicación en un día?

0	1-2	3-4	5	6+

5	10	15	30	>30

Ansiedad al utilizar el Sistema

- 10) La dinámica de la aplicación me puso nervioso.
- 11) Jugar con la aplicación me hizo sentir incómodo.

Totalmente en desacuerdo			Totalmente de acuerdo		
1	2	3	4	5	

1	2	3	4	5

- 12) El reto que me hizo sentir ansioso.

- | | |
|---|---|
| 1.- Rompecabezas
2.- Adivina la canción
3.- Cántala
4.- Adimimo
5.- Cuentas (¿Qué falta?) | 6.- Atrapa las manzanas
7.- Dibújala
8.- Refranes
9.- Ninguno de los retos |
|---|---|

Disfrute Percibido al Utilizar el Sistema

- 13) Disfrute jugar con la aplicación.
- 14) Jugar con la aplicación me hizo sentir satisfacción.
- 15) Me divertí jugando con la aplicación.

Totalmente en desacuerdo			Totalmente de acuerdo		
1	2	3	4	5	

1	2	3	4	5

1	2	3	4	5

16) El reto que me gustó más fue:

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1.- Rompecabezas | 6.- Atrapa las manzanas |
| 2.- Adivina la canción | 7.- Dibújala |
| 3.- Cántala | 8.- Refranes |
| 4.- Adimimo | 9.- Ninguno de los retos |
| 5.- Cuentas (¿Qué falta?) | |

17) El reto que menos me gustó fue:

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1.- Rompecabezas | 6.- Atrapa las manzanas |
| 2.- Adivina la canción | 7.- Dibújala |
| 3.- Cántala | 8.- Refranes |
| 4.- Adimimo | 9.- Ninguno de los retos |
| 5.- Cuentas (¿Qué falta?) | |

18. Comentarios generales de la aplicación:

Bibliografía

- [Rae, 2001] (2001). Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.a ed.). Madrid, España.
- [Adolphs, 2002] Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current opinion in neurobiology*, 12(2):169–77.
- [Ahern and Schwartz, 1985] Ahern, G. L. and Schwartz, G. E. (1985). Differential lateralization for positive and negative emotion in the human brain: Eeg spectral analysis. *Neuropsychologia*, vol. 23, n:745–755.
- [Ambardar, 1999] Ambardar, A. (1999). *Procesamiento de señales análogas y digitales*. Thomson Learning, D.F., 2da edition.
- [Arhippainen, 2003] Arhippainen, L. (2003). Capturing user experience for product design.
- [Arhippainen and Tähti, 2003] Arhippainen, L. and Tähti, M. (2003). Empirical Evaluation of User Experience in two Adaptive Mobile Application Prototypes. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*.
- [Balconi et al., 2009] Balconi, M., Brambilla, E., and Falbo, L. (2009). Appetitive vs. defensive responses to emotional cues. Autonomic measures and brain oscillation modulation. *Brain research*, 1296:72–84.
- [Basogain, 2005] Basogain, X. O. (2005). Redes Neuronales Artificiales Y Sus Aplicaciones. *Medicina Intensiva*, 29(1):13–20.
- [Bekkedal et al., 2011] Bekkedal, M. Y. V., Rossi, J., and Panksepp, J. (2011). Human brain EEG indices of emotions: Delineating responses to affective vocalizations

- by measuring frontal theta event-related synchronization. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35(9):1959–1970.
- [Bertron et al., 1997] Bertron, A., Petry, M., Bruner, R., Mcmanis, M., Zabaldo, D., Martinet, S., Cuthbert, S., Ray, D., Koller, K., Kolchakian, M., and Hayden, S. (1997). International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings.
- [Bevan,] Bevan, N. What is the difference between the purpose of usability and user experience evaluation methods ?
- [Bradley and Lang, 1994] Bradley, M. and Lang, P. J. (1994). MEASURING EMOTION : THE SELF-ASSESSMENT SEMANTIC DIFFERENTIAL MANIKIN AND THE. 25(I).
- [Bradley and Lang, 2007] Bradley, M. M. and Lang, P. J. (2007). The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention. pages 29–46.
- [Brito et al., 2013] Brito, V., Issrael, E., and Parra, F. V. F. V. (2013). *Diseño y construcción de un módulo didáctico para la adquisición y análisis de señales ECG, EEG y EMG*. PhD thesis.
- [Coronel, 2010] Coronel, B. A. (2010). *Reconocimiento de Patrones No Lineal Invariante a Posición, Rotación, Escala y Ruido de Imágenes*. PhD thesis.
- [Delorme and Makeig, 2004] Delorme, A. and Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1):9–21.
- [Drachen et al.,] Drachen, A., Nacke, L. E., Yannakakis, G., and Pedersen, A. L. Psychophysiological Correlations with Gameplay Experience Dimensions.
- [Enrique et al., 2008] Enrique, G., Guerra, P., Martinez, F., Francisco, J., Munoz, M. A., Damian, A., Maria, D., Mata, J. L., and Rodriguez, S. (2008). El Sistema Internacional de Sonidos Afectivos (IADS): adaptacion espanola.
- [Esslen et al., 2004] Esslen, M., Pascual-Marqui, R. D., Hell, D., Kochi, K., and Lehmann, D. (2004). Brain areas and time course of emotional processing. *NeuroImage*, 21(4):1189–203.

- [Fredrickson and Losada, 2005] Fredrickson, B. L. and Losada, M. F. (2005). Positive affect and the complex dynamics of human flourishing. *The American psychologist*, 60(7):678–686.
- [Ganglbauer and Schrammel, 2009] Ganglbauer, E. and Schrammel, J. (2009). Applying psychophysiological methods for measuring user experience: possibilities, challenges and feasibility. . . . *on User Experience*
- [Hakvoort et al., 2011] Hakvoort, G., Poel, M., and Gurkok, H. (2011). Evaluating user experience with respect to user expectations in brain-computer interface games. pages 1–4.
- [Harmon-Jones and Sigelman, 2001] Harmon-Jones, E. and Sigelman, J. (2001). State anger and prefrontal brain activity: evidence that insult-related relative left-prefrontal activation is associated with experienced anger and aggression. *Journal of personality and social psychology*, 80(5):797–803.
- [Herwig et al., 2003] Herwig, U., Satrapi, P., and Schönfeldt-lecuona, C. (2003). Using the International 10-20 EEG System for Positioning of Transcranial Magnetic Stimulation. 16(2):95–99.
- [Hoffmann, 2010] Hoffmann, A. (2010). *EEG Signal Processing and Emotiv’s Neuro Headset*. PhD thesis.
- [Hornb et al., 2006] Hornb, K., Law, E. L.-C., Vermeeren, A. P. O. S., and Delft, T. U. (2006). *User Experience: Towards a unified view*.
- [Jatupaiboon et al., 2013] Jatupaiboon, N., Setha, P.-n., and Israsena, P. (2013). Emotion Classification using Minimal EEG Channels and Frequency Bands. pages 21–24.
- [Kemp et al., 2004] Kemp, A. H., Silberstein, R. B., Armstrong, S. M., and Nathan, P. J. (2004). Gender differences in the cortical electrophysiological processing of visual emotional stimuli. *NeuroImage*, 21(2):632–46.
- [Koessler et al., 2009] Koessler, L., Maillard, L., Benhadid, a., Vignal, J. P., Felblinger, J., Vespignani, H., and Braun, M. (2009). Automated cortical projection of EEG

- sensors: Anatomical correlation via the international 10-10 system. *NeuroImage*, 46(1):64–72.
- [Kohler et al., 2004] Kohler, C. G., Turner, T., Stolar, N. M., Bilker, W. B., Brensinger, C. M., Gur, R. C. R. E., and Gur, R. C. R. E. (2004). Differences in facial expressions of four universal emotions. *Psychiatry research*, 128(3):235–244.
- [Kuniavsky, 2003] Kuniavsky, M. (2003). Observing the User Experience. *ACM*.
- [Lakshmi et al., 2014] Lakshmi, R., Prasad, T., and Prakash, V. C. (2014). Survey on EEG Signal Processing Methods. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(1):84–91.
- [Larsen and Wang, 2011] Larsen, E. A. and Wang, A. I. (2011). Classification of EEG Signals in a Brain- Computer Interface System. (June).
- [Laugwitz et al., 2008] Laugwitz, B., Held, T., and Schrepp, M. (2008). LNCS 5298 - Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. pages 63–76.
- [LeDoux, 2003] LeDoux, J. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and molecular neurobiology*, 23(4-5):727–38.
- [Li and Lu, 2009] Li, M. and Lu, B. L. (2009). Emotion classification based on gamma-band EEG. *Proceedings of the 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine, EMBC 2009*, pages 1323–1326.
- [Liang et al., 2006] Liang, N.-Y., Saratchandran, P., Huang, G.-B., and Sundararajan, N. (2006). Classification of mental tasks from EEG signals using extreme learning machine. *International journal of neural systems*, 16(1):29–38.
- [Lindquist, 2010] Lindquist, K. a. (2010). The brain basis of emotion: A meta-analytic review. *Dissertation Abstracts International, B: Sciences and Engineering*, pages 121–202.
- [Mahmud et al., 2009] Mahmud, A. A., Mubin, O., and Shahid, S. (2009). User Experience with in-car GPS Navigation Systems: Comparing the Young and Elderly Drivers. pages 1–2.

- [Mandryk et al., 2006] Mandryk, R. L., Atkins, M. S., and Inkpen, K. M. (2006). A continuous and objective evaluation of emotional experience with interactive play environments. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems - CHI '06*, page 1027.
- [Mandryk et al., 2005] Mandryk, R. L., Inkpen, K. M., Calvert, T. W., Science, C., and Canada, B. C. V. A. (2005). Using psychophysiological techniques to measure user experience with entertainment technologies. 2005.
- [María, 2011] María, L. S. (2011). *Reconocimiento de patrones utilizando técnicas estadísticas y conexionistas aplicadas a la clasificación de dígitos manuscritos*. PhD thesis.
- [Martín de Diego et al., 2006] Martín de Diego, I., Serrano, Á., Conde, C., and Cabello, E. (2006). Tecnicas De Reconocimiento Automático De Emociones. *Revista Electrónica Teoría de la Educación.*, 7:107–127.
- [Meza-kubo, 2012] Meza-kubo, V. (2012). *Guías para el diseño de aplicaciones de estimulación cognitiva utilizables por el adulto mayor*. PhD thesis, Universidad Autonoma de Baja California.
- [Mirza-babaei et al., 2011] Mirza-babaei, P., Long, S., Foley, E., and Mcallister, G. (2011). Understanding the Contribution of Biometrics to Games User Research. pages 1–13.
- [Mor et al., 2012] Mor, A. L., Meza-kubo, V., Alberto L. Morán, V. M.-K., Mor, A. L., and Meza-kubo, V. (2012). User Experience of Elders and Relatives in a Collaborative Cognitive Stimulation Tool InTouchFun : A Pervasive Collaborative CS System. *IWAAL 2012*, pages 287–294.
- [MORA and MEJÍA, 2006] MORA, S. M. A. and MEJÍA, M. G. N. (2006). *ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA PARA LA DETECCIÓN DE PARÁMETROS DE NORMALIDAD BAJO LA PLATAFORMA LABVIEW “ADPAN-ECG”*. PhD thesis.
- [Morán and Meza-kubo, 2012] Morán, A. L. and Meza-kubo, V. (2012). Evaluating the User Experience of a Cognitive Stimulation Tool through Elders ’ Interactions. pages 66–77.

- [Mosquera and Daniel, 2012] Mosquera, G. and Daniel, S. (2012). *Adquisición de señales electroencefalográficas para el movimiento de un prototipo de silla de ruedas en un sistema BCI*. PhD thesis.
- [Muthuswamy and Thakor, 1998] Muthuswamy, J. and Thakor, N. V. (1998). Spectral analysis methods for neurological signals. *Journal of Neuroscience Methods*, 83(February):1–14.
- [Nacke et al., 2000] Nacke, L., Drachen, A., and Consulting, D. (2000). Methods for Evaluating Gameplay Experience in a Serious Gaming Context. pages 1–12.
- [Nacke et al., 2008] Nacke, L., Lindley, C., and Stellmach, S. (2008). Log Who’s Playing: Psychophysiological Game Analysis Made Easy through Event Logging. pages 150–157.
- [Nurkka, 2008] Nurkka, P. (2008). User Experience Evaluation Based on Values and Emotions.
- [Obrist and Roto, 2009] Obrist, M. and Roto, V. (2009). User Experience Evaluation – Do You Know Which Method to Use? pages 2763–2766.
- [Othman et al., 2013] Othman, M., Wahab, A., Karim, I., Dzulkifli, M. A., and Alshaikli, I. F. T. (2013). EEG Emotion Recognition Based on the Dimensional Models of Emotions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 97:30–37.
- [Palke, 2004] Palke, A. (2004). Brainathlon : Enhancing Brainwave Control Through Brain-Controlled Game Play.
- [Petrie and Bevan, 2009] Petrie, H. and Bevan, N. (2009). The evaluation of accessibility , usability and user experience.
- [Piqueras Rodriguez et al., 2009] Piqueras Rodriguez, J.-A., Ramos Linares, V., matínez Gonzalez, A. E., and Oblitas Guadalupe, L. A. (2009). Emociones negativas y su impacto en la salud mental y física. *Suma Psicológica*, 16:85–112.
- [Quiróz G., 1975] Quiróz G., F. (1975). *Tratado de Anatomía Humana*. Porrúa, México, 2 edition.

- [Ramírez, 2012] Ramírez, F. J. R. (2012). *Control neuronal para un robot rígido de dos grados de libertad*. PhD thesis.
- [Rioul and Vetterli, 1991] Rioul, O. and Vetterli, M. (1991). Wavelets and signal Processing. *IEEE SP Magazine*, page 25.
- [Roto et al., 2011] Roto, V., Law, E., and Vermeeren, A. P. O. S. (2011). User experience white paper.
- [Sabatinelli et al., 2005] Sabatinelli, D., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., and Lang, P. J. (2005). Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. *NeuroImage*, 24(4):1265–70.
- [Sánchez Navarro, Juan Pedro and Román Lapuente, 2004] Sánchez Navarro, Juan Pedro and Román Lapuente, F. (2004). Amígdala, corteza prefrontal y especialización hemisférica en la experiencia y expresión emocional. *Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones*.
- [Schalk and Mellinger, 2010] Schalk, G. and Mellinger, J. (2010). Brain Sensors and Signals 2.1. pages 9–36.
- [Simón, 2007] Simón, V. (2007). Mindfulness y neurobiología. *Revista de Psicoterapia*, 66:5–30.
- [Spreckelmeyer et al., 2006] Spreckelmeyer, K. N., Kutas, M., Urbach, T. P., Altenmüller, E., and Münte, T. F. (2006). Combined perception of emotion in pictures and musical sounds. *Brain Research*, 1070:160–170.
- [Subha et al., 2010] Subha, D. P., Joseph, P. K., Acharya U, R., and Lim, C. M. (2010). EEG signal analysis: a survey. *Journal of medical systems*, 34(2):195–212.
- [Swallow et al., 2004] Swallow, D., Blythe, M., and Wright, P. (2004). Grounding Experience: Relating Theory and Method to Evaluate the User Experience of Smartphones. pages 91–98.
- [Tanco,] Tanco, F. Introduccion a Las Redes Neuronales Artificiales. pages 1–34.
- [Telpan, 2002] Telpan, M. (2002). FUNDAMENTALS OF EEG MEASUREMENT. 2:1–11.

- [The MathWorks, 2015a] The MathWorks, I. (2015a). Redes neuronales matlab.
- [The MathWorks, 2015b] The MathWorks, I. (2015b). *Wavelet Toolbox User's Guide*.
- [Tukiainen and Bednarik, 2013] Tukiainen, M. and Bednarik, R. (2013). Evaluating User Experience of Autistic Children through Video Observation. pages 463–468.
- [Turunen et al., 2009] Turunen, M., Hakulinen, J., Melto, A., Heimonen, T., Laivo, T., and Hella, J. (2009). SUXES — User Experience Evaluation Method for Spoken and Multimodal Interaction. pages 2567–2570.
- [Tychsen, 2008] Tychsen, A. (2008). Crafting User Experience via Game Metrics Analysis. *NORDICHI 2008*, pages 1–5.
- [Uusberg et al., 2013] Uusberg, A., Uibo, H., Kreegipuu, K., and Allik, J. (2013). EEG alpha and cortical inhibition in affective attention. *International Journal of Psychophysiology*, 89(1):26–36.
- [Valderrama and Ulloa, 2011] Valderrama, E. and Ulloa, G. (2011). Análisis espectral de parámetros fisiológicos para la detección de emociones. *Revista S&T*, 10:27–49.
- [Valderrama, E. & Ulloa, 2011] Valderrama, E. & Ulloa, G. (2011). Análisis espectral de parámetros fisiológicos para la detección de emociones. *Revista S&T*, 10:27–49.
- [van de Laar, 2009] van de Laar, B. (2009). *Actual and Imagined Movement in BCI Gaming*. PhD thesis.
- [Varol, 2010] Varol, O. (2010). *RAW EEG DATA CLASSIFICATION AND APPLICATIONS USING SVM*. PhD thesis, İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ELECTRICAL.
- [Vecchio et al., 2013] Vecchio, F., Babiloni, C., Buffo, P., Rossini, P. M., and Bertini, M. (2013). Inter-hemispherical functional coupling of EEG rhythms during the perception of facial emotional expressions. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 124(2):263–72.
- [Vélez, 2010] Vélez, P. A. (2010). Clasificación Básica De Neuroseñales.

- [Vermeeren et al., 2010] Vermeeren, A. P. O. S., Law, E. L.-C., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J., and Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2010). User experience evaluation methods: current state and development needs. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, pages 521–530, New York, NY, USA. ACM.
- [Veronica, 2002] Veronica, C. S. (2002). *Razonamiento evidencial dinamico*. PhD thesis.
- [Vourvopoulos and Liarokapis, 2011] Vourvopoulos, A. and Liarokapis, F. (2011). Brain-controlled NXT Robot: Tele-operating a robot through brain electrical activity. *Games and Virtual Worlds for . . .*
- [Vuilleumier, 2005] Vuilleumier, P. (2005). How brains beware: neural mechanisms of emotional attention. *Trends in cognitive sciences*, 9(12):585–94.
- [Wang et al., 2009] Wang, B., Wong, C. M., Wan, F., Mak, P. U., Mak, P. I., and Vai, M. I. (2009). Comparison of different classification methods for EEG-based brain computer interfaces: A case study. *2009 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2009*, pages 1416–1421.
- [Wehbe and Nacke, 2013] Wehbe, R. R. and Nacke, L. (2013). An Introduction to EEG Analysis Techniques and Brain-Computer Interfaces for Games User Researchers.
- [Winkler et al., 2010] Winkler, I., Mark, J., Jager, M., Mihajlovic, V., Tsoneva, T., Winkler, I., and Mark, J. (2010). Frontal EEG asymmetry based classification of emotional valence using common spatial patterns. *Worlds Academy of Science, Engineering and Technology*, 45:373–378.
- [Yao et al.,] Yao, L., Liu, Y., Li, W., Zhou, L., and Ge, Y. Using Physiological Measures to Evaluate User. pages 301–310.
- [Yaomanee et al., 2012] Yaomanee, K., Pan-ngum, S., and Ayuthaya, P. I. N. (2012). Brain signal detection methodology for attention training using minimal EEG channels. *2012 Tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering*, pages 84–89.