



INAOE

Desarrollo de un Corpus Multimodal de Estados Afectivos en un Ambiente de Juegos

Tesis de Maestría

Por:

Lic. Miriam Enriquez Cuazitl

Tesis sometida como requisito parcial para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en el Área de Ciencias Biomédicas

en el

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE)

Mayo 2025
Tonantzintla, Puebla

Supervisada por:

Dr. Luis Enrique Sucar Succar
Dra. Delia Irazú Hernández Farías
Dr. Jesús Joel Rivas

©INAOE 2025

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



"Me di cuenta, a pesar de todo, que en medio del invierno había dentro de mí un verano invencible. Y eso me hace feliz. Porque no importa lo duro que el mundo empuje en mí contra, dentro de mí hay algo más fuerte, algo mejor empujando de vuelta".

El verano
Albert Camus

RESUMEN

El reconocimiento automático de emociones es uno de los campos que el cómputo afectivo aborda para facilitar la comunicación humano-máquina. Este campo es amplio y está en desarrollo debido a que, no sólo las emociones humanas son complejas y requieren de mucha experiencia por parte de los especialistas para ser reconocidas, sino porque también debe existir información disponible que pueda servir como antecedente para entrenar sistemas automáticos para el reconocimiento de emociones humanas. Para lograr este propósito existen algunas bases de datos que brindan información sobre emociones basadas en información física (expresiones faciales, posturas del cuerpo) y fisiológicas (ritmo cardíaco, EEG, respiración).

Este trabajo es motivado, por un lado, por la necesidad de reconocer estados afectivos de personas durante el proceso de rehabilitación virtual al interactuar con juegos serios. Por otro lado, por generar una base de datos que incluya aspectos no considerados en bases de datos previas, como son estados afectivos complejos evocados en la interacción con un juego, la combinación de datos fisiológicos y físicos específicos, hasta ahora no reportados juntos, y la participación preponderante de personas de Latinoamérica.

Se construyó una base de datos novedosa en la que se inducen 5 estados afectivos: *cansancio*, *frustración*, *motivación*, *ansiedad* y *aburrimiento*. Además, se implementaron diferentes sensores de tipo fisiológico y físico: electroencefalograma (EEG), espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIRS), presión de dedos, movimientos de manos y expresiones faciales. Por último, se consideró como estímulo detonante a un juego serio, el cual, utilizando diferentes niveles de dificultad, podía inducir cada uno de los diferentes estados afectivos propuestos.

Para la construcción de la base de datos, se sincronizaron los sensores de EEG, fNIRS, cámaras de video y un *gripper* utilizando la herramienta *Lab Streaming Layer*. La base de datos resultante comprende información de 20 participantes latinoamericanos, hombres y mujeres, cuyas edades oscilan entre los 20 y los 71 años. Para cada sujeto, se recopilaban señales de EEG, fNIRS, movimiento de manos, presión en los dedos, así como cinco grabaciones de video frontales (una por cada juego) y cinco grabaciones

laterales. Adicionalmente, se incorporó el etiquetado de los datos realizado por especialistas en psicología, junto con los resultados de cuestionarios de personalidad y autismo, los cuales fueron empleados como insumos para el proceso de anotación. La recolección de datos se llevó a cabo siguiendo un protocolo previamente diseñado, el cual fue revisado y aprobado por el Comité de Ética del CICESE. Finalmente, se realizaron análisis estadísticos de las etiquetas proporcionadas por los expertos, así como de las características extraídas de las señales de EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de los dedos.

Palabras clave: *Cómputo Afectivo, Rehabilitación Virtual, Reconocimiento de Estados Afectivos, Sincronización Multimodal, Base de Datos Multimodal*

ABSTRACT

Automatic emotion recognition is one of the fields that affective computing addresses to facilitate human-machine communication. This field is broad and continuously developing, not only because human emotions themselves are complex and require significant expertise from specialists to be recognized, but also because there must be available information that can serve as precedent for training automatic systems to recognize human emotions.

To achieve this purpose, it is common in affective computing to have databases that provide information about emotions based on physical (facial expressions, body postures, etc) and physiological data (heart rate, EEG, respiration, etc). These two types of data are often chosen because of their high reliability in recognizing emotions, as it is more challenging to deceive a machine using this type of information. For example, it is more difficult for humans to control brain signals or galvanic skin responses when an event occurs that disrupts their system.

In this work, a novel database is built that includes the recognition of people's affective states during the virtual rehabilitation process when interacting with serious games. It also includes five complex affective states: *fatigue*, *frustration*, *motivation*, *anxiety*, and *boredom*, elicited by interaction with the games as difficulty levels vary. Additionally, different physiological and physical sensors, previously unrecorded together, were implemented: Electroencephalogram (EEG), functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), finger pressure, hand movement, and facial expressions. Finally, this database has the predominant participation of people from Latin America.

To synchronize the database, the EEG and fNIRS signals, the cameras' video recordings, and the gripper signals were aligned using the *Lab Streaming Layer* tool. The resulting database includes information from 20 Latin American male and female participants, ranging in age from 20 to 71 years. For each subject, EEG, fNIRS, hand movement, and finger pressure signals, as well as five frontal video recordings (one for each game) and five lateral recordings, were collected. Additionally, data labeling performed by

psychology specialists was incorporated, along with the results of personality and autism questionnaires, which were used as input for the annotation process. Data collection was carried out following a previously designed protocol, which was reviewed and approved by the CICESE Ethics Committee. Finally, statistical analyses were performed on the labels provided by the experts, as well as on the features extracted from the EEG, fNIRS, hand movement, and finger pressure signals.

Keywords: Affective Computing, Virtual Rehabilitation, Affective State Recognition, Multimodal Synchronization, Multimodal Database

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todos mis asesores por todo el apoyo que me dieron en el proceso de realización de este trabajo de tesis: Al doctor Sucar por toda la confianza que depositó en mí desde el inicio de este proyecto y por toda la paciencia que me ha proporcionado. Al doctor Joel y a la doctora Irazú por siempre resolver mis dudas y guiarme en este duro proceso incluso cuando sus agendas estaban llenas. Gracias a todos.

Al CONAHCYT por brindarme apoyo económico durante toda la maestría.

A mis padres que siempre han sido un pilar para mí, un apoyo incondicional siempre y quiero agradecer en especial a mi madre Isabel, quien siempre ha creído en mí incluso cuando yo no tengo fé en mí. Te agradezco infinitamente por todo lo que haces por mí y quiero trabajar siempre para ser motivo de orgullo para ti.

A mis hermanos por ser siempre ayudarme y estar disponibles cuando los necesito. A mis amigas porque siempre hacen de mí vida un poco más ligera.

A dios y a la vida por permitirme llegar hasta acá, que incluso cuando las fuerzas parecían terminarse siempre hubo algo dentro de mí que me obligaba a continuar.

A mi esposo Filippo, porque él ha sido un apoyo incondicional. No encuentro palabras para decirte lo mucho que te amo, quiero compartir mi vida contigo hasta el último día.

Índice general

Agradecimientos	3
List of Figures	7
List of Tables	10
1 Introducción	1
1.1 Motivación y Justificación	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Pregunta de Investigación	6
1.4 Hipótesis de Investigación	6
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos Particulares	7
1.6 Contribución	8
1.7 Alcances y limitaciones	10
1.8 Contenido de la Tesis	11
2 Marco Teórico	13
2.1 Cómputo Afectivo y su Origen	13
2.2 Emociones Básicas y Categorías Discretas	14
2.3 Dimensiones Afectivas	14
2.4 Electroencefalograma y Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano para el Reconocimiento de Emociones	15
2.4.1 Electroencefalograma	15
2.5 Estructuras cerebrales y su relación con las emociones	16
2.5.1 Sistema 10-20	17
2.5.2 Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano	20
2.5.3 fNIRS para evaluar la función emocional	21
2.6 Cámara para el Reconocimiento de Emociones	22
2.7 Gripper y el Reconocimiento de Emociones	23

Índice general

2.8	Personalidad	24
2.8.1	El modelo de los 5 factores de la Personalidad	24
2.9	Resumen del Capítulo	25
3	Aspectos de la Sincronización Multimodal	27
3.1	Sincronización Multimodal	27
3.2	Tipos de sincronización Multimodal	29
3.2.1	Sincronización por hardware	29
3.2.2	Sincronización por software	29
3.3	Lab Streaming Layer (LSL)	30
3.3.1	Sincronización Multimodal Temporal de LSL	31
3.3.2	Ventajas de LSL	32
3.4	Resumen del Capítulo	32
4	Trabajos Relacionados	34
4.1	Modalidades de Reconocimiento de Emociones	34
4.2	Modalidad Visual	34
4.3	Expresiones Motoras	35
4.3.1	Expresiones Faciales	35
4.3.2	Expresión Corporal	35
4.4	Modalidad fisiológica	36
4.5	Bases de Datos Multimodales en Cómputo Afectivo	36
4.6	Resumen del Capítulo	44
5	Metodología	45
5.1	Diseño del protocolo experimental	45
5.2	Configuración de Sensores	46
5.2.1	Electroencefalograma (EEG)	46
5.2.2	Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano (fNIRS)	46
5.2.3	Cámara	46
5.2.4	Gripper	47
5.3	Definición de las emociones	47
5.4	Adaptación del juego serio	48
5.5	Sincronización de los sensores	54
5.6	Proceso de adquisición de datos y Encuestas	59
5.7	Resumen del Capítulo	60
6	Creación del Corpus	61
6.1	Protocolo de toma de datos	61

Índice general

6.2	Criterios de inclusión y exclusión de los sujetos de prueba . .	62
6.3	Descripción General del Corpus	62
6.4	Etiquetado de datos	64
6.5	Extracción de Características	67
6.5.1	Extracción de Características de EEG	67
6.5.2	Extracción de Características de fNIRS	68
6.5.3	Extracción de Características de Movimiento de ma- nos y presión de dedos	69
6.6	Resumen del Capítulo	71
7	Resultados	72
7.1	Resultados de EEG	72
7.2	Comparación de Resultados Estadísticos entre Sujetos . . .	77
7.2.1	Media	80
7.2.2	Desviación Estándar	81
7.2.3	Curtosis	82
7.2.4	Asimetría	83
7.2.5	Varianza	84
7.3	Resultados de fNIRS	85
7.3.1	Sujeto 3	85
7.3.2	¿Cómo se relacionan las bandas de frecuencia cere- brales con los estados afectivos?	88
7.3.3	Resultados de movimiento de manos y presión de dedos	89
7.4	Resultados del etiquetado por parte del Psicólogo	90
7.4.1	¿Cuántas veces se presentaron las diferentes emo- ciones durante la prueba?	91
7.4.2	¿Qué emociones causaban los diversos niveles del juego?	94
7.5	Resumen del Capítulo	97
8	Conclusiones	98
8.1	Conclusiones del corpus multimodal	98
8.2	Trabajo a futuro	100
A	Software Utilizado para la sincronización	102
A.0.1	Lab Streaming Layer (LSL)	102
A.0.2	Simulink Highspeed for g.tec	102
A.0.3	SimBSI	103

Índice general

A.0.4	NIRStar	103
A.0.5	Open CV	104
A.0.6	Websockets	104
B	Oficio de aprobación del protocolo	105
C	Protocolo de toma de datos y Documento de Consentimiento	107
D	Cuestionarios	119
E	Toma de Datos	126
E.0.1	Juegos serios	128
F	Gesture Therapy	129
F.1	Configuración de EEG y fNIRS	130
G	Resultados	133
G.1	Resultados de EEG	133
G.2	Resultados de fNIRS	146
G.2.1	Sujeto 10	146
G.2.2	Sujeto 11	149
G.2.3	Sujeto 12	153
G.2.4	Resultados de movimiento de manos y presión de dedos	156
	Bibliography	160

Índice de figuras

2.1	4 Lóbulos del Cerebro	17
2.2	Sistema 10-20 polo frontal	18
2.3	Sistema 10-20	19
2.4	Sistema 10-20 corte transversal	19
2.5	Sistema 10-20 Hemisferios izquierdo y derecho	20
2.6	Funcionamiento del fNIRS	21
3.1	Red de LSL	30
5.1	Diagrama de trabajo	45
5.2	Juego serio 'Estanque'	49
5.3	Tren de estímulos	49
5.4	Secuencia de instrucciones	50
5.5	Resultados prueba crowdsourcing del 1 al 3.	51
5.6	Resultados prueba crowdsourcing del 4 al 6.	52
5.7	Resultados prueba crowdsourcing del 7 al 10.	53
5.8	Diagrama de sincronización	57
5.9	Diagrama de sensores.	57
5.10	Señal de EEG y fNIRS con marcadores.	58
6.1	Frames de la cámara frontal	65
6.2	<i>Frames</i> de la cámara lateral	65
6.3	Etiquetado realizado por el psicólogo.	66
6.4	Observaciones del psicólogo	66
7.1	Canal 2,Sujeto 3, Media	73
7.2	Canal 2,Sujeto 3, Desviación Estándar	74
7.3	Canal 2,Sujeto 3, Curtosis	75
7.4	Canal 2,Sujeto 3, Asimetría	76
7.5	Canal 2,Sujeto 3, Varianza	77
7.6	Media de los datos de fNIRS sujeto 3	85
7.7	Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 3	86

Índice de figuras

7.8	Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 3	86
7.9	Pico de los datos de fNIRS sujeto 3	87
7.10	Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 3	87
7.11	Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 3	88
7.12	Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 3	90
7.13	Gráficas de Velocidad y Aceleración para el eje x para el su- jeto 3	90
7.14	Conteo de Emociones Sujeto 2	91
7.15	Conteo de Emociones Sujeto 3	92
7.16	Conteo de Emociones Sujeto 10	92
7.17	Conteo de Emociones Sujeto 11	93
7.18	Conteo de Emociones Sujeto 12	93
7.19	Conteo de Emociones Sujeto 14	94
7.20	Emociones según el nivel 1	94
7.21	Emociones según el nivel 2	95
7.22	Emociones según el nivel 3	95
7.23	Emociones según el nivel 4	96
7.24	Emociones según el nivel 5	96
A.1	Biblioteca simulink Highspeed for g.tec	103
A.2	Biblioteca simulink Brain Signal Interface	103
A.3	Nirx software	104
F.1	Gripper	130
F.2	Sujeto con Gripper	130
F.3	Zonas cerebrales	131
F.4	Configuración de EEG y fNIRS	132
G.1	Canal 2,Sujeto 10, Media	133
G.2	Canal 2,Sujeto 10, Desviación Estándar	134
G.3	Canal 2,Sujeto 10, Curtosis	135
G.4	Canal 2,Sujeto 10, Asimetría	136
G.5	Canal 2,Sujeto 10, Varianza	136
G.6	Canal 2,Sujeto 11, Media	137
G.7	Canal 2,Sujeto 11, Desviación Estándar	138
G.8	Canal 2,Sujeto 11, Curtosis	139
G.9	Canal 2,Sujeto 11, Asimetría	140
G.10	Canal 2,Sujeto 11, Varianza	141
G.11	Canal 2,Sujeto 12, Media	142

Índice de figuras

G.12 Canal 2, Sujeto 12, Desviación Estándar	143
G.13 Canal 2, Sujeto 12, Curtosis	144
G.14 Canal 2, Sujeto 12, Asimetría	144
G.15 Canal 2, Sujeto 12, Varianza	145
G.16 Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 10	146
G.17 Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 10	147
G.18 Media de los datos de fNIRS sujeto 10	147
G.19 Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 10	148
G.20 Pico de los datos de fNIRS sujeto 10	148
G.21 Varianza de los datos de fNIRS sujeto 10	149
G.22 Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 11	149
G.23 Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 11	150
G.24 Media de los datos de fNIRS sujeto 11	151
G.25 Pico de los datos de fNIRS sujeto 11	151
G.26 Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 11	152
G.27 varianza de los datos de fNIRS sujeto 11	152
G.28 Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 12	153
G.29 Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 12	153
G.30 Media de los datos de fNIRS sujeto 12	154
G.31 Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 12	154
G.32 Pico de los datos de fNIRS sujeto 12	155
G.33 Varianza de los datos de fNIRS sujeto 12	155
G.34 Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 10	156
G.35 Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 10	157
G.36 Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 11	157
G.37 Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 11	158
G.38 Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 12	158
G.39 Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 12	159

Índice de cuadros

4.1	Tabla de Abreviaturas	38
4.2	Bases de Datos multimodales 1	39
4.3	Bases de Datos multimodales 2	40
4.4	Bases de Datos multimodales 3	41
4.5	Bases de Datos multimodales 4	42
4.6	Bases de Datos multimodales 5	43
5.1	Tabla de valores del juego	54
6.1	Sujetos que conforman el corpus	63
7.1	Interpretación del Valor Estadístico	79
7.2	Interpretación del p-Valor	79
7.3	Interpretación del p-Valor	80
7.4	Prueba de Friendman para Desviación Estándar	81
7.5	Prueba de Friendman para Media	82
7.6	Prueba de Friendman para Asimetría	83
7.7	Prueba de Friendman para Varianza	84

Capítulo 1

Introducción

Actualmente en el campo del cómputo afectivo existe el interés de crear sistemas que puedan ser capaces de reconocer, interpretar y responder a las emociones humanas con el fin de lograr una comunicación más empática y natural en la interacción humano-computadora [1, 2]. Una de las áreas de interés más importantes del cómputo afectivo es el reconocimiento de emociones, la cual analiza diversos rasgos humanos como las expresiones faciales, la voz y otros aspectos fisiológicos (tales como la frecuencia cardíaca y las señales cerebrales) con el objetivo de reconocer las diferentes emociones que experimentan los seres humanos. Esto es importante en diversas aplicaciones médicas, como la rehabilitación, en la cual debe considerarse el estado afectivo de los pacientes para adaptar la terapia de acuerdo a su estado emocional[3].

Para lograr el propósito antes planteado, se crean bases de datos multimodales que recaban información de múltiples sensores para entender mejor la reacción del humano frente a un estímulo creado/presentado en una computadora. En la literatura se reportan diversas bases de datos que registran estados afectivos y aplican distintos tipos de sensores. No obstante, estos estados afectivos suelen limitarse a las emociones básicas —alegría, tristeza, enojo, sorpresa, miedo y repulsión—, y los estímulos utilizados para inducir dichas respuestas emocionales son, en su mayoría, segmentos de video (experiencias audiovisuales). Por esta razón, resulta novedoso el proponer bases de datos con estados afectivos complejos, tales como *can-sancio*, *frustración*, *ansiedad*, *aburrimiento*, *motivación* [4, 5], y donde el estímulo se obtenga de la interacción con juegos serios para la rehabilitación. Por otra parte, que también incluya mayor información sobre usuarios latinoamericanos [5], Esto es relevante por dos razones principales. Por un

lado, las emociones que se pueden evocar durante la interacción con un juego son diferentes a las que se tienen mediante otros estímulos (como por ejemplo al ver un video). Por otro lado, la forma de expresar las emociones varía de acuerdo a las culturas en el mundo, y existen pocos datos referentes a personas en Latinoamérica.

En este capítulo se revisarán la motivación y justificación de este trabajo de tesis. Además, se presentará el problema a resolver, junto con la pregunta de investigación a la que se planea dar respuesta. Posteriormente, serán presentadas la hipótesis de investigación, los objetivos, la contribución principal y por último, los alcances y limitaciones.

1.1. Motivación y Justificación

Existen diversas bases de datos para el reconocimiento de estados afectivos. Estas bases de datos tienen diferentes motivaciones como la creación de datos para desarrollar y entrenar sistemas automáticos ó incluso servir como antecedentes para nuevas investigaciones. La motivación de este trabajo de investigación es la creación de una base de datos multimodal que presente nueva información con una combinación de características físicas y fisiológicas nunca antes reportadas en la literatura, que sirva como referencia para poder obtener más información sobre el reconocimiento de estados afectivos complejos (diferentes a las emociones básicas). Además, los datos se obtienen en un contexto diferente, al estar las personas interactuando con un juego enfocado a la rehabilitación motriz de extremidades superiores, y cuyos participantes son latinoamericanos.

Es necesario crear bases de datos que aporten información novedosa con elementos y configuraciones no reportadas anteriormente para que no sólo haya nuevo conocimiento que sirva como referencia de otras investigaciones, sino para que también exista información novedosa para sistemas que benefician a la sociedad, continuando así con el propósito del cómputo afectivo que es, ayudar a una mejor interacción humano-computadora. Se partió de la necesidad de desarrollar una base de datos que fuera novedosa y que además incluyera juegos serios que forman parte de la plataforma conocida como *Gesture Therapy* (GT) [6]. Es importante mencionar que un juego serio es un juego que está diseñado para un objetivo específico tal

como la enseñanza, la investigación, la educación, etc. y va más allá de la búsqueda del entretenimiento. GT tiene por objetivo la rehabilitación de miembros superiores para personas que han sufrido eventos cerebrovasculares (ECV) y cuenta con diferentes juegos serios que ya han sido probados con personas que han experimentado un ECV. Los juegos serios son utilizados en GT porque la esencia de un juego de este tipo es que su objetivo final no es sólo el entretenimiento, sino que persigue objetivos educativos, investigativos y, en el caso de GT, terapéuticos.

Tomando en cuenta lo anterior, se podría entonces generar datos multimodales que puedan servir como referente, no sólo para saber cómo es la experiencia del usuario al interactuar frente a la plataforma.

Además, se podrían sentar las bases con esos datos para otros propósitos que beneficien en un futuro a los usuarios que han sufrido un ECV y que hagan uso de *Gesture Therapy*, al adaptar la terapia de acuerdo al estado afectivo del paciente.

Lo anterior es importante porque a partir de los datos físicos y fisiológicos de cómo un conjunto de personas reacciona frente al juego se puede mejorar la plataforma de *Gesture Therapy* en beneficio futuro de las personas que se encuentran en rehabilitación por un ECV. Esto gracias a que se podrían inducir diferentes estados afectivos mediante el juego. Un ejemplo es la motivación que impulsa a las personas a continuar con las terapias y con ello mejorar en cada sesión mediante el juego. Conociendo lo anterior, esta base de datos genera nueva información sobre estados afectivos no investigados con anterioridad.

Por último, la razón por la que se incluye EEG y fNIRS es porque se ha comprobado que la combinación de ambas técnicas mejora la precisión emocional debido a que el EEG es capaz de capturar la dinámica temporal rápida mientras que fNIRS aporta información espacial más precisa de la actividad cortical[7]. El gripper y las cámaras fueron incluidos debido a que, como se explicará en el capítulo 2, se ha demostrado que las expresiones faciales, los movimientos corporales, la presión de los dedos y el movimiento de las manos son señales útiles para reconocer emociones. Además se colocarán los sensores de fNIRS y EEG en 3 lóbulos del cerebro: Frontal,

Temporal y parietal. Se ha demostrado que estos lóbulos están implicados en el procesamiento de las emociones, esto se discutirá en el capítulo 5, sección 5.3.

1.2. Planteamiento del problema

Existen muchas bases de datos multimodales en el cómputo afectivo que sincronizan diferentes sensores como: Electroencefalograma (EEG), Espectroscopia funcional del Infrarrojo Cercano (fNIRS), Electrocardiograma (ECG), Electromiografía (EMG), expresiones faciales etc., que utilizan diferentes estímulos tales como vídeos de diferente índole como programas de televisión, vídeos musicales y en general vídeos con contenido emocional para poder obtener de los participantes diferentes estados afectivos ya sea inducidos, planteados o naturales.

No obstante, en ninguna de estas bases de datos se incluyen otro tipo de datos como el movimiento de las manos o la presión de los dedos los cuales también pueden complementar los datos relacionados con los estados afectivos. Asimismo, en una cantidad muy reducida de bases de datos se introducen otro tipo de estímulos que sean diferentes a vídeos con contenido emocional para obtener diversos estados. Por otro lado, el reducido número de bases de datos que implementan videojuegos ó juegos cognitivos como estímulos no tiene un objetivo más significativo que el sólo propósito de causar que el participante experimente varios estados afectivos. Esto es relevante porque distintos estudios han concluido que la inducción de emociones a través de videojuegos y contenido multimedia (como videos o música) presenta diferencias significativas en cuanto a la interactividad, inmersión y respuesta emocional del usuario, induciendo emociones complejas normalmente no presentes cuando se inducen viendo películas. Algunos estudios que mencionan estas diferencias son:

- En [8] se analiza cómo diferentes elementos de los videojuegos, como personajes, gráficos y eventos del juego, pueden provocar cambios en el estado emocional de los jugadores.
- En [9] se explora cómo las emociones generadas por los videojuegos pueden influir en la motivación y el aprendizaje de los estudiantes,

destacando la importancia de la interactividad y la inmersión en la experiencia emocional.

- En [10] este análisis se centra en cómo la narrativa y el diseño emocional en videojuegos pueden generar una profunda inmersión y una amplia gama de respuestas emocionales en los jugadores.

Otro punto importante es que la mayoría de las bases de datos de este tipo se realizan en Europa y Estados Unidos así que no existen estudios en los que se pueda comparar si las reacciones fisiológicas y físicas de las emociones son diferentes ó iguales entre los europeos y los latinos. Se tiene evidencia de varios estudios de comparación entre razas por ejemplo, en el artículo de Tsai & Levenson[11] se examinaron parejas románticas de origen chino-americano y europeo-americano, se midieron respuestas fisiológicas durante conversaciones de conflicto en donde se estudiaron diversas variables fisiológicas y se encontraron que las respuestas fisiológicas mostraban más similitudes que diferencias entre los grupos culturales. En el artículo de Tsai, Levenson, & Carstensen[12] se compararon respuestas mientras los participantes veían películas emocionales y se midieron respuestas fisiológicas autonómicas además también se examinaron también expresiones faciales y reportes subjetivos. Los resultados sugirieron que las respuestas fisiológicas básicas a estímulos emocionales eran similares entre culturas.

Otro punto destacado a considerar es que se utilizará un juego serio enfocado a la rehabilitación de miembros superiores después de un Evento Cerebrovascular (ECV). La rehabilitación de miembros superiores representa un reto para los terapeutas debido a que el brazo y la mano poseen mecanismos complejos. En consecuencia el tiempo de recuperación de movilidad de un miembro superior después de un ECV es mucho más difícil y prolongado que para un miembro inferior. Un dato clave es que aproximadamente 40 % de los sobrevivientes de un ECV quedan con una mano casi inoperante[13]. Por esta razón la terapia de rehabilitación y el ejercicio son clave para la recuperación de la movilidad de miembros superiores. Sin embargo, la mayoría de los pacientes que han sufrido un ECV manifiestan secuelas cognitivas, emocionales y conductuales. Estas secuelas van a generar estados de frustración y derrota que pueden provocar el abandono de la rehabilitación[14]. Esta base de datos propone generar información física y fisiológica que sea provechosa en el futuro para poder brindar, no sólo

una mejora en la plataforma de *Gesture Therapy*, sino que también sirva de antecedente para brindarle a los investigadores una referencia de qué estados afectivos pueden inducirse en personas sanas mediante un juego serio. Esta información en un futuro puede utilizarse también para que se realicen más investigaciones con juegos serios y personas que han experimentado un ECV para así poder más alternativas en terapias de rehabilitación que incentiven a que las personas tengan una adherencia en la terapia de rehabilitación. En particular, puede servir de base para entrenar sistemas de reconocimientos de emociones que ayuden a estimar el estado emocional del paciente durante su interacción con *Gesture Therapy*, y en base a esto, adaptar la terapia de acuerdo al estado emocional del paciente.

Por último, esta base de datos incluye estados afectivos complejos, no limitándose a las emociones básicas —alegría, tristeza, enojo, sorpresa, miedo y repulsión— y también incluye datos de personas de Latinoamérica que, como se dijo anteriormente, no hay antecedentes de bases de datos que se hayan realizado en esta región. Esto es importante porque en el futuro, se podrían utilizar los datos para estudios comparativos de bases de datos de otras regiones como Europa y Estados Unidos.

1.3. Pregunta de Investigación

¿Cómo caracterizar los diversos estados afectivos a través de señales físicas y fisiológicas como EEG, fNIRS, presión de dedos, movimientos de manos y reconocimiento facial, para la creación de un corpus multimodal; de forma que en el futuro puedan ser identificados a través de sistemas de clasificación automática?

1.4. Hipótesis de Investigación

Es posible la inducción de 5 estados afectivos complejos en personas al interactuar con un juego serio, y sincronizar las señales de Electroencefalograma, Espectroscopia funcional del Infrarrojo Cercano, sensor de presión de los dedos, movimiento de manos a través de una manija y vídeo para el reconocimiento de expresiones faciales, para crear un corpus multimodal que combine estas características físicas y fisiológicas. A partir de los datos

del corpus, se tendrá información fiable que sirva para el reconocimiento de estados afectivos y que, por lo tanto, puedan ser usados por la comunidad científica para diferentes fines, así como que sea útil para reconocer estados afectivos de los pacientes en terapias de rehabilitación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar un corpus multimodal en un ambiente de juegos que integre aspectos físicos-fisiológicos para el reconocimiento de estados afectivos, el cual incluya: EEG, fNIRS, sensor de presión de los dedos, movimiento de manos y expresiones faciales,.

1.5.2. Objetivos Particulares

1. Obtener y sincronizar las señales fisiológicas (fNIRS -EEG) y físicas (sensor de presión-movimiento de manos, expresiones faciales), en el marco de un juego serio aislado de *Gesture Therapy*.
2. Diseñar un protocolo de recolección de datos y obtener su aprobación por un comité de bioética.
3. Determinar los diferentes niveles de complejidad del juego a utilizarse para invocar las diferentes emociones, mediante pruebas preliminares con personas.
4. Realizar mediciones con N personas sanas ($N \geq 12$ y $N \leq 30$) y documentar el proceso de toma de datos.
5. Aplicar encuestas a los sujetos que sirvan como información adicional al etiquetado para los especialistas.
6. Con el apoyo de psicólogos, realizar un etiquetado inicial de las emociones evocadas en diversas personas.
7. Realizar un ejemplo de uso de los datos obteniendo características estadísticas.

1.6. Contribución

La base de datos creada es novedosa ya que incluye una combinación de aspectos físicos (expresiones faciales, movimiento de manos y presión de dedos), fisiológicos (EEG y fNIRS), la inducción estados afectivos complejos (*cansancio, frustración, ansiedad, aburrimiento y motivación*) y un juego serio (como estímulo para inducir los estados afectivos) nunca antes incorporados en las bases de datos ya existentes en el cómputo afectivo. Además, fueron elegidos estos cinco estados afectivos debido a que están relacionados con la terapia de rehabilitación. Hay varios artículos que justifican la elección de los cinco estados afectivos. Por ejemplo, el estudio [15] destaca que las terapias tradicionales pueden llevar al paciente a estados de depresión y ansiedad, haciendo que pierda el interés en las terapias, hasta el punto de desistir de ellas. Para contrarrestar estos estados, se propone el uso de juegos serios en realidad virtual como una herramienta para hacer las terapias menos dolorosas y más divertidas, con el fin de motivar a los pacientes a cooperar en su recuperación. Mientras que en [16] se aborda el reconocimiento automático de estados afectivos como dolor, ansiedad, fatiga y compromiso en pacientes que realizan rehabilitación virtual después de un evento cerebrovascular (EVC). Se explica como estos estados afectivos pueden inferirse a partir de métricas de movimiento de la mano en 3D y presión de los dedos, dos variables que son relevantes en la recuperación motora del miembro superior.

Por estas razones, la creación de esta base de datos es beneficiosa ya que a partir de esta se puede estudiar cómo un juego serio sirve para inducir diferentes estados afectivos y, a partir de las diferentes señales físicas (presión de dedos, movimiento de manos y expresiones faciales) y fisiológicas y un proceso de clasificación, verificar que estados afectivos han sido inducidos.

Un aspecto que se tiene que mencionar es que antes de la recolección de datos se hicieron pruebas para asegurar que se presentaran los 5 estados afectivos. Se realizó el protocolo de toma de datos de una manera metódica asegurando que pudiera ser posible reconocer los estados afectivos propuestos. Si bien se pretende que se logre el reconocimiento de los estados afectivos propuestos, en este trabajo no se propone una métrica especifi-

ca debido a que las emociones son cuestiones subjetivas que en nuestro caso han sido etiquetadas por un psicólogo. Por esta razón, no hay una métrica absoluta que asegure que se están induciendo los estados afectivos propuestos, además en los datos etiquetados por psicólogos si se han presentado dichos estados.

Otro beneficio importante de la creación de esta base de datos es que la comunidad científica puede utilizarla para el preprocesamiento, obtención de características y por supuesto, clasificación. Es importante recalcar también que es la primera en su tipo que esta creada en Latinoamérica. Esta base entonces podría ser estudiada en conjunto con otras bases de datos creadas en otros continentes como Europa o Estados Unidos.

El beneficio más importante a la sociedad de esta base de datos es a la rehabilitación ya que esta base está enfocada a recolectar datos cuando los usuarios se encuentran jugando un juego serio que se encuentra en una plataforma de rehabilitación. Estos datos en un futuro se pueden utilizar como un antecedente, no sólo para la mejora de la plataforma de *Gesture Therapy*, sino también para tener evidencia de cómo un juego serio puede ayudar a la rehabilitación de miembros superiores induciendo ciertos estados afectivos y de esta manera que los profesionales de la salud puedan valerse de ella para la innovación de terapias de rehabilitación que incentiven a las personas a mantenerse positivas y constantes. La información obtenida en esta base de datos podría utilizarse en un futuro para desarrollar juegos serios para la inducción de estados afectivos tales como motivación que benefician la continuación de la terapia y, al mismo tiempo, entender cómo se generan estados afectivos como frustración, cansancio y aburrimiento para poder realizar un mejor manejo de estos estados y que no generan problemas al momento de la terapia. En base al reconocimiento de estos estados afectivos, podrían adaptar la terapia (por ejemplo, modificar el nivel de dificultad de los juegos) los sistemas de rehabilitación virtual como *Gesture Therapy*. Además, también se tendrá evidencia de la inducción de otros estados afectivos tales como ansiedad y frustración, teniendo así también un antecedente de cómo se están induciendo estos estados.

Por último es de importancia mencionar que, esta base de datos puede ser un referente para el desarrollo de otras bases de datos que pueden estar

enfocadas a juegos serios que, al igual que el juego serio que fue utilizado en esta base de datos, tenga objetivos que beneficien a la sociedad en general como la educación.

1.7. Alcances y limitaciones

ALCANCES:

1. Sincronización multimodal de varios sensores: sensores de actividad cerebral, sensor de movimiento de manos, sensor de presión de dedos y expresiones faciales.
2. Base de datos latinoamericana: Se creará una base de datos con la información de todos los sensores antes mencionados y con personas de la comunidad latinoamericana en la que se incluirán países como Venezuela, Colombia, Cuba y México.
3. Población: Se incluirá en la base de datos personas sanas y de edad entre los 18 a 70 años de ambos sexos.
4. Etiquetado por un especialista: Un psicólogo realizará el etiquetado de los datos obtenidos a partir de las expresiones faciales.
5. Estados afectivos complejos: Se buscará inducir estados afectivos que escasamente se han reportado en otras bases multimodales tales como motivación y frustración.
6. Juego serio: Se incluirá un juego serio con el que se buscan inducir los estados afectivos y el cual es parte de la plataforma de rehabilitación *Gesture Therapy*.

LIMITACIONES:

1. Limitación en países latinoamericanos incluidos: Debido a la situación geográfica y el tiempo en el que se realizará la base de datos, existe una limitación en cuanto al número de nacionalidades incluidas en la base de datos. Se tienen 33 países en Latinoamérica de los que sólo 3 serán incluidos.

2. La base de datos se conforma de 20 personas: Este número se tomó como un número promedio para realizar la base de datos debido a que la mayoría de las bases de datos de cómputo afectivo se conforman de entre 12 a 30 personas.
3. Se consideran sólo personas sanas: Como consecuencia del tiempo limitado para realizar este trabajo de tesis, sólo se muestrearán a personas sin ninguna discapacidad física ó mental reduciendo a una muestra objetivo específica.

1.8. Contenido de la Tesis

Este trabajo de tesis está dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo 2: Este capítulo incluye todo lo relacionado a cómputo afectivo y los conceptos clave relacionados a él como el origen del cómputo afectivo, la personalidad, las emociones, los patrones fisiológicos relacionados a las emociones y el modelo más usado de la personalidad conocido como *Big Five*. Además también se expone la relación entre las emociones y los todos los sensores que fueron utilizados para realizar el corpus.

Capítulo 3: A lo largo de este capítulo se explica de una manera breve y concisa todo lo relacionado a la sincronización multimodal de sensores desde su relevancia, los tipos de sincronización existentes y finalmente se profundiza en el software que fue utilizado en este trabajo para realizar la sincronización.

Capítulo 4: El capítulo describe todos los antecedentes de bases de datos en cómputo afectivo que, hasta la fecha de realización de este trabajo, han sido publicadas. Finalmente se revisan los puntos importantes por los cuales la base de datos propuesta en este trabajo es novedosa y corresponde una contribución a la comunidad científica.

Capítulo 5: Este capítulo incluye cada uno de los pasos de la metodología; desde el diseño experimental, los sensores involucrados, la definición de las emociones a inducir, una breve descripción de la configuración de los sensores, la adaptación del juego serio, un resumen sobre la sincronización

Capítulo 1 Introducción

de los sensores y por último el proceso de adquisición de datos.

Capítulo 6: El capítulo engloba todo lo relacionado a la creación del corpus comenzando por las pruebas piloto que fueron realizadas antes de realizar el corpus, el protocolo de toma de datos y el etiquetado de los datos adicionalmente que se explica el análisis de los datos que se baso en la extracción de características estadísticas para los datos de EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de dedos.

Capítulo 7: En este capítulo se expone los resultados de la extracción de características para los datos de fNIRS, EEG, movimiento de manos y presión de dedos. Además se presentan los resultados del etiquetado realizado por psicólogos.

Capítulo 8: En este capítulo se establecen las conclusiones y el trabajo a futuro.

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se definirá todo lo correspondiente al cómputo afectivo y a las emociones ya que este trabajo de tesis se sostiene teóricamente del reconocimiento de emociones. También se explicará cómo es que las emociones están relacionadas con todos los sensores, la personalidad y, finalmente, se explicará el modelo más utilizado por los científicos para la personalidad.

2.1. Cómputo Afectivo y su Origen

Las emociones se encuentran presentes en cada momento de la vida ya que son una característica inherente del ser humano. Intuitivamente se sabe que las emociones son una respuesta a nuestro entorno y por lo tanto son una forma de comunicarnos con él. Es interesante comprender cómo estudiar las emociones no sólo nos ayuda a comunicarnos con el entorno sino que también nos es útil para interactuar con otros seres humanos e incluso tratar de entender también lo que sus emociones dicen sobre ellos. Pero, ¿Qué sucedería si una computadora pudiera también interactuar con nosotros para entender y responder a las emociones humanas?. Esta pregunta nos obliga a hablar sobre un concepto clave: El Cómputo Afectivo.

El origen del concepto de Cómputo Afectivo se remonta al año 1997 donde Rosalind W. Picard introdujo el concepto mencionando que las máquinas podrían identificar, analizar y responder a las emociones humanas. Pero para que este objetivo pueda ser alcanzado, las máquinas deberían ser capaces de reconocer y procesar los diferentes estados emocionales. Picard explica que las máquinas pueden aprender a reconocer varias de las señales mediante las cuales los seres humanos expresan emociones tales como

expresiones faciales, gestos, entonación de la voz e inclusive se introduce la idea de que las señales fisiológicas también pueden ser utilizadas para poder reconocer información afectiva [1]. Sin embargo, Picard también menciona que la maquina tiene limitaciones para acceder al cuerpo y mente de un ser humano siendo así sólo un espectador que no podrá reconocer todos los sentimientos. Por último, se menciona que la mejor opción entonces para poder reconocer emociones será una combinación entre las destrezas computacionales para reconocer patrones y la capacidad de los humanos para encontrar una interpretación a los mismos.

Para poder entender mejor las emociones, a continuación se explican las emociones básicas y las dimensiones afectivas que son diferentes enfoques para la representación de emociones.

2.2. Emociones Básicas y Categorías Discretas

Diversos teóricos han propuesto varias listas de emociones básicas, sin embargo, de todas esas listas hay 6 emociones en común en todas ellas: *miedo, ira, tristeza, alegría, disgusto y sorpresa* [1]. Se considera que existen entre dos y veinte emociones básicas, pero ¿Qué es una emoción básica?. Según Paul Ekman son aquellas emociones que poseen expresiones faciales universales únicas. Con estos antecedentes, Ekman declara seis emociones básicas: *miedo, ira, tristeza, felicidad, disgusto y sorpresa*. Los científicos que defienden este enfoque opinan que no importa la cultura del lugar en donde se viva, todas las personas van a experimentar ciertas emociones independientemente de su lugar de residencia. Sin embargo, cada emoción básica se caracteriza por una experiencia única de la emoción en sí y esta experiencia no es medible pero los rasgos característicos de cada emoción si lo son [17].

2.3. Dimensiones Afectivas

Muchos autores prefieren, en lugar de ocho emociones básicas, referirse a un espacio continuo de emociones formado comúnmente por dos dimensiones aunque puede extenderse a una tercera. Este espacio fue diseñado por Mehrabian y Russell [18] conocido también como *Dimensiones Afectivas*

que pueden usarse para medir los cambios en los juicios y la conducta emocional. El espacio afectivo tiene dos ejes: un eje relacionado con la *valencia* y el segundo eje relacionado con la *excitación* (ó *arousal* [19]). La *valencia* representa la dimensión positiva ó negativa de un sentimiento mientras que la *excitación* representa el grado de intensidad de la respuesta emocional y puede ser calificada como emocionado o tranquilo [20]. El tercer eje que suele agregarse esta relacionado con la *dominancia* que esta definida como la disposición que posee un individuo a controlar ó ser controlado por otros y puede ser medida de sumiso a dominante [20].

Por último es importante mencionar cual es la diferencia entre un estado afectivo y una emoción: Un estado afectivo es un estado interno que representa como un objeto o situación impacta en la supervivencia de un organismo que se describe en términos de valencia (positiva/negativa) y activación (alta/baja)[21]. Además, un estado afectivo tiene una duración prologada. En contraposición, una emoción tiene una duración breve y son respuestas automáticas a eventos percibidos que causan cambios rápidos en nuestro mecanismo expresivo, experiencia subjetiva y activación fisiológica[22].

2.4. Electroencefalograma y Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano para el Reconocimiento de Emociones

2.4.1. Electroencefalograma

El electroencefalograma (EEG) es un registro de las oscilaciones del potencial eléctrico cerebral registradas por electrodos colocados en el cuero cabelludo humano. Los electrodos son discos de metal planos que se pueden colocar en diferentes lóbulos cerebrales por lo que proporciona una medida sólida de la función dinámica neo cortical, ya que un sólo electrodo proporciona estimaciones de la acción sináptica promediadas sobre masas de tejido que contienen entre 100 millones y mil millones de neuronas [23]. Sin embargo, el EEG tiene baja resolución espacial pero una buena resolución temporal[24]. La actividad eléctrica cerebral puede dividirse en dos categorías: potenciales espontáneos y potenciales evocados o relacionados con eventos (ERP), los cuales son resultado de algún estímulo externo [25].

2.5. Estructuras cerebrales y su relación con las emociones

El cerebro humano puede dividirse en tres zonas principales el cerebelo, el tronco encefálico y el cerebro.

Las funciones del cerebelo y del tronco encefálico son diversas [25]:

- El cerebelo principalmente controla la coordinación y el movimiento del cuerpo.
- En el tronco encefálico se transmiten señales bidireccionalmente entre la médula espinal y los centros cerebrales superiores.

Mientras que el cerebro, por otra parte, puede dividirse en 4 partes llamados lóbulos (véase la Figura 2.1) que tienen diferentes funciones:

1. **Lóbulo Frontal:** Encargado de las emociones, la resolución de problemas, el habla y el movimiento. Además, contiene la corteza motora primaria que controla los movimientos faciales como el movimiento de los ojos, la cara, los labios y la mandíbula [25]. Es importante destacar que la activación del lóbulo frontal derecho está relacionada con emociones negativas como el *disgusto* mientras que una activación del lóbulo frontal izquierdo se relaciona con emociones positivas como *felicidad* [24].
2. **Lóbulo Parietal:** Percibir el dolor, sensaciones gustativas y tiene un papel en la resolución de problemas [25].
3. **Lóbulo Temporal:** Encargado de la audición, emociones y la memoria. Es importante mencionar que la amígdala (vital para el procesamiento de emociones) se localiza cerca del hipocampo en la porción frontal del lóbulo temporal [24].
4. **Lóbulo Occipital:** Encargado de tareas relacionadas con la visión.

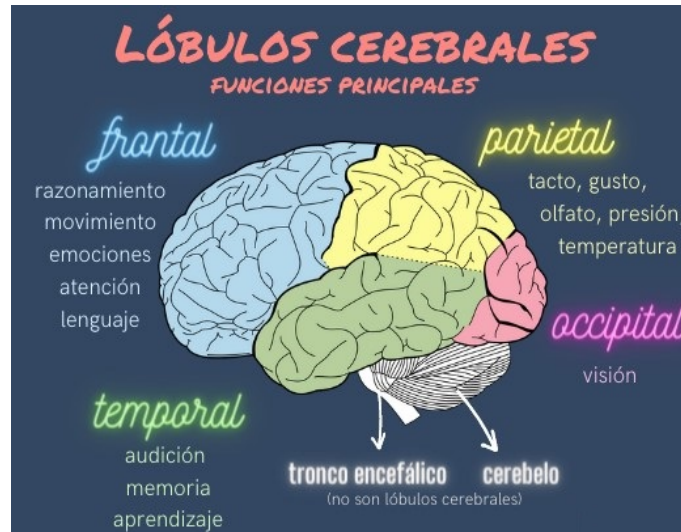


Figura 2.1: Los 4 lóbulos del cerebro. En la imagen se pueden apreciar algunas de las tareas que realizan cada uno de los lóbulos. Por ejemplo, el lóbulo frontal no solamente está asociado con las emociones, también está relacionado a la corteza motora y al lenguaje de igual manera que el lóbulo parietal el cual también está asociado a la corteza somatosensorial. Imagen adaptada de [26].

2.5.1. Sistema 10-20

La colocación de los electrodos de EEG se basa en el sistema 10-20 que fue estandarizado por el Dr. Hebert H. Jasper. El Dr. Jasper estableció algunas normas para la colocación de electrodos los cuales se enumeran a continuación:

1. La posición de los electrodos se debe basar en mediciones determinadas de puntos de referencia craneales.
2. La colocación de los electrodos debe tener una cobertura completa y adecuada de todas las partes de la cabeza.
3. El nombramiento de los electrodos será expresado en base a las áreas cerebrales que se consideran y no sólo colocar números ya que esto facilitaría la comunicación para el personal no especializado.

El sistema 10-20 se basa en puntos referencia del cráneo: el nasión, el inión y los puntos preauriculares izquierdo y derecho. Tomando como referencia los puntos del nasión y el inión, el cráneo se dividirá en 5 áreas separadas: La primera marca de colocará al 10 % y se llamará F_p (Veáse

figura 2.2). La segunda, tercera, cuarta y quinta se colocan a intervalos del 20 % de la medición total y se denominan F, C, P y O. Así que F_p , F, C, P y O corresponden a las zonas cerebrales frontopolar, frontal, central, parietal y occipital respectivamente[27].

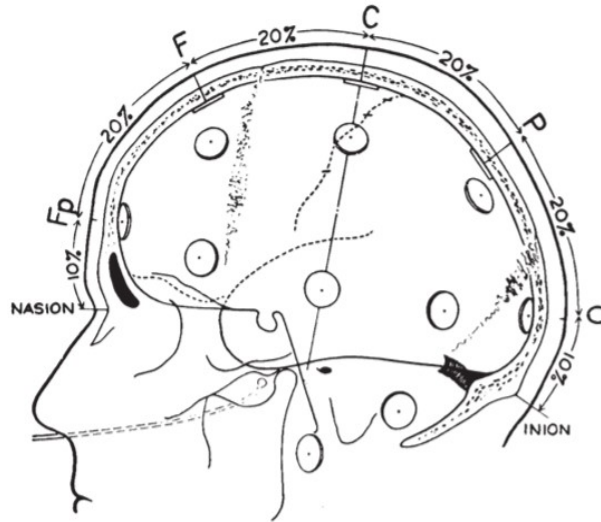


Figura 2.2: La posición F_p corresponde al polo frontal; la línea F agrupa los electrodos frontales; la línea C, los electrodos centrales; la línea P, los parietales; y la línea O, los occipitales. Los porcentajes señalados indican las proporciones de la distancia total entre el nasión (punto entre la frente y la nariz) y el iniön (protuberancia en la parte posterior del cráneo). La línea central (C) se encuentra justo a la mitad, es decir, al 50 % de esta distancia. Imagen adaptada de [27].

Para el etiquetado del plano coronal central, el punto de referencia comienza en el punto preauricular izquierdo, pasa por la marca del vértice C y llega hasta el punto preauricular derecho (Veáse figura 2.3). Se coloca una marca T al 10 % de los puntos preauriculares, esta marca representa el área temporal. Luego se colocan marcas al 20 % en el lado derecho e izquierdo que se colocan en el vértice C[27].

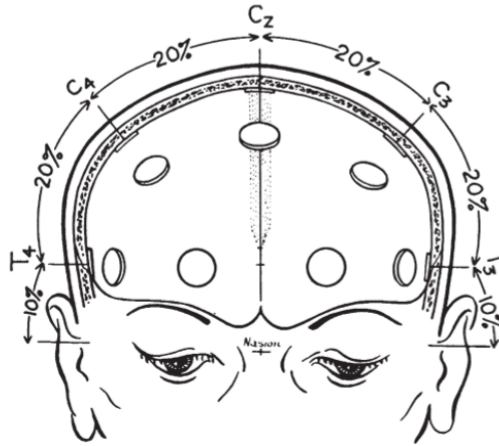


Figura 2.3: Vista frontal del cráneo que ilustra cómo se realiza la medición para ubicar la línea central de electrodos. Imagen adaptada de [27].

Se realiza también una medición circunferencial sobre los lóbulos temporales desde la posición Fp hasta la posición O (veáse Figura 2.4). Se realiza entonces una marca al 10 % que indica la posición izquierda ó derecha del electrodo Fp. Por último, se colocan marcas al 20 % de la medición, etiquetadas como frontal inferior, temporal medio y temporal posterior, y occipital izquierdo o derecho[27].

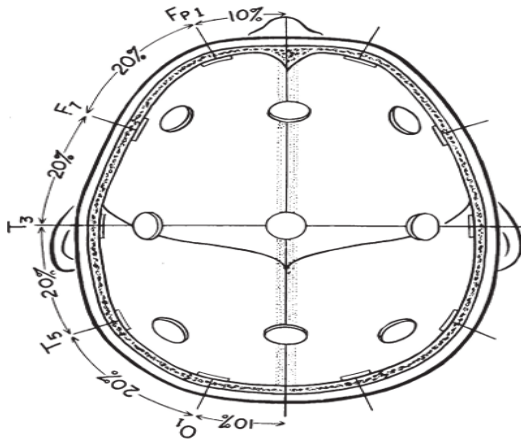


Figura 2.4: Vista superior con un corte transversal del cráneo a la altura de la línea temporal de electrodos, que muestra la aplicación del sistema 10-20 en esa dirección. Imagen adaptada de [27].

Las mediciones anteroposteriores se toman desde la posición Fp izquierda y derecha, pasando por la posición C lateral, hasta la posición O izquierda y derecha. Esta medición se divide equitativamente entre marcas del 25 %

y se etiqueta como F lateral, C lateral y P lateral. Por último se realizan las mediciones coroneales desde la posición frontal inferior izquierda y derecha, pasando por la posición F de la línea media, y se dividen en segmentos del 25. Por último, Se realiza una medición coronal posterior desde la marca temporal posterior izquierda, pasando por la posición P de la línea media. Esta distancia se divide en segmentos del 25 %, y se identifican los puntos como P lateral izquierdo, P en la línea media y P lateral derecho(veáse figura 2.5)[27].

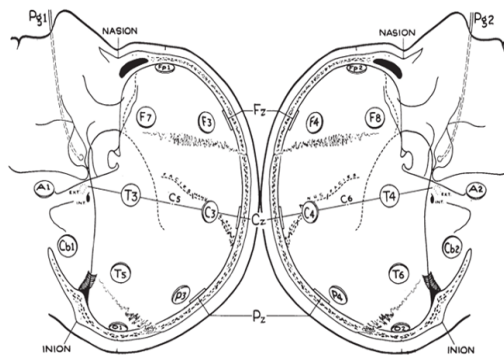


Figura 2.5: Vista lateral de los hemisferios izquierdo y derecho que muestra las posiciones estándar de los electrodos, excluyendo las ubicaciones intermedias (como C5 y C6).,Imagen adaptada de [27].

2.5.2. Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano

La Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano (fNIRS) es una técnica no invasiva que mide la actividad hemodinámica cerebral ya que detecta cambios localizados en el volumen sanguíneo y en la oxigenación [28]. El sistema de fNIRS está compuesto de una fuente de luz infrarroja que puede ser un diodo emisor o un láser y un fotodetector. Se utilizan múltiples pares de emisor-detector de luz infrarroja con dos ó más longitudes de onda.

La tarea de la fuente de luz es irradiar luz infrarroja en la superficie de la cabeza del sujeto y los fotones que son retrodispersados hacia la superficie de la cabeza son captados por el fotodetector, los cuales pasan por la región cortical del cerebro [29]. En esta región se presentan cambios de hemoglobina oxigenada (HbO) y hemoglobina desoxigenada (HbR) [30], que son cromóforos capaces de absorber luz infrarroja y exhibir espectros de absorción distintos [31]. Luego se examinan los cambios continuos en la concentración de HbR y HbO para precisar que áreas del cerebro se esti-

mulan permitiendo la localización de la función cerebral [32]. Asimismo, la hemoglobina oxigenada aumenta durante el procesamiento cognitivo mientras que la hemoglobina desoxigenada disminuye, esto se conoce como acoplamiento neurovascular [33]. El funcionamiento del fNIRS puede ser visualizado gráficamente en la Figura 2.6.

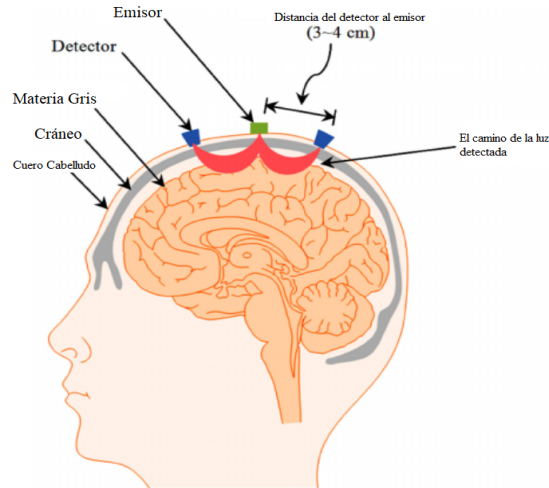


Figura 2.6: Funcionamiento del fNIRS. En la imagen se puede apreciar como la luz que es producida por el emisor atraviesa la región cortical del cerebro para poder ser detectada. Entre cada par de emisor-detector se recomienda una distancia de 3-4 cm. Imagen adaptada de [30].

fNIRS tiene una resolución espacial deficiente en comparación a otras técnicas de neuroimagen tales como Resonancia Magnética funcional (fMRI) ó la Tomografía por Emisión de Positrones (PET). La tarea de fNIRS es medir la respuesta neurovascular, además no implica una carga psicológica ó física en comparación con otras técnicas de neuroimagen[34]. Un ejemplo claro es fMRI que puede causar problemas psicológicos como ansiedad ó estrés por ruido[35]. Entre algunos de los problemas físicos que fMRI puede causar son problemas renales por el contraste y, debido al campo magnético muy intenso, las personas con marcapasos, implantes metálicos o clips quirúrgicos no pueden entrar.

2.5.3. fNIRS para evaluar la función emocional

Existen diferentes trabajos de investigación que han brindado información sobre las respuestas hemodinámicas reconocibles entre emociones positi-

vas y negativas [36, 37, 38, 39].

Entre los hallazgos más importantes que se han realizado al respecto sobre las emociones y el uso del fNIRS son las siguientes:

1. Las emociones positivas se acompañan de respuestas de HbO más bajas en la corteza prefrontal derecha en contraste con las emociones negativas [40].
2. Las emociones positivas están unidas a mayor oxigenación (HbO-HbR) en la corteza prefrontal rostral medial en contraposición con las emociones negativas [41].
3. El *orgullo* está asociado a activaciones en el surco temporal postero-superior derecho y el polo temporal izquierdo en tanto que la alegría activa el lóbulo de la ínsula y el estrado ventral [42]. El orgullo esta clasificado como una emoción y en [43] se analiza como la única emoción autoconsciente positiva, comparándolo con emociones autoconscientes negativas como la culpa y la vergüenza.
4. Según estudios de EEG, el *cansancio* se asocia con cambios en las ondas cerebrales, especialmente en un aumento en la actividad de las ondas *theta* y una disminución en las ondas *beta* ya que a medida que una persona se cansa, la amplitud de las ondas *beta* tiende a reducirse provocando una disminución en la concentración. También hay una alteración en la irregularidad en las señales de EEG que indica que el cerebro esta menos sincronizado durante las tareas cognitivas[44].

2.6. Cámara para el Reconocimiento de Emociones

Las cámaras son capaces de captar las expresiones faciales y corporales de una persona. Las expresiones faciales son una herramienta potente, natural y universal mediante la cual los seres humanos son capaces de expresar emociones e intenciones. Es por esta razón que las imágenes captadas a través de una cámara son utilizadas para el Reconocimiento de Expresiones Faciales (REF)[45].

Existen sistemas para REF los cuales se dividen en dos categorías:

- REF de imágenes estáticas que se basa en la codificación de los rasgos utilizando la información espacial de la imagen actual.
- REF de secuencia dinámica considera la relación temporal de los fotogramas contiguos en la secuencia de expresión facial de entrada[45].

Las expresiones faciales entonces son utilizadas para poder reconocer emociones. Pero no sólo las expresiones faciales pueden utilizarse para el reconocimiento de emociones. Otro aspecto corporal importante que puede utilizarse son los movimientos corporales. Integrar las modalidades de expresiones faciales y movimiento corporal mejoran el reconocimiento de emociones. Esto se ve reflejado en [46] que demostró que al utilizar sistemas multimodales, que incorporan por ejemplo expresiones faciales y movimiento corporal, se aumenta la eficacia en el reconocimiento de emociones en comparación a los sistemas unimodales. Este argumento también se corrobora en [47], en donde primero se fusionan características de expresiones faciales y movimientos corporales para entrenar un clasificador y después se entrena un clasificador con cada una de las características separadas. La conclusión a la que se llega es que al combinar las dos características se alcanza una mejor precisión del reconocimiento en general en comparación con las características separadas.

2.7. Gripper y el Reconocimiento de Emociones

Como se explica en el apéndice F, *Gesture Therapy* (GT) utiliza un hand-gripper el cual integra un sensor de presión y una esfera en la parte superior para el seguimiento. *Gesture Therapy* posee un sistema de visión artificial que rastrea la ubicación (x,y,z) de la esfera para determinar los movimientos del brazo. El sistema puede almacenar los valores de presión y posición (x,y,z) en un archivo .txt.

Los valores de presión y movimiento pueden ser utilizados para el reconocimiento de emociones. En [3] se demuestra que la presión de los dedos y el movimiento de las manos son señales físicas útiles para reconocer emociones en entornos de rehabilitación, especialmente cuando se integran con modelos de clasificación multimodal. Las emociones que fueron reconocidas en este trabajo a partir de los datos recabados por el sistema fueron

Cansancio, Ansiedad, Dolor y Motivación. Esto fue útil para el sistema debido a que el sistema de GT usó estos datos para adaptar dinámicamente la dificultad de los juegos serios empleados en la rehabilitación. Esto es un gran beneficio puesto que la presión de los dedos y el movimiento de las manos son señales físicas útiles que no sólo ayudan al reconocimiento de emociones sino que también permiten que la terapia se adapte a las necesidades emocionales del paciente en tiempo real.

2.8. Personalidad

Definir este concepto no es fácil. La definición más aceptada de personalidad es que son todos aquellos patrones de conducta consistentes y procesos intrapersonales que se originan dentro del individuo [48]. Los patrones de conducta se refieren a las diferencias individuales que caracterizan a una persona por ejemplo, cuando se dice "Era típico de ella ser extrovertida". Mientras que los procesos intrapersonales son todos aquellos procesos emocionales, motivacionales y cognitivos que tienen lugar en nuestro interior y que influyen en cómo actuamos y sentimos [48].

No obstante aunque la definición anterior menciona que los procesos intrapersonales se originan dentro del individuo esto no implica que fuentes externas no tengan una influencia sobre la personalidad. Algo que influye claramente en la personalidad es la crianza de un individuo ya que afectará al adulto en el que se terminará transformando, además de que también las emociones son resultado de las vivencias experimentadas [48].

Los rasgos de personalidad son entonces un reflejo de los pensamientos, sentimientos y comportamientos que las personas poseen [49]. Existe un sistema de rasgos muy utilizado entre los psicólogos conocido como el modelo de los 5 factores del que a continuación se profundizará más.

2.8.1. El modelo de los 5 factores de la Personalidad

El modelo conocido como *Big Five*, fue propuesto por Robert R. McCrae y Oliver P. John. Este modelo es una organización jerárquica de rasgos de personalidad en términos de 5 dimensiones básicas las cuales son: *extroversión*, *amabilidad*, *escrupulosidad*, *neurocriticismo* y *apertura a la expe-*

riencia [50]. El modelo fue desarrollado para representar la mayor cantidad de variabilidad en las personalidades de los individuos utilizando un pequeño conjunto de dimensiones de rasgos [51].

La *amabilidad* consiste en ser cooperativo, comprensivo, tolerante y ser capaz de perdonar a los demás sin causar conflictos, competencia, presión o el uso de la fuerza [52]. La *escrupulosidad* consiste en ser preciso, organizado, disciplinado, ser capaz de respetar principios y reglas y además trabajar arduamente para poder lograr el éxito [53]. La *extroversión* se puede definir como la cantidad y la intensidad de las características individuales de interacción social la cual se puede mostrar a través de la sociabilidad, asertividad, locuacidad y la confianza en uno mismo [52]. El *neurocriticismo* se refiere a la pérdida del equilibrio emocional y del control de los impulsos caracterizado por la preponderancia de sentimientos negativos y ansiedad los cuales se pretenden encarar utilizando estrategias de afrontamiento desadaptativas [54, 55]. Por último, la *apertura* se evidencia en la curiosidad intelectual, una mentalidad sin prejuicios, la no habitualidad y creatividad, la prioridad por la independencia, la originalidad y las diferencias [53, 56].

El modelo de los 5 factores de la personalidad o *Big five* se ha reconocido como una fiel representación primaria de los aspectos no patológicos y destacables de la personalidad y su alteración colabora al crecimiento de los trastornos de la personalidad [57].

2.9. Resumen del Capítulo

En este capítulo se expuso qué es el cómputo afectivo, sus orígenes y su relación con las emociones, además se definió en este proceso las emociones y el cómo las computadoras pueden aprovechar las características físicas y fisiológicas para el reconocimiento de emociones. También se trató de definir un concepto clave que se utilizará en esta investigación que es la personalidad ya que es una característica intrínseca del humano y que fue definida como patrones de conducta consistentes y procesos intrapersonales originados en el individuo los cuales a su vez, reflejarán el cómo una persona expresa sus emociones dejando entrever que la personalidad y las emociones son dos conceptos complejos y también bidireccionales ya que, como se mencionó anteriormente, en la personalidad influyen las emociones

Capítulo 2 Marco Teórico

que se experimentan a través de las diversas vivencias que experimentamos. Por último, se describieron los sensores que fueron utilizados en este trabajo y su relación con el reconocimiento de emociones.

Capítulo 3

Aspectos de la Sincronización Multimodal

En este capítulo se hablará de la sincronización multimodal, los tipos de sincronización multimodal existentes, la importancia de la sincronización y por último se incluirá una explicación detallada del software que se utilizó para realizar la sincronización.

3.1. Sincronización Multimodal

El ser humano tiene un comportamiento multimodal por lo que la combinación de diversas mediciones mejora la predicción del comportamiento humano. Para lograr este objetivo se puede realizar la integración de diversos sensores que cubran diversos aspectos físicos y fisiológicos.

La importancia de la sincronización multimodal se basa principalmente en la creación de conjuntos de datos multimodales sincrónicos. Estos conjuntos de datos pueden tener diferentes usos como lo son la validación de tecnologías emergentes, en este proceso se toman estos conjuntos de datos y con ellos se compara el grado de precisión de los dispositivos. Otro uso que tienen los datos sincrónicos es la mejora de sistemas basados en sistemas multimodales fisiológicos, ya que gracias a esos datos se pueden realizar nuevos descubrimientos [58]. Por último, en el ámbito de cómputo afectivo, los conjuntos de datos sincrónicos son importantes ya que gracias a ellos se han podido desarrollar sistemas afectivos para reconocer y responder a las emociones humanas y de esta manera en consecuencia hacer que la comunicación humano-máquina sea más efectiva [59].

La sincronización multimodal de sensores consiste en la alineación temporal precisa de los flujos de datos que se registran de cada sensor, en donde se utilizan patrones que puedan identificarse en los flujos de datos [60, 61]. Para realizar esta alineación temporal, usualmente se utilizan *marcas de tiempo* en los datos ya que se debe tener un reloj común para todos los flujos de datos y, cuando se quiere estudiar la relación entre un evento (por ejemplo, un estímulo audiovisual) y una reacción física ó fisiológica, es común utilizar marcadores de eventos cuya función es indicar en qué momento comienza y termina un evento. Este tipo de sincronización es conocida como *sincronización basada en eventos*.

Con las tecnologías actuales uno de los desafíos que hay en la sincronización multimodal es la administración de los datos que son generados por los sensores, ya que se intenta capturar la mayor cantidad de información posible sumado a que hacen falta herramientas que faciliten la sincronización multimodal de varios sensores [62].

A continuación, se enlistan otros de los desafíos de la sincronización multimodal:

- Sincronizar flujos de datos con frecuencias de datos heterogéneas [61].
- Sincronizar flujos de datos desde diferentes plataformas [61].
- Diversos retos en conversión, integración, almacenamiento, intercambio y reproducibilidad de datos [61].
- Los protocolos de transferencia de muestreo y el hardware suelen afectar las mediciones multimodales.
- Carencia de software abierto para sincronizar flujos de datos multimodales

Una alternativa para la sincronización multimodal basada en eventos es considerar que cada elemento de datos va a tener una marca temporal tomada del reloj local. Así que al localizar una primera marca de sincronización común en todos los flujos de datos, se puede calcular el desfase entre los relojes locales [61]. Luego, al localizar un segundo evento se pueden calcular las diferencias que existen entre las frecuencias de los relojes de los sensores para alinear los flujos de datos con esas diferencias [61].

3.2. Tipos de sincronización Multimodal

Existen dos tipos de sincronización ampliamente utilizados por separado o en combinación los cuales a continuación se explicarán con más detalle.

3.2.1. Sincronización por hardware

En este tipo de sincronización se utilizan pulsos físicos enviados por algún dispositivo que se usan como referencia para los eventos. Cada sensor/dispositivo tiene un reloj de muestra (*sample clock*) y un *Trigger* o disparador de inicio compartido [63].

En esta categoría existen dispositivos de hardware orientados a la sincronización multimodal que se basan en sistemas de pulsos *TTL* (*Transistor-Transistor Logic*). También existen equipos que están dedicados a medir retrasos en los dispositivos/sensores de medición. Generalmente se utiliza un canal adicional al de los canales de grabación dedicado al envío de *Triggers* y se puede hacer uso de una amplia variedad de dispositivos con diferentes microcontroladores para enviar a través este canal pulsos *TTL*.

3.2.2. Sincronización por software

Este tipo de sincronización se basa en un software que sincroniza el hardware en base al tiempo: cada pieza del hardware comparte en común una referencia de tiempo, esto significará que todos los dispositivos tendrán un mismo reloj en común [63]. Existen muchos estándares mediante los cuales se puede realizar esta sincronización basada en tiempo, como lo son protocolo de tiempo de red (NTP) y pulso por segundo (PPS). La tarea principal de estos programas es colocar estampas de tiempo e incluso *triggers* a los flujos de datos de los diferentes sensores [63].

Pueden encontrarse varios sistemas cuya tarea principal es la de realizar la sincronización multimodal de diversos sensores. Algunos de estos software de sincronización son: Opensync [64], Imotions [65], Biopac [66] y Lab Streaming Layer [67]. Aunque la mayoría de estos software son de pago, aún existen opciones de código libre como lo es el software Lab Streaming Layer.

3.3. Lab Streaming Layer (LSL)

Es un sistema de código abierto para la recopilación unificada de series de tiempo que maneja la conexión en red, la sincronización del tiempo, además de la recopilación, visualización y almacenamiento en disco de los datos. Se encuentra disponible en los siguientes lenguajes de programación: C, C++, Python, Java, C, MATLAB [67]. Este software es capaz de colocar marcas de tiempo en las muestras y enviar *triggers*. Fue desarrollado por el *Swartz Center for Computational Neuroscience*.

LSL puede utilizarse en una o varias aplicaciones de los sensores de medición que integren la conexión directa. Todos los equipos de cómputo y/o sensores que cumplan con el protocolo de intercambio de series de tiempo de LSL se encuentran dentro de la red del laboratorio (véase la Figura 3.1).

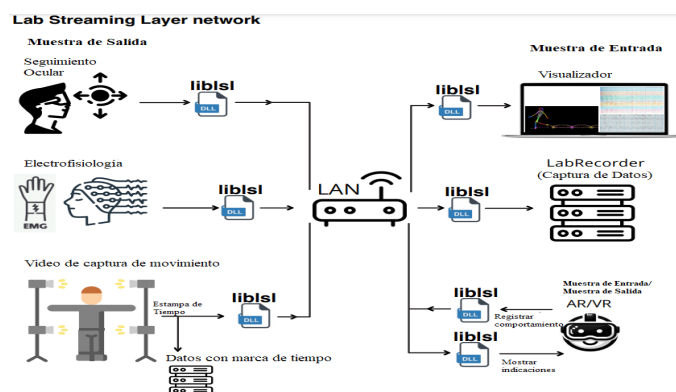


Figura 3.1: La imagen simplifica cómo se puede visualizar la red de LSL. Del lado izquierdo se pueden observar las muestras de salida. Mientras que del lado derecho, se observan las muestras de entrada. Imagen adaptada de [60]

Algunos conceptos clave para entender el protocolo LSL son los siguientes:

- **Muestra:** Es una única medición de todos los canales de un dispositivo.
- **Metadatos:** Es la información sobre las muestras que se almacena y transmite como datos XML.
- **Transmisión:** Es la combinación de datos muestreados de un dispositivo con metadatos.

- Muestra de salida: Al crear una muestra de salida se hace visible para una colección de computadoras donde se puede suscribirse buscándola a través de un Resolver y conectándole un muestra de entrada.
- Muestra de entrada: Sirve para recibir datos de series temporales desde una única salida conectada. Permite recuperar las muestras.
- Resolver: LSL proporciona funciones para encontrar transmisiones que están presentes en la red del laboratorio según consultas basadas en contenido (por ejemplo por nombre, tipo de contenido).

LSL además incluye varias herramientas tales como aplicaciones que conectan con dispositivos EEG, fNIRS, *eyetrackers*, etcétera de ciertas marcas y un programa de grabación llamado *Lab Recorder* que permite guardar las transmisiones dentro de la red del laboratorio en un sólo archivo con una sincronización horaria entre las muestras. El formato de metadatos en el que se guardan las muestras es el formato XDF.

3.3.1. Sincronización Multimodal Temporal de LSL

Lab Streaming layer proporciona la información necesaria para poder realizar la sincronización de las muestras: coloca marcas de tiempo en cada muestra y también agrega mediciones de desfase de tiempo, es decir, la diferencia temporal entre el origen de la muestra (sensor) y el consumidor de la muestra (computadora ó otro sensor que requiera la muestra). Esta información se guarda en el archivo XDF el cual, con el uso de un importador de archivos de tipo XDF, utilizan esta información temporal para realizar la sincronización de las transmisiones al momento de importarlas [67]. Las marcas de tiempo se colocan tomando como referencia el reloj monótono local (*steady_clock*) de la computadora, el cual funciona como un cronómetro pero no tiene relación con el calendario humano habitual.

Los importadores oficiales de archivos XDF pueden encontrarse en lenguajes como Python (pyxdf) y Matlab (EEGLAB ó MNE). El importador de XDF entonces realiza un ajuste lineal de las marcas de tiempo utilizando los desfases de los relojes y utiliza un mapeo lineal para reasignar los desfases de reloj haciendo de esta manera una sincronización de las series de tiempo [67].

3.3.2. Ventajas de LSL

Las ventajas principales que tiene el uso de *Lab Streaming Layer* se enlistan a continuación:

- Simplifica la recolección de datos multimodales con diferentes tasas de muestreo [60].
- Permite el procesamiento de datos en múltiples sistemas [60].
- Facilita el acceso en tiempo real y fuera de línea a los datos multimodales con sus respectivas marcas de tiempo a través del uso del formato XDF [60].
- La interfaz de programación de aplicaciones (API) unificada de LSL utiliza diferentes lenguajes de programación que permite que se puedan incorporar a casi cualquier software existente [60].
- La API también permite que se puedan interactuar con diferentes dispositivos de un sin número de proveedores [60].
- LSL permite grabaciones de flujos de datos sincronizadas en el tiempo desde todos los dispositivos que se encuentren en la red, haciendo que sólo sea necesario iniciar los sensores o dispositivos deseados; y al iniciar la grabación, se fusionen todos los flujos en un archivo de datos XDF desde *Lab Recorder* [60].
- Como consecuencia del punto anterior todos los flujos de datos tienen el mismo formato de archivo lo que aumenta la eficiencia del análisis de los datos [60].

3.4. Resumen del Capítulo

Como ya se mencionó en este capítulo, la sincronización multimodal se basa principalmente en una congruencia temporal. Para realizar este propósito, es común colocar marcas de tiempo en las muestras y de marcadores de eventos relacionados con los estímulos los cuales marcarán el inicio y el final de cada estímulo. Se explicó que existen dos tipos de sincronización multimodal por hardware y software. La sincronización por hardware se basa en el envío de señales TTL a través de un canal adicional para colocar las marcas de inicio y final de un estímulo así como también realizar el envío

de marcas de tiempo. Por otro lado, la sincronización por software realiza la misma tarea pero con el uso de un software dedicado que puede ser de paga ó abierto. El software abierto que más ventajas posee para realizar la sincronización multimodal y que fue utilizado en este trabajo de investigación se llama Lab Streaming Layer. Este software ofrece beneficios clave tales como que se puede trabajar en varios lenguajes de programación así como también la compatibilidad con una gran cantidad de dispositivos.

Capítulo 4

Trabajos Relacionados

En este capítulo se realiza una revisión sobre los trabajos de investigación en el ámbito de cómputo afectivo en los que se buscan estimular diferentes estados afectivos utilizando diversos estímulos que implican la realización de diferentes tareas; además, también se realizan diferentes tipos de encuestas para constatar el estado afectivo experimentado por el individuo. Se explicarán también las modalidades de reconocimiento de emociones que son importantes de analizar para este proyecto de investigación.

4.1. Modalidades de Reconocimiento de Emociones

Existen dos canales mediante los cuales los seres humanos pueden expresarse: canales verbales y no verbales. Mientras que los canales verbales corresponden al habla, los canales no verbales incluyen la mirada, el parpadeo, la expresión facial y corporal y la prosodia del habla [68]. Los canales más utilizados para interpretar las emociones son la expresión facial y la prosodia del habla [69]. Los canales no verbales son menos propensos a la manipulación al momento que querer representar una autorepresentación calculada [68].

4.2. Modalidad Visual

En esta modalidad se incluye la expresión facial, la mirada, el patrón de parpadeo, el diámetro de la pupila y la expresión corporal [70]. Así que al usar sensores como *eye tracking* (que es capaz de medir los movimientos oculares) o una cámara pueden ser utilizados para captar esta modalidad.

Sin embargo, la expresión facial también es considerada una expresión motora ya que implica el movimiento de los músculos faciales.

4.3. Expresiones Motoras

Para los seres humanos y las especies sociales en general la respuesta adaptativa dictada por una emoción comprende una acción o respuesta motora. Esta puede verse reflejada en el rostro, la voz y los gestos. Es importante señalar que se pueden realizar predicciones sobre la expresión de una emoción; sin embargo, estas predicciones pueden ser sólo aproximadas porque la activación de los músculos implicados en la expresión no sólo depende de la emoción en sí, sino también de muchos otros factores diferentes tales como las demandas ambientales del momento y los estados objetivos prevalecientes del organismo [71].

4.3.1. Expresiones Faciales

Este tipo de expresión se considera el indicador más intuitivo del afecto, ya que mediante la cara se pueden transmitir diversas emociones que se pueden reflejar en el movimiento de las cejas, la boca y la piel de la frente [70]. El reconocimiento facial puede dividirse también en dos vertientes: reconocimiento del afecto y reconocimiento de la acción de los músculos faciales (unidades de acción facial). En el reconocimiento de afecto se estudia las expresiones de las emociones básicas y lo que representan en la vida afectiva humana [68].

Es importante decir que los modelos de expresiones faciales trabajan con un sistema conocido como Sistema de Codificación de Acciones Faciales (FACS por sus siglas en Inglés) que va a describir emociones básicas y sus conjuntos de unidades correspondientes de unidades de acción los cuales son los movimientos musculares utilizados para poder generar una expresión facial [1].

4.3.2. Expresión Corporal

Este tipo de expresión ha estado en discusión puesto que se menciona que esta modalidad simplemente se asocia a los verbos que se expresan

[72], siendo así que no presentan ninguna información afectiva novedosa asignándole de esta manera un papel secundario en el reconocimiento de emociones. No obstante, Lhommet y Marsella [70] apoyan la idea concreta de que las expresiones corporales son más genuinas que las expresiones faciales ya que no son fácilmente controlables en un estado consciente.

En el reconocimiento de emociones utilizando la expresión corporal se sigue el movimiento del cuerpo en su entorno y las características que se extraen de este movimiento del cuerpo o de una parte del mismo son: velocidad y aceleración del cuerpo o de una parte del cuerpo, cantidad de movimiento, posiciones de las articulaciones, naturaleza del movimiento, orientación de las partes del cuerpo y ángulo ó distancia entre partes del cuerpo [70]. Un claro ejemplo de esta modalidad es el trabajo realizado por Rivas [3], en donde se utiliza el movimiento de las manos, la presión de los dedos y las expresiones faciales para el reconocimiento de estados afectivos de *cansancio*, *ansiedad*, *dolor* y *compromiso*.

4.4. Modalidad fisiológica

Las señales fisiológicas son usadas para el reconocimiento de afecto al buscar patrones biológicos que evidencien expresiones emocionales [70]. En esta modalidad se pueden utilizar sensores que se colocan en diferentes partes del cuerpo que en su mayoría son no invasivos tales como el electroencefalograma (EEG), la electro miografía (EMG), la electrocardiografía (ECG), etc. El EEG se encarga de medir señales eléctricas cerebrales haciendo uso de electrodos colocados en el cuero cabelludo. A menudo las señales de EEG son ampliamente utilizadas para clasificar dimensiones emocionales de la *excitación* [73], la *valencia* [74] y la *dominancia* [75].

4.5. Bases de Datos Multimodales en Cómputo Afectivo

El desarrollo de métodos multimodales para el reconocimiento de estados afectivos necesita datos de una gran cantidad de datos. En consecuencia, es necesaria la creación de bases de datos con la finalidad de producir resultados que sean fáciles de relacionar y sean repetibles. Estas bases de

datos a su vez pueden dividirse en: planteadas, inducidas y naturales [70].

Para las bases de datos planteadas, se les pide a los sujetos que actúen una emoción específica mientras se captura el resultado, por lo tanto, la información sobre expresiones faciales, corporales y del habla son comunes en este tipo de bases de datos. Sin embargo, las bioseñales son ignoradas debido a que no se garantiza que las emociones que son planteadas puedan tener como resultado la misma respuesta fisiológica que las emociones inducidas [70]. En las bases de datos inducidas los sujetos se exponen a un estímulo en un sitio controlado. Este estímulo es diseñado con el propósito de evocar determinadas emociones [70]. Por último, en las bases de datos naturales los sujetos se exponen a un estímulo de la vida real que ocurre en un entorno no controlado [70]. Estos estímulos pueden ser, por ejemplo, una interacción con un ser humano. En los cuadros 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan una serie de bases reportadas en el cómputo afectivo.

Al analizar cada una de las bases de datos multimodales de los cuadros 4.2, 4.3 y 4.3 se puede mencionar lo siguiente:

- Existen arreglos de elementos multimodales variados y que entre los más comunes se encuentra la modalidad audiovisual.
- La mayoría de las bases de datos incluyen sensores no invasivos.
- Se incluyen estados afectivos que pueden ser naturales, planteados e inducidos y la modalidad más frecuente son los estados afectivos inducidos.
- La mayoría de estas bases de datos están conformadas por un número de entre 12 a 60 sujetos.
- En la mayoría de bases de datos se incluye población de ambos sexos.
- En la mayoría de bases de datos se incluye contenido multimedia (vídeos, películas, audios) con contenido emocional como estímulos.
- La mayoría de las bases de datos presentadas fueron realizadas en Estados Unidos ó Europa.

Se puede concluir de los cuadros presentados que la base de datos propuesta es novedosa ya que se incluyen aspectos físicos tales como el mo-

Capítulo 4 Trabajos Relacionados

vimiento de manos y presión de dedos que en ninguna otra base de datos han sido reportados. Además, en este trabajo de investigación se tiene una combinación de aspectos físicos y fisiológicos que incluye EEG, fNIRS, movimiento de manos, presión de dedos y expresiones faciales que como tal, tampoco han sido reportados por la comunidad científica. Por último, se agrega que la base de datos propuesta, a diferencia de las bases de datos de los cuadros presentados, incluye población latinoamericana.

El cuadro 4.1 presenta el significado de todos los acrónimos presentados en los cuadros 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6.

Acrónimo	Significado
SAM	Self-Assessment Manikin
ECG	Electrocardiograma
EMG	Electromiografía
EEG	Electroencefalograma
BFMS	Escala de Marcadores de los Cinco Grandes
EDA	Actividad Electrodermica
hEOG	Electroculograma Horizontal
tEMG	Trapezio-Electromiograma
GSR	Sensor Galvánico de Respuesta de la Piel
fNIRS	Espectroscopía Funcional del Infrarrojo Cercano
TIPI	Rasgos de personalidad basados en la Medida de Personalidad de Diez Elementos
AQ	Cociente del espectro autista
BIG FIVE	Rasgos de personalidad de los Cinco grandes
SCL	Nivel de conductancia de la piel

Cuadro 4.1: Tabla de Abreviaturas

Autor	Elementos Multimodales	Estímulos	Estados Afectivos	Número de Participantes	Instrumentos de Evaluación Emocional	País
Douglas□Cowie, E., et Al, 2000 [76]	Conversaciones sobre temas emocionales	Videos y Programas de tv	Natural: Etiquetado dimensional y categórico	24 (sin especificar)	¿Cuál fue tu estado emocional después de la plática?	Irlanda
Healey, J.A. and Picard, R.W.,2005 [77]	ECG, EMG, conductancia cutánea y respiración	Pruebas de manejo	Natural: Estrés bajo, medio y alto	17 (sin especificar)	Cuestionarios sobre eventos de conducción	Estados Unidos
Martin, O., et al, 2006 [78]	Visual y Audio	Escuchar diferentes situaciones planteadas	Planteadas e Inducidas: Etiquetado Dimensional	42 (8 mujeres, 34 hombres)	¿Cómo reaccionaría frente a las situaciones planteadas?	Bélgica
Douglas□Cowie, E.,et al 2007 [79]	Varias bases de datos: Visual, Auditivo y Fisiológico (ECG, conductancia y temperatura de la piel y respiración)	Programas de televisión y contenido audiovisual	Inducidas: alegría, tristeza, enojo, pragmatismo, sorpresa, etc y Naturales: emociones negativas y positivas	Natural: 48 sujetos (sin especificar), Inducida: 60 (sin especificar)	SAM	Reino Unido

Cuadro 4.2: Bases de datos multimodales.

Autor	Elementos Multimodales	Estímulos	Estados Afectivos	Número de Participantes	Instrumentos de Evaluación Emocional	País
Douglas Cowie, E., et al, 2008 [80]	Visual y Audio	Interacción con un agente conversacional	Inducidos: Etiquetado dimensional y categórico	20 (10 hombres y 10 mujeres)	Evaluación de la experiencia del usuario	Reino Unido, países bajos e Israel
M. Grimm, et al, 2008 [81]	Visual y Audio	Tv talk show	Natural: enojo, felicidad, miedo, disgusto, tristeza, sorpresa y neutral	19 (4 hombres, 15 mujeres)	SAM	Alemania
G. McKeown, M., et al, 2010 [82]	Visual, Gestos y Audio	Interacción con Personajes Virtuales	Inducido: alegría, tristeza, enojo y otros estados emocionales complejos.	20 (sin especificar)	Valencia, Activación, Potencial, Anticipación/Expectativa	Reino Unido
Soleymani M, et al., 2012 [83]	EEG, Audio, Expresiones Faciales, Movimientos del Cuerpo y Seguimiento de ojos	Videos con contenido emocional	Espontáneos: Diversión, alegría, miedo, tristeza, neutral	32 (16 hombres, 16 mujeres)	SAM	Reino Unido

40
Cuadro 4.3: Bases de datos multimodales.

Autor	Elementos Multimodales	Estímulos	Estados Afectivos	Número de Participantes	Instrumentos de Evaluación Emocional	País
T. Bänziger, M., et al., 2012 [84]	Visual y audio	videos y audios	Planteadas: Diversión, orgullo, alegría, alivio, interés, placer, ira intensa, pánico, miedo, desesperación, irritación, ansiedad, tristeza, admiración, ternura, disgusto, desprecio y sorpresa.	57 (31 hombres, 26 mujeres)	Ninguna	Suiza
Ringeval F, et al 2013 [85]	Voz, vídeo, ECG y EDA	Tarea colaborativa remota grupal	Inducidos: Positivo, neutral o negativos	46 (27 mujeres, 19 hombres)	SAM	Francia
Mojataba K, et al 2015 [86]	Gestos faciales, fNIRS, hEOG, ECG y tEMG	Videoclips de películas y videos musicales con contenido emocional	Inducidos: Valencia, Excitación y Dominancia	30 (16 hombres, 14 mujeres)	¿Qué tan intenso es su sentimiento emocional al ver el vídeo?, ¿Cómo se siente después viendo este clip?	Italia, Singapur
Gupta, R., et al 2015 [87]	Audio, EEG y fNIRS	estímulos de voz sintetizada	Natural: Etiquetado dimensional	21 (8 mujeres, 13 hombres)	SAM más nueve métricas	Luxemburgo

Cuadro 4.4: Bases de datos multimodales.

Autor	Elementos Multimodales	Estímulos	Estados Afectivos	Número de Participantes	Instrumentos de Evaluación Emocional	País
Subramanian R., et al 2016 [88]	Gestos faciales, EEG, ECG, GSR	Videoclips de películas con contenido emocional	Inducidos: Valencia, Excitación, Dominancia y Familiaridad	58 (21 mujeres, 37 hombres)	BFMS	India, Italia
Miranda-Correa J.A. et al 2018 [89]	Movimientos corporales, Audio, EEG, GSR y ECG	Videos con contenido emocional cortos y largos	Inducidos: Neutro, Alegría, Tristeza, Sorpresa, miedo, ira y asco	40 (13 mujeres, 37 hombres)	PANAS y BIG FIVE	Reino Unido
Song T., et al, 2019 [90]	EEG, ECG, GSR, respiración RSP	Videos con contenido emocional	Inducidos: Felicidad, diversión, enojo, miedo, disgusto y neutralidad	23 (No especificado)	SAM y DES	China
Hazer-Rau D, et al, 2020 [91]	Vídeo, EMG, SCL, Respiración y sensor de temperatura	Juegos cognitivos donde el nivel de dificultad variaba	Inducidos: Interés, sobrecarga, normal, tranquilidad, subcarga, frustración	60 (30 hombres, 30 mujeres)	ERQ, TEIQue-SF, TIPI	Alemania

Cuadro 4.5: Bases de datos multimodales.

Autor	Elementos Multimodales	Estímulos	Estados Afectivos	Número de Participantes	Instrumentos de Evaluación Emocional	País
Sun Y., et al, 2020 [92]	fNIRS, EEG y expresiones faciales	Imágenes y vídeos estimulantes	Espontáneos: Enojo, neutral, miedo, disgusto, felicidad, tristeza y sorpresa	12 hombres	¿Pudiste ver el vídeo con cuidado?, ¿Qué estabas viendo?, Escala de Likert	Suiza
Nuestra propuesta	fNIRS, EEG, expresiones faciales, movimiento de manos y presión de dedos	Juego serio	Inducidos: Aburrimiento, cansancio, motivación, frustración y ansiedad	20 sujetos	Encuestas de personalidad: TIPI Big five y AQ. Valencia, dominancia y activación	Latino América

Cuadro 4.6: Bases de datos multimodales.

4.6. Resumen del Capítulo

De este capítulo se puede concluir que existen diversas modalidades para el reconocimiento de emociones y existen diversas bases de datos que implementan estas modalidades. Estas bases de datos se exponen en los Cuadros 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6, donde se puede ver que existen también varios estados afectivos los cuales pueden ser inducidos, planteados y naturales. Además, después de analizar las bases de datos de los cuadros, no existe una base de datos que incluya datos de individuos de países de Latinoamérica ni que incluya la combinación de sensores propuesta en este trabajo sumado a que ninguna de las bases de datos de los cuadros proponen ningún juego serio como estímulo y tampoco se propone en ninguna de estas bases de datos la combinación de estados afectivos propuestos en esta investigación. Por lo que es necesario la creación de la base de datos propuesta para brindar información sobre estados afectivos novedosos, que se incluyan nuevos aspectos físicos que ayuden al reconocimiento de emociones y que también, se implementen estímulos que no sólo sean vídeos y que persigan objetivos más altos que el sólo entretenimiento o la visualización de contenido audiovisual.

Capítulo 5

Metodología

En el presente capítulo se detallan cada uno de los pasos de la metodología seguida para realizar la creación del corpus, incluyendo el diseño del protocolo experimental, la sincronización de los sensores y su configuración. Además, también se explica el estímulo elegido para inducir las emociones propuestas en este trabajo de investigación basadas en un juego serio. Todos los software y bibliotecas de programación se incluyen en el Apéndice A al final de esta tesis.

5.1. Diseño del protocolo experimental

Para poder alcanzar el objetivo general y los objetivos particulares, era de vital importancia que se trazara un protocolo en el que se definieran todas las actividades, métodos y herramientas que tenían que utilizarse. Este fue el paso inicial también para delimitar y planear el trabajo de investigación (Véase la Figura 5.1).



Figura 5.1: Diagrama de trabajo que resume cada uno de los pasos seguidos en esta investigación

Para lograr uno de los objetivos particulares que es la sincronización de sensores, se realizó una investigación para conocer mediante qué software se podría alcanzar el objetivo deseado concluyendo que la sincronización se realizaría mediante software libre. Este software llamado Lab Streaming

Layer se expuso en el capítulo 3 y fue utilizado debido a su compatibilidad con todos los dispositivos, a su disponibilidad en varios lenguajes de programación y por ser un software libre.

Se incluyó también en este protocolo la aplicación de encuestas de personalidad, autismo y de las emociones que el sujeto experimenta frente al juego para poder darle esta información adicional a los psicólogos para el etiquetado de los vídeos y de esta manera poder lograr otro de los objetivos particulares.

Es importante mencionar que en el diseño experimental también se incluyeron todos los sensores que fueron involucrados para saber cual se la siguiente sección se resume la descripción de estos.

5.2. Configuración de Sensores

5.2.1. Electroencefalograma (EEG)

Se utilizó un electroencefalograma de la marca g.tec de 256 canales de los cuales fueron utilizados 29. En el Apéndice F se muestra la configuración de los electrodos de EEG en la figura F.4.

5.2.2. Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano (fNIRS)

Se utilizó un fNIRS de la marca Nirx con 8 detectores y 16 fuentes. Todas las fuentes y todos los detectores fueron utilizados en este trabajo. En el Apéndice F se muestra la configuración de fNIRS en la figura F.3.

5.2.3. Cámara

Se incluyó en este trabajo de tesis una modalidad de grabación visual con el fin de poder grabar las expresiones faciales, gestos y movimientos corporales de los participantes. Claramente con esta información se busca reconocer las diferentes emociones que los participantes experimentaron durante cada una de las etapas del juego.

Por lo que se utilizaron 2 cámaras:

- Una cámara frontal (cámara web de laptop) que tiene por objetivo grabar las expresiones faciales.
- Una cámara web externa que graba un corte sagital izquierdo del participante cuya tarea será grabar las expresiones corporales tal como movimientos de brazos, ajuste de posición corporal, etc. de los individuos.

5.2.4. Gripper

Se utilizó el gripper de la plataforma de *Gesture Therapy*. Este sensor es capaz de captar la información de movimiento de manos y presión de dedos tal y como se menciona en el Apéndice F.

5.3. Definición de las emociones

Para alcanzar el objetivo principal que incluye diferentes estados afectivos, primero se tenían que definir cuáles de estos estados iban a ser incluidos. Las 5 emociones que fueron elegidas son: *ansiedad*, *frustración*, *motivación*, *aburrimiento* y *cansancio*. La principal razón por la cual estas emociones fueron seleccionadas fue porque son emociones que se encuentran presentes en el proceso de rehabilitación de miembros superiores y se espera que, como ya se había mencionado en la contribución de este trabajo, la información recabada en este corpus sirva como base para reconocer dichas emociones cuando los pacientes interactúen con *Gesture Therapy*. Adicionalmente otro de los motivos de la elección de las emociones es que al revisar los antecedentes de las bases de datos ya publicadas anteriormente (véase en el capítulo 4 sección 4.5), se llegó a la conclusión que no había ningún trabajo documentado que tuviera una configuración de emociones similares a las propuestas y sería una contribución tener información de estas emociones que sirviera como referente para futuros trabajos de investigación en el ámbito del cómputo afectivo.

Las zonas cerebrales que serán muestreadas se pueden visualizar en las Figura F.3 y en la Figura F.4 (Apéndice F) son las siguientes:

- Lóbulo frontal: La corteza prefrontal es conocida como el centro de

control emocional que también determina la personalidad. Aunque también es responsable de procesos cognitivos, emocionales y motivacionales [93]. La activación del lóbulo frontal derecho está asociado con las emociones negativas como el *miedo* mientras que la activación del lóbulo izquierdo está asociado con las emociones positivas como la *felicidad* [94].

- Lóbulo temporal: Está relacionado a las emociones debido a que la amígdala está conectada a él. La amígdala es vital para el procesamiento de las emociones [93].
- Lóbulo parietal: Se ha demostrado que la corteza parietal está asociada con los trastornos de *ansiedad* [95].

5.4. Adaptación del juego serio

Se tomó un juego serio como estímulo, el cual forma parte de la plataforma *Gesture Therapy*. El juego serio considerado fue 'Estanque' en el cual consiste en un juego donde el jugador mata avispas lanzando insecticida con un atomizador (Véase la Figura 5.2). Tomando como punto de partida este juego, se creó el tren de estímulos de la Figura 5.3, en donde primero el usuario tiene que calibrar el *gripper* y posteriormente el usuario comienza a jugar durante 60 segundos para después tener un descanso de 60 segundos. Al terminar este descanso, el juego comienza de nuevo pero en otro nivel y al terminar el juego hay otro descanso. Lo anterior se repite en total 5 veces. Cada uno de los niveles del juego tienen por objetivo inducir uno de los 5 estados afectivos propuestos. Para que cada nivel indujera un estado afectivo diferente se tuvieron que modificar las siguientes variables del juego en cada nivel:

- $speed_x$: Este parámetro cambia la velocidad de las avispas en el eje horizontal. Admite valores dentro de 0.01 a 3.
- $speed_y$: Este parámetro cambia la velocidad de las avispas en el eje vertical. Admite valores dentro de 0.01 a 3.
- $variation_y$: Este parámetro cambia el desplazamiento de las avispas en el eje horizontal. Admite valores dentro de 0.01 a 3.

- *avispas time*: Este parámetro cambia el tiempo de aparición entre cada avispa. Admite valores dentro de 0.01 a 3.



Figura 5.2: Juego serio 'Estanque': En la imagen se puede apreciar como las abejas van saliendo de derecha a izquierda y el usuario puede cambiar la posición del atomizador mediante movimientos del brazo; además de apretar el *gripper* para que salga el insecticida.



Figura 5.3: Tren de Estímulos del juego serio: Cada uno de los niveles tienen por objetivo inducir un estado afectivo diferente.

Se propusieron realizar pruebas de *crowdsourcing* para poder parametrizar los cinco niveles que iban a ser presentados en la medición de los datos. Dicho de otra manera, a cada nivel le corresponden valores de variables $speed_x$, $speed_y$, $variation_y$ y *avispas time* por lo que la prueba pretende encontrar el valor de cada una de estas variables numéricas, teniendo en cuenta que cada uno de estos niveles tiene por objetivo inducir al menos uno de los cinco estados afectivos propuestos. Las pruebas de *crowdsourcing* fueron realizadas con 11 personas sanas con edades de entre los 20 a

los 55 años los cuales se presentaron como voluntarios. No se pudo incluir a una población más grande debido a circunstancias externas (acceso restringido al INAOE, falta de disponibilidad, etc.) las cuales impidieron incluir más personas. Para esta prueba se incluyeron de 10 niveles del juego de 30 segundos (cada juego) y en cada uno de los niveles se modificaron las variables antes mencionadas. Este número de niveles fue elegido para evitar que los participantes perdieran la atención en el juego y para que hubiera diversidad en cuanto a la velocidad de cada uno de los niveles. La prueba fue estructurada según el diagrama de la Figura 5.4.

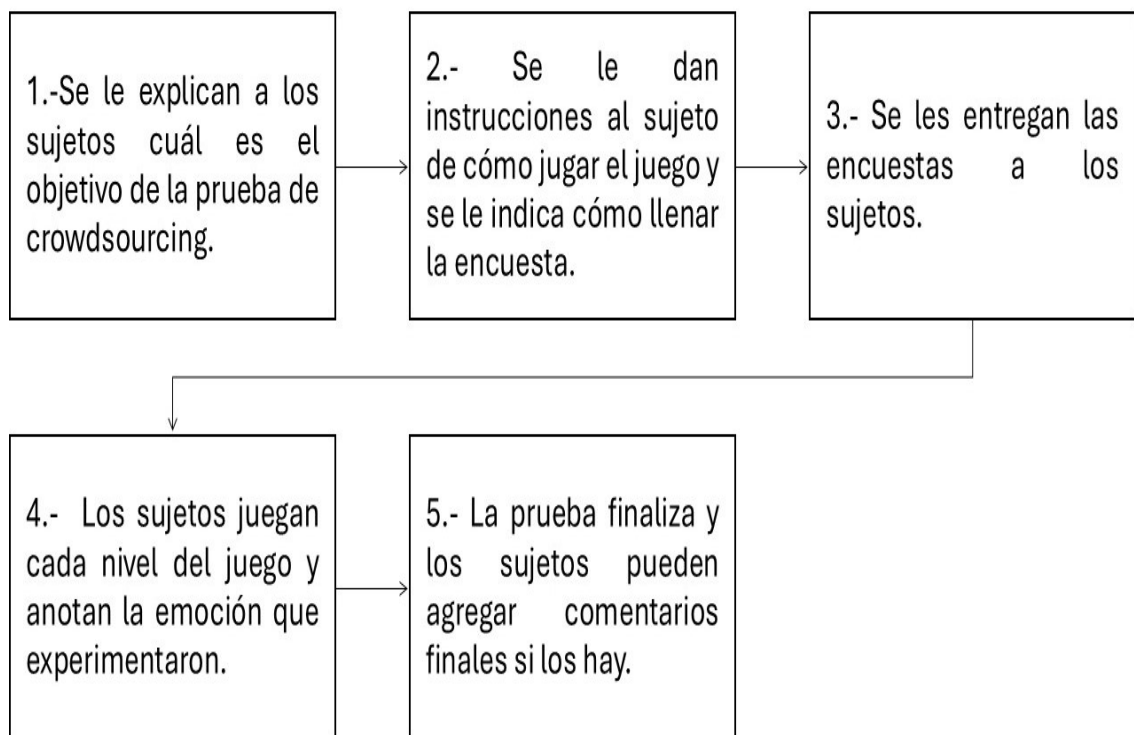
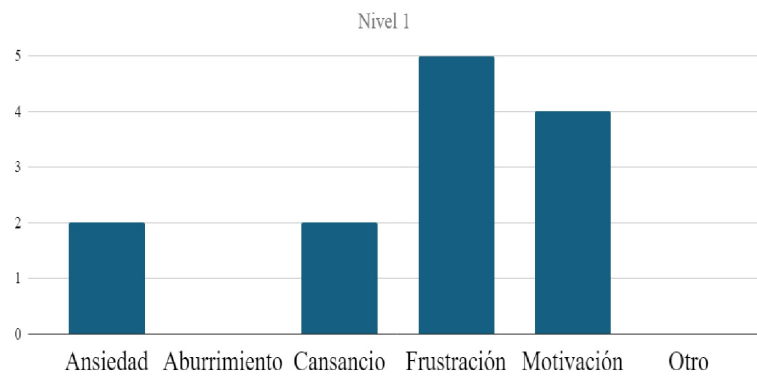


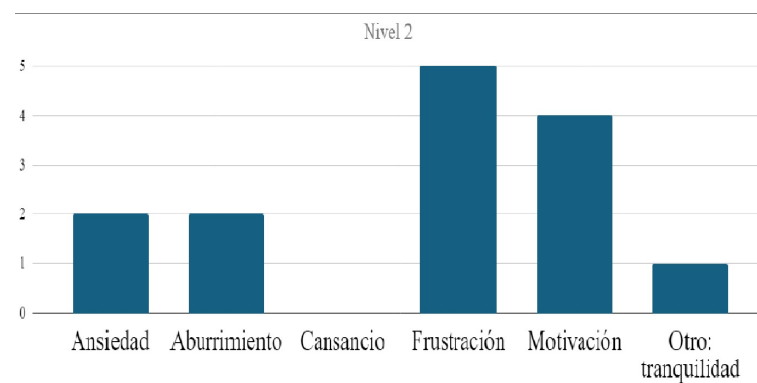
Figura 5.4: Secuencia de instrucciones para la prueba de *crowdsourcing*: Se ordena secuencialmente cada uno de los pasos que el sujeto siguió para la prueba.

Los resultados para cada uno de los niveles se presentan a continuación en las Figuras 5.5, 5.6 y 5.7:

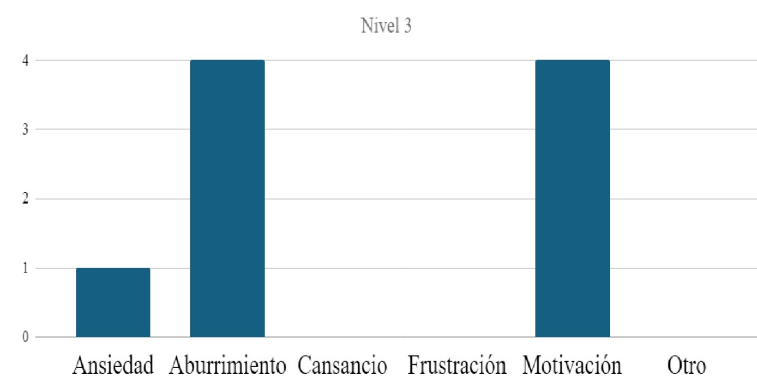
Capítulo 5 Metodología



(a) Nivel 1



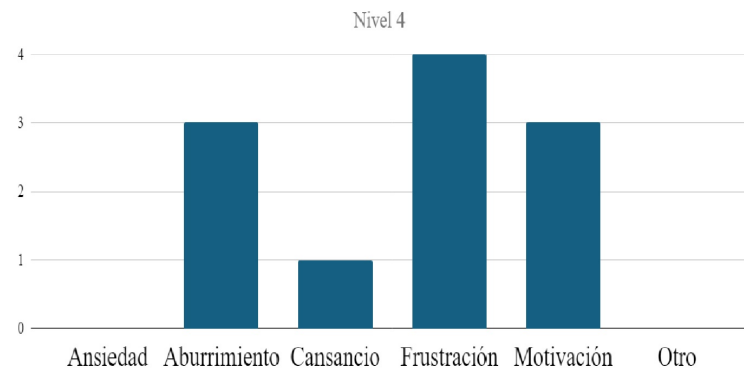
(b) Nivel 2



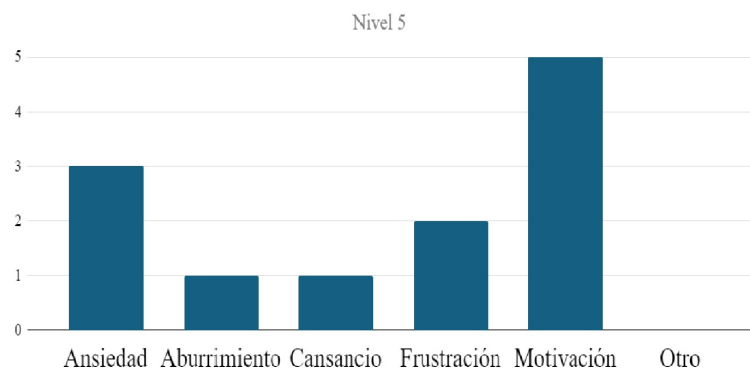
(c) Nivel 3

Figura 5.5: Resultados de emociones del Nivel 1 a 3 del juego: Estos resultados indican la cantidad de personas (eje y) que se sintieron identificadas con cada una de las emociones en el eje x

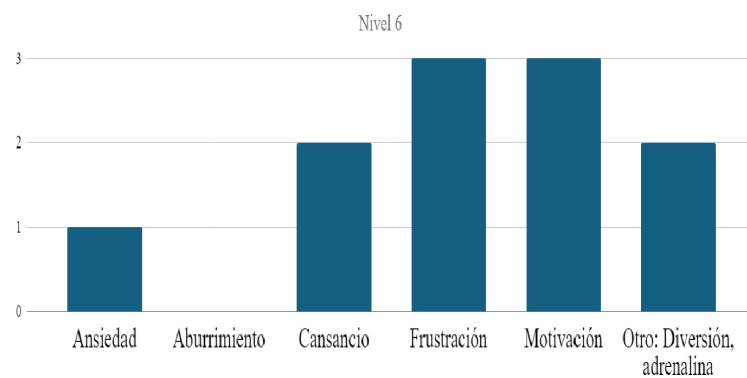
Capítulo 5 Metodología



(a) Nivel 4



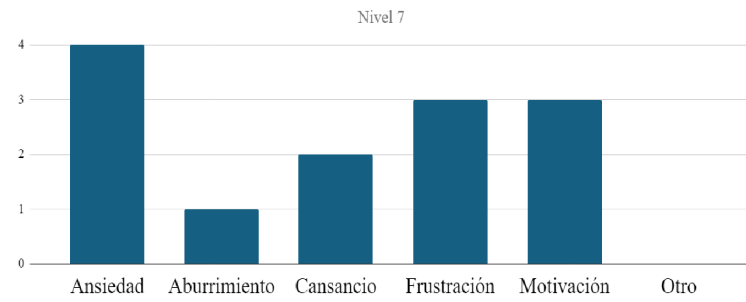
(b) Nivel 5



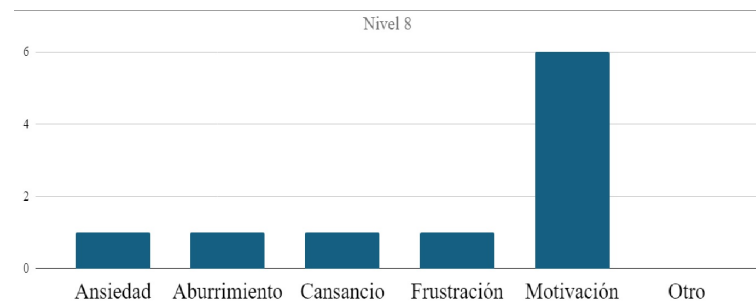
(c) Nivel 6

Figura 5.6: Resultados de emociones del Nivel 4 a 6 del juego: Estos resultados indican la cantidad de personas (eje y) que se sintieron identificadas con cada una de las emociones en el eje x

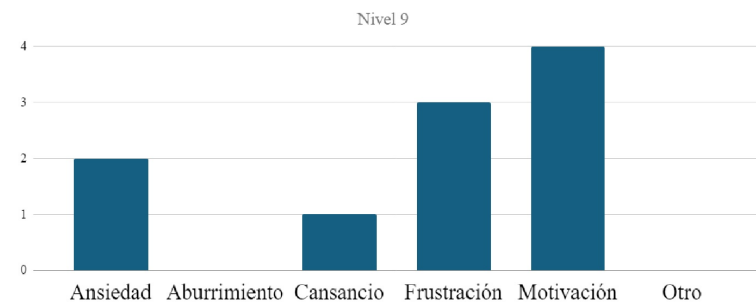
Capítulo 5 Metodología



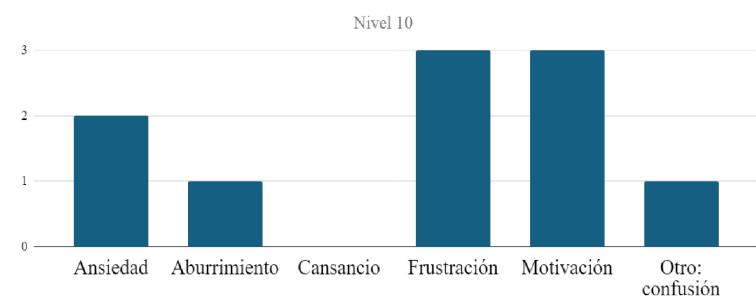
(a) Nivel 7



(b) Nivel 8



(c) Nivel 9



(d) Nivel 10

Figura 5.7: Resultados de emociones del Nivel 7 a 10 del juego: Estos resultados indican la cantidad de personas (eje y) que se sintieron identificadas con cada una de las emociones en el eje x

De los resultados mostrados en las gráficas de las Figuras 5.5, 5.6 y 5.7 se puede observar que en algunos niveles las personas experimentan otras emociones y aunque estos resultados no se consideran en este estudio (porque no son el objetivo de nuestra investigación), se puede decir que el juego puede inducir otras emociones también.

De los resultados presentados en las Figuras 5.5, 5.6 y 5.7 también se llega a la conclusión de que todos los niveles están induciendo las emociones esperadas, así que los niveles que finalmente fueron elegidos son los niveles (númerados con respecto a las imágenes anteriores): *motivación* (nivel 8), *frustración* (nivel 2), *aburrimiento* (nivel 3), *ansiedad* (nivel 5) y *cansancio* (nivel 7). Los niveles se eligieron de esta manera en consecuencia a que en las figuras 6.9 y 6.10 existe un mayor número de personas que se identifican más con una de los cinco estados afectivos propuestos. A continuación se presentan los valores para los parámetros $speed_x$, $speed_y$, $variation_y$ y *avispas time* que fueron finalmente elegidos y ajustados después de la prueba:

# Nivel	Valor $speed_x$	Valor $speed_y$	Valor $variation_y$	Valor <i>avispas time</i>	Emoción
1	2	0.5	2	3	Ansiedad
2	0.1	0.1	0.1	3	Aburrimiento
3	0.4	1	1.5	3	Motivación
4	0.7	2	2	3	Cansancio
5	0.2	0.2	2	3	Frustración

Cuadro 5.1: Se presentan los valores de $speed_x$, $speed_y$, $variation_y$, *avispas time* y la emoción que cada uno de los 5 niveles del juego proponen inducir. Estos valores son de referencia por lo que son adimensionales

5.5. Sincronización de los sensores

Uno de los objetivos particulares de este trabajo de investigación es realizar la sincronización de los 4 dispositivos propuestos: EEG, fNIRS, cámaras y *gripper*. En este paso se explica a continuación la sincronización de los sensores. En resumen, la sincronización estuvo basada en sincronizar los sensores mediante software. Para lograr este objetivo se verificó si cada dispositivo era capaz de conectarse con el software para el envío de datos y recepción de *triggers*. Posteriormente, se instalaron las librerías del software

en cada uno de los dispositivos y/o se realizó la conexión de los dispositivos mediante otros protocolos de conexión. Los dispositivos de EEG, fNIRS y vídeo fueron configurados para el envío de un determinado número de muestras y/o *frames*. Se modificó el juego para crear el tren de estímulos propuesto y se configuraron los 5 niveles del juego con base a los resultados de las pruebas de *crowdsourcing*. Finalmente se probó la sincronización mediante pruebas piloto previas a la toma de datos y finalmente se procedió a la toma de datos. A continuación se explica cómo fue realizada la sincronización y también se resume en la Figura 5.8:

1. Se verificó si los 4 dispositivos (EEG, fNIRS, cámaras y *gripper*) podían configurarse para que fueran capaces de admitir el protocolo de LSL.
2. Se configuró el software de *Nirxstar* para que fuera capaz de implementar el protocolo LSL y de esta manera enviar las transmisiones y recibir *triggers*.
3. Se instaló la biblioteca de *SimBSI* y junto con la biblioteca de *simulink highspeed* de *g.tec* se configuraron para el envío de las transmisiones a través de LSL y también para recibir *triggers*.
4. Se instaló la biblioteca de recepción de muestras en formato XDF y se descargó el software para recibir todas las transmisiones conocido como *Lab recorder*. Con el uso de *Lab recorder* se asegura que todos los datos de los diferentes sensores se puedan guardar en el formato XDF para su análisis posterior.
5. Cada una de estas bibliotecas se configuró para enviar las transmisiones de 256 muestras por segundo para el EEG y 6.25 muestras por segundo para el fNIRS.
6. Se instaló *Open CV* y se desarrolló un código en *Python* implementando el protocolo de LSL para el envío de 30 *frames* por segundo de una cámara web con las respectivas marcas de tiempo en el formato de LSL. Además, estas marcas de tiempo con los *frames* también se configuraron para ser guardadas en un formato ISO de manera que se pudiera diferenciar entre cada *frame* del vídeo.
7. En la cámara frontal se colocaron marcas de tiempo en cada *frame* y se configuró para el envío aproximado de 15 *frames* por segundo.

8. Se configuraron los niveles del juego de acuerdo a los resultados obtenidos por las pruebas *crowdsourcing* ajustando los valores de las variables anteriormente descritas y se configuró la cantidad de niveles del juego a cinco.
9. Los marcadores del juego se colocaron utilizando *websockets* que se crearon del lado del cliente en un script en *Python* y del lado del servidor en *javascript* los cuales se incluyeron dentro del juego y por medio de ellos se envía un *string* correspondiente al inicio y al final de cada juego.
10. Se comprobó que los marcadores se enviaban a cada uno de los dispositivos: EEG, fNIRS y cámaras. Es importante mencionar que este proceso fue diferente para las dos cámaras: La cámara frontal se configuró para que a medida que los *triggers* de inicio/final del vídeo se enviaran, el vídeo comenzara/terminara de grabarse. En tanto que para la cámara lateral los *triggers* se enviaron directamente al archivo .txt junto con las marcas de tiempo (en formato *ISO*) de los *frames* para poder diferenciar en donde comenzaba/terminaba el vídeo relacionado con el estímulo. La configuración se realizó de esta manera debido a que la intención de la cámara frontal era grabar las expresiones faciales del participante solamente cuando se encontrara jugando. Mientras que en la cámara frontal se tenía por objetivo grabar las expresiones y gestos tanto faciales como corporales del participante todo el tiempo que dura la prueba desde que el juego comienza hasta que termina.
11. Se realizó la sincronización del *gripper* tomando las estampas de tiempo de cada *frame* (tomando en cuenta el paso 7) se asoció a cada posición (x= posición horizontal, y= posición de profundidad, z= posición vertical) y presión del *gripper*. Se enviaron los *triggers* al *gripper* de modo que los datos que se guardan son aquellos que se toman durante los 60 segundos de juego. Estos datos se envían mediante *websockets* desde *javascript* hacia *python* con el fin de que se guarden en el archivo *xdf*.
12. Se realizaron pruebas de sincronización en donde se verificó que los *triggers* se enviaran a todos los sensores (Véase las Figuras 5.9 y 5.10).

Capítulo 5 Metodología

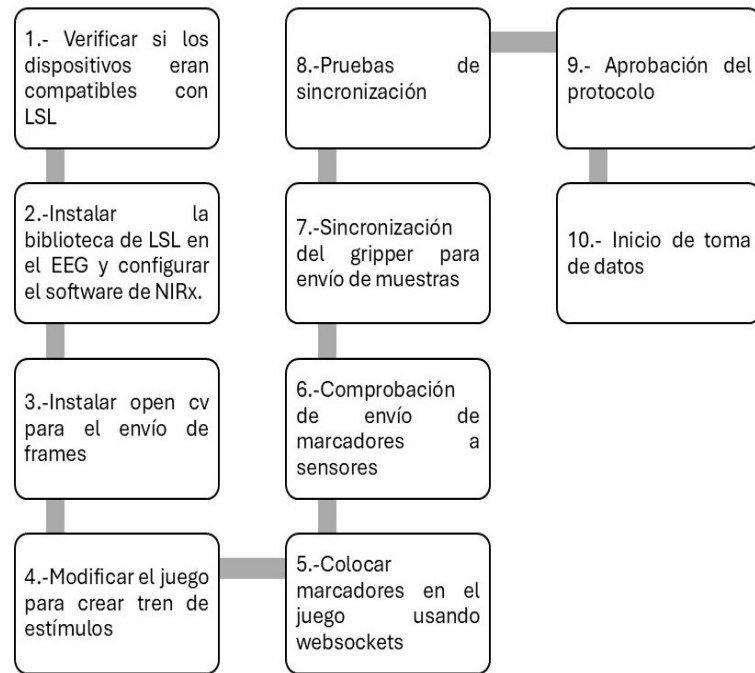


Figura 5.8: Diagrama que resume cada uno de los pasos seguidos para la sincronización por software de todos los sensores

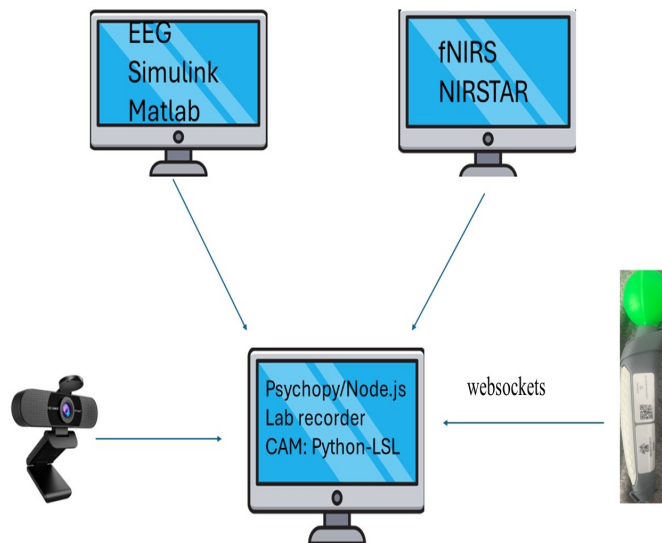


Figura 5.9: Diagrama con todos los sensores: EEG, fNIRS, cámaras y gripper

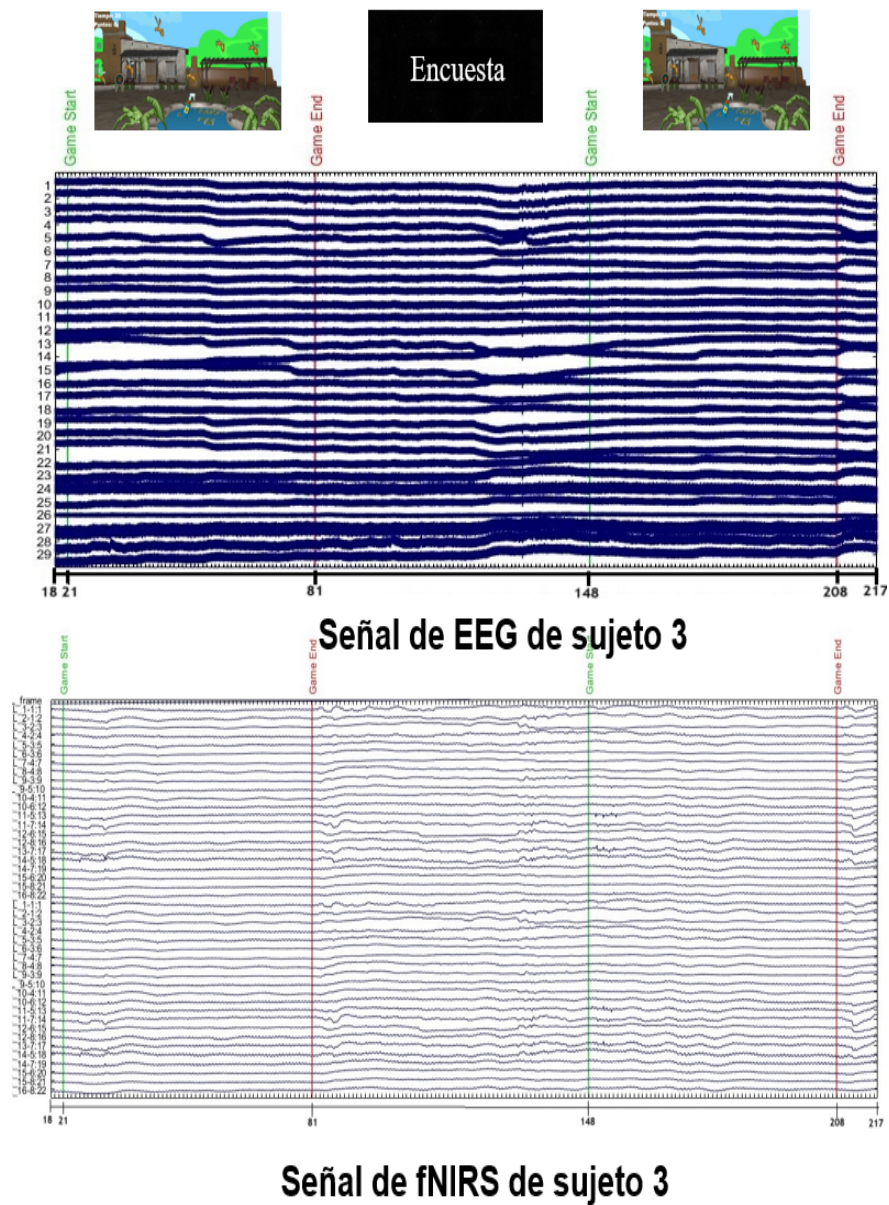


Figura 5.10: Señal de EEG y fNIRS con marcadores: Se puede visualizar la sincronización de la señal a partir de los marcadores colocados que muestran claramente el inicio y final de cada juego. Arriba de las imágenes y de color verde se muestra el marcador Game Start (inicio del juego) mientras que de color rojo se muestra Game End (fin del juego)

5.6. Proceso de adquisición de datos y Encuestas

Para realizar el proceso de adquisición de datos esperamos a la aprobación del protocolo de levantamiento de datos por parte del comité de bioética del CICESE (Véase el Apéndice B). En el protocolo de datos se resume brevemente el trabajo de investigación que se realiza, el objetivo, los responsables del proyecto, los pasos seguidos para la toma de datos, el reclutamiento de los sujetos y el tratamiento de los datos después de la toma de datos.

El levantamiento de datos comenzó en el mes de septiembre y se terminó a finales de octubre 2024. El proceso de recolección de datos se encuentra documentado en el capítulo 7 de este trabajo de tesis.

Fueron seleccionadas también tres tipos de encuestas (consulte el Apéndice C):

- Encuesta de personalidad TIPI ó Ten-Item Personality Inventory[96]: Encuesta que tiene el objetivo medir las cinco dimensiones de personalidad principales. Ayudan también a identificar tendencias personales, es decir, ayudan a averiguar cuáles son los rasgos predominantes en las personas.
- Encuesta Big Five ó de los cinco grandes[97]: Esta encuesta se complementa con la encuesta TIPI ya que tiene por objetivo entender mejor cómo las personas piensan, sienten y actúan.
- Espectro Autista[98]: Aunado a las encuestas de personalidad, se aplicó la encuesta de espectro autista (AQ) la cual tiene por propósito evaluar rasgos autistas en adultos y adolescentes. Esta encuesta fue considerada debido a que el autismo puede influir en los rasgos de personalidad de una persona. Además se ha demostrado que el autismo es uno de los factores que influye en la personalidad de las personas debido a que el autismo afecta el procesamiento de información en el cerebro, alterando la conexión y organización de las células nerviosas y sus sinapsis[99].
- Encuesta sobre el juego: Esta encuesta tiene por propósito el conocer la emoción que está experimentando el sujeto cuando esta jugando con el juego según el nivel que le es presentado.

La razón principal por la que estas encuestas fueron aplicadas es porque se ha demostrado en diversos estudios que la personalidad impacta en cómo una persona va a experimentar, interpretar y regular sus emociones[100, 101]. Por lo que la personalidad va a determinar las respuestas emocionales ante diferentes situaciones. Teniendo como objetivo de estas encuestas complementar la información de los vídeos frontales y laterales que se le darán a los psicólogos. Este etiquetado será relevante para poder realizar el etiquetado de las señales de EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de dedos.

5.7. Resumen del Capítulo

En este capítulo se explicaron cada uno de los pasos seguidos en la metodología empezando por el diseño experimental en donde se realizó un protocolo en el que se definieron todas las actividades por realizar, los sensores involucrados, la revisión del software para la sincronización, las encuestas propuestas para realizar el análisis, etcétera. Posteriormente se definieron las emociones que querían inducirse y por ende también se definieron las zonas cerebrales (presentadas en el Apéndice F) que estaban relacionadas con estas emociones. En consecuencia, posteriormente se definieron la configuración de EEG y fNIRS para saber en qué posiciones se colocarían los óptodos y los electrodos además de definir el número de cada uno de ellos para la toma de datos. La adaptación del juego fue otro punto importante en la metodología ya que en este paso se construyó el tren de estímulos propuesto que además fuera capaz de inducir las emociones propuestas. Todo lo anterior fue validado mediante pruebas de crowdsourcing. Finalmente se explicó detalladamente cada uno de los pasos seguidos para la sincronización de los sensores así como el proceso de adquisición de datos y encuestas.

Capítulo 6

Creación del Corpus

En este capítulo se describirán con más detalle cada uno de los pasos que se siguieron para la recolección de datos del corpus, se describirá brevemente también el protocolo de toma de datos. Se incluye una descripción de las características extraídas de los diferentes sensores.

6.1. Protocolo de toma de datos

El protocolo de toma de datos fue aprobado por el Comité de Bioética del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) en el mes de agosto del 2024. En el Apéndice C de esta tesis se pueden encontrar copias de los documentos del protocolo de toma de datos y del consentimiento informado así como la aprobación del comité en el Apéndice B.

Los pasos seguidos para la recolección de datos se presentan en el Apéndice E. Es importante mencionar que en todo momento antes, durante y al finalizar la prueba se le preguntó al sujeto si se sentía cómodo, si tenía alguna pregunta o si necesitaba más información al respecto de la prueba. Ningún participante fue obligado a permanecer y todos aceptaron a que sus datos físicos y fisiológicos anonimizados fueran utilizados por la comunidad científica.

6.2. Criterios de inclusión y exclusión de los sujetos de prueba

Para que un sujeto pudiera ser considerado tenía que cumplir con los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

- Ser una persona sana sin ningún tipo de discapacidad física y/o mental.
- Su edad es superior o igual a 18 años y menor o igual a 75, ya sea femenino o masculino.
- Ser latinoamericano

Criterios de exclusión:

- Haber consumido alcohol, estimulantes y otros estupefacientes, o tabaco en las 24 horas previas al estudio.
- Haber dormido menos de 6-8 horas.
- No acepta participar en el protocolo mediante su consentimiento informado.
- Decide abandonar en cualquier momento el estudio.

Todos los criterios de exclusión e inclusión presentados fueron de conocimiento previo por el sujeto y aceptados por el mismo.

6.3. Descripción General del Corpus

El corpus esta conformado de la siguiente manera:

Capítulo 6 Creación del Corpus

Identificador	Género	Edad	Nacionalidad	Raza
01	Femenino	30 años	Colombiana	Latino
02	Femenino	28 años	Mexicana	Latino
03	Masculino	71 años	Mexicana	Latino
04	Masculino	22 años	Mexicana	Latino
05	Masculino	34 años	Mexicana	Latino
06	Masculino	24 años	Mexicana	Latino
07	Masculino	26 años	Mexicana	Latino
08	Masculino	23 años	Mexicana	Latino
09	Masculino	42 años	Venezolana	Latino
10	Masculino	32 años	Colombiana	Latino
11	Femenino	31 años	Mexicana	Latino
12	Masculino	67 años	Mexicana	Caucásica
13	Masculino	40 años	Mexicana	Hispano
14	Femenino	25 años	Mexicana	Latino
15	Masculino	28 años	Mexicana	Latino
16	Femenino	42 años	Mexicana	Latino
17	Masculino	29 años	Mexicana	Latino
18	Masculino	26 años	Colombiana	Caucásica y latino
19	Femenino	25 años	Mexicana	Latino
20	Masculino	40 años	Mexicano	Latino

Cuadro 6.1: Sujetos que conforman el corpus

- Cuenta con 20 sujetos de los cuales hay 6 mujeres y 14 hombres.
- Las edades de los sujetos están entre los 20-71 años.
- Las nacionalidades de los sujetos son de países latinoamericanos en particular de México, Colombia, Venezuela.
- Todos los sujetos fueron informados sobre su participación y todo lo que ello implicaba, incluyendo la distribución de los datos físicos y fisiológicos en futuro para la comunidad científica con la correspondiente anonimización de los mismos.
- Se grabaron datos fisiológicos y físicos de EEG, fNIRS, movimiento de manos, presión de dedos y vídeos frontales y laterales. Los datos de todas las modalidades se encuentran en un archivo XDF. Los vídeos se encuentran en formato AVI. Pero los datos de presión de dedos, movimiento de manos y *frames* de vídeo se encuentran en formatos .txt para su fácil visualización sin necesidad de bibliotecas adicionales.

Como se mencionó anteriormente, existe información sobre la personalidad de todos los sujetos y de su opinión frente al juego.

- Los datos están etiquetados por número de sujeto.
- Todos los datos correspondientes a los datos personales como nombres, vídeos sin anonimización y encuestas de personalidad son confidenciales y nadie más que los investigadores líderes de esta investigación tendrán acceso a la información.
- Los datos se encuentran en una nube gestionada por el INAOE¹.

6.4. Etiquetado de datos

Se llevó a cabo un proceso de etiquetado de las expresiones faciales con ayuda del psicólogo con el fin de poder diferenciar las diversas emociones exteriorizadas por los participantes de acuerdo a los vídeos.

Para la realización del etiquetado de los vídeos, se le proporcionó al psicólogo los vídeos frontales y laterales de 8 sujetos (véase la Figura 6.1 y la Figura 6.2). En total, existen 5 vídeos frontales y 5 vídeos laterales de un minuto por cada sujeto. El trabajo del psicólogo consistía en visualizar detenidamente los vídeos y, en base a los segundos dentro del vídeo, elegir los periodos de tiempo en los que las expresiones faciales que podían verse en los vídeos, etiquetar estas expresiones en alguno de los cinco estados afectivos propuestos en este trabajo ó bien si existía más de una emoción incluir.

El psicólogo podía ir anotando en cada vídeo, en qué lapso de tiempo y qué emoción ó emociones se podían visualizar. Igualmente se le pedía al especialista que anotara en base a qué criterios podía asegurar que se estaba visualizando la emoción que aseguraba. Aspectos tales como el movimiento de cejas, labios, cambio de posición corporal, etc. son ejemplos de los criterios antes mencionados.

El especialista fue elegido a partir de su perfil profesional. El psicólogo cuenta con una licenciatura en psicología, una maestría en psicología clíni-

¹Se pueden acceder a los datos anonimizados previa solicitud en el correo: mi-riam.enriquez@inaoep.mx

ca y una especialidad en psicología de la salud. En total, el psicólogo contaba con 11 años de experiencia y se sentía plenamente seguro de poder identificar los 5 estados afectivos que fueron propuestos.

Por último, también se le pidió al psicólogo que incluyera en base a una escala numérica que podía el estar seguro sobre el etiquetado de las o la emoción. En las Figuras 6.3 y 6.4 se pueden visualizar un ejemplo de cómo se realizó el etiquetado.



Figura 6.1: Captura de *frames* de la cámara frontal: Se pueden visualizar las expresiones faciales del sujeto



Figura 6.2: Captura de *frames* de la cámara lateral: Se pueden visualizar los movimientos corporales y faciales en un corte sagital del sujeto

Capítulo 6 Creación del Corpus

Serial No.	Código del Ejercicio	Cansancio (S(si) o N(no))	Ansiedad (S(si) o N(no))	Aburrimiento (S(si) o N(no))	Motivación (S(si) o N(no))	Frustración (S(si) o N(no))
1	S0311 0:00 - 0:11				X	
2	S0311 0:12 - 0:25					XBAJA
3	S0311 0:26 - 1:00				X	
4	S0312 0:00 - 0:04				X	
5	S0312 0:05					X
6	S0312 0:06 - 0:12		X			
7	S0312 0:13 - 1:00				X	
8	S0313 0:00 - 0:30				X	
9	S0313 0:31 - 0:39					
10	S0313 0:40 - 0:52					X
11	S0313 0:53 - 1:00				X	
12	S0314 0:00 - 1:00				X	
13	S0315 0:00 - 0:07		X			
14	S0315 0:08 - 0:12				X	
15	S0315 0:13 - 0:35					XPOSIBLE
16	S0315 0:36 - 1:00				X	

Figura 6.3: El psicólogo visualizó cada uno de los 5 videos y cada video se divide en varios intervalos de tiempo. En cada intervalo de tiempo el psicólogo coloca una x cada vez que él considera que se visualiza una emoción. El especialista también puede colocar con qué tanta intensidad (si es que varía) se esta observando la emoción. Las nomenclatura del etiquetado para diferenciar entre cada sujeto y número de juego es: S(Número de sujeto)J(Número de juego) (Intervalo de tiempo)

Cuestionario Post-Etiquetado															
	0 Ninguna Dificulta d	1	2	3	4	5	6 Extrema- damente Difícil	0 Ninguna Seguri- dad	1	2	3	4	5	6 Completa mente Seguro	¿Qué modalidades usó?
Cansancio	X													X	Bostezar, mirada caída, movimiento de labios, parpadeo lento y repetido
Ansiedad / Tensión			x								x				Mirada inquieta, movimiento ocular rapido, sonrisa
Aburrimiento					x						x				Boca ligeramente fruncida, labios caídos
Motivación		x									x				Ponerse alerta, pero la motivación es baja, concentración en la mirada enfocada (NOTA:
Frustración					x						x				Ceño fruncido, apretar labios, cejas apretadas hacia el centro (NOTA: Puede ser por la dificultad de

Figura 6.4: Observaciones adicionales hechas por el psicólogo en donde se muestran anotaciones adicionales sobre las emociones etiquetadas

En total fueron etiquetados 30 vídeos, de un minuto cada video, de un total de seis sujetos. Los sujetos etiquetados fueron tres hombres y tres mujeres con edades de 25, 28, 31, 32, 67 y 71 años.

6.5. Extracción de Características

Se realizó, adicionalmente, la extracción de características de los tres sensores: EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de dedos. Para realizar la extracción de características se tomaron en cuenta 4 sujetos. Se tomaron en cuenta sólo cuatro sujetos debido a que estos sujetos eran los que se tenían etiquetados por el psicólogo hasta el momento de realizar el análisis. En esta sección se presentan el procedimiento resumido de la extracción de características y los resultados obtenidos. Todas las características obtenidas fueron de tipo estadístico debido a que, en base a la Tabla 4.1 y la sección 4.4.2, las características estadísticas son las más usadas para el reconocimiento de emociones.

6.5.1. Extracción de Características de EEG

A continuación se describen resumidamente los pasos que se siguieron para la extracción de los características estadísticas del EEG:

1. Selección de épocas: Los datos almacenados cuentan con marcadores de inicio y final del juego por lo que para analizar los datos se eligió partir la señal en cinco épocas cada una de duración de 60 segundos que marcan los cinco niveles del juego.
2. Aplicar CAR (Common Average Reference): Se realizó con el objetivo de reducir la influencia de las fuentes de ruido comunes y mejora la relación señal-ruido.
3. Filtro de pasa banda 0.05 hz-50 hz: El objetivo de este filtro fue eliminar las desviaciones de baja frecuencia y el ruido de alta frecuencia.
4. Filtro Notch: Se realizó para asegurarse de que se eliminaría la interferencia de la línea eléctrica

5. Aplicar ICA: Se realizó con el objetivo de descomponer la señal en componentes independientes, aislando y eliminando artefactos como por ejemplo los musculares.
6. Segmentación de épocas: Los datos almacenados cuentan con marcadores de inicio y final del juego por lo que para analizar los datos se eligió partir la señal en cinco épocas cada una de duración de 60 segundos que marcan los cinco niveles del juego.
7. Ventanas de 1 ms: Se segmentaron las señales de cada época en ventanas de un ms con una superposición del 50 entre ventanas. Se realizó una superposición de ventanas porque se quería evitar los efectos de borde. Los efectos de bordes implican una distorsión que puede causar pérdida de información.
8. Extracción de características estadísticas: Para cada ventana se calculó media, varianza, curtosis, asimetría y desviación estándar. Se calcularon estas métricas para cada una de las bandas frecuenciales de los 29 canales.
9. Las características fueron calculadas a partir de las diferentes bandas de frecuencia cerebral: *delta*, *theta*, *alpha*, *beta* y *gamma*.

6.5.2. Extracción de Características de fNIRS

Para la extracción de características del fNIRS se siguieron los siguientes pasos:

1. Filtrado de datos: Se realizó un filtrado de los datos utilizando un filtro Butterworth para el filtrado de ruido de alta (se eligió una frecuencia de corte de 0.3) y baja frecuencia (se eligió una frecuencia de corte de 0.01) el cual tiene por objetivo eliminar artefactos musculares y de latidos del corazón.
2. Se calcularon los datos de hemoglobina HbO y HbR a partir de los datos crudos.
3. Extracción de características estadísticas: Se calculó media, varianza, curtosis, asimetría, pico y pendiente. Se calcularon estas métricas para cada valor de HbO y HbR de los 22 pares de óptodos.

La razón por la que se extrajeron características estadísticas a los datos de fNIRS es porque se ha demostrado que los cambios de oxihemoglobina y deoxihemoglobina que son analizados mediante características estadísticas y espectrales pueden utilizarse para diferenciar entre actividades cerebrales asociadas a emociones, atención y tareas motoras. Algunas de las características estadísticas que pueden utilizarse para capturar patrones hemodinámicos vinculados a emociones son la media, desviación estándar y pendiente[30]. Por otro lado, en [102] se demostró que las medias y pendientes de la oxihemoglobina mostraron patrones distintos para emociones positivas (aumento sostenido) vs. negativas (picos más abruptos).

Para una respuesta neutral, los valores de HbO se mantienen en un nivel estable. Mientras que un decremento en HbO en zonas como la corteza prefrontal dorsolateral podría reflejar una mayor regulación emocional. Esto ocurre debido a que estas áreas participan en la modulación de respuestas emocionales intensas[103, 104].

6.5.3. Extracción de Características de Movimiento de manos y presión de dedos

Para la extracción de características de movimiento de manos y presión de dedos fue necesario el algoritmo propuesto por [3] en que se toman los valores obtenidos de la posición y los valores de presión obtenidas del *grip-per* para lo cual al algoritmo se le fueron proporcionados estos valores incluidos en archivos *ANSI*. Tomando dos valores de posición $p_i = (x_i, y_i, z_i)$ y $p_{i+1} = (x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ y dada la presión P_i en el frame i , se calcularon 8 características:

S_m Velocidad de movimiento en el espacio en m/s

$$S_{m_{i+1}} = \sqrt{(x_{i+1} - x_j)^2 + (y_{i+1} - y_j)^2 + (z_{i+1} - z_j)^2} / Tfr \quad (6.1)$$

A_m velocidad de movimiento en el espacio en m/s^2

$$A_{m_{i+1}} = \frac{|S_{m_{i+1}} - S_{m_i}|}{Tfr} \quad (6.2)$$

Capítulo 6 Creación del Corpus

D_x Locación Diferencial (distancia) a lo largo del eje x en metros

$$D_{x_{i+1}} = |x_{i+1} - x_i| \quad (6.3)$$

D_y Locación Diferencial (distancia) a lo largo del eje y en metros

$$D_{y_{i+1}} = |y_{i+1} - y_i| \quad (6.4)$$

D_z Locación Diferencial (distancia) a lo largo del eje z en metros

$$D_{z_{i+1}} = |z_{i+1} - z_i| \quad (6.5)$$

P_s Velocidad de la presión en *KiloPascales/Seg*

$$P_{S_{i+1}} = \frac{|P_{i+1} - P_i|}{Tfr} \quad (6.6)$$

P_a Aceleración de la presión en *KiloPascales/S²*

$$P_{a_{i+1}} = \frac{|P_{s_{i+1}} - P_{s_i}|}{Tfr} \quad (6.7)$$

A_vP Promedio de la presión en *KiloPascales*

Dado que el movimiento de la mano (ubicación variable) y la presión representan una traza en el tiempo, pueden manejarse como una serie temporal. En este sentido, es posible desplazar una ventana de longitud W [muestras] en la serie y calcular el valor local de las 8 características presentadas para reconstruir su curso temporal. Por ejemplo, Supongamos una ventana de tamaño $W=3$, entonces tomamos 3 puntos consecutivos de muestra en la serie p_{i-1} , p_i y p_{i+1} se puede calcular lo siguiente:

- Velocidad promedio: S_{m1} y S_{m2} donde S_{m1} es la distancia entre p_{i-1} y p_i y S_{m2} es la distancia entre p_i y p_{i+1} .
- Aceleración promedio: en este ejemplo, solo tenemos dos velocidades S_{m1} y S_{m2} , por lo que se obtiene un único valor de aceleración A_{m1} .

- Distancias promedio (diferenciales marginales de ubicación) para cada eje: Se tendrían dos distancias para cada eje D_{x1} , D_{y1} , D_{z1} entre p_{i-1} y p_i y D_{x2} , D_{y2} , D_{z2} entre p_i y p_{i+1} .
- Aceleración promedio: Para este ejemplo hay tres presiones, por lo que $A_v P = (p_{i-1} + p_i + p_{i+1})/3$
- Velocidad promedio de los cambios de presión: en este caso, tenemos dos cambios de presión P_{s1} de P_{i-1} a P_i y P_{s2} de P_i a P_{i+1} .
- Promedio de las aceleraciones de presión: En este ejemplo, hay un único valor porque hay dos velocidades de cambio de presión.

El tamaño de las ventanas puede aumentar o disminuir. En este trabajo se eligieron ventanas de tamaño 11 ya que ventanas más grandes pueden generar valores adicionales.

El algoritmo también etiqueta los datos de las 8 características tomando como base los datos etiquetados por el psicólogo en base a lo siguiente: cada muestra (que genera un patrón) se asigna a 5 etiquetas binarias (cada etiqueta corresponde a uno de los 5 estados afectivos propuesto): 1 o -1, correspondientes a la presencia o ausencia de cada estado afectivo de interés.

6.6. Resumen del Capítulo

En este capítulo se explicaron detalles más específicos sobre los sujetos incluidos en el corpus, la descripción general del corpus y se detalló la captura de datos. Además también se explicó el etiquetado de los datos que el especialista realizó a partir de los vídeos. Por último, se explicaron los pasos para la extracción de características.

Capítulo 7

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de señales de EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de dedos para un sujeto, mientras que para los demás sujetos, estos resultados se presentan en el Apéndice G. También se presentan los resultados para el etiquetado de los sujetos.

7.1. Resultados de EEG

Aunque la extracción de características estadísticas fue llevada a cabo para los 29 canales, en este apartado sólo se mostrarán los resultados del canal 2, cuya posición se encuentra en la zona prefrontal caracterizada por ser una zona clave en el reconocimiento de emociones. A continuación en las siguientes Figuras 7.1 a 7.5 se presentan los resultados de la extracción de características para las bandas cerebrales *Delta*, *Theta*, *Alpha*, *Beta* y *Gamma* y para las cinco diferentes épocas para cuatro sujetos. Cada época fue elegida en base a cada uno de los cinco niveles presentados del juego serio. Por lo que cada época correspondería a un tiempo de 60 segundos de juego con un nivel de dificultad diferente que pretende inducir un estado afectivo diferente.

Es importante mencionar que las diferentes bandas de frecuencias cerebrales tienen una relación estrecha con las emociones [24] y se explican a continuación:

- La banda *beta* que está relacionada a los cambios en la valencia.
- Las bandas *alpha* y *gamma* son importantes para el reconocimiento de la valencia.

- Los cambios en la banda *gamma* están relacionados con las emociones de felicidad y tristeza. Cuando hay un aumento de la potencia *gamma* (40-70 Hz) en la Corteza prefrontal y en las Regiones parietales esto se asocia a la felicidad. Pero cuando hay una disminución en *gamma* en áreas frontales y temporales se asocia con tristeza[105]. La disminución de la onda *alpha* en diferentes lados del lóbulo temporal también está relacionado con las emociones de felicidad y tristeza (derecho para felicidad, izquierdo para tristeza).
- La asimetría temporal en la banda *gamma* está relacionada con el reconocimiento de la excitación.

Los colores correspondientes a cada una de las épocas son los siguientes: Época 1 (Amarillo), Época 2 (Naranja), Época 3 (rojo), Época 4 (Rosa) y Época 5 (azul). Las frecuencias que fueron consideradas para las bandas frecuenciales fueron: *Delta* (0.5–4 Hz), *Theta* (4–8 Hz), *Alpha* (8–13 Hz), *Beta* (13–30 Hz) y *Gamma* (30+ Hz).

Sujeto 3

Los resultados para las características estadísticas del sujeto 3 se presentan a continuación. Los resultados de los otros sujetos serán presentados en el apéndice G.

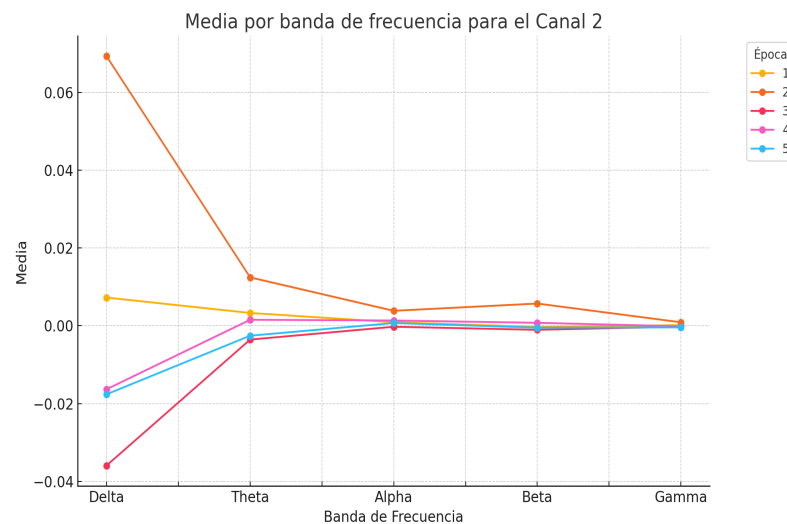


Figura 7.1: Resultados de la media para el canal 2, del sujeto 3 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época

De la Figura 7.1 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Esta es la banda que más cambios está sufriendo. Se puede visualizar que la época 2 presenta un valor medio muy alto ($\sim 0,07$) que mucho mayor que en las otras épocas. La época 3 tiene un valor muy negativo (~ -0.037). Las épocas 4 y 5 tienen valores muy similares y cercanos a $-0,02$.
- **Theta, Alpha, Beta, Gamma:** Todas las demás bandas muestran valores mucho más bajos, cercanos a cero y similares entre sí. Existen pequeñas variaciones entre épocas, pero en general:
Theta tiende a subir desde valores negativos (Épocas 3, 5) hacia positivos.
Alpha, Beta y Gamma se mantienen cercanas a cero sin cambios considerables.

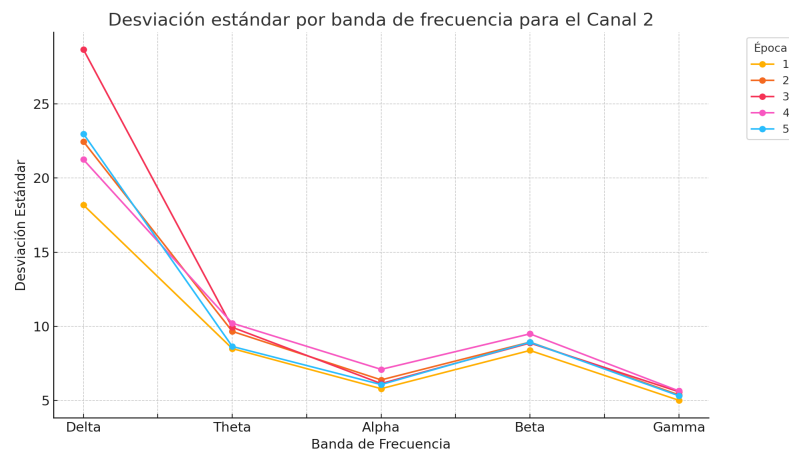


Figura 7.2: Resultados de la desviación estándar para el canal 2, del sujeto 3 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura 7.2 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Esta banda presenta los valores más altos de desviación estándar en todas las épocas además todos los valores positivos. La época 3 muestra una variabilidad extremadamente alta (~ 28) mientras que las épocas 2, 4 y 5 tienen valores intermedios ($\sim 21-23$). Por último, la época 1 muestra la menor variabilidad en *delta* (~ 18).

- *Theta*: Existe una reducción significativa en variabilidad comparada con *delta*, con Valores de entre 8-10 para todas las épocas. También existe menor dispersión entre épocas que en *delta*.
- *Alpha*: Existe un punto de menor variabilidad para todas las épocas. Los valores se encuentran entre ($\sim$ 5-7).
- *Beta*: Existe un ligero incremento en la variabilidad respecto a *Alpha* ya que los valores aumentan a un rango entre ($\sim$ 8-10).
- *Gamma*: En esta banda se pueden visualizar los valores más pequeños con respecto a las otras bandas y cercanos a ($\sim$ 5-5.5) es decir, que la variabilidad de la actividad cerebral en esa banda permanece similar a lo largo del tiempo.
- Tendencia general decreciente: Todas las épocas muestran una marcada disminución de la desviación estándar desde *Delta* hacia *Alpha*, un ligero incremento en *Beta*, y luego el valor mínimo en *Gamma*.

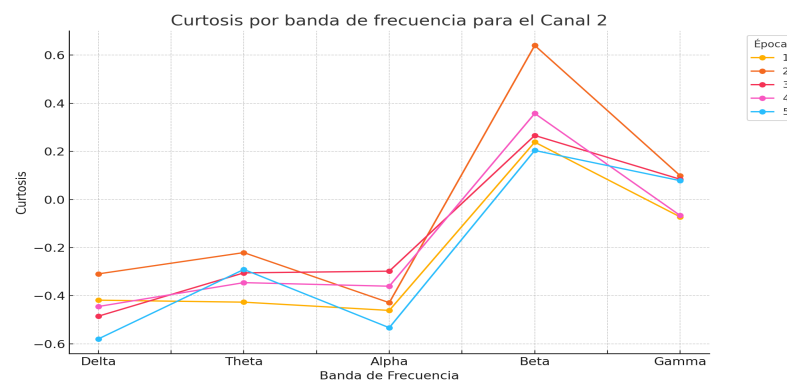


Figura 7.3: Resultados de la curtosis para el canal 2, del sujeto 3 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura 7.3 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta, Theta, Alpha*: Presentan curtosis negativa (entre -0.6 y -0.2 en las tres bandas). Una curtosis negativa indica distribuciones más "planas" que una normal. Esto sugiere que la actividad en estas bandas tiene menos concentración alrededor de la media y mayor dispersión.

Capítulo 7 Resultados

- **Beta:** Muestra un pico pronunciado de curtosis positiva en todas las épocas entre valores de ($\sim 0,2 - 0,63$). La Época 2 presenta el valor más alto ($\sim 0,63$).
- **Gamma:** Muestra valores variados entre épocas. Las épocas 2,3 y 5 mantienen valores ligeramente positivos cercanos a 0.1, mientras las épocas 1 y 4 caen a valores negativos ($\sim -0,1$).

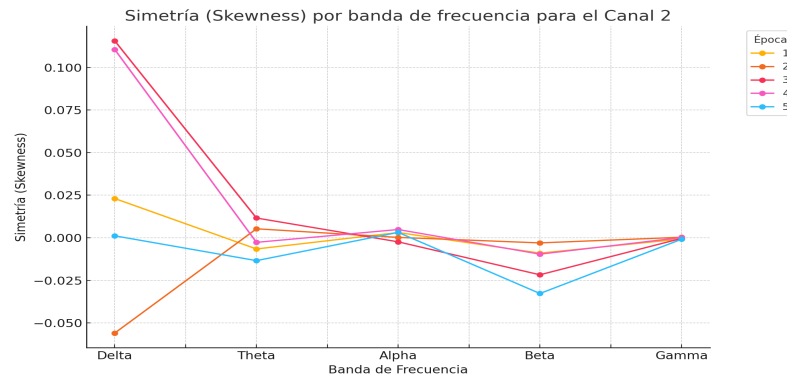


Figura 7.4: Resultados de la asimetría para el canal 2, del sujeto 3 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura 7.4 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Muestra la mayor variabilidad entre épocas. Las épocas 3 y 4 presentan una asimetría positiva pronunciada (valores cercanos a 0.11). La época 2 muestra asimetría negativa (aproximadamente -0.05). Las épocas 1 y 5 tienen valores cercanos a cero o ligeramente positivos.
- **Theta:** La variabilidad entre épocas disminuye considerablemente. La mayoría de las épocas muestran valores cercanos a cero. Las épocas 3 y 4 mantienen una ligera asimetría positiva mientras que las épocas 1 y 5.
- **Alpha, Beta y Gamma:** Todas las épocas convergen hacia valores cercanos a cero. En **Beta**, se observa una ligera tendencia hacia asimetría negativa, especialmente en la época 5.
- **Gamma:** Todas las épocas vuelven a valores muy próximos a cero.

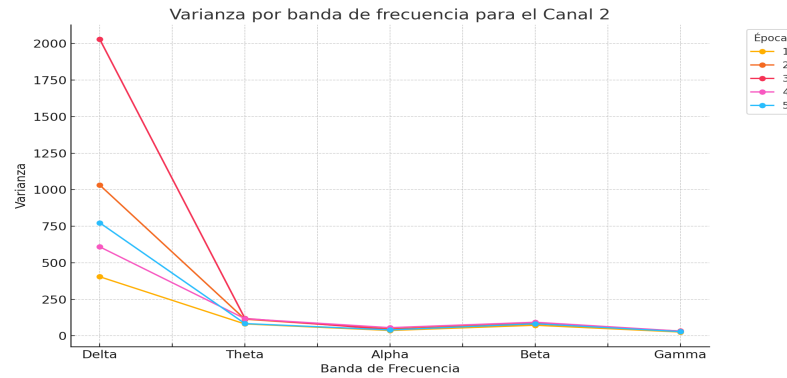


Figura 7.5: Resultados de la varianza para el canal 2, del sujeto 3 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura 7.5 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Presenta los valores de varianza más altos de todas las bandas. La época 3 muestra una varianza extremadamente alta (aproximadamente 2000). Las épocas 2 y 5 también presentan varianzas elevadas (alrededor de 1000 y 750 respectivamente). Existe gran variabilidad entre épocas en esta banda.
- **Transición *Delta-Theta*:** Hay una caída pronunciada en la varianza al pasar de *Delta* a *Theta* en todas las épocas. La pendiente más pronunciada corresponde a la época 3, que muestra la mayor reducción.
- ***Theta*, *Alpha*, *Beta* y *Gamma*:** Los valores de varianza se estabilizan significativamente. Todas las épocas convergen a valores similares (entre 50-150). Ligeramente aumento en *Beta* seguido de una disminución en *Gamma*.

7.2. Comparación de Resultados Estadísticos entre Sujetos

A partir de los resultados presentados en las figuras y en las figuras del apéndice F, se realizó una prueba de Friedman para cada banda de frecuencia en el canal 2, evaluando si hubo diferencias significativas en la potencia media entre las 5 épocas para los 4 sujetos. La prueba de Friedman es una

prueba no paramétrica utilizada para detectar diferencias en variables medidas en múltiples condiciones repetidas sobre los mismos sujetos. Es una alternativa a la ANOVA de medidas repetidas cuando los supuestos de normalidad o igualdad de varianzas no se cumplen[106].

El test de Friedman fue elegido debido a varias razones:

- Se miden las mismas métrica en las mismas personas en varias condiciones (épocas).
- Se tiene 5 épocas. Friedman es ideal para comparar más de 2 condiciones.
- Se tiene 4 sujetos. Friedman funciona bien con un n pequeño.

Esta prueba cuenta con dos valores: El estadístico y el p-valor. El estadístico (véase Cuadro 7.1) es el valor numérico que representa cuánta diferencia hay entre las condiciones (épocas) según los rangos asignados a cada observación.

Se calcula comparando los rangos de las condiciones dentro de cada sujeto.

- Si los rangos son similares entre condiciones, el estadístico será bajo.
- Si hay una condición que sistemáticamente tiene valores más altos o bajos, el estadístico será alto.

El valor esperado (véase Cuadro 7.2) se da cuando en el mejor de los casos (todas las condiciones son iguales) por lo que el estadístico es cercano a 0. Pero si existe una mayor diferencia entre condiciones el estadístico aumenta.

Capítulo 7 Resultados

Banda	Estadístico
Cerca de 0	Las condiciones (épocas) son muy similares
Entre 1 y 5	Variación leve entre condiciones
Mayor a 5 (>5)	Variación más marcada
Muy alto (>7-10)	Variación fuerte, posible significancia (si $p < 0.05$)

Cuadro 7.1: Interpretación del Valor Estadístico para la prueba de Friedman

El p-valor por otro lado, es la probabilidad de obtener un valor de estadístico igual o más extremo si la hipótesis nula fuera cierta.

En Friedman, la hipótesis nula (H_0) es: Las condiciones (en este caso épocas) tienen distribuciones similares; no hay diferencia real.

La interpretación de su valor se resume en la siguiente tabla:

p-valor	Interpretación
< 0.05	Significativo: Hay diferencias entre las condiciones
≥ 0.05	No significativo: No hay evidencia suficiente de diferencias

Cuadro 7.2: Interpretación del p-valor para la prueba de Friedman

El p-valor se calcula a partir del estadístico usando una distribución chi-cuadrado con $(k - 1)$ grados de libertad, donde k = número de condiciones (por ejemplo, 5 épocas tendrá 4 grados de libertad). A continuación se presentan los resultados de la prueba de Friedman para los valores estadísticos obtenidos.

A continuación se muestran los resultados de la comparación entre medidas estadísticas usando la prueba Friedman.

7.2.1. Media

Banda	Estadístico	p-valor
<i>Delta</i>	5.0	0.2872
<i>Theta</i>	8.4	0.0779
<i>Alpha</i>	1.79	0.7724
<i>Beta</i>	1.79	0.7724
<i>Gamma</i>	3.4	0.4932

Cuadro 7.3: Interpretación del p-valor para la prueba de Friedman

De los resultados presentados en el cuadro 7.3 se puede mencionar lo siguiente:

Delta: No hay diferencias significativas entre épocas en esta banda. Hubo variación leve.

Theta: Hay una variación considerable pero no es significativa aunque se podría estar mostrando cierta variabilidad entre épocas, pero no lo suficiente para ser considerada estadísticamente significativa con estos datos y número de sujetos.

Alpha: Actividad muy estable entre épocas porque la variación es leve. No hay evidencia de cambios relevantes debido a que no hay cambios significativos.

Beta: Aunque hay variación leve entre épocas no es significativa.

Gamma: Tampoco muestra diferencias significativas. Variación leve, pero no significativa.

Conclusión: Ninguna banda muestra cambios estadísticamente significativos entre las épocas para el canal 2. Sin embargo, la banda *Theta* destaca como la más variable, con un p-valor cercano a 0.05.

7.2.2. Desviación Estándar

Banda	Estadístico	p-valor
<i>Delta</i>	3.4	0.493
<i>Theta</i>	6.2	0.185
<i>Alpha</i>	5.6	0.231
<i>Beta</i>	7	0.136
<i>Gamma</i>	5.6	0.231

Cuadro 7.4: Prueba de Friedman para Desviación Estándar para las diferentes bandas de Frecuencia cerebrales

De los resultados presentados en el cuadro 7.4 se puede mencionar lo siguiente:

Delta: La variabilidad de la actividad en la banda se mantuvo estable a lo largo de las épocas ya que la variación es leve. Esta variación no es significativa.

Theta: Hay una variación más marcada pero no es significativa.

Alpha: La banda *Alpha* mostró variaciones marcadas entre épocas pero sin llegar a ser significantes.

Beta: La banda *Beta* está relacionada con actividad motora, atención y pensamiento activo. Esta banda presenta una variación considerable pero no es significativa.

Gamma: La banda *Gamma*, a menudo asociada con procesamiento sensorial, integración y estados conscientes, mostró una variación más marcada pero no significativa.

Conclusión general: No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la desviación estándar de la potencia de las bandas entre épocas. *Theta* y *Beta* mostraron mayor tendencia a variar, lo que podría indicar cambios sutiles en procesos cognitivos.

7.2.3. Curtosis

Banda	Estadístico	p-valor
<i>Delta</i>	2.6	0.626
<i>Theta</i>	2.79	0.591
<i>Alpha</i>	0.79	0.938
<i>Beta</i>	1.4	0.844
<i>Gamma</i>	5.8	0.214

Cuadro 7.5: Prueba de Friedman para Media para las diferentes bandas de Frecuencia cerebrales

De los resultados presentados en el cuadro 7.5 se puede mencionar lo siguiente:

Delta: La curtosis en la banda se mantuvo estable debido a la poca variación. No hay cambios significativos en la forma de la distribución de la señal (sin cambios relevantes en extremos o picos en los datos).

Theta: La curtosis fue estable. Los patrones de actividad Theta no mostraron cambios significativos.

Alpha: Muy estable ya que los valores en las diferentes épocas son muy similares. No hay cambios significativos.

Beta: La señal fue altamente estable. No hay evidencia de que la forma de la distribución de la señal *Beta* haya cambiado entre épocas.

Gamma: Aunque no significativa, la banda *Gamma* fue la única que mostró una ligera tendencia a la variabilidad en la curtosis.

Conclusión general: La curtosis de la señal EEG en canal 2 fue consistente entre las cinco épocas en todas las bandas. La banda *Gamma* mostró una mayor tendencia al cambio, pero sin alcanzar significancia. Estos resultados sugieren que la forma general de la distribución de la señal no se modificó significativamente.

7.2.4. Asimetría

Banda	Estadístico	p-valor
<i>Delta</i>	3.79	0.433
<i>Theta</i>	5.4	0.248
<i>Alpha</i>	1.2	0.878
<i>Beta</i>	1.79	0.772
<i>Gamma</i>	4.8	0.308

Cuadro 7.6: Prueba de Friedman para Asimetría para las diferentes bandas de Frecuencia cerebrales

De los resultados presentados en el cuadro 7.6 se puede mencionar lo siguiente:

Delta: No hay evidencia de cambios importantes en la asimetría de la distribución de la señal *Delta*. La forma general de la señal EEG en esta banda fue estable entre épocas.

Theta: Es la banda con mayor variabilidad aparente en cuanto a asimetría. Aunque no alcanza significancia, hay una leve tendencia a cambios en la forma de la distribución.

Alpha: La forma de la distribución de la señal *Alpha* fue estable sin variaciones significativas.

Beta: No se observan cambios relevantes en la asimetría de la señal *Beta* entre épocas.

Gamma: Aunque no significativa, muestra una variabilidad más marcada.

Conclusión general: No se encontraron cambios significativos en la asimetría de la distribución de la señal EEG entre épocas. *Theta* y *Gamma* muestran ligeras tendencias a la variabilidad, lo cual podría explorarse con más sujetos.

7.2.5. Varianza

Banda	Estadístico	p-valor
<i>Delta</i>	1.6	0.808
<i>Theta</i>	3	0.557
<i>Alpha</i>	5.4	0.248
<i>Beta</i>	4.2	0.379
<i>Gamma</i>	4.6	0.330

Cuadro 7.7: Prueba de Friedman para Varianza para las diferentes bandas de Frecuencia cerebrales

De los resultados presentados en el cuadro 7.7 se puede mencionar lo siguiente:

Delta: La varianza en la banda *Delta* fue altamente constante entre las épocas. No hay cambios significativos.

Theta: Aunque muestra algo más de variabilidad que *Delta*, sigue siendo estadísticamente no significativa. La señal en *Theta* se mantuvo bastante homogénea a lo largo del tiempo.

Alpha: Aquí comienza a observarse una ligera tendencia a la variación en la varianza entre épocas, aunque sigue siendo no significativa. Esto podría estar indicando fluctuaciones leves, pero no lo suficiente como para ser considerado un efecto claro.

Beta: Aunque no significativa, esta banda muestra una variabilidad ligeramente mayor que *Delta* y *Theta*.

Gamma: Similar a *Beta* y *Alpha*, la varianza en *Gamma* no cambia de forma significativa entre épocas. Esto sugiere que los procesos de integración sensorial y consciencia fueron consistentes a lo largo del experimento.

Conclusión general: No se detectaron diferencias significativas en la varianza de ninguna banda de frecuencia entre las épocas. Las bandas *Alpha*, *Beta* y *Gamma* muestran una leve mayor variabilidad que *Delta* y *Theta*, pero no alcanza significancia estadística.

7.3. Resultados de fNIRS

7.3.1. Sujeto 3

Se presentan los resultados del sujeto 3 de las características estadísticas del fNIRS de 4 sujetos en donde se obtuvieron media, varianza, curtosis (*kurtosis*), asimetría (*skewness*), pico (*peak*) y pendiente (*slope*) para las diferentes épocas y los diferentes canales. Es importante mencionar que aunque en las Figuras 7.6, 7.7 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11 se muestran cambios de HbO en todos los canales ya sea un aumento o disminución, no se puede concluir sólo con estos datos si se están presentando emociones positivas, neutrales ó tristes. Los resultados de los otros sujetos serán presentados en el apéndice G.

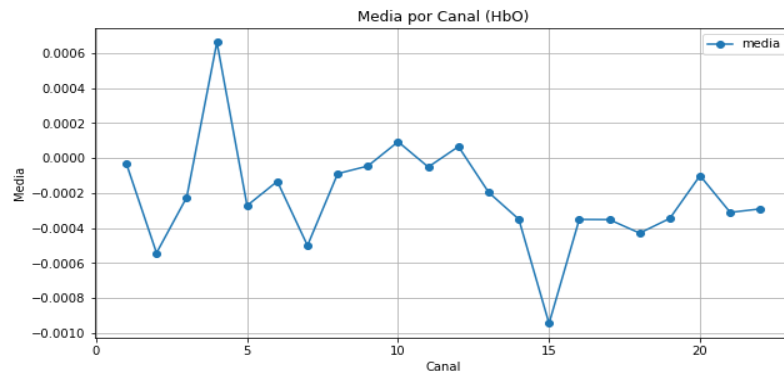


Figura 7.6: Media de los datos de fNIRS sujeto 3

Se puede observar de la figura 7.6 que los valores son positivos y negativos cercanos al cero en donde los valores positivos indican un incremento promedio de HbO (mayor oxigenación cerebral) mientras que los valores negativos indican una disminución promedio de HbO (posible reducción en la actividad o demanda metabólica cerebral). Otros aspectos destacables son que el canal 4 presenta un pico positivo claro (~ 0.0006), lo que sugiere una mayor activación cerebral en esa región. Mientras que los canales 2 y 15 tienen las medias más negativas, indicando posible disminución de oxigenación en esas áreas.

Capítulo 7 Resultados

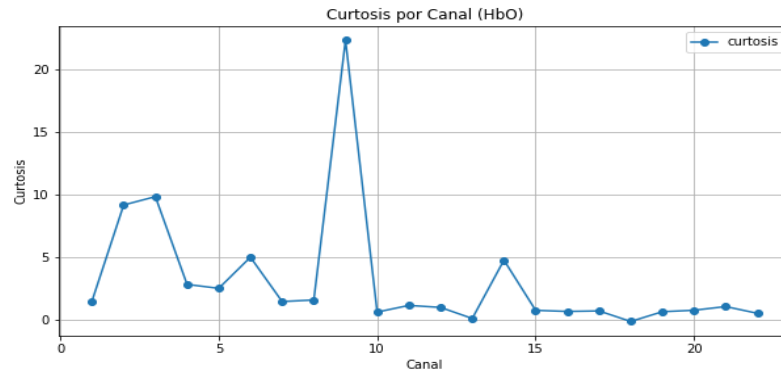


Figura 7.7: Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 3

Los valores de curtosis en la figura 7.7 se encuentran entre 0 y aproximadamente 22. Todos los valores de curtosis son positivos lo que implica una distribución con picos altos y colas pesadas. Un ejemplo claro de una curtosis positiva es el canal 9 presenta un valor (~ 22), lo que indica una alta concentración de valores extremos o transitorios intensos en la señal HbO. Esto puede deberse a: Activaciones cerebrales muy marcadas ó Artefactos fisiológicos (movimiento, ruido instrumental). Los canales 1, 2, 3 y 4 tienen valores entre 1.5 y 10. Por último, los canales del 10 al 22 tienen curtosis baja, cercanas a 1. Esto puede reflejar una señal más uniforme y estable sin eventos extremos.

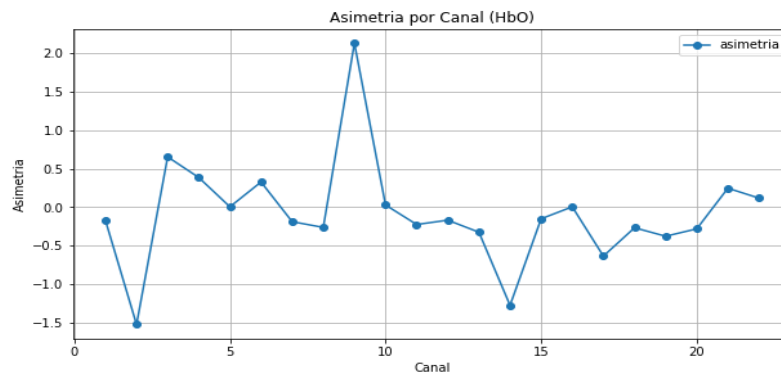


Figura 7.8: Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 3

Los valores para la asimetría se visualizan en la figura 7.8 y se encuentran entre -1.5 y 2.1. Algunos canales destacables son:
Canal 9 (~ 2.1): Presenta una alta asimetría positiva lo que podría indicar la presencia de picos extremos hacia valores altos de HbO.
Canal 2 (~ -1.5): Presenta una alta asimetría negativa lo que podría indicar que la señal tuvo eventos más extremos por debajo de la media.
Canales 3–8: Tienen asimetría positiva moderada (~ 0.2 a 0.6), lo que indica

una ligera predominancia de picos hacia arriba, posiblemente por actividad funcional.

Canales 10–22: En su mayoría tienen asimetría cercana a cero o levemente negativa.

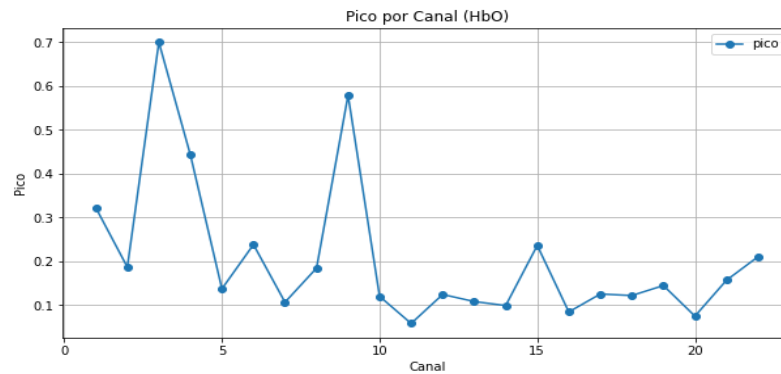


Figura 7.9: Pico de los datos de fNIRS sujeto 3

Los valores de pico en 7.9 son todos positivos y se encuentran en un rango de aproximadamente 0.03 y 0.7. De esta gráfica se destacan los siguientes canales: Canales con picos altos: Canal 3 (~ 0.70) es el valor más alto de la gráfica lo que podría indicar una activación hemodinámica muy intensa. Canales 4 (~ 0.45) y 9 (~ 0.58) también presentan picos notables. Canales con picos bajos (~ 0.08 – 0.20): Los canales del 11 al 22 tienen valores bajos y bastante homogéneos, indicando baja respuesta hemodinámica en estas regiones. Esto puede reflejar zonas de baja implicación funcional.

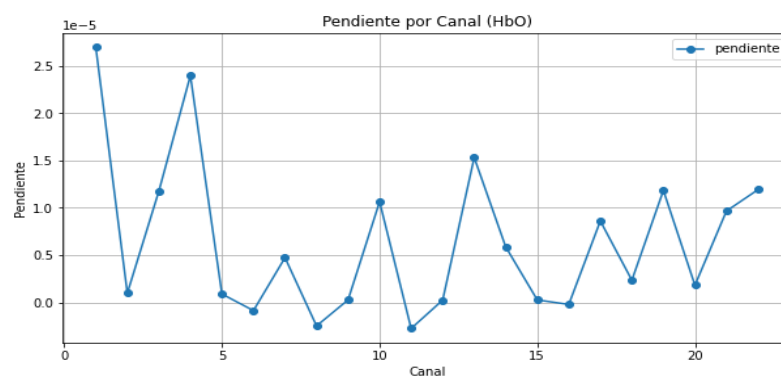


Figura 7.10: Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 3

Los valores de pendiente en 7.10 se encuentran muy cercanos a cero. En la gráfica se puede visualizar:

Pendientes positivas: Indican que la señal HbO tendió a aumentar con el

tiempo, es decir, hubo una acumulación progresiva de oxígeno en esa región cerebral.

El canal 1 ($\sim 2.6 \times 10^{-5}$) y canal 4 ($\sim 2.4 \times 10^{-5}$) muestran las pendientes más altas, sugiriendo un incremento continuo en la oxigenación (HbO) en esas regiones.

Pendientes cercanas a cero o levemente negativas: Canales como el 6, 8, 11, 12, 15 y 16 tienen valores cercanos a cero o negativos. Esto indica poca variación o incluso disminución en la concentración de HbO durante el tiempo analizado.

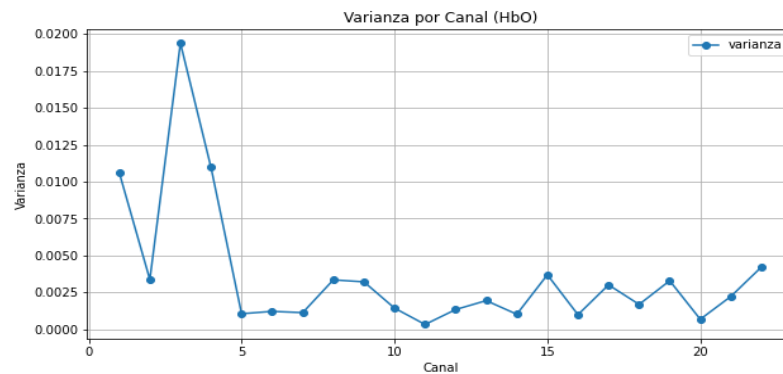


Figura 7.11: Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 3

De la figura 7.11 se puede visualizar que existen canales con varianza alta, media y baja que a continuación se enumeran:

Varianza alta: Canal 3 (~ 0.019) es el que muestra la mayor varianza, seguido por el canal 4. Esto indica que la señal en estos canales fue altamente variable, con fluctuaciones amplias en la concentración de HbO.

Varianza moderada (~ 0.003 – 0.01): Canales 2, 8, 9, 15, 17, 19 y 22 muestran niveles de varianza medios. Esto puede reflejar regiones con cierta implicación funcional o variabilidad hemodinámica moderada durante la tarea.

Varianza baja (<0.003): La mayoría de los canales restantes (especialmente canales como el 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, etcétera) presentan varianza baja.

7.3.2. ¿Cómo se relacionan las bandas de frecuencia cerebrales con los estados afectivos?

Es importante mencionar que de acuerdo a varias investigaciones, se ha encontrado diferentes relaciones entre las bandas frecuenciales cerebrales y los cinco estados afectivos propuestos:

- Aburrimiento: En [107] se encontró que, durante estados de aburrimiento que fueron inducidos experimentalmente, la actividad en *theta* y *alpha* en las áreas frontales del cerebro mostraron una amplitud significativamente menor en comparación con otros estados como la sobrecarga cognitiva. Por lo que esto sugiere que existe una reducción en el control cognitivo y la concentración durante el aburrimiento.
- Cansancio: En [108] se realizó un estudio con médicos después de turnos prolongados y se encontró que existe un aumento significativo en *theta* específicamente en las regiones frontal y occipital durante tareas cognitivas. Mientras que la actividad en *alpha* disminuye, lo que significa que existe una reducción en la alerta y la atención.
- Motivación: En [109] se encontró que, se presenta una mayor actividad en las ondas *gamma* en regiones frontales en estados de alta motivación. También se concluyó que la intensidad de la motivación se correlacionó con mayor actividad en las ondas *beta*.
- Frustración: En [110] se observaron incrementos significativos en la banda *beta* durante estados de frustración que se indujeron experimentalmente. En [111] se observó una disminución en la actividad de la banda alfa.
- Ansiedad: En [112] se identificaron actividad *beta* elevada en áreas frontales y actividad *alpha* reducida durante estados ansiosos.

7.3.3. Resultados de movimiento de manos y presión de dedos

A continuación se muestran en las Figuras 7.12 y 7.13 las características de movimiento de manos y presión de dedos del sujeto 3. Se eligieron datos de movimiento y presión (asociados a desplazamiento y presión) que fueron etiquetados por el especialista como motivación. Los resultados de los otros sujetos serán presentados en el apéndice G.

Capítulo 7 Resultados

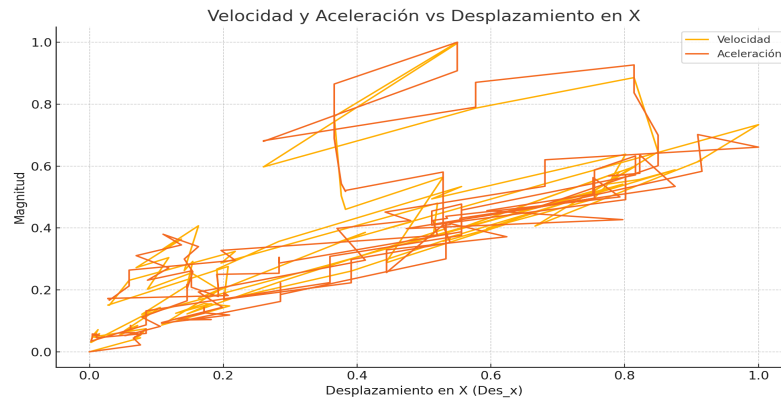


Figura 7.12: Gráficas de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 3

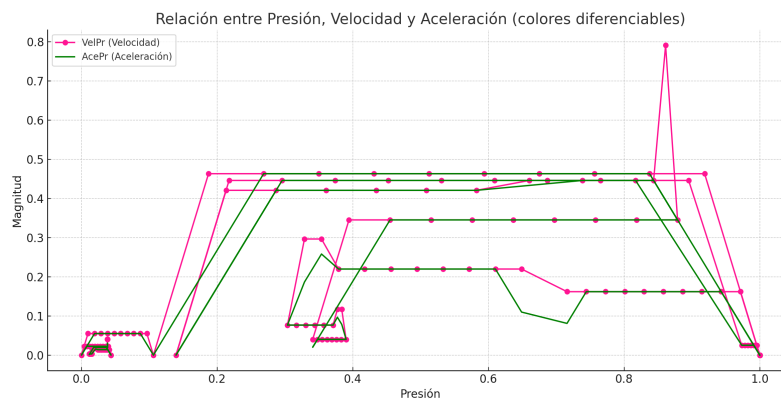


Figura 7.13: Gráficas de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 3

De la Figura 7.12 se puede observar que cuando la distancia aumenta, la velocidad y la aceleración aumentan mientras que para la presión, que se puede observar en la Figura 7.13, existen valores de presión asociados a valores de velocidad y aceleración de presión que aumentan o disminuyen pero también se vuelven constantes para algunos valores de presión.

7.4. Resultados del etiquetado por parte del Psicólogo

A continuación se presentan los resultados del análisis de los vídeos de 6 sujetos que fueron etiquetados por el psicólogo. Cada sujeto tiene 10 videos: 5 videos frontales y 5 videos laterales. Se tomaron en cuenta los sujetos: 3,

10, 11, 12, 14 y 2. En total fueron etiquetados 60 videos.

Se presenta: *¿Cuántas veces se presentaron las diferentes emociones durante la prueba?* es decir, según el especialista cuántas veces durante los diferentes niveles del juego se presentaron cada una de las cinco emociones que se buscan inducir. También se incluye gráficas con el conteo total de sujetos que experimentaron cada una de las cinco emociones según cada uno de los diferentes niveles. Este análisis incluye a los 6 sujetos cuyos datos han sido etiquetados por el psicólogo.

7.4.1. ¿Cuántas veces se presentaron las diferentes emociones durante la prueba?

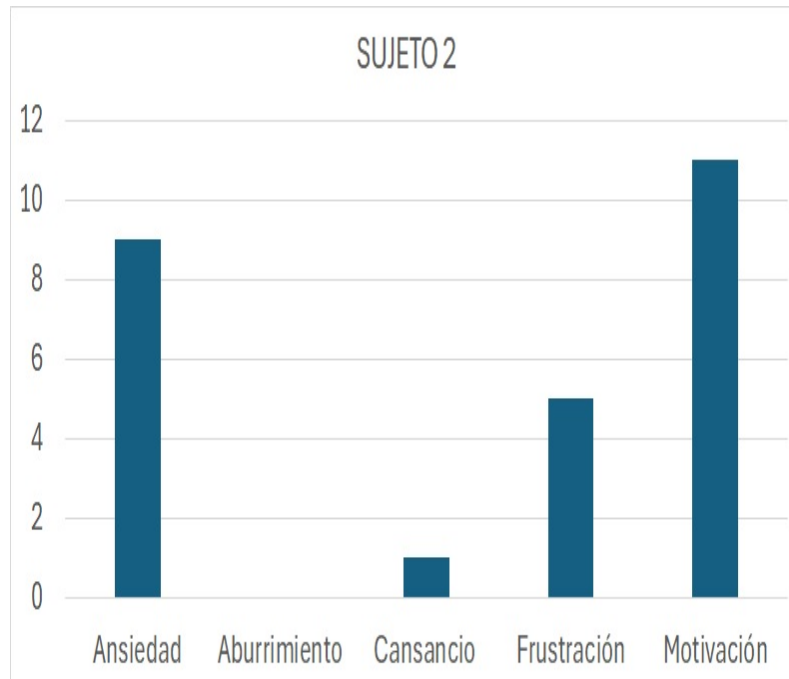


Figura 7.14: Sujeto 2: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 2 la emoción que más veces se presentó fue la motivación y la emoción que no se presentó fue el aburrimiento.

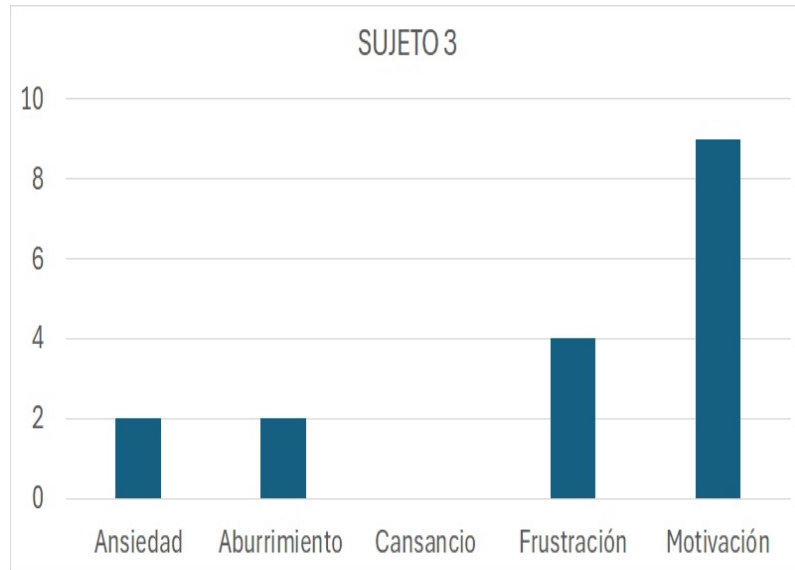


Figura 7.15: Sujeto 3: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 3 la emoción que más veces se presentó fue la motivación y las emociones que no se presentaron fueron el cansancio y el aburrimiento.

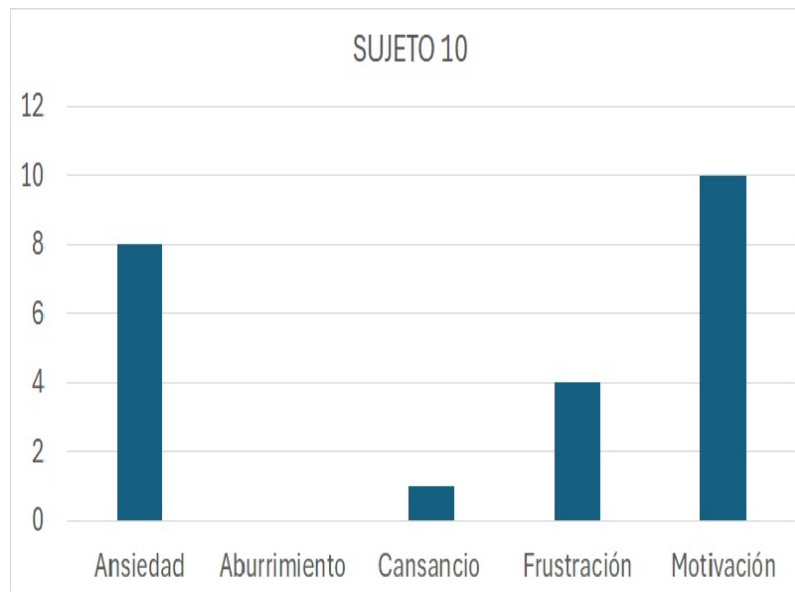


Figura 7.16: Sujeto 10: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 10 la emoción que más se presentó fue la motivación. La emoción que no se presentó fue el aburrimiento.

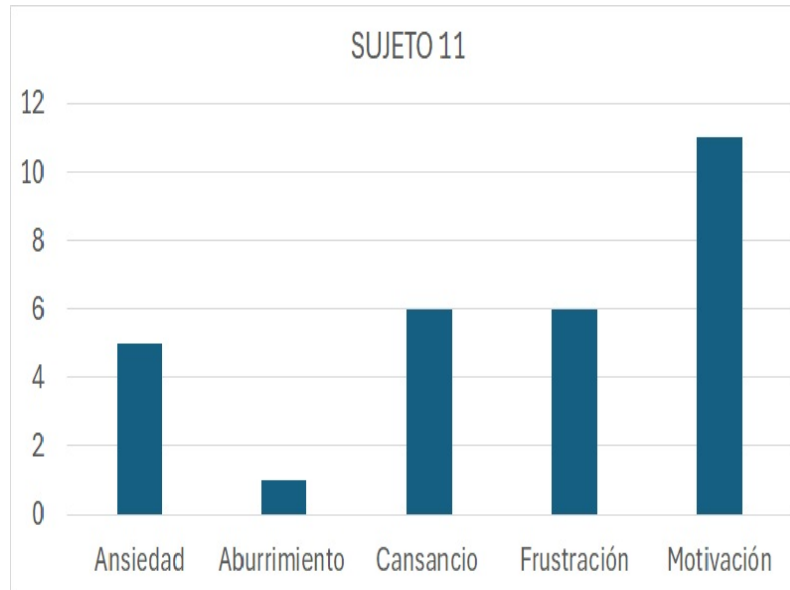


Figura 7.17: Sujeto 11: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 11 la emoción que más se presentó fue la motivación. La emoción que menos se presentó fue el aburrimiento.

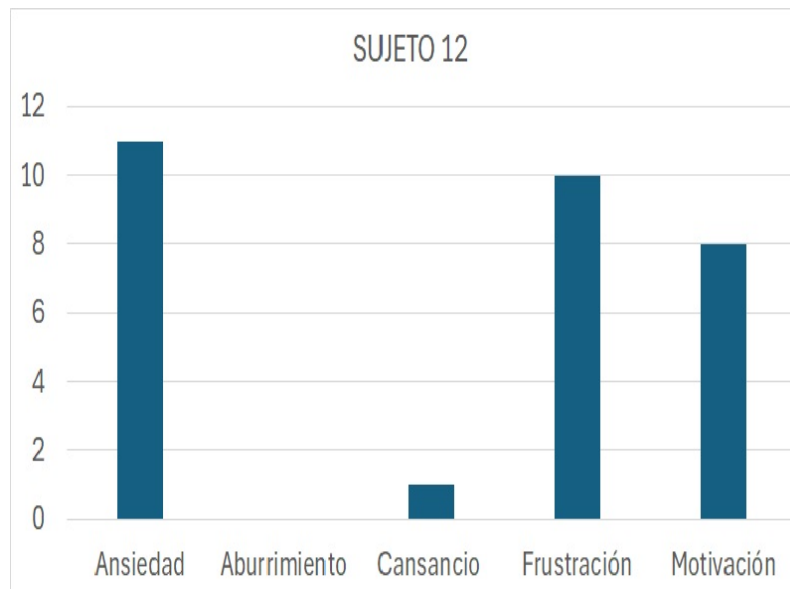


Figura 7.18: Sujeto 12: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 12 la emoción que más se presentó fue la ansiedad. La emoción que no se presentó fue el aburrimiento.

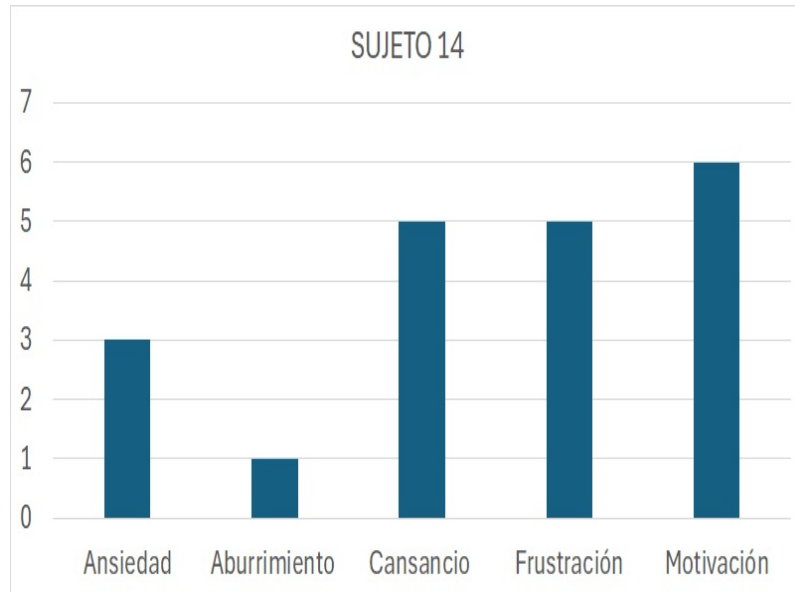


Figura 7.19: Sujeto 14: Conteo Total (eje Y) de emociones que se presentaron a lo largo de la prueba. Para el sujeto 14 la emoción que más se presentó fue la motivación.

7.4.2. ¿Qué emociones causaban los diversos niveles del juego?

Nivel 1

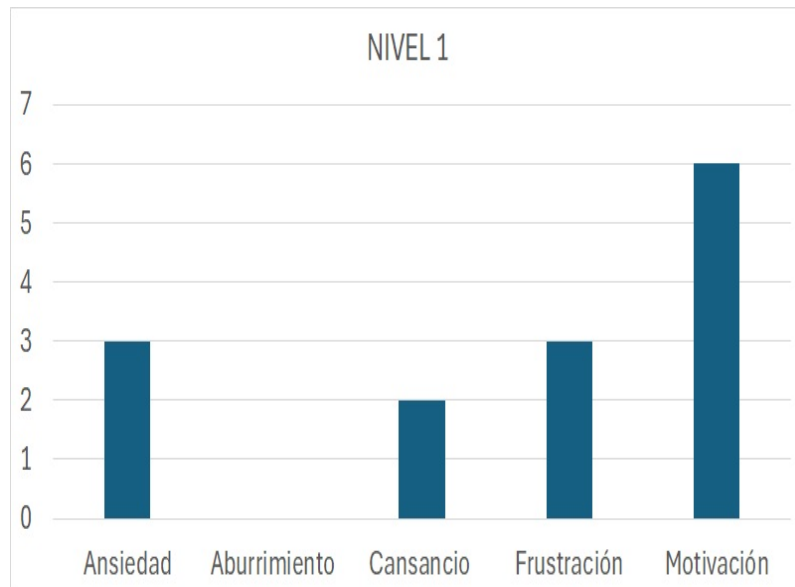


Figura 7.20: Emociones según el nivel 1: En la gráfica se presentan la cantidad de sujetos (eje Y) que experimentaron en el nivel 1. La emoción que fue inducida en todos los sujetos fue la *motivación* y ningún sujeto experimentó *aburrimiento*.

Nivel 2

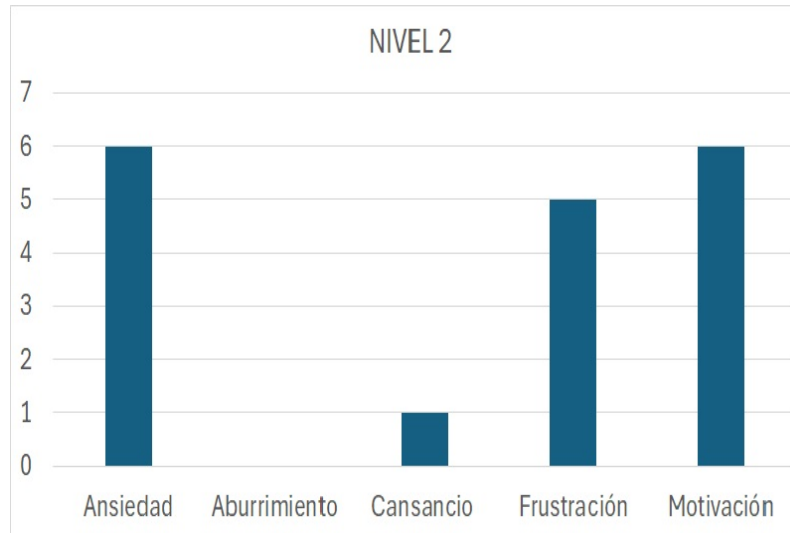


Figura 7.21: Emociones según el nivel 2: En la gráfica se presentan la cantidad de sujetos (eje Y) que experimentaron en el nivel 2. Las emociones que fueron inducidas en todos los sujetos fueron la *motivación* y la *ansiedad*, y ningún sujeto experimentó *aburrimiento*.

Nivel 3

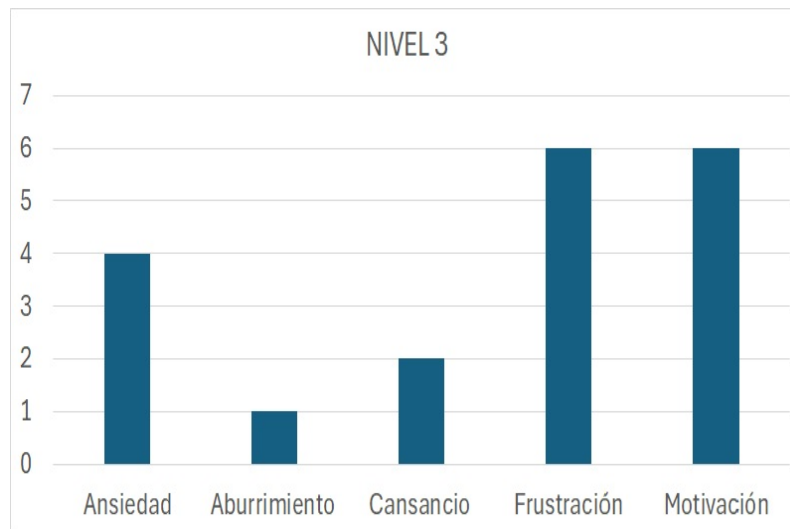


Figura 7.22: Emociones según el nivel 3: En la gráfica se presentan la cantidad de sujetos (eje Y) que experimentaron en el nivel 3. Las emociones que fueron inducidas en todos los sujetos fueron la *motivación* y la *frustración*, y sólo un sujeto experimentó *aburrimiento*.

Nivel 4

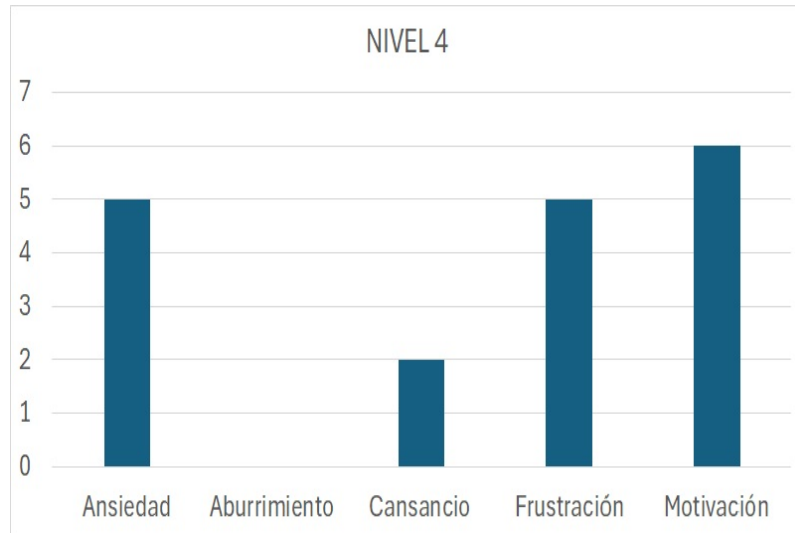


Figura 7.23: Emociones según el nivel 4: En la gráfica se presentan la cantidad de sujetos (eje Y) que experimentaron en el nivel 4. La emoción que fue inducida en todos los sujetos fue la *motivación* y ningún sujeto experimentó *aburrimiento*.

Nivel 5

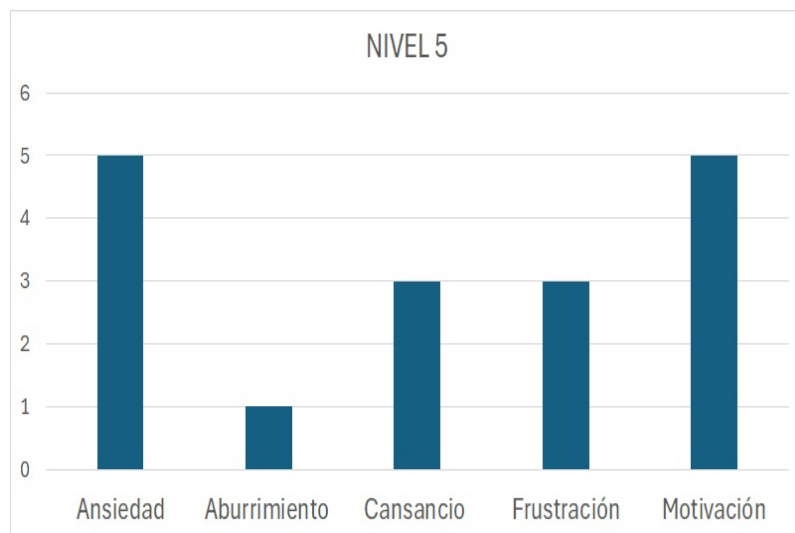


Figura 7.24: Emociones según el nivel 5: En la gráfica se presentan la cantidad de sujetos (eje Y) que experimentaron en el nivel 5. Las emociones que fueron inducidas en casi todos los sujetos fueron la *motivación* y la *ansiedad* y sólo un sujeto experimentó *aburrimiento*.

De las Figuras 7.14 a 7.24 en base al etiquetado por especialistas se puede concluir que la emoción que más fue experimentada por los sujetos es la *motivación* mientras que la emoción menos experimentada fue el *aburrimiento*. De las Figuras 7.20 a 7.24 se puede concluir que cada uno de los niveles inducían mayormente las siguientes emociones:

- Nivel 1: Motivación
- Nivel 2: Motivación y Ansiedad
- Nivel 3: Motivación y Frustración
- Nivel 4: Motivación
- Nivel 5: Motivación y Ansiedad

Aunque en todos los niveles se indució motivación, es importante aclarar que estos resultados pertenecen a 6 sujetos de 20 sujetos en total. Aunque este resultado no es totalmente concluyente, es una muestra de las emociones que fueron inducidas. Por último, de las figuras 7.40 a 7.44 también se puede concluir que las 5 emociones propuestas si fueron inducidas tal y como se esperaba.

7.5. Resumen del Capítulo

En este capítulo se presentaron los resultados para la extracción de características de las diferentes modalidades: EEG, fNIRS, movimiento de manos y presión de dedos de 4 sujetos: sujetos 3,10,11 y 12. Además se presentó un análisis adicional que comparó los resultados de estos 4 sujetos llegando a la conclusión de que para las 5 mediciones estadísticas no hubieron diferencias significativas entre las diferentes épocas.

Se presentaron los resultados también para el etiquetado de 6 de los 20 sujetos y se mostraron gráficas para mostrar ¿Qué emociones causaban los niveles del juego? y ¿cuántas veces se presentaron las diferentes emociones durante la prueba? llegando a la conclusión que todas los estados afectivos fueron inducidos y que el estado afectivo que más fue inducido fue la motivación.

Capítulo 8

Conclusiones

8.1. Conclusiones del corpus multimodal

El objetivo principal en este trabajo de tesis ha sido alcanzado ya que se ha logrado la generación de un corpus multimodal en un ambiente de juegos que integra diferentes aspectos físicos y fisiológicos se alcanzó con éxito y esta integrado actualmente por 20 sujetos de los cuales 6 son mujeres y 14 son hombres que constan de edades entre los 20-71 años.

Los datos recopilados en el corpus para cada sujeto incluyen datos de actividad cerebral eléctrica y hemodinámica (EEG y fNIRS), movimiento de manos, presión de dedos y expresiones faciales. Todos los sujetos incluidos en el corpus son latinoamericanos. Lo anterior es importante porque estos datos en un futuro podrían ser estudiados junto con datos de otros continentes como Europa o Norteamérica.

También realizó un protocolo de levantamiento de datos que fue seguido para cada uno de los sujetos a muestrear y que indica cada uno de los pasos que fueron llevados a cabo para el levantamiento de datos desde antes que el sujeto llegue a la toma hasta el momento de la despedida del sujeto. Se incluyen también las restricciones y requerimientos que el sujeto debe cumplir para poder ser muestreado. En el protocolo también se incluye un breve resumen del trabajo, los objetivos del mismo, los riesgos a los que los sujetos podrían estar expuestos, el tratamiento de los datos confidenciales y el nombre de todos los involucrados en el proyecto.

Se realizaron encuestas a cada uno de los sujetos de personalidad, de autismo y del juego para proporcionar información adicional al psicólogo para

llevar a cabo el etiquetado. Además, esta información sirve como información adicional de los sujetos del corpus.

Los vídeos frontales y laterales además de la información recabada en las encuestas fueron dados al psicólogo para realizar el etiquetado de los datos y así conocer que emociones eran las que estaban experimentando los sujetos en cada uno de los niveles del juego.

Con los puntos anteriormente expuestos, se puede concluir que el objetivo principal y los objetivos particulares expuestos en este trabajo han sido alcanzados con éxito.

En adición a los objetivos logrados se presentó un análisis de EEG, fNIRS, movimiento de manos, presión de dedos y los resultados de los vídeos etiquetados por especialistas.

Del análisis de características para EEG y fNIRS se pudieron visualizar diferentes variaciones tanto de actividad eléctrica como de actividad hemodinámica que reflejan cómo estas dos variables van cambiando en base a la época y al sujeto que está siendo muestreado. Sin embargo, no se puede concluir nada aún con respecto a si ciertas emociones están siendo visualizadas o si existe algún biomarcador debido a que sería necesario un análisis más riguroso.

Del etiquetado de los vídeos frontales por especialistas, se puede concluir que la emoción que más veces fue experimentada y que estuvo presente en todos los niveles del juego es la motivación. Por el contrario, la emoción que fue experimentada un menor número de veces fue el aburrimiento.

Este corpus constituye una aportación importante al cómputo afectivo ya que permitirá analizar y clasificar emociones complejas en un ambiente de juegos, con aplicaciones en rehabilitación, educación y entretenimiento. El corpus es también es una aportación al área de rehabilitación virtual, específicamente para la rehabilitación de miembros superiores, ya que puede servir de base para entrenar un sistema (como *Gesture Therapy*) que reconozca las emociones en el proceso de rehabilitación, y de esta forma que el sistema adapte la terapia de acuerdo con el estado afectivo del paciente.

Esto puede ser usado en beneficio de los pacientes para evitar que haya un abandono en la terapia física y se les anime a continuar motivados.

Es importante mencionar que se logró la inducción de los 5 estados afectivos propuestos con el uso del juego serio además de que se lograron sincronizar las señales de Electroencefalograma, Espectroscopia funcional del Infrarrojo Cercano, sensor de presión de los dedos, movimiento de manos a través de una manija y vídeo para el reconocimiento de expresiones faciales. Estos datos pueden ser usados por la comunidad científica para diferentes fines.

8.2. Trabajo a futuro

Esta base de datos esta formada por personas sanas de diferentes edades, nacionalidades y sexos por lo que esta base puede servir como un grupo de control. Así que el trabajo futuro que se propone es el siguiente:

- Realizar comparaciones entre los sujetos de los datos obtenidos de las diferentes bandas de frecuencias cerebrales del EEG para analizar cómo es el cambio entre sujetos entre cada una de las diferentes bandas.
- Realizar extracción de características y filtrado de datos: En este trabajo de investigación se realizó la extracción de características estadísticas (EEG y fNIRS) y frecuenciales y el filtrado de datos utilizando diferentes filtros como filtro notch ó filtro Butterworth. Sin embargo y en base a la experiencia de quién ó quienes realicen estas tareas, se pueden implementar otros filtros u otras técnicas de filtrado, análisis obteniendo otras métricas, con tamaños de ventana diferentes, etcétera.
- Realizar procesos de clasificación: A partir de la información ya etiquetada por los especialistas pueden realizarse procesos de clasificación. Este punto da pie a que los datos sean clasificados con el uso de diferentes métodos de clasificación.

Capítulo 8 Conclusiones

- Crear otra base de datos con los mismos aspectos físicos, fisiológicos y con el mismo estímulo pero incluyendo a personas que hayan experimentado un evento cerebro vascular.

Apéndice A

Software Utilizado para la sincronización

Un aspecto clave de la sincronización multimodal es el uso de diferentes herramientas de software y de hardware con el fin de colocar marcas de tiempo (*timestamps*) y marcadores (*triggers*) en las muestras provenientes de los diferentes sensores. Es por ello que a continuación se presentan los diferentes software utilizados para este propósito.

A.0.1. Lab Streaming Layer (LSL)

Este software fue utilizado para poder realizar la sincronización de los diferentes flujos de datos provenientes de los sensores. Como se explicó en el capítulo 3, este software es capaz de colocar marcas de tiempo y diferencias de reloj en cada una de las muestras, además que es capaz de recibir y enviar *triggers* por software.

A.0.2. Simulink Highspeed for g.tec

Este entorno gráfico por bloques está diseñado para recopilar datos de bioseñales como EEG, ECoG, EMG, EOG, fNIRS y ECG dentro de un modelo de Simulink para su posterior procesamiento en tiempo real y está disponible para todos los dispositivos de EEG, fNIRS, entre otros de la marca g.tec) [113]. Es capaz de hacer conexión con Lab Streaming Layer para recibir *triggers* y enviar muestras.

Apéndice A Software Utilizado para la sincronización



Figura A.1: Biblioteca simulink Highspeed for g.tec

A.0.3. SimBSI

Simulink Brain Signal Interface (SimBSI) [114] es un entorno gráfico de código abierto para la creación de prototipos de interfaces cerebro computadora (BCI). Este entorno está diseñado como una biblioteca que se implementa en *simulink* de Matlab. Esta biblioteca cuenta con bloques capaces de hacer conexión con Lab Streaming Layer para recibir *triggers* y enviar muestras. SimBSI fue implementado junto con la biblioteca de simulink Highspeed for g.tec del Hlamp EEG.

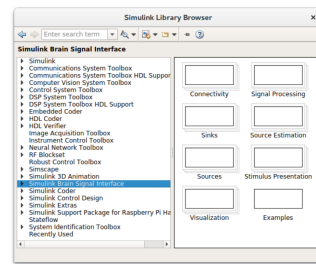


Figura A.2: Biblioteca simulink Brain Signal Interface

A.0.4. NIRStar

NIRStar es un software de control del equipo de fNIRS de la marca NIRX en el cual se pueden configurar diferentes aspectos del mismo tales como el número de fuentes, de detectores, el envío de muestras, la configuración de fuentes y detectores, la visualización de las señales, etc.

Este software es capaz de recibir *triggers* mediante el protocolo de Lab Streaming Layer además de que es capaz también de enviar las muestras

mediante este protocolo, por lo cual, fue usado para estos propósitos antes mencionados.

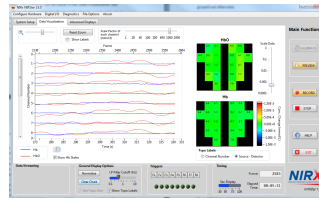


Figura A.3: Nirstar software

A.0.5. Open CV

Se utilizó esta biblioteca de visión artificial para hacer un código en *Python* que fuera capaz de guardar los *frames* por segundo que la cámara web grababa. Además, cada uno de los *frames* se etiqueta con marcas de tiempo en segundos. Por último, el código es capaz de recibir los *triggers* enviados desde Lab Streaming Layer indicando en qué segundo y en qué *frame* se recibe el *trigger* de inicio y de final para poder realizar la segmentación del video principal en momentos clave del inicio y el final de cada juego.

A.0.6. Websockets

Un *websocket* se puede definir como una API mediante la cual el servidor y el cliente tienen una conexión abierta mediante la que se comunican de un lado a otro [115]. Los *websockets* fueron un punto fundamental para la configuración de marcadores o *triggers* ya que, Lab Streaming Layer es una biblioteca que no está disponible para Javascript, por lo que se tenía que usar necesariamente a los *websockets* para enviar los *triggers* de Javascript a *Python* y de esta manera a la vez enviarlos a los demás sensores con un mínimo de latencia.

Apéndice B

Oficio de aprobación del protocolo



Comité de Bioética

**Serie Documental 2S.3.1
BIOETICA_HUM_2024_02**

Ensenada, B.C. a 9 de diciembre de 2024

Dr. Luis Enrique Sucar Succar
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Presente.-

Estimado Dr. Sucar:

Por medio de este conducto, me permito informar a Usted que, el Comité de Bioética del CICESE analizó y dictaminó su propuesta de investigación titulada "**Generación de un corpus multimodal de estados afectivos en un ambiente de juegos**" y tomó la decisión de **Aprobarla**, debido a que cumple con los requisitos bioéticos para llevarse a cabo.

Asimismo, le exhortamos para que durante el desarrollo de este proyecto se apegue al protocolo aprobado. En caso de realizar cambios, favor de reenviar para una nueva evaluación.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente,



Dr. Rodrigo Méndez Alonzo
Director de la División de Biología Experimental y Aplicada

C.c.p. Archivo

Apéndice C

Protocolo de toma de datos y Documento de Consentimiento



COMITÉ DE BIOETICA-CICESE
PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS CON HUMANOS

Solamente para el uso del comité	
Número de folio proyecto:	
Fecha de aprobación del proyecto:	
Número de folio anterior del proyecto (si aplica):	
Corrección # (si aplica):	
Fecha de aprobación de la corrección:	

1.-DATOS GENERALES DE LOS RESPONSABLES DEL PROYECTO

Datos generales del responsable	
Nombre completo:	Dr. Luis Enrique Sucar Succar
Correo electrónico:	esucar@inaoep.mx
Departamento:	Cs. Computacionales
Teléfono:	222 266 31 00 Ext. 8208
Celular:	222 239 14 70
Datos generales del suplente:	
Nombre completo:	Dra. Delia Irazú Hernández Farias
Correo electrónico:	dirazuhf@inaoep.mx
Departamento	Cs. Computacionales
Teléfono:	222 266 3100 Ext. 8323 – Celular: 4772766421

* Tanto el investigador responsable como el suplente deben de estar localizables en todo momento cuando haya experimentos en marcha.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Nombre del proyecto:	Generación de un corpus multimodal de estados afectivos en un ambiente de juegos
Clave del proyecto (si aplica):	
Fecha de inicio del proyecto (dd-mm-aaaa):	01/07/2024
Fecha de término del proyecto (dd-mm-aaaa):	31/10/2024
Fuente de financiamiento (si aplica):	

Importante: Lea cuidadosamente las instrucciones en cada sección antes de completar el protocolo de la narrativa.

¿Necesita ayuda? Envíe un correo a bioetica@cicese.mx

RESUMEN NO-TÉCNICO

Proporcione un resumen no técnico del proyecto de investigación que está proponiendo a realizar. El resumen deberá incluir un breve enunciado del propósito de la investigación, adicionalmente debe incluir una descripción de los procedimientos, métodos, y materiales a utilizar de acuerdo con que el estudio se llevará a cabo con la población. **El resumen no deberá exceder de una página.**

El proyecto se enmarca en el área de cómputo afectivo, aportando a la investigación en este campo mediante un corpus innovador ya que, a diferencia de los existentes, incluye: (i) varios sensores abarcando señales neurológicas, expresiones faciales, movimiento y presión; (ii) se obtiene mientras las personas interactúan con juegos serios, (iii) se enfoca a una población diferente a la mayor parte de los corpus existentes (latinoamericanos), (iv) recopila información de personalidad y otros aspectos de comportamiento humano, tales como escalas de motivación, frustración, espectro de autismo, entre otros, que son útiles para relacionar con las señales del cuerpo que sean obtenidas. El propósito de la investigación es la creación de un corpus para el reconocimiento de 5 estados afectivos (aburrimiento, cansancio, ansiedad, frustración y motivación) utilizando 4 tipos de sensores: Espectroscopia funcional del infrarrojo cercano (fNIRS), Electroencefalograma (EEG), dos cámaras y una manija (hand-gripper) que incorpora un sensor de presión. Los datos son adquiridos mientras una persona interactúa con un juego serio de la plataforma de rehabilitación Gesture Therapy (GT).

Para la construcción del conjunto de datos se seguirá la siguiente metodología:

- 1.- Sincronizar los 4 sensores mencionados anteriormente mediante el uso de un software libre Lab Streaming Layer (LSL) que será encargado de sincronizar las señales provenientes de todos los sensores y enviar los *triggers* correspondientes, en cada uno de los niveles del juego.
- 2.- Aislar (modificar la plataforma online de Gesture therapy para que sólo uno de los juegos serios pueda ser jugado por el usuario) y sincronizar el juego serio incluyendo 5 niveles de dificultad en donde cada nivel inducirá un estado afectivo diferente.
- 3.- Realizar pruebas piloto para verificar la sincronización de los 4 sensores y el juego serio.
- 4.-Elaborar documentos de consentimiento informado y encuestas. Las encuestas serán un parámetro para evaluar la personalidad del participante, su espectro de autismo y su reacción frente a cada uno de los niveles del juego.
- 5.- Elaborar y aprobar el protocolo de investigación para llevar a cabo la construcción del conjunto de datos.
- 6.- Invitar a los participantes al protocolo, y llevar a cabo el procedimiento necesario para la toma de los datos correspondientes.
- 7.- Etiquetar los estados afectivos de los fotogramas correspondientes a los videos por parte de especialistas (se tiene considerado el apoyo de psicólogos para realizar esta tarea)
- 8.- Entrenar y evaluar un clasificador bayesiano para identificar automáticamente los estados afectivos en el conjunto de datos.

Los materiales que se utilizarán en el estudio son:

- 1.- Equipo de fNIRS de la marca NIRX
- 2.- Equipo de EEG de la marca GTEC
- 3.- Una computadora
- 4.- Una *tablet* para aplicar las encuestas
- 5.- Una manija espacial (hand-gripper) con sensor de presión
- 6.- Una cámara web y la cámara frontal de la computadora

Los equipos de fNIRS y EEG se encuentran en el Laboratorio de Bioseñales del INAOE.

SECCIÓN I: ROLES Y EXPERIENCIA DEL EQUIPO QUE TRABAJARÁ EN EL ESTUDIO

Liste todos los miembros que trabajarán en el equipo de investigación

1. Describa los **roles específicos y responsabilidades** que tendrá cada miembro dentro del estudio.
2. Explique quien tendrá acceso a los datos.

3. Indique quien estará involucrado en el reclutamiento, documentos de consentimiento, procedimientos de investigación, y análisis de datos.

4. Proporcione una descripción de sus habilidades, nivel de entrenamiento y experiencia en su área de estudio y en relación a proyectos relacionados

1.

Investigador principal: Dr Luis Enrique Sucar Succar

ROL: Responsable del proyecto

RESPONSABILIDADES: Coordinar la investigación y vigilar que se sigan los lineamientos del protocolo en el estudio

EXPERIENCIA: Ha participado en varios estudios clínicos en colaboración con el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN) relacionados al desarrollo y pruebas del sistema de rehabilitación virtual **Gesture Therapy**

Co-investigadores: Dra. Delia Irazú Hernández Farías

ROL: Suplente del investigador principal

RESPONSABILIDADES: Coordinar investigación y vigilar que se sigan los lineamientos del protocolo en el estudio.

EXPERIENCIA: Ha participado en estudios clínicos con el Instituto Mexicano del Seguro Social en aspectos relacionados con detección automática de cáncer de mama.

Co-investigadores: Dr. Jesús Joel Rivas

ROL: Suplente del investigador principal

RESPONSABILIDADES: Coordinar investigación y vigilar que se sigan los lineamientos del protocolo en el estudio.

EXPERIENCIA: Es experto en cómputo afectivo y ha participado en varios estudios clínicos con el Hospital Universitario de la BUAP y el INNN.

Equipo de técnicos, estudiantes y asistentes de investigación:

Miriam Enriquez Cuazitl

ROL: Estudiante de la maestría en ciencias y tecnologías biomédicas.

RESPONSABILIDADES: Coordinadora general de la creación del conjunto de datos, encargada de la elaboración del protocolo, de la toma, manejo y análisis de datos, y de la recopilación de documentos de consentimiento.

EXPERIENCIA: Ha participado en pruebas piloto que involucran estudios de fNIRS y EEG. Cuenta con experiencia en el manejo de equipos de EEG, fNIRS y con la plataforma Gesture Therapy. Es estudiante de la maestría en Ciencias Biomédicas con conocimientos en señales biomédicas. Este proyecto será presentado como proyecto de tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en el INAOE.

2.- Los datos correspondientes al corpus serán anonimizados (quitando toda información que identifique a los sujetos) y de acceso libre para investigación. En cuanto a los datos de video de la cámara frontal, se van a extraer las características relevantes del rostro, y esto será lo único que se publicará de los videos (no se publicaran los videos como tal).

3.- Las personas involucradas en el reclutamiento, documentos de consentimiento, procedimientos de investigación y análisis de datos serán: el responsable del proyecto, los suplentes y la estudiante de maestría, la cual tendrá el papel principal en la realización y coordinación de todos los puntos antes mencionados.

4.- El equipo de trabajo tiene experiencia en la realización de pruebas clínicas, en particular con el sistema de rehabilitación Gesture Therapy; así como en el uso de los equipos de neuroimágenes (EEG y fNIRS). Quien está a cargo directo de realizar la adquisición de los datos, es estudiante de la maestría en ciencias y tecnologías biomédicas con experiencia en el manejo de equipos médicos de ECG, equipo de rayos x, ultrasonido, EEG y fNIRS (estos dos últimos incluidos en este proyecto): además, cuenta con experiencia previa en la realización de pruebas piloto con el arreglo experimental propuesto en este protocolo. También tiene experiencia en el manejo de la plataforma de Gesture therapy.

SECCIÓN II: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y PROCEDIMIENTOS EN EL ESTUDIO

A. Diseño del estudio y procedimientos

1. Proporcione una **descripción cronológica detallada** de todos los procedimientos en el estudio (e.g., incluya las fases del estudio y el diseño experimental). Incluya una explicación del diseño del estudio.
2. Indique la duración de cada una de las fases en el estudio. Indique cuanto tiempo estarán involucrados los sujetos de estudio.
3. Si el estudio incluye la obtención de datos como fotografías, audio y/o videgrabaciones, especifique si se recopilará información que identifique a los sujetos del estudio, o indicar que información identificable se obtendrá.

Durante los meses de mayo a agosto del año 2024 se recolectarán los datos de forma sistemática con las siguientes etapas:

1. El protocolo experimental se ha definido y sólo se espera la aprobación por el comité de bioética.
2. Realizar pruebas piloto con miembros del equipo de trabajo para asegurarse que todo funciona correctamente.
3. Invitar y reclutar a los participantes.
4. Realizar el protocolo correspondiente al levantamiento de datos, en el cual se llevarán a cabo los siguientes pasos:
 - 4.1 Recibir al participante en el laboratorio de bioseñales.
 - 4.2. Explicar el objetivo, los criterios de exclusión y de inclusión del proyecto a los participantes. Se entiende por 'participante' como el sujeto de prueba de quién se le recolectarán los datos.
 - 4.3. Entregar el formato de consentimiento informado a participantes, verificar que lo lean y comprendan, y finalmente que lo firmen.
5. Durante la recolección de datos:
 - 5.1 Tener preparados los dispositivos de captura de información: EEG, fNIRS, computadora, cámara web, tablet y hand-gripper, y en paralelo informar al participante sobre los detalles del estudio para su consentimiento informado. (Aprox. 10 minutos)
 - 5.2 Colocar los dispositivos de captura y de gel en el participante. (Aprox. 20 minutos) El gel conductor hidrosoluble se pondrá sobre la cabeza del participante para asegurar que los electrodos del EEG hagan una correcta adherencia a la piel y así facilitar la transferencia de las señales.
 - 5.3 Capturar los datos en el tiempo definido en el protocolo. Realizar encuestas por parte del participante (Aprox. 15 minutos)
 - 5.4 Detener la captura de datos de EEG, fNIRS, videgrabación y retirar los dispositivos del participante (Aprox 15 minutos)
 - 5.5 Proporcionar shampoo al participante. El shampoo será necesario para la correcta eliminación del gel conductor del cabello del participante y así evitar posibles incomodidades.
 - 5.6 Despedir y agradecer al participante por su participación.

Los participantes estarán involucrados en el estudio aproximadamente 60 minutos.

6. Recopilación e integración de los datos de todos los participantes, una vez concluida la adquisición de datos.
7. Pre-procesamiento de los datos para su etiquetado.
8. Etiquetar los datos de los fotogramas del video por parte de los especialistas para identificar los diferentes estados afectivos propuestos.
9. Resguardar la información de los participantes, incluyendo los videos originales y utilizar sólo códigos alfanuméricos (un ID), para asociar los sujetos con las señales y encuestas correspondientes. El estudio incluye grabación de video desde un plano frontal y otro plano sagital del participante (no se publicarán videos ni imágenes de los participantes).
10. Realizar pruebas de clasificación iniciales con algunos métodos básicos.
11. Publicar un artículo científico sobre el estudio.
12. Poner los datos anonimizados en un repositorio para su acceso por la comunidad científica. Cada participante tendrá asignado su ID y sólo el ID será lo que utilizará la comunidad científica. Por supuesto, los responsables del proyecto resguardarán la asociación del ID con la identificación del sujeto (nombre y datos personales).

--

SECCIÓN III: SUJETOS DE ESTUDIO (PERSONAS QUE SERÁN SUJETOS DE ESTUDIO)

A. Criterios de Inclusión y Exclusión

1. Describa las características y proporcione la justificación para la inclusión de los sujetos en el estudio. Por lo menos incluya información acerca de la edad y género de los sujetos de estudio
Personas sanas sin ningún tipo de discapacidad física y/o mental. La edad de los participantes deberá ser mayor a 18 años y menor a 70 de ambos sexos. Este grupo de edad corresponde a jóvenes, adultos y adultos mayores. Se tratará de incluir a personas de diferentes países latinoamericanos, la justificación es que la mayor parte de los corpus para investigación en cómputo afectivo son de personas anglo-sajonas.
2. Describa los criterios de exclusión para los sujetos de estudio propuestos, si es aplicable.
Personas que hayan consumido alcohol, estimulantes y otros estupefacientes, o tabaco en las 24 horas previas al estudio. Personas que hayan dormido menos de 6-8 horas. Personas que no acepten participar en el protocolo mediante su consentimiento informado. Personas que decidan abandonar en cualquier momento el estudio.

SECCIÓN IV: PROCESO Y MÉTODOS DE RECLUTAMIENTO

A. Métodos de reclutamiento

Seleccione todas las opciones que apliquen a los métodos de reclutamiento que se utilizarán en el estudio.
Seleccione todas las opciones que apliquen a los métodos de reclutamiento que se utilizarán en el estudio. Utilice una 'X' dentro de los corchetes []. [] Se utilizarán folletos, notificaciones, reuniones, memorándums, y/o medios para reclutar a los sujetos. Adjuntar documentos. ● Explique dónde y cómo se publicarán los materiales de reclutamiento.
[X] Otros métodos: Invitación individual por parte de los investigadores. Las invitaciones serán dirigidas exclusivamente a participantes que provengan de países latinoamericanos. Para corroborar lo anterior se incluirán en el muestreo a estudiantes del INAOE quienes provienen que países como Colombia, Venezuela y Cuba.

B. Proceso de reclutamiento

1. Proporcione detalles y describa el proceso de reclutamiento (i.e., cuando, donde, quien lo hará, y cómo se contactará a los sujetos)
Los responsables del proyecto contactaran personalmente a los participantes. Dos semanas previas al estudio se realizará el proceso de reclutamiento en el INAOE, con estudiantes, investigadores y trabajadores; buscando un equilibrio en cuanto a sexo y rangos de edad.

SECCIÓN V: PROCESO PARA SOLICITAR CONSENTIMIENTO

Describa los pasos específicos para solicitar consentimiento de participación. Incluya información acerca de cuándo y dónde se realizará la solicitud de consentimiento, la duración de la sesión , y el tiempo que se les dará a los sujetos para que decidan si quieren participar en el estudio.

Una vez explicado el protocolo experimental y los objetivos del estudio a los participantes, se realizará la entrega de la solicitud de consentimiento en el laboratorio de procesamiento de señales biomédicas. Esta sesión tendrá una duración máxima de 10 minutos. De haber dudas o preguntas generales del estudio, la asistente de investigación y el co-investigador responderán de forma inmediata, de modo que el participante pueda tomar la decisión de participar o no en el estudio. El tiempo que se les dará a los sujetos para decidir si participarán o no será de 5 minutos.

SECCIÓN VI: CONFIDENCIALIDAD DE LOS DATOS DERIVADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Método para grabar datos/retención de datos/acceso a datos

1. Explique cómo se obtendrán y grabarán los datos
Seleccione todas las opciones que apliquen: ☒ En papel, documentos/archivos ☒ Archivos digitales/bases de datos ☐ Grabaciones en audio ☒ Grabaciones en video ☒ Fotografías ☐ Muestras biológicas ☒ Otros (especifique): Se recolectarán datos de movimiento corporal, presión de dedos, señales EEG y fNIRS
2. Indique cómo se guardarán los datos, cómo se mantendrá la seguridad de los datos, incluyendo registros, documentos, archivos electrónicos, audio y video, etc.
Los archivos electrónicos se almacenarán en la computadora de la estudiante de maestría (asistente de investigación). En la hoja de consentimiento se asignará un identificador alfanumérico único al participante. Por lo que, en todo momento, la información sólo estará vinculada a un identificador alfanumérico único para el estudio y solo el investigador principal tendrá acceso a la identidad personal que permita la identificación asociada al identificador alfanumérico. Respecto a los videos, se protegerá la identidad de los sujetos de prueba, publicando solamente los puntos característicos del rostro (medidas en distancia de los ojos, labios, ángulos de las cejas). En general la información será tratada de manera confidencial. Todos los datos e información recabada durante el estudio serán tratados acorde a la ley de protección de datos. Aunque la información podrá ser analizada por el investigador y los co-investigadores quienes tendrán acceso total a los videos, así como los especialistas (psicólogos) para realizar el etiquetado, toda esta información permanecerá en todo momento estrictamente confidencial, no será comunicada a terceros, ni utilizada para ningún otro propósito que no sea el correspondiente a este estudio científico. La única excepción será el uso de la misma para ser utilizada en las publicaciones científicas derivadas del estudio, e incluso en estas la privacidad será mantenida.
3. Especifique quién tendrá acceso a los datos identificables de los sujetos
Sólo el investigador principal, los co-investigadores y la asistente de investigación tendrán acceso a los datos identificables.



CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR COMO SUJETO DE INVESTIGACION

Documento de consentimiento

Se le solicita su consentimiento para que usted participe 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 si desea participar. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACION

Investigador líder:

Dr Luis Enrique Succar Sucar
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
esucar@inaoep.mx
[Teléfono: 222 266 31 00 Ext. 8208](tel:2222663100ext8208)

Investigadores:

Dra. Delia Irazú Hernández Farias
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
dirazuhf@inaoep.mx
[Teléfono: 222 266 3100 Ext. 8323](tel:2222663100ext8323)

Dr. Jesús Joel Rivas
Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio
jjoelrivas@gmail.com

Lic. Miriam Enríquez Cuazitl
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
menriquezcuazitl@gmail.com

PROPOSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio de investigación es la creación de un corpus multimodal para el reconocimiento de 5 estados afectivos (aburrimiento, cansancio, ansiedad, frustración y motivación) utilizando 4 tipos de sensores: Espectroscopia funcional del infrarrojo cercano (fNIRS), Electroencefalograma (EEG), dos cámaras y una manija (hand-gripper) que incorpora un sensor de presión de los dedos. Los datos son adquiridos mientras el participante interactúa con un juego serio de la plataforma de rehabilitación Gesture Therapy (GT).

TEMAS

Requerimientos

Usted es elegible para participar en este estudio si cumple con:

- Ser una persona sana sin ningún tipo de discapacidad física y/o mental.
- Su edad es superior o igual a 18 años y menor o igual a 70, ya sea femenino o masculino.

Y no es elegible si:

- Ha consumido alcohol, estimulantes y otros estupefacientes, o tabaco en las 24 horas previas al estudio.
- Ha dormido menos de 6-8 horas.
- No acepta participar en el protocolo mediante su consentimiento informado.
- Decide abandonar en cualquier momento el estudio.

PROCEDIMIENTOS

Se llevará a cabo la creación de un conjunto de datos consistentes en señales eléctricas cerebrales (EEG), señales de cambio en la actividad hemodinámica (fNIRS), puntos característicos del rostro (medidas en distancia de los ojos, labios, ángulos de las cejas), movimiento de manos y presión de dedos. La finalidad de integrar todas estas señales tiene un papel importante en el estudio de los diferentes estados afectivos que se buscan inducir: las señales eléctricas cerebrales y las señales de cambio hemodinámicas se complementan de tal manera que se obtiene un mejor mapeo temporal y espacial de diversas áreas del cerebro relacionadas con las emociones, es decir, existe una mayor cantidad de datos en el tiempo y el área del cerebro que permitirá estudiar y comprender de una mejor manera la reacción cerebral del participante frente al juego. Los puntos característicos del rostro reflejan las diferentes expresiones que se generan en el participante de modo que aportan información visual útil para complementar las señales cerebrales. Por último y complementando las señales anteriores, el movimiento de las manos y la presión de dedos es un reflejo de cómo el participante reacciona directamente con el juego. Dichos datos serán asociados por el participante a cinco estados afectivos que serán inducidos mediante el uso de un juego serio empleando diferentes niveles de dificultad. Un juego serio es un videojuego que busca educar, entrenar o simular situaciones reales para poder alcanzar un objetivo específico. Por esta razón se utiliza un juego serio en lugar de un videojuego simple para inducir diferentes estados afectivos.

El juego que se empleará forma parte de la plataforma de rehabilitación virtual Gesture Therapy. Los pasos que se seguirán para la recolección de datos serán los siguientes: 1.-Explicar el objetivo, los criterios de exclusión y de inclusión del proyecto a los participantes. 2. Entregar el formato de consentimiento informado a participantes. 3.- Colocar los dispositivos de captura: EEG, fNIRS, computadora, cámara web, Tablet, hand-gripper y de gel en el participante. (Aprox. 30 minutos) 4.- Capturar los datos en el tiempo definido en el protocolo y realizar encuestas por parte del participante (Aprox. 15 minutos) 5.-Detener la captura de datos de EEG, fNIRS, videograbación y retirar los dispositivos del participante (Aprox 15 minutos).

RIESGOS E INCOMODIDADES

Dado que se colocarán sensores (EEG y fNIRS) en la cabeza del participante, esto podría implicar cierta incomodidad. Se les proveerá de los elementos para poder limpiarse después de terminada su participación (jabón y toalla). Es importante mencionar que todos los procedimientos antes mencionados para realizar la recolección de los datos son NO INVASIVOS. Sin embargo, debido a que la colocación de los



sensores conlleva un tiempo considerable, esto podría causar en usted algo de ansiedad.

Debido a que se busca inducir 5 estados afectivos y considerando que no se tiene un control total de la inducción de estos, lo anterior podría generar que el participante experimente otros estados afectivos diferentes a los propuestos que podrían incomodar al participante y entre los cuales podría estar la ansiedad.

Como todo sistema multimodal que implica la recolección de datos de diferentes sensores, pueden existir ciertos problemas técnicos entre los que se encuentran el fallo de algún sensor o computadora, el tiempo variable de la colocación de sensores del electroencefalograma (el cual siempre se buscará que sea el mínimo posible para evitar la incomodidad del participante) o el fallo del internet o de la electricidad. Sin embargo, se le asegurará al participante que cada uno de estos factores se revisará con el debido tiempo previo a la medición para evitar cualquier tipo de fallo inesperado que pueda causar que no se termine la medición en el tiempo estipulado.

BENEFICIOS

Beneficios de la Investigación

El proyecto se enmarca en el área de cómputo afectivo, aportando a la investigación en este campo mediante un corpus innovador ya que, a diferencia de los existentes, incluye: (i) varios sensores, abarcando señales neurológicas, expresiones faciales, movimiento y presión; (ii) se obtiene mientras los participantes interactúan con juegos serios, (iii) se enfoca a una población diferente a la mayor parte de los corpus existentes (se enfoca en latinoamericanos), (iv) recopila información de personalidad y otros aspectos de comportamiento humano, tales como escalas de motivación, espectro de autismo, entre otros, que son útiles para relacionar con las señales del cuerpo que sean obtenidas. Por lo que este proyecto implica una contribución a la comunidad de computación afectiva.

Beneficios a Otros y a la Sociedad

La información obtenida mediante este proyecto ayudará a desarrollar mejores sistemas de rehabilitación motriz que consideren el estado afectivo del paciente, lo que tendrá un impacto en la sociedad a mediano y largo plazo. Esto se logrará gracias a que se obtendrá información neurológica, de movimiento y de expresiones faciales en personas sanas que ayudará a tener un grupo de control para poder continuar con las investigaciones usando este sistema con un grupo mayor de personas incluyendo a aquellas que hayan sufrido eventos cerebrovasculares (ECV) para los cuales está diseñado el sistema de rehabilitación Gesture Therapy. Esta información puede no solo mejorar el sistema antes mencionado, sino que también podría proporcionarle información a los profesionales (con el uso de Gesture Therapy) para poder inducir ciertos estados afectivos en los pacientes que sean beneficiosos para hacer que la terapia física después de un ECV sea más positiva y que incentive a los pacientes para continuar en esta.

COMPENSACION

Compensación por la Participación

No habrá compensación directa. Su participación ayudará en la investigación de nuevas y mejores terapias de rehabilitación motriz. Los gastos de traslado correrán por cuenta del participante.

TERMINACION DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

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

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Los datos que se recopilarán serán señales eléctricas cerebrales (EEG), señales de cambio en la actividad hemodinámica (fNIRS), puntos característicos del rostro (medidas en distancia de los ojos, labios, ángulos de las cejas), movimiento de manos y presión de dedos.

Cada participante tendrá asignado su ID y sólo el ID será a lo que la comunidad científica tendrá acceso. Sólo el investigador principal, los co-investigadores y la asistente de investigación tendrán acceso total a los datos identificables (ID con la identificación del sujeto).

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar todos los datos que se obtengan serán **anonimizados** mediante el uso de un ID y nadie más que los investigadores principales y la asistente de investigación tendrá acceso a sus datos personales. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre su identidad, no será revelada por el equipo de investigación que tendrá acceso a los datos, sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad.

Respecto a los videos, se protegerá la identidad de los sujetos de prueba, publicando solamente los puntos característicos del rostro (medidas en distancia de los ojos, labios, ángulos de las cejas).

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos anonimizados para futuras investigaciones. Las hojas que incluyen los datos personales de los participantes se almacenarán por un periodo de 5 años en un archivero bajo llave, tras lo cual esta información será destruida. Por otro dato, los datos de las diferentes señales adquiridas, en forma anonimizada, serán almacenados indefinidamente para investigación científica. Podrán usarlo personas externas para fines de investigación, previa identificación y autorización por el INAOE.

Permiso para compartir datos con la audiencia en esta área

Pensando en los beneficios a la comunidad científica, el equipo de investigación probablemente en un futuro le gustaría compartir sus datos de señales eléctricas y



hemodinámicas cerebrales, movimiento de manos, presión de dedos, fotos y 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 señales eléctricas y hemodinámicas cerebrales, movimiento de manos, presión de dedos, y videos (sólo información de puntos característicos).

___ 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 PARTICIPACION VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en este estudio es voluntaria.** Usted puede suspender su participación en cualquier momento sin sanciones ni pérdida de beneficios a los que él o ella tendría derecho. Su decisión no afectará su relación futura con INAOE. 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. Este documento se le extenderá por duplicado por lo que se le entregará una copia de este.

Estoy de acuerdo en participar en el estudio.

Firma y nombre del participante

Fecha

Firma y nombre del investigador

Fecha

Apéndice D

Cuestionarios

Generación de un corpus multimodal de estados afectivos en un ambiente de juegos

Número de estudio: _____

Fecha: _____

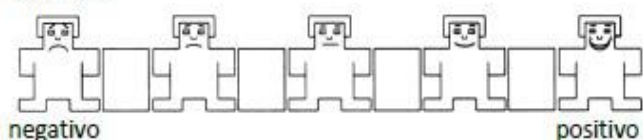
Participante No.: _____

Versión del documento: _____

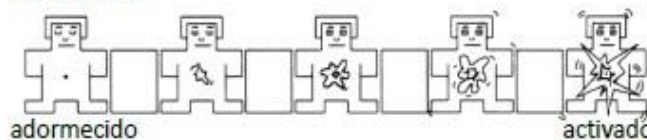
Fecha del documento: _____

Juego 1

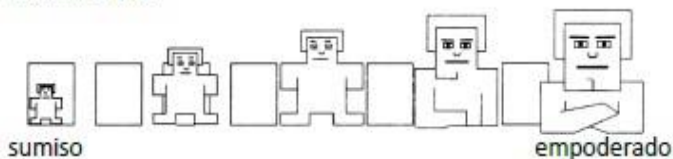
Valencia:



Activación:



Dominancia:

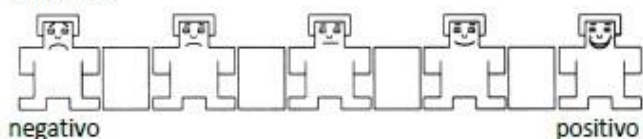


Escoja al menos una palabra para describir la emoción experimentada (pueden ser más de una). En los espacios en blanco de los incisos 6 y 7 puede señalar otra(s) palabra(s) para describir la emoción.

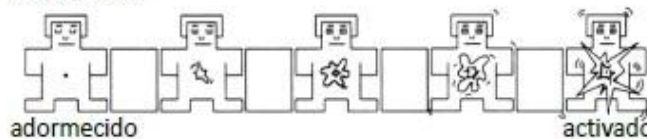
- ☐ 1. Aburrimiento ☐ 2. Cansancio ☐ 3. Frustración ☐ 4. Ansiedad
☐ 5. Motivación ☐ 6. _____ ☐ 7. _____

Juego 2

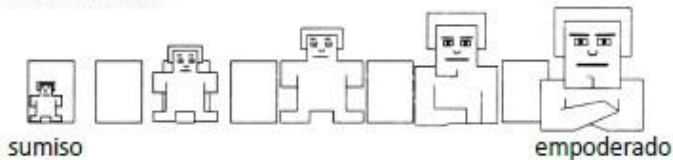
Valencia:



Activación:



Dominancia:



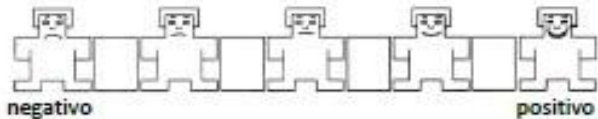
Escoja al menos una palabra para describir la emoción experimentada (pueden ser más de una). En los espacios en blanco de los incisos 6 y 7 puede señalar otra(s) palabra(s) para describir la emoción.

- ☐ 1. Aburrimiento ☐ 2. Cansancio ☐ 3. Frustración ☐ 4. Ansiedad
☐ 5. Motivación ☐ 6. _____ ☐ 7. _____

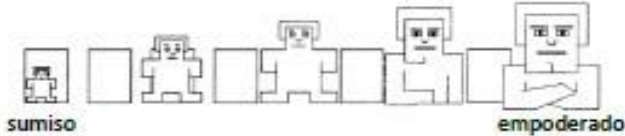
Generación de un corpus multimodal de estados afectivos en un ambiente de juegos

Juego 3

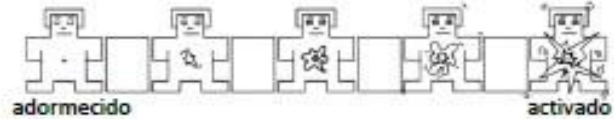
Valencia:



Dominancia:



Activación:

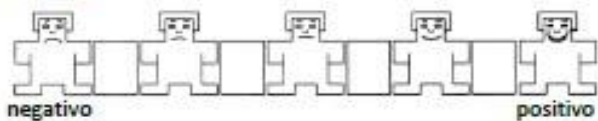


Escoja al menos una palabra para describir la emoción experimentada (pueden ser más de una). En los espacios en blanco de los incisos 6 y 7 puede señalar otra(s) palabra(s) para describir la emoción.

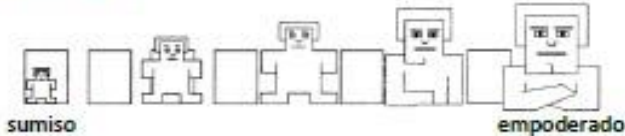
- ☐1.Aburrimiento ☐2.Cansancio ☐3.Frustración ☐4.Ansiedad
☐5.Motivación ☐6._____ ☐7._____

Juego 4

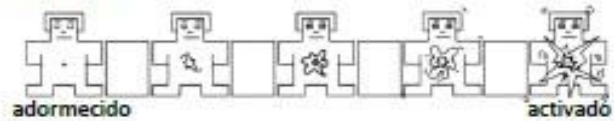
Valencia:



Dominancia:



Activación:



Escoja al menos una palabra para describir la emoción experimentada (pueden ser más de una). En los espacios en blanco de los incisos 6 y 7 puede señalar otra(s) palabra(s) para describir la emoción.

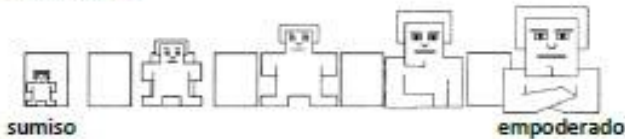
- ☐1.Aburrimiento ☐2.Cansancio ☐3.Frustración ☐4.Ansiedad
☐5.Motivación ☐6._____ ☐7._____

Juego 5

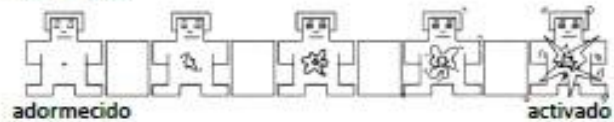
Valencia:



Dominancia:



Activación:



Escoja al menos una palabra para describir la emoción experimentada (pueden ser más de una). En los espacios en blanco de los incisos 6 y 7 puede señalar otra(s) palabra(s) para describir la emoción.

- ☐1.Aburrimiento ☐2.Cansancio ☐3.Frustración
☐4.Ansiedad ☐5.Motivación ☐6._____

Ten-Item Personality Inventory (TIPI)

Número de estudio: _____

Fecha: _____

Participante No.: _____

Versión del documento: _____

Fecha del documento: _____

Instrucciones: A continuación se presentan una serie de rasgos de personalidad que puede que le describan a usted en mayor o menor medida. Por favor, escoja sólo uno entre los números que están colocados del lado derecho de cada afirmación, marcando con una equis minúscula, 'x', sobre el número, para indicar en qué medida esta de acuerdo o en desacuerdo con la afirmación. Debe indicar en qué medida alguno de los términos de cada par de rasgos se aplica a usted, incluso aunque alguna de las dos características le refleje mejor que la otra.

		Completamente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Un poco de acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Un poco en desacuerdo	Bastante en desacuerdo	Completamente en desacuerdo
Me veo como alguien:		Puntaje						
1	Extrovertido, entusiasta	7	6	5	4	3	2	1
2	Crítico, combativo	7	6	5	4	3	2	1
3	Fiable, auto-disciplinado	7	6	5	4	3	2	1
4	Ansioso, fácilmente alterable	7	6	5	4	3	2	1
5	Abierto a experiencias nuevas, polifacético	7	6	5	4	3	2	1
6	Reservado, callado	7	6	5	4	3	2	1
7	Comprensivo, afectuoso	7	6	5	4	3	2	1
8	Desorganizado, descuidado	7	6	5	4	3	2	1
9	Sereno, emocionalmente estable	7	6	5	4	3	2	1
10	Convencional, poco imaginativo	7	6	5	4	3	2	1

Nota: Las siguientes secciones están reservadas para ser llenadas por los investigadores.

Puntaje TIPI:

N=	E=	O=	A=	C=
----	----	----	----	----

Puntaje 25-Items:

N=	E=	O=	A=	C=
----	----	----	----	----

Puntaje distribución normal 25-Items:

N=	E=	O=	A=	C=
----	----	----	----	----

The Big Five Locator

Instrucciones: En cada una de las escalas que se te presentan a continuación, indica, marcando con una equis minúscula, 'x', sobre el número, cuál de los puntos es generalmente el que mejor te describe. Si los dos términos son igualmente descriptivos, marca el punto medio.

No	Descriptor	Puntaje					Descriptor
1	Ansioso	5	4	3	2	1	Calmado
2	Preferencia a estar en compañía de otras personas	5	4	3	2	1	Prefiere estar solo
3	Soñador	5	4	3	2	1	Realista
4	Cortés	5	4	3	2	1	Brusco
5	Pulcro	5	4	3	2	1	Desordenado
6	Cauteloso	5	4	3	2	1	Confiado
7	Optimista	5	4	3	2	1	Pesimista
8	Teórico	5	4	3	2	1	Práctico
9	Generoso	5	4	3	2	1	Egoísta
10	Decisivo	5	4	3	2	1	Abierto
11	Desanimado	5	4	3	2	1	Optimista
12	Exhibicionista	5	4	3	2	1	Privado
13	Sigue a la imaginación	5	4	3	2	1	Sigue a la autoridad
14	Cálido	5	4	3	2	1	Frío
15	Permanece focalizado	5	4	3	2	1	Fácilmente distraible
16	Fácilmente avergonzado	5	4	3	2	1	Difícil de avergonzar
17	Sociable	5	4	3	2	1	Introverso
18	Busca la novedad	5	4	3	2	1	Busca la rutina
19	Participa en equipo	5	4	3	2	1	Independiente
20	Preferencia por el orden	5	4	3	2	1	A gusto con el caos
21	Distraído	5	4	3	2	1	Enfocado
22	Conversador	5	4	3	2	1	Pensativo
23	Confortable con la ambigüedad	5	4	3	2	1	Prefiere cosas claramente definidas
24	Confiado	5	4	3	2	1	Escéptico
25	A tiempo	5	4	3	2	1	Aplaza

Nota: Las siguientes secciones están reservadas para ser llenadas por los investigadores.

Puntaje:

N=	E=	O=	A=	C=
Puntaje distribución normal:				
N=	E=	O=	A=	C=



COCIENTE DEL ESPECTRO AUTISTA (AQ)

Número de estudio: _____

Fecha: _____

Participante No.: _____

Versión del documento: _____

Fecha del documento: _____

Instrucciones: En cada enunciado, marca con una equis (x) cuál de las diferentes escalas es el que mejor te describe.

		Acuerdo Total	Acuerdo Parcial	Desacuerdo Parcial	Desacuerdo Total
1	Prefiero hacer cosas con otras personas en lugar de hacerlas solo.				
2	Prefiero hacer las cosas de la misma manera una y otra vez.				
3	Si intento imaginar algo me es muy fácil construir una imagen en mi mente.				
4	Con frecuencia me quedo tan profundamente absorto en un tema que pierdo de vista todo lo demás.				
5	A menudo percibo ligeros sonidos que los demás no aprecian.				
6	A menudo me fijo en las matrículas de los coches u otras cadenas de información similares.				
7	A menudo otras personas me comentan que lo que he dicho es de mala educación, a pesar de que a mí no me lo parece.				
8	Cuando leo un relato puedo imaginarme con claridad cómo podrían ser los personajes.				
9	Me fascinan las fechas.				
10	En un grupo social puedo llevar con facilidad el hilo de las diferentes conversaciones de la gente.				
		Acuerdo Total	Acuerdo Parcial	Desacuerdo Parcial	Desacuerdo Total
11	Me encuentro cómodo en las situaciones sociales.				
12	Suelo darme cuenta de detalles que otras personas pasan por alto.				
13	Prefiero antes ir a una biblioteca que a una fiesta.				
14	Me resulta fácil inventarme historias.				
15	Me siento más atraído por las personas que por las cosas.				
16	Tiendo a tener intereses muy intensos y me molesto si no los puedo ejercer.				
17	Me gustan las conversaciones no edificantes				
18	Cuando hablo no siempre es fácil para los demás intervenir				
19	Me fascinan los números.				
20	Cuando leo novelas encuentro difícil entender las intenciones de los personajes.				



		Acuerdo Total	Acuerdo Parcial	Desacuerdo Parcial	Desacuerdo Total
21	No me gusta especialmente leer novelas.				
22	Encuentro difícil hacer nuevos amigos.				
23	Continuamente me doy cuenta de patrones en las cosas.				
24	Prefiero ir antes al teatro que a un museo.				
25	No me molesta que mi rutina diaria sea interrumpida.				
26	A menudo me ocurre que no se como mantener una conversación.				
27	Encuentro fácil "leer entre líneas" cuando alguien me habla.				
28	Suelo concentrarme más en la visión general que en los pequeños detalles.				
29	No soy bueno recordando números de teléfono.				
30	Normalmente no observo los pequeños detalles de una situación o de la apariencia de una persona.				
		Acuerdo Total	Acuerdo Parcial	Desacuerdo Parcial	Desacuerdo Total
31	Soy capaz de darme cuenta si una persona que me está escuchando se aburre.				
32	Encuentro fácil hacer más de una cosa a la vez.				
33	Al hablar por teléfono no estoy seguro de cuando es mi turno para hablar.				
34	Me gusta hacer cosas de forma espontánea.				
35	A menudo soy el último en entender la gracia de un chiste.				
36	Encuentro fácil adivinar lo que una persona está pensando o sintiendo simplemente mirando a su cara.				
37	En caso de ser interrumpido puedo volver a lo que estaba haciendo de forma muy rápida.				
38	Soy bueno(a) participando en conversaciones no edificantes				
39	La gente a menudo me dice que vuelvo una y otra vez sobre el mismo tema.				
40	En mi infancia me gustaba jugar a fingir o simular con otros niños.				
		Acuerdo Total	Acuerdo Parcial	Desacuerdo Parcial	Desacuerdo Total
41	Me gusta coleccionar información sobre categorías de cosas (por ejemplo tipos de coches, pájaros, trenes, plantas, etc.).				
42	Me cuesta imaginarme cómo me sentiría siendo otra persona.				
43	Me gusta planear con cuidado todas las actividades en las que participo.				
44	Me gustan las ocasiones sociales.				
45	Encuentro difícil adivinar las intenciones de las otras personas.				
46	Las situaciones nuevas me generan ansiedad.				
47	Me gusta conocer a gente nueva.				
48	Soy un buen diplomático.				
49	No soy bueno recordando las fechas de nacimiento de la gente.				
50	Encuentro muy fácil jugar con niños a juegos que implican fingir o simular.				

Apéndice E

Toma de Datos

El protocolo seguido para tomar los datos de cada participante se resume a continuación:

1. Preparar todas las encuestas y formatos de consentimiento e información para la toma de datos.
2. Colocar el gel conductor para el EEG en jeringas para su posterior aplicación.
3. Recibir al participante en el Laboratorio de Bioseñales.
4. Explicar el objetivo, los criterios de exclusión y de inclusión del proyecto a los participantes. Se entiende por 'participante' como el sujeto de prueba de quién se le recolectarán los datos.
5. Entregar el formato de consentimiento informado a participantes, verificar que lo lean y comprendan, y finalmente que lo firmen.
6. Tener preparados los dispositivos de captura de información (EEG, fNIRS, *gripper*, cámaras) en en paralelo informar al participante sobre los detalles del estudio para su consentimiento informado. (Aprox. 10 minutos)
7. Colocar los dispositivos de captura y de gel en el participante (Aprox. 30-40 minutos). El gel conductor hidrosoluble se pondrá sobre la cabeza del participante para asegurar que los electrodos del EEG hagan una correcta adherencia a la piel y así facilitar la transferencia de las señales.
8. Capturar los datos en el tiempo definido en el protocolo. Realizar encuestas por parte del participante (Aprox. 15 minutos).

Apéndice E Toma de Datos

9. Detener la captura de datos de EEG, fNIRS, videograbación y retirar los dispositivos del participante (Aprox 15 minutos)
10. Proporcionar shampoo al participante. El shampoo será necesario para la correcta eliminación del gel conductor del cabello del participante y así evitar posibles incomodidades.
11. Despedir y agradecer al participante por su participación.

E.0.1. Juegos serios

La definición de un juego serio tiene su origen en el año 1970. Clark Abt menciona que existen ciertos juegos, por ejemplo juegos de mesa, cuyo objetivo podría ser mucho más que el simple entretenimiento y los cuales podrían utilizarse con fines educativos planteados con claridad [116, 117].

Un juego serio se puede definir como un videojuego mediante el cual se crean entornos de aprendizaje que simulen problemas reales los cuales tienen por objetivo que permitan al usuario ensayar y examinar diversas soluciones a los problemas que fueron planteados descubriendo además información y conocimientos para realizar intervenciones sin miedo a errar y también evitando que el usuario experimente una simulación de la realidad sin riesgos tales como accidentes [117].

Entre los beneficios que tienen los juegos serios se encuentra que contribuyen a la mejora de la agudeza visual, rapidez de reacción y la capacidad de atención múltiple desarrollando de esta manera la coordinación ojo-mano. Sumado a todo lo anterior, aumenta la tolerancia a la frustración, beneficia la capacidad que se tiene para tomar riesgos, existe una mejor resolución de problemas tomando mejores decisiones [118, 119].

Apéndice F

Gesture Therapy

Gesture Therapy es una terapia de rehabilitación enfocada en miembros superiores para personas que han sufrido accidentes cerebro vasculares. La rehabilitación motora que se efectúa a través de juegos serios, invita a los pacientes a realizar actividades cotidianas para mejorar gradualmente el movimiento del miembro superior [120]. Esta plataforma de terapia de rehabilitación de miembros superiores incluye varios juegos serios que tienen por objetivo que el paciente realice ejercicios funcionales que permitan ejercitar y recuperar la fuerza en el brazo y en la mano, y al mismo tiempo, presentar situaciones cotidianas como jugar al baloncesto, ir de compras al supermercado, apretar la tuerca de la llanta de un carro o matar avispas para lograr también una motivación inherente del paciente hacia la terapia de rehabilitación y finalmente que se recupere una mayor movilidad en la extremidad superior.

Es importante mencionar que para poder interactuar con los diferentes juegos serios que *Gesture Therapy* incluye, un sensor ha sido especialmente diseñado y es conocido como *gripper* ó *handgripper* (Véase las Figuras F.1 y F.2). El *gripper* incluye una esfera en la parte superior para el seguimiento y un sensor de presión en el mango para captar la presión de las manos y los dedos. El *gripper* está diseñado para que el sistema *Gesture Therapy* lo reconozca y de esta manera pueda calibrarse para comenzar a jugar. Es importante mencionar que un sistema de visión artificial rastrea la ubicación (x,y,z) de la pinza para determinar los movimientos del brazo y el sensor de presión permite ejercitar los dedos [120]. El sensor de presión proporciona una cantidad digital que es proporcional a la fuerza de agarre del paciente y esta información se utiliza en algunos de los juegos [121].



Figura F.1: Gripper: Este sensor tiene una bola verde que sirve para estimar la posición de la mano del paciente a través de una cámara y también se incorpora un sensor de presión que tiene diversas funciones en los juegos.



Figura F.2: Una persona interactuando con el juego serio con el *gripper*. Además se pueden ver los sensores (EEG y fNIRS) colocados en la cabeza de la persona.

F.1. Configuración de EEG y fNIRS

En esta etapa, se diseñó la configuración para colocar los electrodos del EEG y óptodos del fNIRS. Las zonas cerebrales que fueron consideradas

para este proyecto son el lóbulo frontal, temporal y parietal. La configuración integrada de fNIRS y EEG se puede visualizar en las Figuras F.3 y F.4. Este arreglo fue montado en una gorra de la marca **g.tec** la cual permitía que tanto los electrodos del EEG como los óptodos del fNIRS fueran colocados al mismo tiempo. Para abarcar todas las zonas del cerebro propuestas, se eligió utilizar 29 canales del EEG (exceptuando los electrodos 12 y 22) mientras que para el fNIRS se eligió utilizar 16 fuentes y 8 detectores. Los canales elegidos para el EEG (en el formato 10-20) fueron los siguientes: Fpz, Fp1, Fp2, AF7, AF8, Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6, FT7, FT8, FCz, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, Cz, C1, C2, C3, C4, C5, C6, CP1 y CP2.

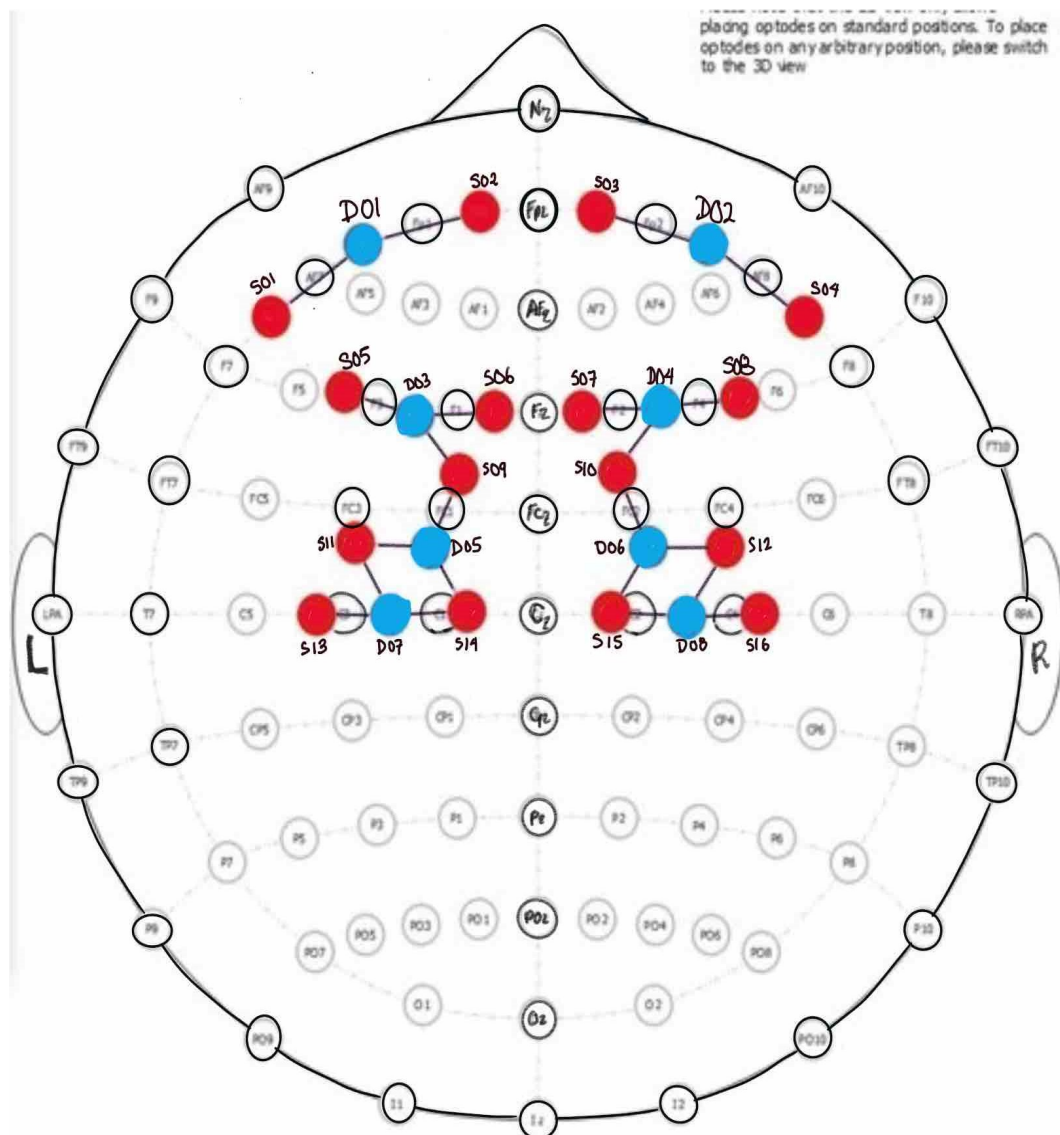


Figura F.3: Zonas cerebrales y fNIRS: Los puntos rojos marcan las fuentes del fNIRS mientras que los puntos azules marcan los detectores. En total hay 16 fuentes y 8 detectores.

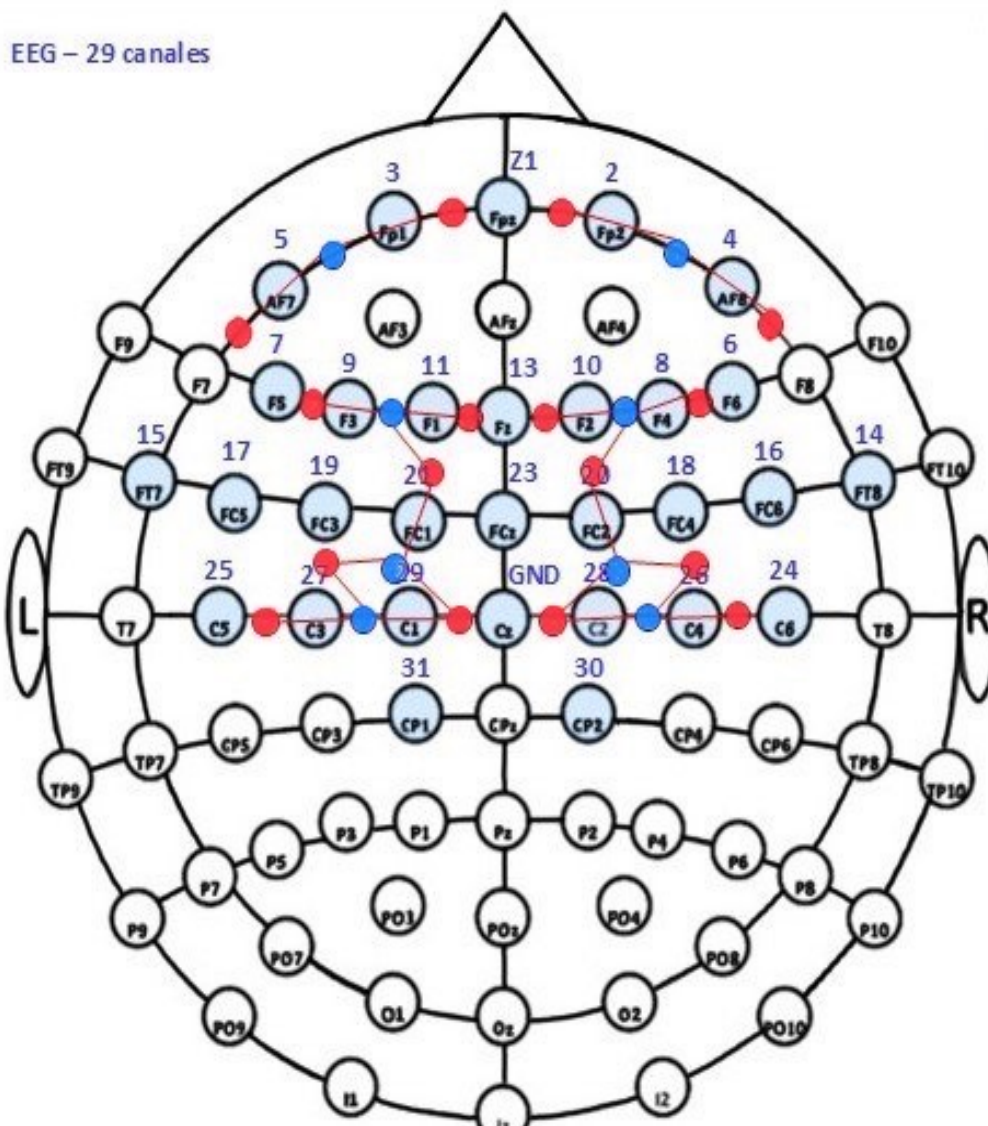


Figura F.4: EEG y fNIRS: En esta imagen se ven integrados los puntos que corresponden al fNIRS y al EEG los cuales abarcan todos los puntos de color azul cielo que están enumerados del número z1 al número 31. En total hay 29 canales.

Apéndice G

Resultados

En este apéndice se presentarán los resultados de los sujetos 10, 11 y 12 para el Electroencefalograma (EEG), Espectroscopia Funcional de Infrarrojo Cercano (fNIRS), Movimiento de manos y presión de manos.

G.1. Resultados de EEG

Sujeto 10

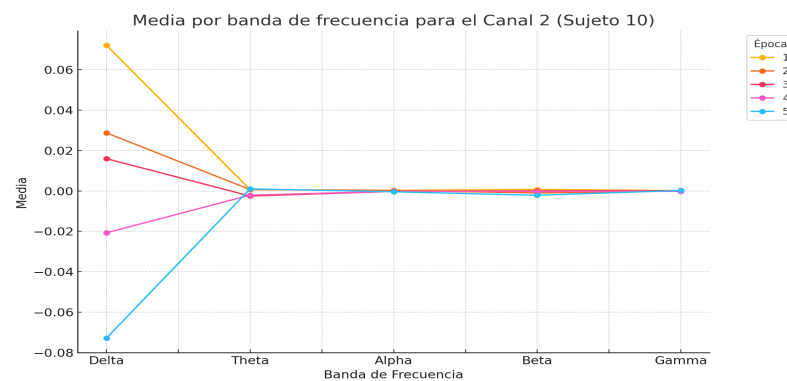


Figura G.1: Resultados de la media para el canal 2, del sujeto 10 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.1 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** La época 1 Tiene el valor más alto ($\sim 0,07$), indicando una fuerte presencia de actividad Delta. Las épocas 2 y 3 también son positivas ($\sim 0,03$ y $\sim 0,015$), aunque son menores que la época 1. La época 4 es Ligeramente negativa (~ -0.02). Por último, la época 5 es claramente negativa ($\sim -0,075$), opuesta a la época 1.

Apéndice G Resultados

- *Theta*: Cuenta con valores muy cercanos a cero en todas las épocas. Hay pequeñas diferencias, sin cambios notables.
- *Alpha*, *Beta*, *Gamma*: Todas las bandas muestran valores muy bajos, casi nulos, sin cambios significativos entre épocas.

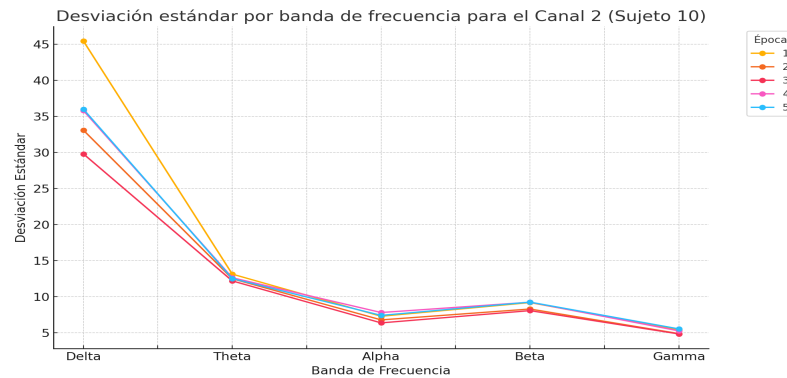


Figura G.2: Resultados de la desviación estándar para el canal 2, del sujeto 10 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.2 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: La desviación estándar más alta ocurre en esta banda, especialmente en Época 1 de (~ 45) lo que implica muy alta variabilidad. Las épocas 2, 4, 5 también cuentan con desviaciones altas ($\sim 30-36$). Mientras que la época 3 tiene una desviación estándar un poco más baja (~ 30), pero aún elevada.
- *Theta*: En esta banda existe mucha menor variabilidad ($\sim 12-13$) por lo que es relativamente estable entre épocas.
- *Alpha*, *Beta*, *Gamma*: Existe una desviación estándar baja ya que *Alpha* se encuentra entre $\sim 6,5$ y 8 , mientras que *Beta* se encuentra entre valores de ~ 8 y $9,5$. Por último, *Gamma* los valores más bajos de todas las bandas ($\sim 5-5,5$).

Apéndice G Resultados

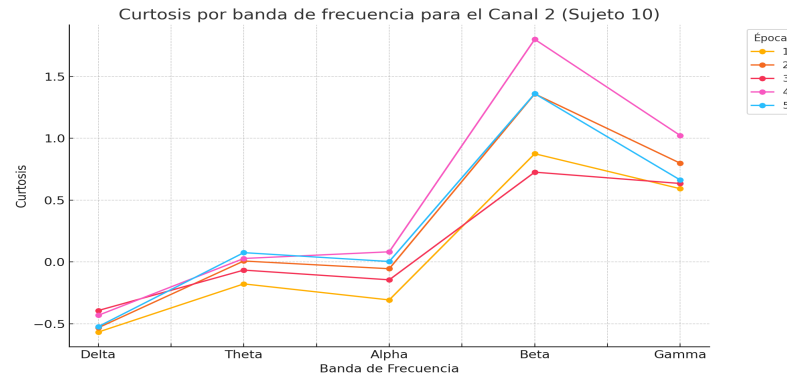


Figura G.3: Resultados de la curtosis para el canal 2, del sujeto 10 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.3 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Todas las épocas tienen curtosis negativa (~ -0.52 a -0.35). Esto indica que la actividad en *Delta* tiene una distribución más plana que una normal por lo tanto, hay menos eventos extremos.
- **Theta:** Existen valores de curtosis alrededor de ($\sim -0,3 - 0,1$).
- **Alpha:** Se presentan valores ligeramente negativos en todas las épocas ($\sim -0.4-0.1$).
- **Beta:** Existen aumentos importantes en la curtosis. En la época 4 hay valores mayores a 1.7, lo que significa que, a mayor curtosis hay más picos/extremos. En la época 5 existe un valor de $\sim 1,3$. En las épocas 1 y 2 existen valores de entre $\sim 0.8-0.9$. Por último, en la época 3 el valor de la curtosis es de $\sim 0,7$.
- **Gamma:** Todas las épocas muestran curtosis positiva ($\sim 0.6-1.0$). También una tendencia a picos o eventos extremos, aunque menos pronunciado que en *Beta*.

Apéndice G Resultados

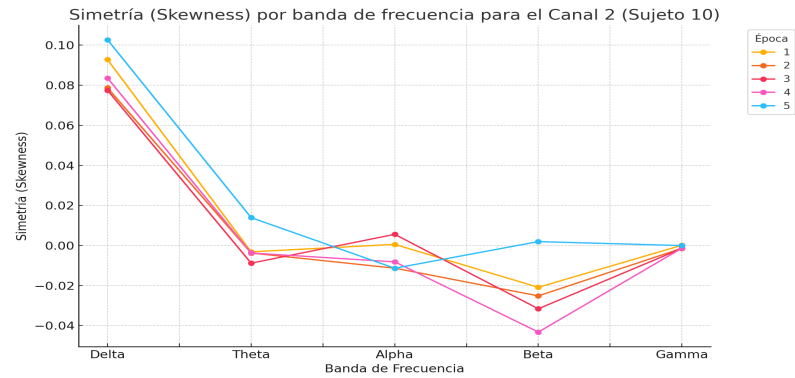


Figura G.4: Resultados de la asimetría para el canal 2, del sujeto 10 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.4 se puede observar para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: Todas las épocas muestran asimetría positiva (~ 0.08 – 0.10).
- *Theta*: Valores cercanos a 0 o levemente negativos (~ -0.01).
- *Alpha*: Oscila entre -0.01 y 0.01 (muy cerca de cero).
- *Beta*: Aquí se observa mayor variación. La época 4 tiene asimetría negativa pronunciada (~ -0.045). Las demás épocas oscilan entre -0.03 y 0.01 .
- *Gamma*: Todas las épocas tienen asimetría aproximadamente 0. Existe una distribución totalmente simétrica.

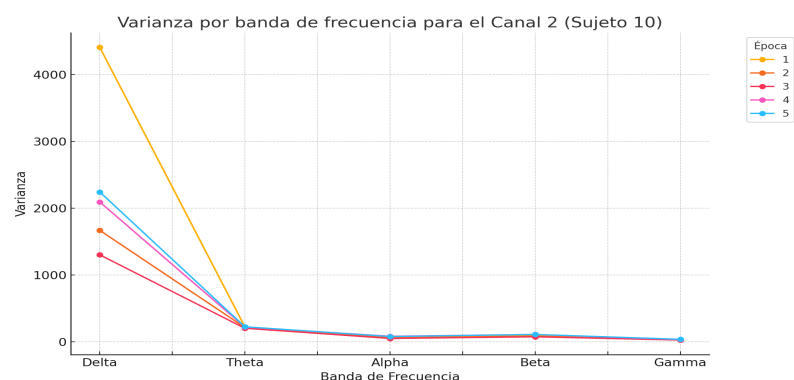


Figura G.5: Resultados de la varianza para el canal 2, del sujeto 10 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

Apéndice G Resultados

De la Figura G.5 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: Suele presentar la varianza más alta, se encuentra entre 1000-4500.
- *Theta*: Existe una varianza moderada ya que no hay cambios significativos ó abruptos. Valores de ~ 150 .
- *Alpha*: La varianza es cercana a cero.
- *Beta*: La varianza es baja cercana a cero.
- *Gamma*: La varianza es normalmente más baja igual a cero.

Sujeto 11

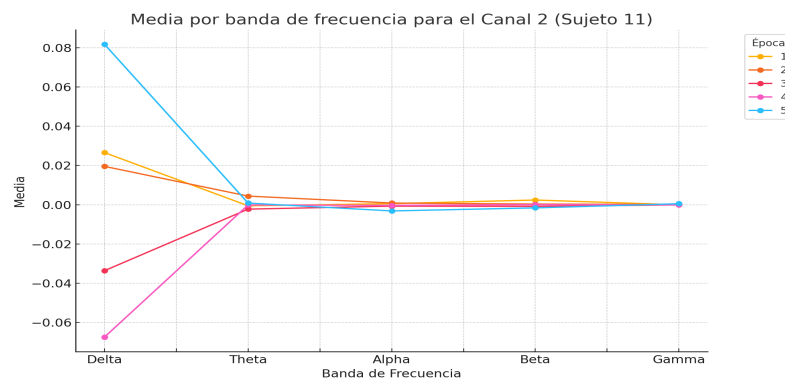


Figura G.6: Resultados de la media para el canal 2, del sujeto 11 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.6 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: Es la banda que tiene más variaciones. La época 5 tiene la media más alta ($\sim 0,082$). Las épocas 1 y 2 también muestran valores positivos, pero más bajos ($\sim 0.02-0.03$). Mientras que las épocas 3 y 4 muestran valores negativos, siendo que la época 4 es la más baja (~ -0.065).
- *Theta*: Todas las épocas se agrupan cerca del cero. Se presentan pequeñas diferencias pero sin un patrón destacado.

Apéndice G Resultados

- *Alpha, Beta, Gamma*: Todas las bandas muestran valores cercanos a cero en todas las épocas. Existe muy poca diferencia entre épocas.

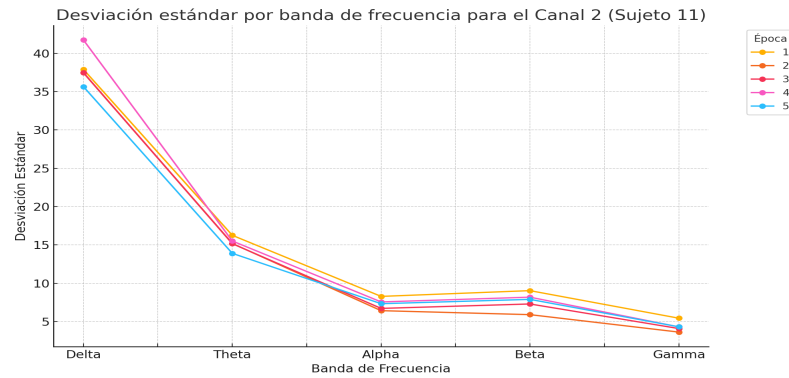


Figura G.7: Resultados de la desviación estándar para el canal 2, del sujeto 11 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.7 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: Tiene la desviación estándar más alta en todas las épocas. La época 4 es la que muestra el valor más alto (~ 42), seguida por las épocas 1–3 (~ 37 – 38). La época 5 tiene el valor más bajo, pero aún considerable (~ 36).
- *Theta*: Los valores de desviación estándar varían entre ~ 14 y 17 .
- *Alpha*: La disminución de los valores de desviación son claros en todas las épocas (~ 6.5 a 8). La época 3 tiene la desviación más baja (~ 6.6).
- *Beta*: Todas las épocas tienen desviación estándar intermedia (~ 7 – 9). La época 1 muestra la mayor variabilidad en esta banda (~ 9).
- *Gamma*: Es la banda con menor desviación estándar (~ 4 – 5.5). La época 1 presenta el valor más alto (~ 5.7), mientras que la época 2 el más bajo (~ 4).

Apéndice G Resultados

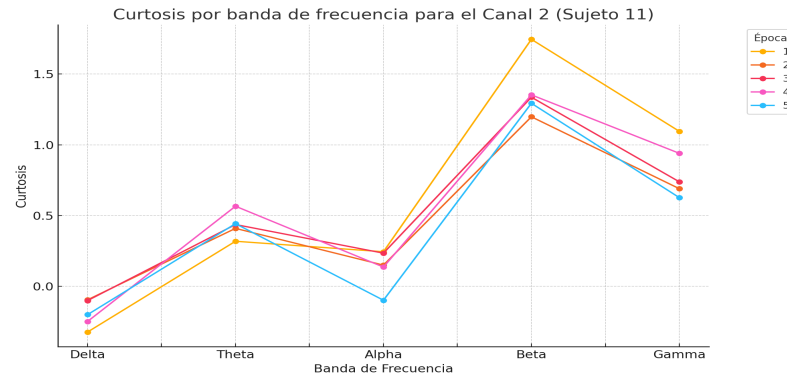


Figura G.8: Resultados de la curtosis para el canal 2, del sujeto 11 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

En la Figura G.8 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** La curtosis en esta banda es cercana a 0 o negativa en todas las épocas (~ -0.3 a -0.05). La época 1 tiene la curtosis más baja (~ -0.3).
- **Theta:** La curtosis es moderadamente positiva (~ 0.3 – 0.6). En la época 4 es el valor de curtosis es el más alto (~ 0.6).
- **Alpha:** La curtosis tiene valores positivos bajos en la mayoría de las épocas. Sólo en la época 5 hay un valor negativo ~ -0.1 .
- **Beta:** Aquí se observa la mayor curtosis de todas las bandas específicamente en la época 1 cuyo valor es ~ 1.75 (la más alta). También en las épocas 2,3,4 y 5 se presentan valores altos (~ 1.3 – 1.4).
- **Gamma:** Existe una curtosis positiva moderada (~ 0.6 – 1.1). La época 1 tiene el valor más alto (~ 1.1).

Apéndice G Resultados

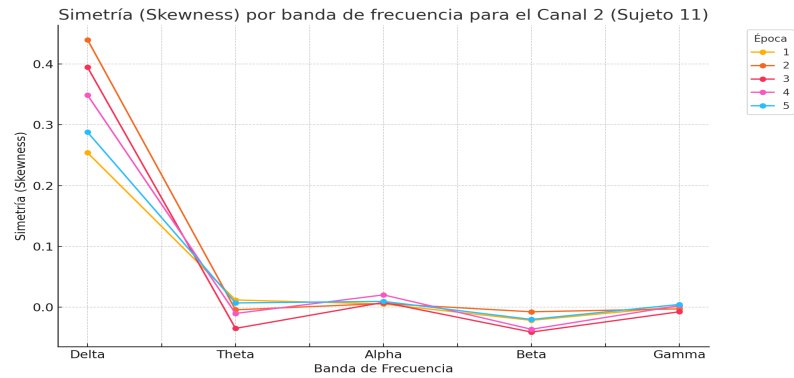


Figura G.9: Resultados de la asimetría para el canal 2, del sujeto 11 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.9 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- Existe una asimetría positiva en *Delta*: Todas las épocas muestran valores positivos de asimetría en *Delta*, con valores entre 0.25-0.45. Esto indica una distribución con cola hacia la derecha, sugiriendo que hay más eventos de alta amplitud que superan el valor medio.
- Disminución marcada hacia *Theta*: Existe una caída pronunciada de la asimetría al pasar de *Delta* a *Theta*, donde los valores se acercan a cero o incluso se vuelven ligeramente negativos para algunas épocas por ejemplo, en la época 3.
- *Beta*: Los valores de asimetría se aproximan mucho a cero para todas las épocas, pero algunas otras épocas como la época 4 tienen valores negativos.
- Ligeras fluctuaciones en *Alpha-Gamma*: Aunque cercanos a cero, se observan pequeñas oscilaciones entre valores positivos y negativos en estas bandas, particularmente en *Beta* donde hay una ligera tendencia hacia valores negativos.

Apéndice G Resultados

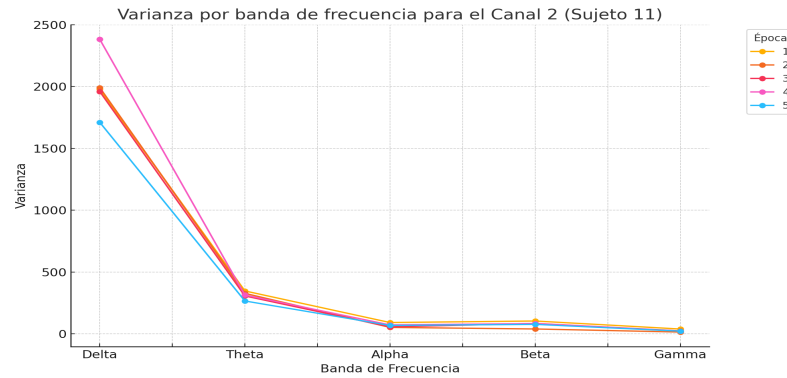


Figura G.10: Resultados de la varianza para el canal 2, del sujeto 11 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

De la Figura G.10 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- Mayor varianza en la banda *Delta*: Todas las épocas muestran una varianza notablemente alta en la banda con valores que oscilan entre los 1700-2400. Esto sugiere una actividad de ondas lentas muy prominente y variable.
- Disminución progresiva en *Theta*: Se observa una disminución marcada de la varianza conforme aumenta la frecuencia, con una caída pronunciada entre *Delta* y *Theta* ya que estos valores caen a aproximadamente 250.
- Diferencias entre épocas: La época 4 muestra la mayor varianza en *Delta*, mientras que la época 5 presenta los valores más bajos en esta banda, lo que indica cambios temporales en la actividad cerebral.
- Convergencia en frecuencias altas: En las bandas *Alpha*, *Beta* y *Gamma*, las varianzas de todas las épocas convergen a valores bajos (cerca de cero).

Sujeto 12

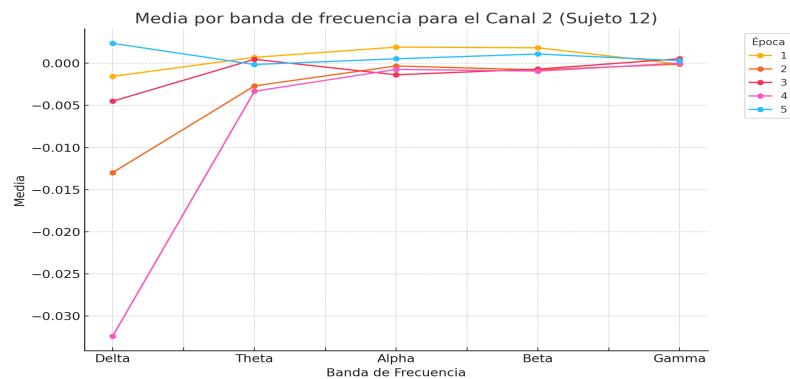


Figura G.11: Resultados de la media para el canal 2, del sujeto 12 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

En la Figura G.11 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- *Delta*: Época 4 presenta la media más baja (~ -0.031), indicando una disminución importante en esta banda. La época 2 también es negativa (~ -0.013). Mientras que en la época 5 se obtiene el valor más alto de media ($\sim +0.003$).
- *Theta*: Todas las épocas están cerca de 0, pero con ligera tendencia positiva en las Épocas 1 y 3. Mientras que las Épocas 4 y 2 tienen valores negativos (~ -0.0035).
- *Alpha, Beta, Gamma*: Estas bandas muestran valores muy cercanos a cero para todas las épocas. Se presentan ligeras variaciones entre épocas, pero sin grandes diferencias.

Apéndice G Resultados

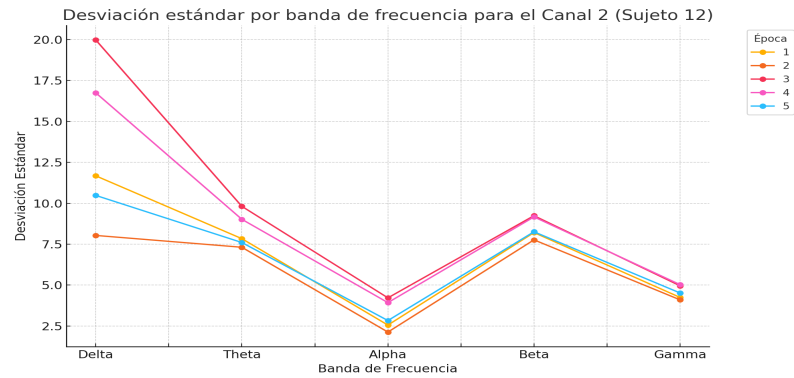


Figura G.12: Resultados de la varianza para el canal 2, del sujeto 12 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

En la Figura G.12 se puede visualizar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** La desviación más alta en todas las bandas. La época 3 tiene un pico muy marcado (~ 20), seguida por la Época 4 con un valor de (~ 17). La época 2 tiene la desviación más baja con un valor de (~ 8).
- **Theta:** Existe una desviación media de ($\sim 7-10$). Las épocas 3 y 4 muestran los valores de desviación estándar más altos (~ 10 y ~ 9), mientras que las demás épocas están entre 7–8.
- **Alpha:** En esta banda se muestran valores de desviación más bajos de todas las bandas (~ 2.3 a ~ 4.3). La época 3 sigue mostrando el valor más alto (~ 4.3).
- **Beta:** Los valores presentan un aumento y varían entre ~ 7.6 y ~ 9.3 . En las épocas 3 y 4 se elevan más los valores en comparación las otras bandas.
- **Gamma:** Los valores caen y se encuentran en (~ 4 a ~ 5). La época 4 presenta el valor más alto (~ 5).

Apéndice G Resultados

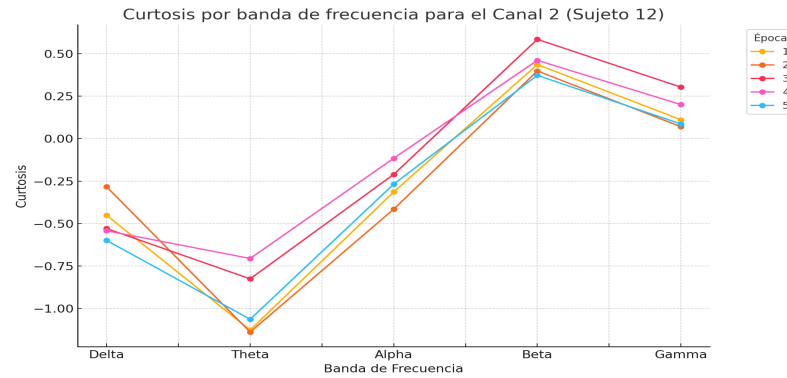


Figura G.13: Resultados de la curtosis para el canal 2, del sujeto 12 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

En la Figura G.13 se puede visualizar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Existen valores de curtosis negativos en todas las épocas (~ -0.25 a -0.55).
- **Theta:** La curtosis cae a valores más negativos para todas las épocas (~ -0.7 a -1.1), especialmente en las épocas 1 y 2.
- **Alpha:** La curtosis escala a valores más altos y tiene valores cerca de cero negativos (~ -0.45 a 0.0).
- **Beta:** La curtosis es positiva en todas las épocas (~ 0.35 a 0.55), especialmente en la Época 3. Esta época presenta el valor más alto de curtosis de todos.
- **Gamma:** La curtosis tiene valores levemente positivos (~ 0.1 a 0.3).

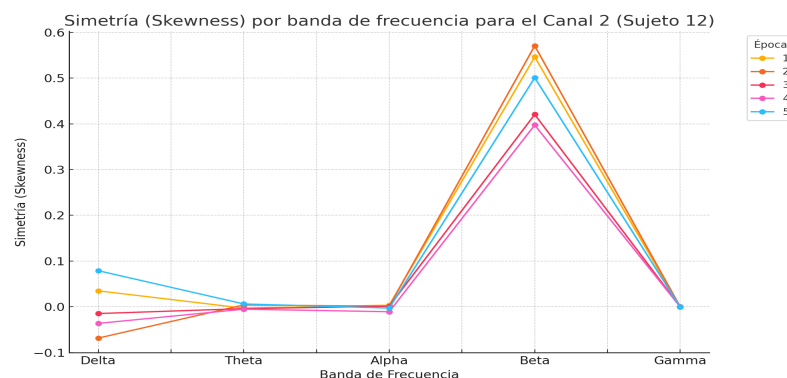


Figura G.14: Resultados de la asimetría para el canal 2, del sujeto 12 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

Apéndice G Resultados

En la Figura G.14 se puede visualizar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** La asimetría esta entre valores de ~ -0.07 (época 2) y $\sim +0.08$ (época 5).
- **Theta:** La asimetría es ~ 0 en todas las épocas. La distribución esta bien balanceada por lo que puede significar una señal estable y simétrica, sin presencia de valores atípicos predominantes.
- **Alpha:** Hay valores muy pequeños y casi iguales a cero (~ 0.00 a -0.01).
- **Beta:** La asimetría presenta valores claramente positivos en todas las épocas, Estos valores van desde ~ 0.40 a ~ 0.57 , siendo más alto en las épocas 1 y 2.
- **Gamma:** La asimetría es muy cercana a cero en todas las épocas.

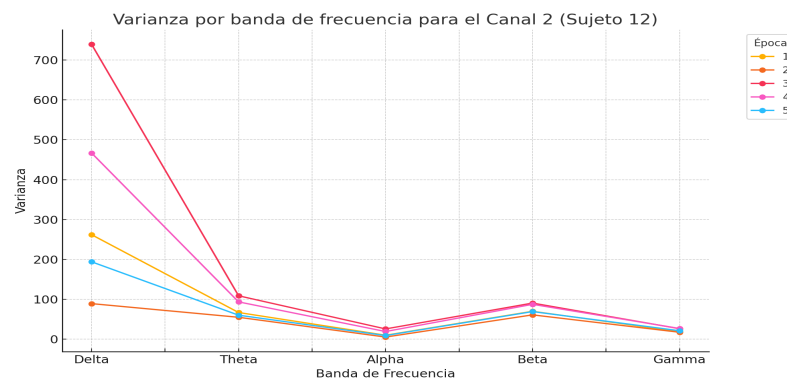


Figura G.15: Resultados de la varianza para el canal 2, del sujeto 12 con respecto a las diferentes bandas de frecuencia cerebrales para cada época.

En la Figura G.15 se puede observar que para las diferentes épocas y frecuencias que:

- **Delta:** Tiene la varianza más alta en todas las épocas. La época 3 se destaca con un valor muy alto (~ 740). Mientras que las épocas 1, 4 y 5 presentan valores intermedios ($\sim 200-460$). Por último, la época 2 tiene el valor más bajo (~ 90).
- **Theta:** Es la segunda banda con mayor varianza ($\sim 55-110$). Las épocas 3 y 4 muestran los valores más altos.

- *Alpha*: La varianza cae y presenta valores bajos en todas las épocas ($\sim 10\text{--}30$). La época 3 sigue mostrando el valor más alto.
- *Beta*: La Varianza presenta valores de entre ($\sim 50\text{--}90$). Las épocas 3 y 4 presentan los valores más altos.
- *Gamma*: La varianza cae y tiene valores de ($\sim 20\text{--}30$) todas las épocas.

G.2. Resultados de fNIRS

G.2.1. Sujeto 10

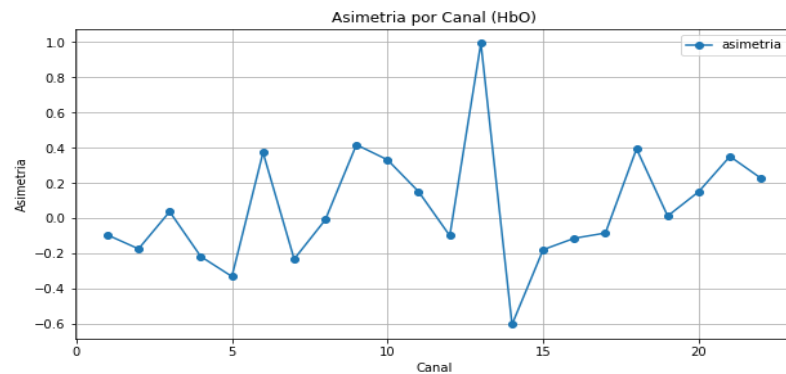


Figura G.16: Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 10

La asimetría se muestra en G.16. La mayoría de los valores de asimetría se encuentran entre -0.6 y 1. Los canales más destacados son:

Canal 13 (~ 1.0): Muestra la asimetría más alta lo que podría indicar activaciones intensas puntuales (picos positivos). Puede reflejar una respuesta funcional muy marcada.

Canal 14 (~ -0.6): Presenta la asimetría más negativa que posiblemente refleja caídas abruptas en la señal. Canales 6–11 y 18–22: Tienen asimetría positiva moderada (0–0.5).

Canales 1–5 y 15–17: Tienen asimetría cercana a cero o levemente negativa.

Apéndice G Resultados

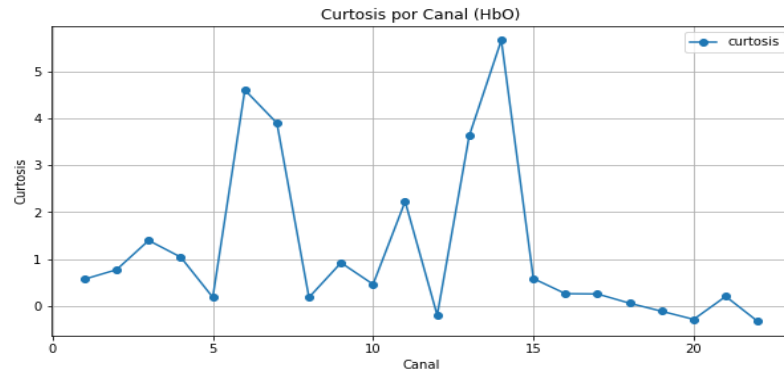


Figura G.17: Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 10

Los valores de curtosis se muestran en G.17 y se encuentran entre valores positivos y negativos. Se puede observar que los canales 6, 7, 13 y 14 tienen curtosis entre ~ 3.7 y ~ 5.5 , indicando distribuciones con picos agudos y colas pesadas. Mientras que los canales 2–4, 9–11 presentan valores moderados de curtosis de entre 0.6 a 2.1. Por último, los canales 12 y del 15 al 22 tienen curtosis baja (<1), y algunos incluso negativos ($\sim$ canal 12, 20 y 22). Esto indica distribuciones planas, con pocas colas, lo que puede deberse a: Señal muy uniforme ó Baja actividad funcional o poca variabilidad.

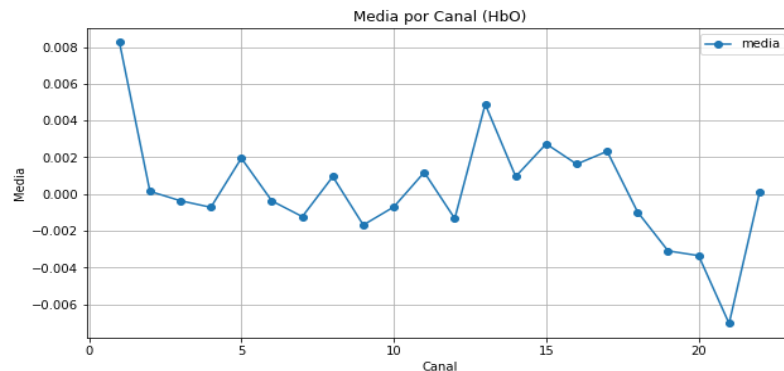


Figura G.18: Media de los datos de fNIRS sujeto 10

La media se presenta en G.18. Todos los valores de media son positivos ó negativos cercanos al cero. Se observa una mayor activación en: El canal 1 (muy marcado, >0.008): posiblemente refleja una activación intensa en una región prefrontal o motora, dependiendo de la ubicación. Canales 13–17: también muestran valores positivos y estables, indicando actividad mantenida en esa región. Mientras que en los canales 19 a 21 muestran reducciones marcadas, especialmente el canal 21 (~ -0.007).

Apéndice G Resultados

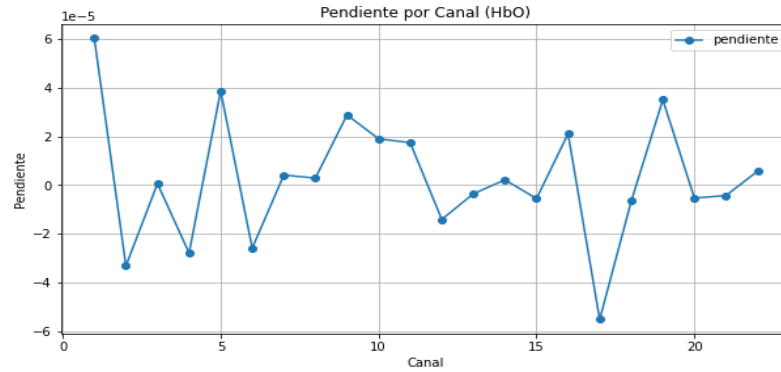


Figura G.19: Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 10

Los valores de pendiente, que se muestran en G.19, son positivos y negativos casi iguales a cero. Los canales más destacados son: canal 1 ($\sim 6 \times 10^{-5}$) y canal 5 ($\sim 4 \times 10^{-5}$) los cuales presentan las pendientes más altas, lo que sugiere que estas regiones tuvieron una activación progresiva marcada. Otros canales con pendiente positiva notable son los canales 9, 10, 16, 19. Mientras que los canales 17 ($\sim -5.5 \times 10^{-5}$) y 2 ($\sim -3.4 \times 10^{-5}$) muestran pendientes negativas más pronunciadas. Por último, canales como el 6, 7, 8, 12, 13, 15, 18, 20, 21 y 22 presentan pendientes cercanos a cero que indican que la señal no cambió mucho en el tiempo.

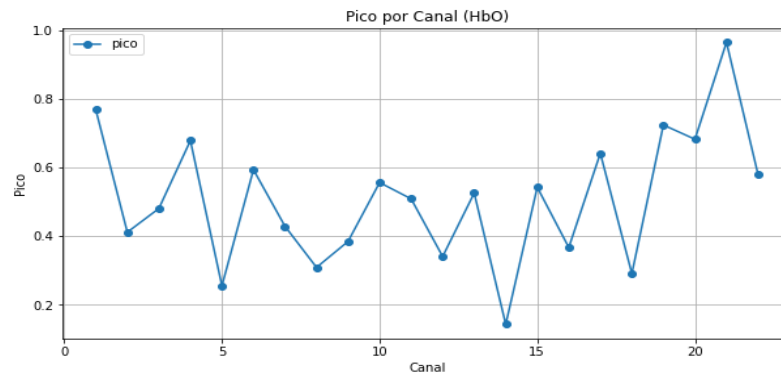


Figura G.20: Pico de los datos de fNIRS sujeto 10

Los valores de pico se muestran en G.20. Estos valores se encuentran entre 0 y 1. Lo más destacable de estos canales es: Canales con picos altos ($\geq 0,7$): Canal 1 (~ 0.78), canal 20 (~ 0.71) y canal 21 (~ 0.96) destacan como los de mayor respuesta. Los valores sugieren una activación funcional intensa en esas regiones cerebrales.

Canales con picos intermedios (0.4–0.6): La mayoría de los canales caen en este rango, que podría indicar una respuesta hemodinámica moderada

Apéndice G Resultados

y generalizada. Canales con picos bajos (<0.3): Canales como el 5 (~ 0.26) y el 14 (~ 0.16) presentan respuestas máximas más bajas.

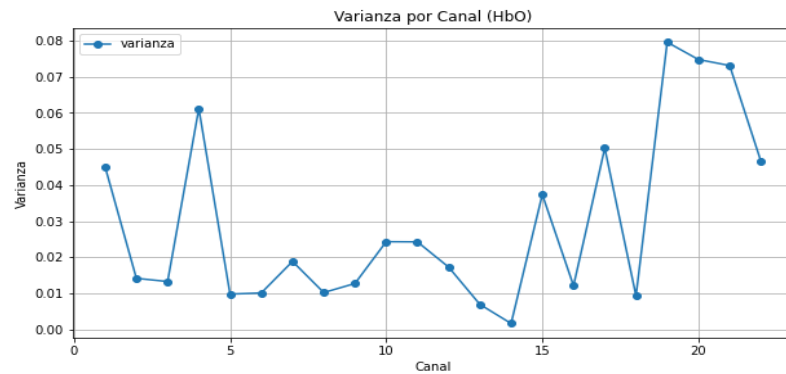


Figura G.21: Varianza de los datos de fNIRS sujeto 10

Los valores de varianza se muestran en G.21. La varianza se encuentra cercana al cero con valores positivos entre 0 y 0.08. Se pueden observar canales con alta varianza como los canales 4 (~ 0.06), 19 (~ 0.08), 20 (~ 0.075), 21 (~ 0.07) lo que podría indicar mayor respuesta hemodinámica (actividad cerebral). Por otro lado también hay canales con baja varianza como el canal 14, Canal 13 (~ 0.01 o menos) lo que podría implicar una señal estable sin mucha variación.

G.2.2. Sujeto 11

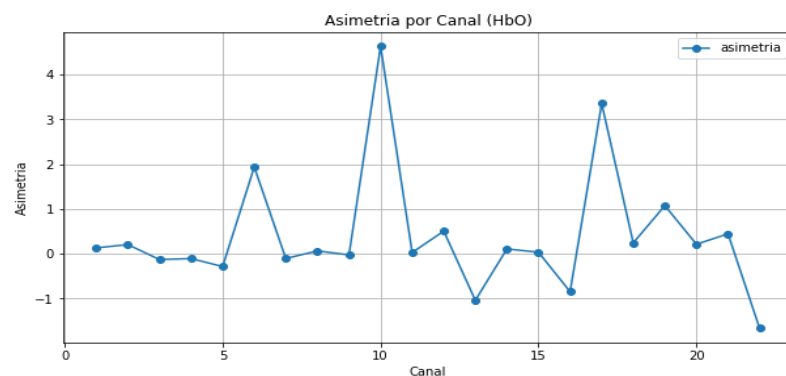


Figura G.22: Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 11

Los valores de asimetría, que se muestran en G.22, se encuentran entre -1.4 y 4.4. Entre los canales con simetría positiva están: Canal 10 (~ 4.5) y canal 17 (~ 3.3) presentan valores muy altos de asimetría positiva, lo que indica la presencia de eventos o picos abruptos de gran

magnitud.

Canal 6 (~ 2.0) también muestra una asimetría elevada.

Mientras que los canales con asimetría negativa son: Los canales 13 (-1), 16 (~ -1) y 22 (~ -1.5) lo que sugiere que ocurrieron caídas pronunciadas en la señal de HbO.

Mientras que los canales con asimetría cercana a cero son: los canales (1–5, 7–9, 11–12, 14–15, 18–21) tienen asimetría leve (entre -0.5 y 0.5), lo que sugiere una distribución relativamente simétrica, típica de una señal estable y sin eventos extremos significativos.

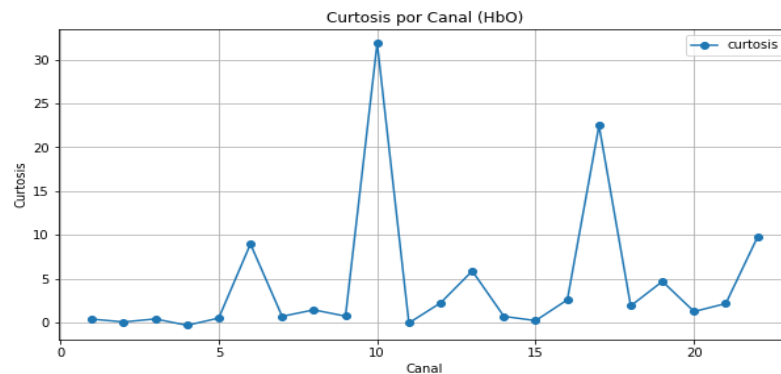


Figura G.23: Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 11

Los valores de kurtosis se muestran en G.23, estos valores se encuentran entre cero y 31. Existen canales con kurtosis muy alta como el canal 10 (~ 31) y canal 17 (~ 23) esto podría sugerir que en estos canales hay picos extremos o eventos anómalos frecuentes. Podría ser: Activaciones neuronales intensas o muy localizadas. También existen canales con kurtosis media como el canal 6 (~ 9), el canal 13 (~ 6), y el canal 22 (~ 10) presentan kurtosis alta. Mientras que la mayoría de los canales (como 1–5, 7–9, 11–12, 14–16, 18–21) están en un rango de kurtosis baja cercana a cero.

Apéndice G Resultados

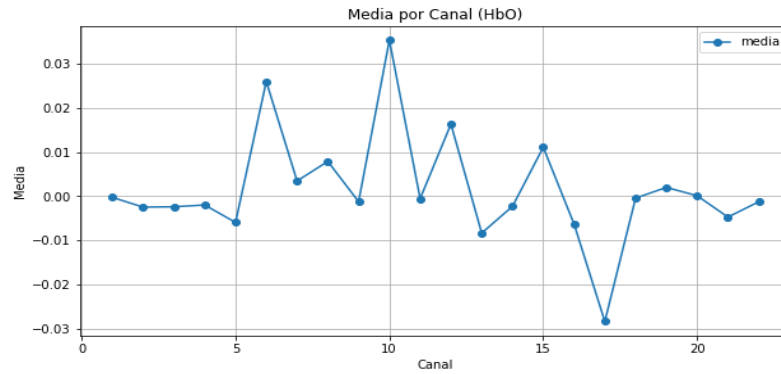


Figura G.24: Media de los datos de fNIRS sujeto 11

La gráfica G.24 muestra valores de media positivos y negativos cercanos al cero. Existen diferentes canales con activación positiva (media >0): Canal 10 muestra el valor más alto de media (~ 0.035), lo que sugiere una fuerte activación cerebral localizada en esa región. Canales 6, 12, 15 también muestran activación notable y positiva. También existen canales con activación negativa (media <0): El canal 17 presenta la media más negativa (~ -0.03), indicando posible desactivación funcional o inhibición. Otros canales con valores negativos son los canales 2-5, 13-14, 16 y 21-22 que podrían reflejar regiones no involucradas activamente.

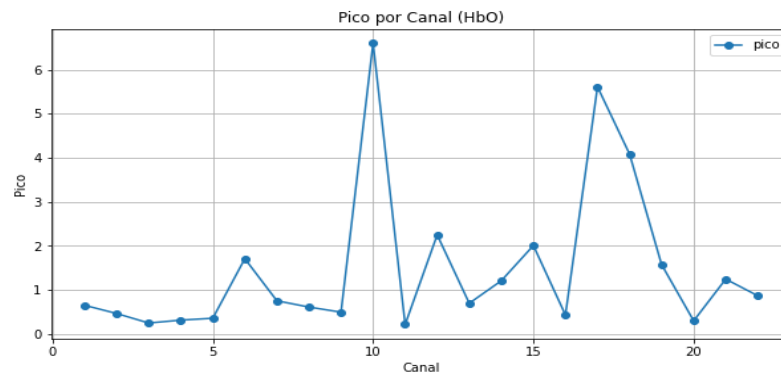


Figura G.25: Pico de los datos de fNIRS sujeto 11

La gráfica de pico se visualiza en G.25. Los valores de pico son todos positivos y se encuentran entre 0 y 6.8. Los más destacable de estos canales son:

Canales con picos extremadamente altos: Canal 10 (~ 6.5) y canal 17 (~ 5.6) muestran valores de pico anormalmente altos en comparación con los demás. Esto podría indicar activación cerebral muy intensa y localizada.

Canales con picos moderados (1–2.5): Canales 6, 12, 15, 19 y 21 muestran

Apéndice G Resultados

picos dentro de un rango fisiológicamente más esperable. Esto sugiere una activación funcional durante la tarea en esas regiones.

Canales con picos bajos (<1): La mayoría de los canales, especialmente del 1 al 5 y del 7 al 9, 11, 13, 16, 20 y 22 tienen valores relativamente bajos. Esto podría reflejar baja participación funcional de esas zonas durante la tarea.

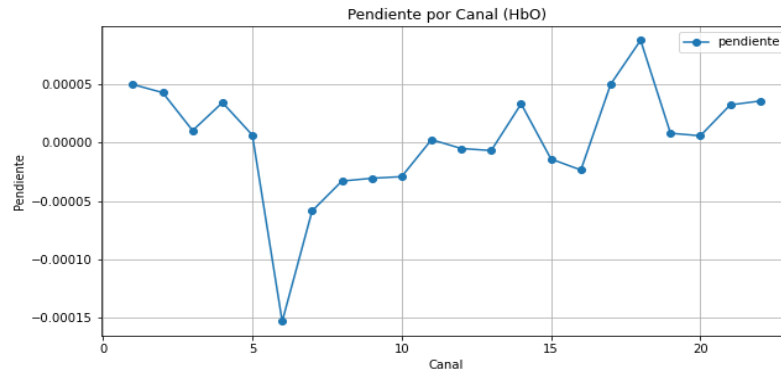


Figura G.26: Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 11

La pendiente se visualiza G.26. los valores de pendiente son muy pequeños y son positivos y negativos. Los canales con mayor pendiente son positiva: Canal 18 ($\sim 6.5 \times 10^{-5}$): destaca como el canal con la pendiente más alta. Otros canales que también tienen valores positivos son 1, 2, 4, 17, 22. Por otro lado el canal 6 ($\sim -1.5 \times 10^{-4}$) muestra la pendiente negativa más pronunciada. Los canales como 7 a 11 tienen valores casi planos, es decir, casi iguales a cero, lo que sugiere poca variación temporal en HbO.

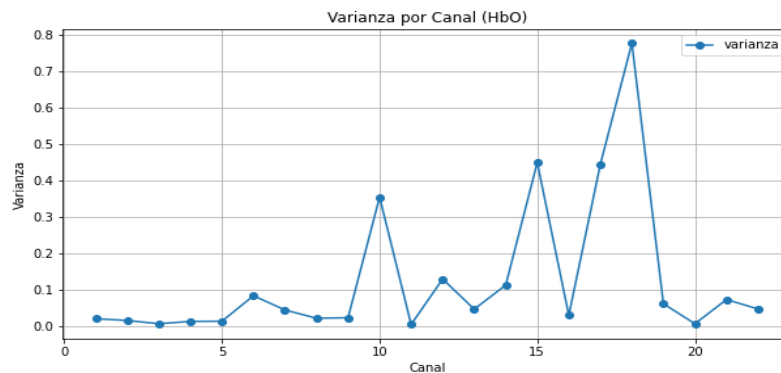


Figura G.27: Varianza de los datos de fNIRS sujeto 11

En la figura G.27 se visualiza la varianza. Los valores de varianza se encuentran entre 0 y 0.8 todos positivos. Se pueden observar canales con varianza extremadamente alta como el canal 18 (~ 0.76) y el canal 15 (~ 0.45) destacan mucho. Aunque también existen canales con varianza muy

baja (~ 0.01 o menos) como por ejemplo los canales 1–5, 8, 9, 16, 19. Por último, existen canales con varianza moderada (~ 0.05 – 0.1) como los canales 6, 12 y 14.

G.2.3. Sujeto 12

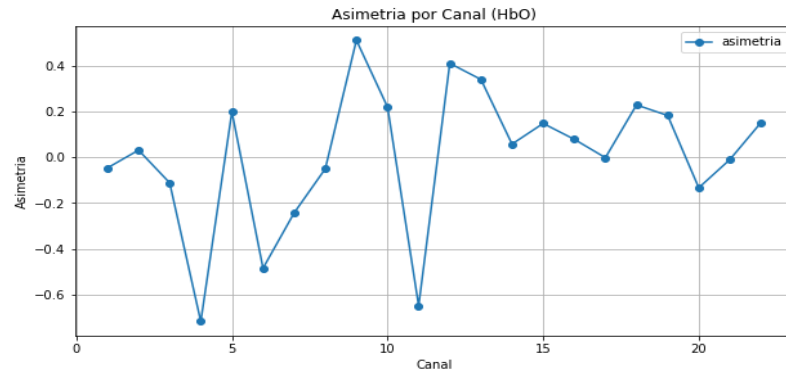


Figura G.28: Asimetría de los datos de fNIRS sujeto 12

La asimetría se visualiza en G.28. Los valores de asimetría fluctúan entre valores positivos y negativos cercanos al cero (aproximadamente -0.8 y 0.5). Existen canales con asimetría negativa como el canal 4 (~ -0.7) y el canal 11 (~ -0.6) que indican una distribución muy sesgada hacia valores bajos. Mientras que los canales con asimetría positiva y con valores más altos son los canales 9 (~ 0.5) y 12 (~ 0.4). Por último, los canales con asimetría moderada o cercana a 0 son por ejemplo los canales 1, 2, 8, 14, 16, 17, 20, 21 y 22 que probablemente tienen una señal más balanceada o con fluctuaciones simétricas.

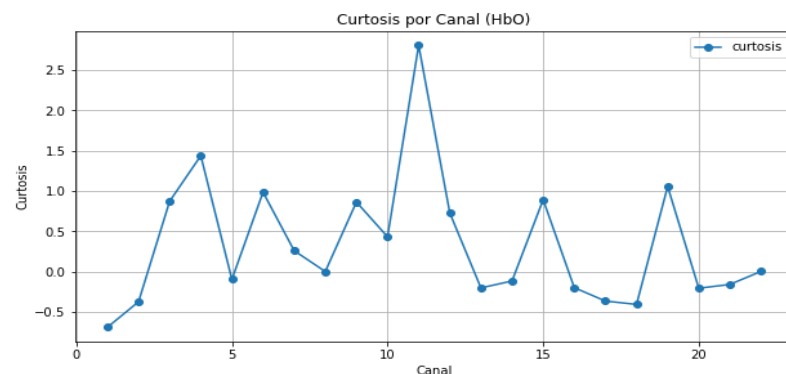


Figura G.29: Curtosis de los datos de fNIRS sujeto 12

Los valores de curtosis se visualizan en G.29. Los valores de curtosis

Apéndice G Resultados

fluctúan entre valores positivos y negativos entre -0.75 y 3. Algunos canales que se destacan son:

Canal 11 (~ 2.75): Tiene una curtosis muy alta. Canales 3, 4, 6, 9, 12, 15 y 19: Tienen valores de curtosis entre 0.5 y 1.5 lo que podría reflejar activación real o leve ruido.

Canales con curtosis cercana o menor a 0 (por ejemplo, los canales 1, 2, 5, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21 y 22): Pueden ser canales estables o potencialmente de baja calidad.

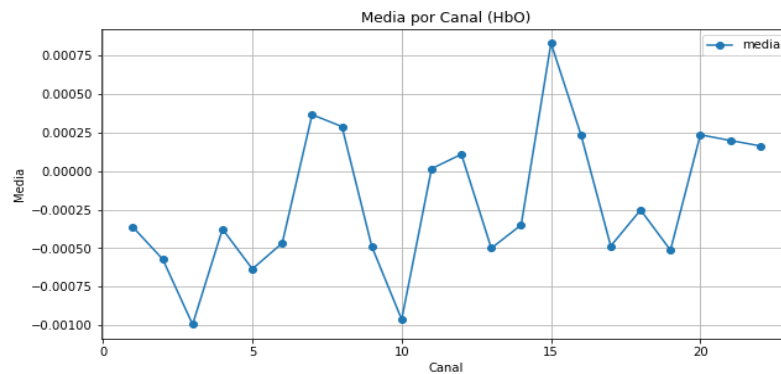


Figura G.30: Media de los datos de fNIRS sujeto 12

La media se puede visualizar en G.30. La mayoría de los canales tienen valores de media muy cercanos a cero (en el orden de ± 0.0005). Se puede destacar la actividad de:

Canales con media más alta: Canal 15 (~ 0.0008) y canales 7, 8, 16, 20 (~ 0.0002 a 0.0004) que podrían indicar una mayor oxigenación sostenida en esas regiones.

Canales con media negativa más baja: Canales 3 y 10 (~ -0.001) que podría reflejar una disminución sostenida de HbO o una deriva negativa.

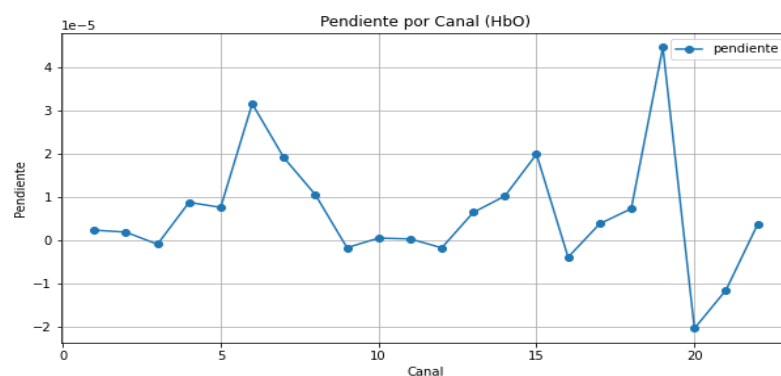


Figura G.31: Pendiente de los datos de fNIRS sujeto 12

Apéndice G Resultados

Los valores de pendiente visualizan en G.31, son casi cero flúctuando entre valores positivos y negativos. Algunos aspectos importantes a destacar son: Pendientes más altas (positivas): Canal 19 ($\sim 4.2 \times 10^{-5}$), Canal 6 ($\sim 3.1 \times 10^{-5}$) que indican un incremento sostenido en la oxigenación a lo largo del tiempo.

Pendientes negativas marcadas: Canal 20 ($\sim -2 \times 10^{-5}$) que indica una disminución sostenida del nivel de HbO.

Pendientes cercanas ó iguales a cero: Canales como 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 16, 17 y 22 que podrían indicar señales sin muchos cambios.

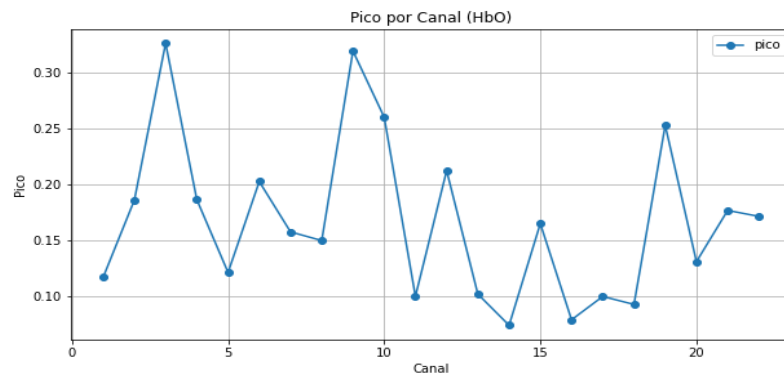


Figura G.32: Pico de los datos de fNIRS sujeto 12

Los valores de pico se visualizan en G.32, son todos positivos y cercanos a cero que se encuentran entre 0 y 0.35. Algunos aspectos a destacar de los canales son:

Canales con picos más altos: Canal 3 (~ 0.33) y Canal 9 (~ 0.32). Estos canales muestran una respuesta HbO muy pronunciada.

Canales con picos bajos: Canal 16 (~ 0.07), canal 14 (~ 0.05), Canales 13, 17 (~ 0.09) que podrían tener una respuesta débil o ausente.

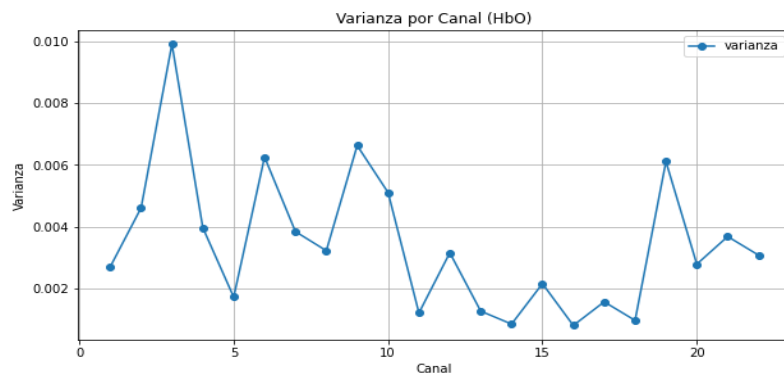


Figura G.33: Varianza de los datos de fNIRS sujeto 12

Apéndice G Resultados

Los valores de varianza se muestran en la figura G.33, estos valores son positivos y cercanos a cero. Los canales más destacables son:

Canal 3 (~ 0.01): Tiene la varianza más alta del conjunto por lo que puede ser un canal con fuerte activación o quizá este afectado por artefactos.

Canales con varianza moderada (~ 0.002 – 0.007): Por ejemplo canales 5–10, 19.

Canales con varianza baja (<0.002): Por ejemplo, canales 11, 13, 14, 16, 17 y 18.

G.2.4. Resultados de movimiento de manos y presión de dedos

A continuación se muestran en las Figuras las características de movimiento de manos y presión de dedos para los sujetos 10, 11 y 12.

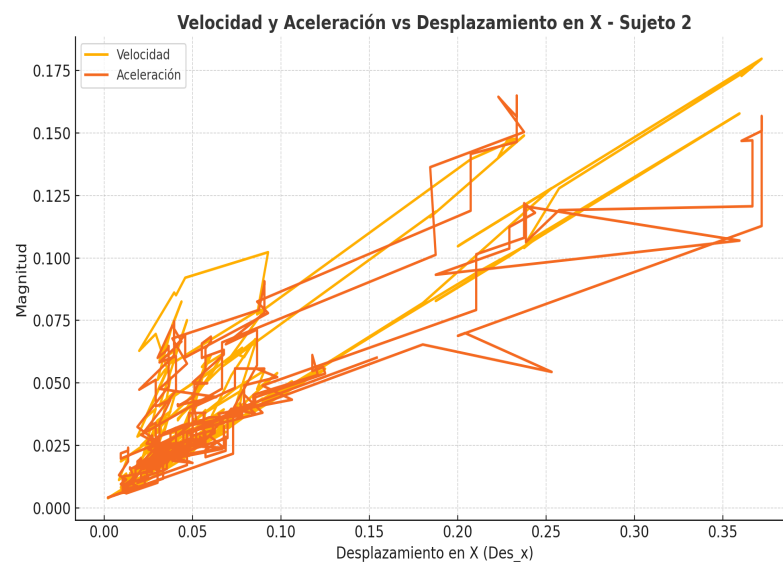


Figura G.34: Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 10

Apéndice G Resultados

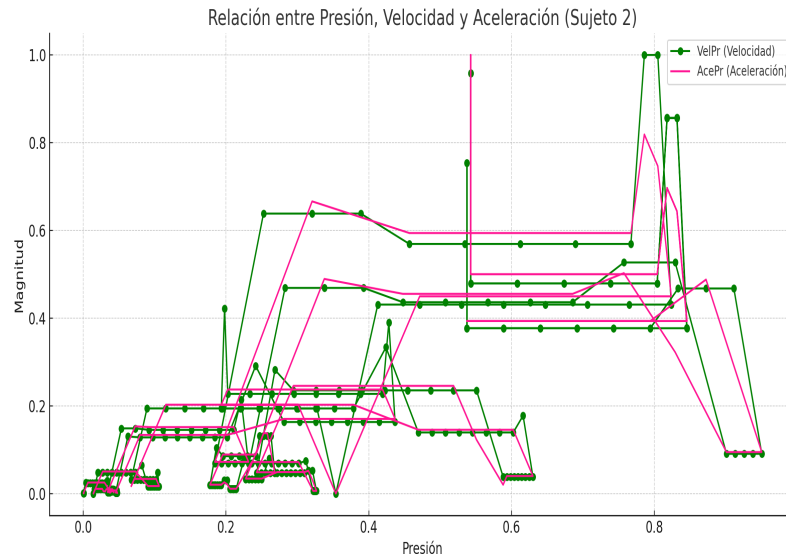


Figura G.35: Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 10

De la Figura G.34 se puede observar que cuando la distancia aumenta, la velocidad y la aceleración aumentan mientras que para la presión, que se puede observar en la Figura G.35, existen valores de presión asociados a valores de velocidad y aceleración de presión que aumentan o disminuyen. Existe una variación notable en los valores de presión debido a que se puede observar aumentos abruptos de velocidad y aceleración.

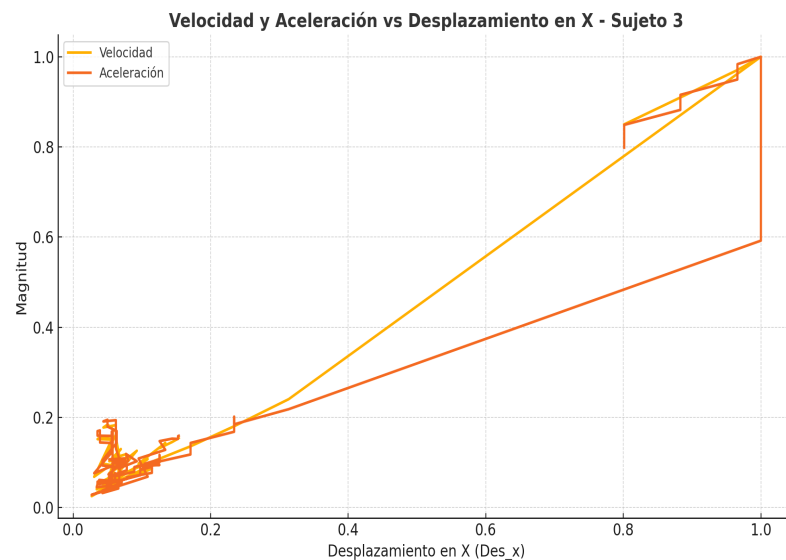


Figura G.36: Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 11

Apéndice G Resultados

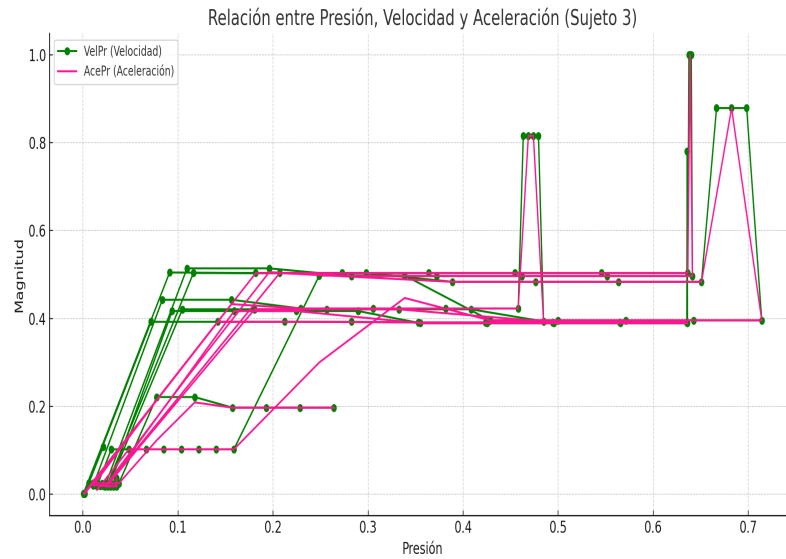


Figura G.37: Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 11

En la figura G.36 se puede observar un incremento de velocidad y aceleración cuando el desplazamiento aumenta. En la figura G.37 se pueden observar que existen valores de aceleración y velocidad variables que aumentan abruptamente en ciertos valores de presión como en 0.68. Sin embargo, también existen valores que permanecen constantes por ejemplo en el intervalo de 0.5 a 0.68.

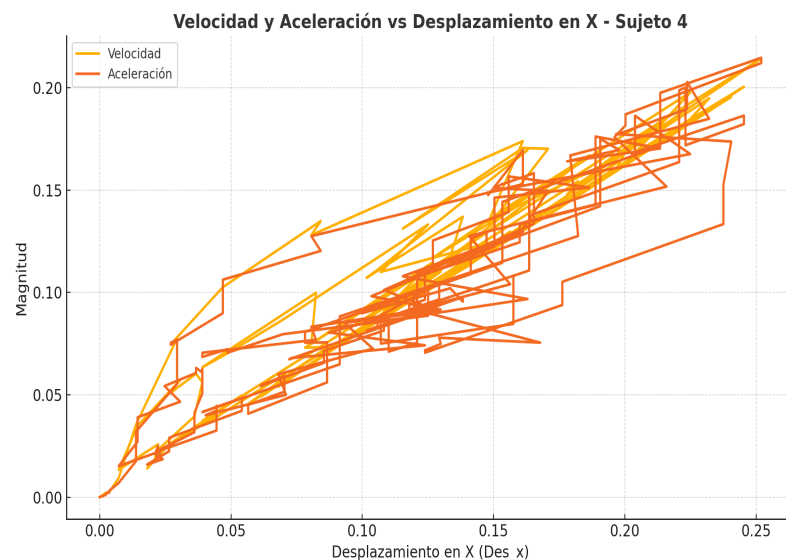


Figura G.38: Gráfica de Velocidad y Aceleración para el eje x para el sujeto 12

Apéndice G Resultados

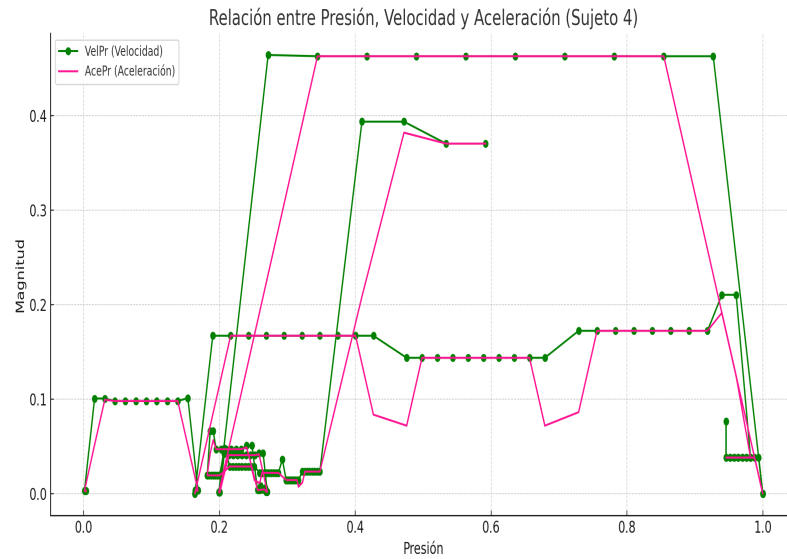


Figura G.39: Gráfica de Velocidad y Aceleración de Presión para el sujeto 12

En la figura G.38 se puede observar que los valores de velocidad y aceleración aumentan al aumentan los valores del desplazamiento en x. En la figura G.39 se puede observar que existen valores muy variables de aceleración y velocidad de presión. Sin embargo, las gráficas se cortan en aproximadamente 0.6, lo que podría indicar que la persona dejaba de apretar el sensor por algunos segundos.

Bibliografía

- [1] Rosalind W. Picard. *Affective Computing*. MIT, 1997. URL <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:262931595>.
- [2] Rafael A. Calvo and Sidney D'Mello. Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(1):18–37, 2010. doi: 10.1109/T-AFFC.2010.1.
- [3] J. Joel-Rivas. *Multi-label Classification and Sensors Marginalization for Affective States Recognition*. PhD thesis, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2019.
- [4] Geneva Emotion Research Group. Appendix f. labels describing affective states in five major languages. In K. R. Scherer, editor, *Facets of Emotion: Recent Research*, pages 241–243. Lawrence Erlbaum Associates Inc.Pub, Psychology Press, Taylor Francis Group, Hillsdale, NJ, 1988. Revised version by the members of the Geneva Emotion Research Group.
- [5] Anna Ogarkova, Cristina Soriano, and Caroline Lehr. Naming feeling: Exploring the equivalence of emotion terms in five european languages. In P. Wilson, editor, *Dynamicity in Emotion Concepts*, Lodz Studies in Language, pages 253–284. Peter Lang, Frankfurt am Main, 2012. doi: 10.3726/978-3-653-01466-2.
- [6] Leder R. Hernandez J. Sanchez I. Sucar, L. E. and G. Azcarate. Clinical evaluation of a low-cost alternative for stroke rehabilitation. *In Proceedings of the 11th International Conference on Rehabilitation Robotics*, 31:863–866, 2009. doi: 10.1109/ICORR.2009.5209526.
- [7] Hosny M. Al-Wabil A. Al-Ohali Y. Al-Nafjan, A. Classification of human emotions from electroencephalogram (eeg) signal using deep neural network. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2017.

Bibliografía

- [8] et al Torregrosa, J. Inducción de emociones a través del diseño de videojuegos. *18th Conferencia de la Asociación Española Para la Inteligencia Artificial*, 2018.
- [9] et al González-González, C. S. Emociones con videojuegos: incrementando la motivación para el aprendizaje. 2008.
- [10] et al Núñez-Pacheco, R. Diseño emocional e inmersión en videojuegos narrativos. el caso de detroit: Become human. *Palabra Clave*, 2022.
- [11] et al Tsai, J. L. Cultural influences on emotional responding: Chinese american and european american dating couples during interpersonal conflict. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 1997.
- [12] Levenson R. W.-Carstensen L. L Tsai, J. L. Autonomic, subjective, and expressive responses to emotional films in older and younger chinese americans and european americans. *Psychology and aging*, 2000.
- [13] Julius Sim y Susan M. Hunter Judy Purton. Stroke survivors' views on their priorities for upper-limb recovery and the availability of therapy services after s troke: a longitudinal, phenomenological study. *Disability and Rehabilitation*, 2023. doi: 10.1080/09638288.2022.2120097.
- [14] María Vázquez Guimaraens. *Factores relacionados a una mayor recuperación funcional tras sufrir un accidente cerebrovascular*. PhD thesis, Universidad da Coruña, 2017.
- [15] y J. M. Sabater Navarro A. L. Guerrero Hernández, O. A. Vivas Albán. Sistema de rehabilitación de motricidad fina de miembro superior utilizando juegos serios. *Ing. y Des.*, vol. 41, 2023.
- [16] et al Rivas, J. J. Automatic recognition of pain, anxiety, engagement and tiredness for virtual rehabilitation from stroke: A marginalization approach. *International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2017.
- [17] C. Spielberger. *Encyclopedia of Applied Psychology*. Elsevier Science, 2004.
- [18] Russell 1. A Mehrabian, A. *An approach to environmental psychology*. MIT Press, 1974.

- [19] SCOTT R. VRANA CHARLOTTE VanOYEN WITVLIET. *Psychophysiological responses as indices of affective dimensions*. Wiley, 1995. doi: 10.1111/j.1469-8986.1995.tb02094.x.
- [20] A. M. Paiva. *Affective Interactions: Towards a New Generation of Computer Interfaces*. Springer-Verlag, 2000.
- [21] L. F. Barrett. Solving the emotion paradox: Categorization and the experience of emotion. *Personality and social psychology review*, 2006.
- [22] Cordaro D. Ekman, P. What is meant by calling emotions basic. *Emotion review*, 2011.
- [23] Paul L. Nunez and Ramesh Srinivasan. *Electric Fields of the Brain: The neurophysics of EEG*. Oxford University Press, 2006. ISBN 9780195050387. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195050387.001.0001.
- [24] Soraia M. Alarcão and Manuel J. Fonseca. Emotions recognition using eeg signals: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10 (3):374–393, 2019. doi: 10.1109/TAFFC.2017.2714671.
- [25] Aamir Saeed Malik Nidal Kamel. *EEG/ERP Analysis: Methods and Applications*. CRC Press, 2014.
- [26]
- [27] H.H. Jasper C. Elger George H. Klem, Hans Otto Lüders. The ten twenty electrode system of the international federation. *Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology*, 1999.
- [28] Nobuo Masataka, Leonid Perlovsky, and Kazuo Hiraki. Near-infrared spectroscopy (nirs) in functional research of prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 2015. ISSN 1662-5161. doi: 10.3389/fnhum.2015.00274.
- [29] Hak Yeong Kim, Kain Seo, Hong Jin Jeon, Unjoo Lee, and Hyosang Lee. Application of functional near-infrared spectroscopy to the study of brain function in humans and animal models. *Molecules and Cells*, 40(8):523–532, 2017. ISSN 1016-8478. doi: <https://doi.org/10.14348/molcells.2017.0153>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1016847823006428>.

Bibliografía

- [30] Noman Naseer and Keum-Shik Hong. fnirs-based brain-computer interfaces: a review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 01 2015. doi: 10.3389/fnhum.2015.00003.
- [31] Kleiser S. Metz A.J. Zimmermann R. Mata Pavia J. Wolf U. Wolf M. Scholkmann, F. *A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology*, volume 85. Neuroimage, 2014. doi: 10.1016/bs.pbr.2016.02.002.
- [32] Hou X. Peng C. Applications of functional near-infrared spectroscopy (fnirs) in neonates. *Neurosci Res.*, 2021. doi: 10.1016/j.neures.2020.11.003.
- [33] Hillman E. Kozberg, M. *Chapter 10 - Neurovascular coupling and energy metabolism in the developing brain*, volume 256. Progress in Brain Research, 2006. doi: 10.1016/bs.pbr.2016.02.002.
- [34] Hirokazu Doi, Shota Nishitani, and Kazuyuki Shinohara. Nirs as a tool for assaying emotional function in the prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 2013. ISSN 1662-5161. doi: 10.3389/fnhum.2013.00770.
- [35] Jennifer C. Britton Johanna Jarcho Monique Ernst Tomer Shechner, Naomi Wakschlag and Daniel S. Pine. Empirical examination of the potential adverse psychological effects associated with pediatric fmri scanning. *J Child Adolesc Psychopharmacol*, 2013.
- [36] K. Tai and T Chau. Single-trial classification of nirs signals during emotional induction tasks: towards a corporeal machine interface. *J. Neuroeng. Rehabil.*, page 39, 2009. doi: 10.1186/1743-0003-6-39.
- [37] Lee S. Ruiz S. Rana M. Veit R. Sitaram, R. and N Birbaumer. Real-time support vector classification and feedback of multiple emotional brain states. *Neuroimage*, page 753–76, 2010.
- [38] Kushki A. Moghimi, S. and S Power. Automatic detection of a prefrontal cortical response to emotionally rated music using multi-channel near-infrared. *J. Neural Eng*, 2012.
- [39] Privratsky A. Gardner J. Zielinski M. J. Bush, K. A. and C. D. Kilts. Common functional brain states encode both perceived emotion and the psychophysiological response to affective stimuli. *Sci. Rep*, 2018.

Bibliografía

- [40] Grippa E. Balconi, M. and M. E Vanutelli. What hemodynamic (fnirs), electrophysiological (eeg) and autonomic integrated measures can tell us about emotional processing. *Brain Cogn.*, page 67–76., 2015. doi: 10.1016/j.bandc.2015.02.001.
- [41] U. Kreplin and S. H. Fairclough. Activation of the rostromedial pre-frontal cortex during the experience of positive emotion in the context of esthetic experience. *Front. Hum. Neurosci.*, page 879, 2013. doi: 10.3389/fnhum.2013.00879.
- [42] Matsuura M. Koeda M. Yahata N. Suhara T. Kato M. et al. Takahashi, H. Brain activations during judgments of positive self-conscious emotion and positive basic emotion: pride and joy. *Cereb. Cortex*, page 898–903., 2008. doi: 10.1093/cercor/bhm120.
- [43] Javier Sánchez Rosas y Florencia Márquez. Estudio exploratorio sobre los efectos y funciones del orgullo en clase. *III Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología*, 2011.
- [44] y Díaz-Muñoz H. Maureira Cid, F. Actividad eléctrica no lineal de las ondas beta cerebrales durante una prueba de atención sostenida. *Revista EIA*, 2021.
- [45] Weihong Deng Shan Li. Deep facial expression recognition: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2020.
- [46] Loic Kessous ·Ginevra Castellano ·George Caridakis. Multimodal emotion recognition in speech-based interaction using facial expression, body gesture and acoustic analysis. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 2009.
- [47] Massimo Piccardi Hatice Gunes. Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures. *Journal of Network and Computer Applications*, 2006.
- [48] Jerry M. Burger. *Personality*, volume 10. Wadsworth Pub Co, 2008.
- [49] Lauren Brewer. *General Psychology: Required Reading*. DEF Publishers., 2019.
- [50] John OP McCrae RR. *An Introduction to the Five-Factor Model and Its Applications*. J Pers., 1992. doi: 10.1111/j.1467-6494.1992.tb00970.x.

Bibliografía

- [51] Christopher Soto and Joshua Jackson. Five-factor model of personality. *Oxford Bibliographies in Psychology*, 01 2020. doi: 10.1093/obo/9780199828340-0120.
- [52] Robert McCrae and Paul Costa. Validation of the five-factor model of personality across instruments and observers. *Journal of personality and social psychology*, 52:81–90, 01 1987. doi: 10.1037/0022-3514.52.1.81.
- [53] Paul Costa and R. McCrae. Neo pi-r professional manual. *Psychological Assessment Resources*, 396, 01 1992.
- [54] Robert McCrae and Paul Costa. Personality trait structure as a human universal. *The American psychologist*, 52:509–16, 06 1997. doi: 10.1037//0003-066X.52.5.509.
- [55] Charles Carver and Jennifer Connor-Smith. Personality and coping. *Annual review of psychology*, 61:679–704, 08 2009. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.100352.
- [56] Ostendorf F Johnson JA. Clarification of the five-factor model with the abridged big five dimensional circumplex. *J Pers Soc Psychol*, 1993. doi: 10.1037/0022-3514.65.3.563.
- [57] Giacomo Angelini. Big five model personality traits and job burnout: a systematic literature review. *BMC Psychology*, 11, 02 2023. doi: 10.1186/s40359-023-01056-y.
- [58] Hu X. Xiao R, Ding C. Time synchronization of multimodal physiological signals through alignment of common signal types and its technical considerations in digital health. *Journal of imaging*, 8, 2022. doi: 10.3390/jimaging8050120.
- [59] Fotiadis D. I. Koutlas, A. An automatic region based methodology for facial expression recognition. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pages 662–666, 2008. doi: 10.1109/ICSMC.2008.4811353.
- [60] Christian Kothe, Seyed Yahya Shirazi, Tristan Stenner, David Medine, Chadwick Boulay, Matthew I. Grivich, Tim Mullen, Arnaud Delorme, and Scott Makeig. The lab streaming layer for synchronized multimodal recording. *bioRxiv*, 2024. doi: 10.1101/2024.02.13.

Bibliografía

580071. URL <https://www.biorxiv.org/content/early/2024/02/14/2024.02.13.580071>.
- [61] Amft O. D. Lukowicz P. Bannach, D. Automatic event-based synchronization of multimodal data streams from wearable and ambient sensors. *Lecture Notes in Computer Science*, 5741:135–148), 2009. doi: 10.1007/978-3-642-04471-7_11.
- [62] Domínguez F. Chiluíza K. Echeverría, V. *International Workshop on Learning Analytics Across Physical and Digital Spaces 2016 - Edinburgh, Scotland, United Kingdom*, 1601:52–57, 2016.
- [63] National Instruments. Veristand user manual. URL <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/veristand/page/synchronize-hardware-software.html>.
- [64] Lab streaming layer. URL <https://www.opensync.io/>.
- [65] Imotions. URL <https://imotions.com/es/>.
- [66] Biopac. URL <https://www.biopac.com/>.
- [67] University of California San Diego Swartz Center for Computational Neuroscience. Lab streaming layer. URL <https://labstreaminglayer.readthedocs.io/info/intro.html>.
- [68] Zhihong Zeng, Maja Pantic, and Glenn Roisman. A survey of affect recognition methods: Audio, visual, and spontaneous expressions. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 31:39–58, 02 2009. doi: 10.1109/TPAMI.2008.52.
- [69] Roddy Cowie, Ellen Douglas-Cowie, and Cate Cox. Beyond emotion archetypes: Databases for emotion modelling using neural networks. *Neural Networks*, 18(4):371–388, 2005. ISSN 0893-6080. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2005.03.002>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608005000353>. Emotion and Brain.
- [70] Hussein Al Osman and Tiago H. Falk. *Multimodal Affect Recognition: Current Approaches and Challenges*. IntechOpen, Rijeka, 2017. doi: 10.5772/65683. URL <https://doi.org/10.5772/65683>.

Bibliografía

- [71] Eckart Altenmüller, Sabine Schmidt, and Elke Zimmermann. *Evolution of Emotional Communication: From Sounds in Nonhuman Mammals to Speech and Music in Man*. Oxford University Press, 01 2013. ISBN 9780199583560. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199583560.001.0001.
- [72] D. McNeill. *Hand and mind: What gestures reveal about thought*. University of Chicago Press, 1992. doi: 10.2307/1576015.
- [73] D. Grandjean G. Chanel, J. Kronegg and T. Pun. Emotion assessment: Arousal evaluation using eeg's and peripheral physiological signals. *International workshop on multimedia content representation, classification and security*, page 530–537, 2006. doi: 10.1007/11848035_70.
- [74] Z. Khalili and M. Moradi. Emotion detection using brain and peripheral signals. *Cairo international biomedical engineering conference*, pages 1–4, 2008. doi: 10.1109/CIBEC.2008.4786096.
- [75] R. Gupta and T. H. Falk. Relevance vector classifier decision fusion and eeg graph-theoretic features for automatic affective state characterization. *Neurocomputing*, page 875–884, 2016. doi: 10.1016/j.neucom.2015.09.085.
- [76] Ellen Douglas-Cowie, Roddy Cowie, and Marc Schröder. A new emotion database: Considerations, sources and scope. *ISCA Workshop on speech and emotion*, pages 39–44, 01 2000.
- [77] J.A. Healey and R.W. Picard. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6(2):156–166, 2005. doi: 10.1109/TITS.2005.848368.
- [78] O. Martin, I. Kotsia, Benoit Macq, and I. Pitas. The enterface 05 audio-visual emotion database. *ICDEW '06: Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering Workshops*, pages 8 – 8, 02 2006. doi: 10.1109/ICDEW.2006.145.
- [79] Ellen Douglas-Cowie, Roddy Cowie, Ian Sneddon, Cate Cox, Orla Lowry, Margaret McRorie, Jean-Claude Martin, Laurence Devillers, Sarkis Abrilian, Anton Batliner, Noam Amir, and Kostas Karpouzis. The humane database: Addressing the collection and annotation of

- naturalistic and induced emotional data. *Affective Computing and Intelligent Interaction: Lecture Notes in Computer Science*, pages 488–500, 09 2007. doi: 10.1007/978-3-540-74889-2_43.
- [80] Ellen Douglas-Cowie, Roddy Cowie, Cate Cox, Noam Amir, and Dirk Heylen. The sensitive artificial listener: an induction technique for generating emotionally coloured conversation. *Mathematics of Computation - Math. Comput.*, 01 2008.
- [81] Michael Grimm, Kristian Kroschel, and Shrikanth S. Narayanan. The vera am mittag german audio-visual emotional speech database. *2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pages 865–868, 2008. URL <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7563136>.
- [82] Gary Mckeown, Michel Valstar, Roddy Cowie, and Maja Pantic. The semaine corpus of emotionally coloured character interactions. *2010 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2010*, pages 1079–1084, 07 2010. doi: 10.1109/ICME.2010.5583006.
- [83] Sander Koelstra, Christian Muhl, Mohammad Soleymani, Jong-Seok Lee, Ashkan Yazdani, Touradj Ebrahimi, Thierry Pun, Anton Nijholt, and Ioannis Patras. Deap: A database for emotion analysis ;using physiological signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3 (1):18–31, 2012. doi: 10.1109/T-AFFC.2011.15.
- [84] Tanja Bänziger, Marcello Mortillaro, and Klaus Scherer. Introducing the geneva multimodal expression corpus for experimental research on emotion perception. *Emotion (Washington, D.C.)*, 12:1161–79, 11 2011. doi: 10.1037/a0025827.
- [85] Fabien Ringeval, Andreas Sonderegger, Jürgen Sauer, and Denis Lalanne. Introducing the recola multimodal corpus of remote collaborative and affective interactions. *2013 10th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition, FG 2013*, pages 1–8, 04 2013. doi: 10.1109/FG.2013.6553805.
- [86] Mojtaba Khomami Abadi, Ramanathan Subramanian, Seyed Mostafa Kia, Paolo Avesani, Ioannis Patras, and Nicu Sebe. Decaf: Meg-based multimodal database for decoding affective physiological responses”.

- IEEE Transactions on Affective Computing*, PP:1, 01 2015. doi: 10.1109/TAFFC.2015.2392932.
- [87] Rishabh Gupta, Hubert Banville, and Tiago Falk. Physyqx: A database for physiological evaluation of synthesised speech quality-of-experience. *2015 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA)*, pages 1–5, 10 2015. doi: 10.1109/WASPAA.2015.7336888.
- [88] Wache JStudent Member IEEE Mojtaba K. A. Vieriu R.L Stefan Winkler Sebe N. Subramanian, R. Ascertain: Emotion and personality recognition using commercial sensors. *IEEE TRANSACTIONS ON AFFECTIVE COMPUTING*, 9:147 – 160, August 2016. doi: 10.1109/TAFFC.2016.2625250.
- [89] Juan Miranda, Mojtaba Khomami Abadi, Nicu Sebe, and Ioannis Patrass. Amigos: A dataset for mood, personality and affect research on individuals and groups. *IEEE Transactions on Affective Computing*, PP, 02 2017. doi: 10.1109/TAFFC.2018.2884461.
- [90] Tengfei Song, Wenming Zheng, Cheng Lu, Yuan Zong, Zhang Xilei, and Zhen Cui. Mped: A multi-modal physiological emotion database for discrete emotion recognition. *IEEE Access*, PP:1–1, 01 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2891579.
- [91] Dilana Hazer, Sascha Meudt, Andreas Daucher, Jennifer Spohrs, Holger Hoffmann, Friedhelm Schwenker, and Harald Traue. The uulm-mac database—a multimodal affective corpus for affective computing in human-computer interaction. *Sensors*, 20:2308, 04 2020. doi: 10.3390/s20082308.
- [92] Yanjia Sun, Hasan Ayaz, and Ali Akansu. Multimodal affective state assessment using fnirs + eeg and spontaneous facial expression. *Brain Sciences*, 10, 02 2020. doi: 10.3390/brainsci10020085.
- [93] Danny Plass-Oude Bos. Eeg-based emotion recognition. *The Influence of Visual and Auditory Stimuli*, 01 2006.
- [94] Soraia M. Alarcão and Manuel J. Fonseca. Emotions recognition using eeg signals: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10 (3):374–393, 2019. doi: 10.1109/TAFFC.2017.2714671.

Bibliografía

- [95] Goldstein RZ Zilverstand A, Parvaz MA. Neuroimaging cognitive reappraisal in clinical populations to define neural targets for enhancing emotion regulation. a systematic review. *Neuroimage*, 151:105–116, 2017. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.06.009.
- [96] Talieh Sadeghi Mikkel M Thørrisen. The ten-item personality inventory (tipi): a scoping review of versions, translations and psychometric properties. *Front Psychol*, 2023.
- [97] Boele De Raad Harrun H. Garrashi, Dick P. H. Barelds. A psychometric evaluation of the big five inventory (bfi) in an eastern africa population. *International Adaptation of Measurement Instruments*, 2023.
- [98] Paula Smith Peter Watson Bonnie Auyeung Howard Ring Simon Baron-Cohen Emily Ruzich, Carrie Allison. Measuring autistic traits in the general population: a systematic review of the autism-spectrum quotient (aq) in a nonclinical population sample of 6,900 typical adult males and females. *Molecular Autism*, 2015.
- [99] Glenys Bravo Pino Mónica Ramos Ortiz Nancy Ríos Hidalgo Juana Margarita López Vergara, Alfonso Guillermo de Jesús Ramos Sosa. Autismo y personalidades con trastornos de la conducta autista. *Panorama Cuba y Salud*, 2019.
- [100] Zamora E. Khalil Y. Macarena Altamirano M. Del Valle, M. Rasgos de personalidad y dificultades de regulación emocional en estudiantes universitarios. *Rev. psicodebate: psicol. cult. soc.*, 20, 2020. doi: 10.18682/pd.v20i1.1877.
- [101] María Josefa Sospedra Baeza Sergio Hidalgo Fuentes, Isabel Martínez Álvarez. La relación entre inteligencia emocional y personalidad en estudiantes universitarios españoles. *Apuntes de Psicología*, 39: 87–93, 2021. doi: ISSN0213-3334.
- [102] Tom Chau Kelly Tai. Single-trial classification of nirs signals during emotional induction tasks: towards a corporeal machine interface. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2009.
- [103] Kevin Ochsner and James Gross. The cognitive control of emotion. *Trends in cognitive sciences*, 9:242–9, 06 2005. doi: 10.1016/j.tics.2005.03.010.

- [104] Gross JJ. Etkin A, Büchel C. The neural bases of emotion regulation. *Nat Rev Neurosci.*, 2015. doi: 10.1038/nrn4044.
- [105] Bao-Liang Lu Mu Li. Emotion classification based on gamma-band eeg. *31st Annual International Conference of the IEEE EMBS*, 2009.
- [106] Friedman Milton. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *Journal of the american statistical association*, 1937.
- [107] Chiaki Yamaoka Hiroaki Ozaki Sayaka Nakagawa Noriko Nagata Kenji Katahira, Yoichi Yamazaki. Eeg correlates of the flow state: A combination of increased frontal theta and moderate frontocentral alpha rhythm in the mental arithmetic task. *Front. Psychol*, 2018.
- [108] Norsiah Fauzan Gregory Xavier, Anselm Su Ting. Exploratory study of brain waves and corresponding brain regions of fatigue on call doctors using quantitative electroencephalogram. *Sec. Performance Science*, 2018.
- [109] Harmon-Jones E Gable, P. A. Trait behavioral approach sensitivity (bas) relates to early (<150 ms) electrocortical responses to appetitive stimuli. *Personality and Individual Differences*, 2013.
- [110] Mühl C. Poel M. Reuderink, B. Valence, arousal and dominance in the eeg during game play. *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems*, 2013.
- [111] Amin H. U. Saad M. N. M. Malik A. S. Tyng, C. M. The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, 2017.
- [112] Zhou W. Wang S. Zhou Q. Wang H. Zhang B. Huang J. Hong B. Wang X Zhang, Y. The roles of subdivisions of human insula in emotion perception and auditory processing. *Cerebral Cortex*, 2019.
- [113] g.tec. Simulink highspeed for g.tec. URL <https://www.gtec.at/product/ghisys/>.
- [114] Balasubramani P Maric V Ramanathan D Mishra J. Ojeda A, Buscher N. Simbsi: An open-source simulink library for development of closed-loop brain signal interfaces in animals and humans, 2020. URL <https://bitbucket.org/neatlabs/simbsi/wiki/Home>.

Bibliografía

- [115] Varun Chopra. *Websocket Essentials: Building Apps With Html5 Websockets*, volume primera edición. Packt Pub Ltd, 2015.
- [116] Clark C. Abt. *Serious games*, volume 1. Viking Press, 1970.
- [117] Cristian. López Raventós. El videojuego como herramienta educativa. posibilidades y problemáticas acerca de los serious games. *Revista de Innovación Educativa*, 8:136–151, 2016.
- [118] A Kirriemuir, J. y McFarlane. *Literature Review in Games and Learning.*, volume 8. Bristol: Nesta Futurelab series, 07 2004.
- [119] Osbaldo Romero, Margarida Turpo Gebera. Serious games para el desarrollo de las competencias del siglo xxi. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 2012. URL <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54724753002>.
- [120] Felipe et al. Orihuela-Espina. Neural reorganization accompanying upper limb motor rehabilitation from stroke with virtual reality-based gesture therapy. *Topics in stroke rehabilitation*, pages 197–209, 2013. doi: 10.1310/tsr2003-197.
- [121] L. Enrique Sucar, Roger Luis, Ron Leder, Jorge Hernández, and Israel Sánchez. Gesture therapy: A vision-based system for upper extremity stroke rehabilitation. In *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pages 3690–3693, 2010. doi: 10.1109/IEMBS.2010.5627458.