



SEP

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

# Tecnológico Nacional de México

## Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico

### Tesis de Maestría

Metodología para caracterizar e inducir estados  
cognitivos y emocionales mediante realidad virtual  
inmersiva

presentada por

**Lic. Jeovanny Soriano Terrazas**

como requisito para la obtención del grado de  
**Maestro en Ciencias de la Computación**

Director de tesis

**Dr. Juan Gabriel González Serna**

Codirector de tesis

**Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez**

**Cuernavaca, Morelos, México. Junio de 2018.**

Cuernavaca, Morelos a 12 de junio del 2018  
OFICIO No. DCC/164/2018

**Asunto:** Aceptación de documento de tesis

**DR. GERARDO V. GUERRERO RAMÍREZ**  
**SUBDIRECTOR ACADÉMICO**  
**PRESENTE**

Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial del **Lic. Jeovanny Soriano Terrazas**, con número de control M16CE023, de la Maestría en Ciencias de la Computación, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis profesional titulado "**Metodología para caracterizar e inducir estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva**" y hemos encontrado que se han realizado todas las correcciones y observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.

DIRECTOR DE TESIS



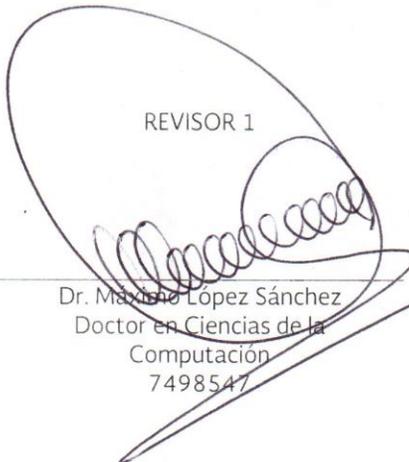
Dr. Juan Gabriel González Serna  
Doctor en Ciencias de la  
Computación  
7820329

CO-DIRECTOR DE TESIS



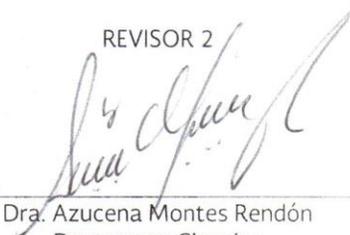
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez  
Doctor en Ciencias de la  
Computación  
08701806

REVISOR 1



Dr. Mauricio López Sánchez  
Doctor en Ciencias de la  
Computación  
7498547

REVISOR 2



Dra. Azucena Montes Rendón  
Doctora en Ciencias  
4001014

C.p. M.T.I. María Elena Gómez Torres - Jefa del Departamento de Servicios Escolares,  
Estudiante  
Expediente

NACS/lmz

Cuernavaca, Mor., 19 de junio de 2018  
OFICIO No. SAC/272/2018

**Asunto:** Autorización de impresión de tesis

**LIC. JEOVANNY SORIANO TERRAZAS  
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA COMPUTACIÓN  
PRESENTE**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado "**Metodología para caracterizar e inducir estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva**", ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA®  
"CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE MÉXICO"



**DR. GERARDO VICENTE GUERRERO RAMÍREZ  
SUBDIRECTOR ACADÉMICO**



C.p. M.T.J. María Elena Gómez Torres - Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
Expediente

GVGR/mcr

## **Dedicatoria**

*A mi querida madre, mujer de principios y valores que siempre ha estado a mi lado, mi fuente de inspiración por su forma de ver la vida, todo que soy es gracias a ella.*

*A mis hermanos, por brindarme su apoyo incondicional, también por darme la oportunidad de aprender de cada uno de ellos y saber que tengo una maravillosa familia.*

## **Agradecimientos**

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber brindado el apoyo económico para la realización de la investigación.*

*Al Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), por brindarme la oportunidad de realizar mi posgrado de maestría en ciencias de la computación dentro de sus instalaciones.*

*A la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Por brindarme la oportunidad de ampliar mis conocimientos, permitiéndome realizar una estancia académica dentro del Laboratorio Europeo de Neurotecnologías Inmersivas (LENI).*

*Al Dr. Juan Gabriel González Serna, por darme la confianza plena en el desarrollo de investigación, así también, agradecer su grandiosa amistad y apoyo durante mi estancia en CENIDET.*

*Al Dr. Mariano Alcañiz Raya, por permitir expandir mis conocimientos dentro de sus instalaciones, así como por asesorarme durante mi estancia en España, permitiendo usar sus equipos y sus mejores técnicas de neurociencias para desarrollar mi tesis.*

*A mis revisores, Dr. Máximo López, Dr. Noé Castro, Dra. Azucena Montes, por haberme brindado sus observaciones y apoyo para que pudiera desarrollar la tesis de maestría.*

*A mis amigos, Abiud Leal, Manuel Matuz, Carlos Acevedo, Cristina Barrera, Julia Arana, Fortino Cabrera y Juan Carlos Rendón, cada uno me brindó su apoyo absoluto para culminar la investigación.*

## Resumen

Actualmente las tecnologías de la información y comunicación (TIC's), han logrado un cambio radical de nuestro entorno social, ya que contamos con diversas herramientas como apoyo en áreas indispensables de la vida cotidiana, éstas ayudan a cubrir algunas necesidades humanas, estas tecnologías se están utilizando en un sin fin de áreas, entre las que destaca la medicina, la psicología, la educación, el entretenimiento, el marketing, la aeronáutica, la milicia, entre otras.

Las nuevas tecnologías de interacción, como la realidad virtual, ofrecen técnicas innovadoras para la adquisición de nuevos conocimientos de forma más interactiva, la realidad virtual ayuda a mejorar las formas de aprendizaje de las personas brindando capacidades cognitivas más eficientes, facilitando la interacción virtual y volviéndola más interactiva en comparación con otras plataformas de aprendizaje.

En este proyecto se creó una metodología para caracterizar e inducir estados mentales mediante entornos de realidad virtual inmersiva, utilizando interfaces computacionales como el visor de realidad virtual (*headset*) combinándolo con otras tecnologías de Interacción Humano Computadora (HCI por sus siglas en inglés), como las Interfaces Cerebro Computadora (BCI por sus siglas en inglés), para el registro de datos biométricos cerebrales de un sujeto, el objetivo de esta tesis fue crear una metodología que permitiera inducir estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva, utilizando repositorios internacionales de imágenes, video y audio clasificados para inducir estados afectivos y cognitivos.

## **Abstract**

Currently information and communication technologies (ICTs) have achieved a radical change in our social environment, as we have various tools to support essential areas of daily life, these help to meet some human needs, these technologies they are being used in a number of areas, including medicine, psychology, education, entertainment, marketing, aeronautics, the military, among others.

New interaction technologies, such as virtual reality, offer innovative techniques for the acquisition of new knowledge in a more interactive way, virtual reality helps to improve people's ways of learning by providing more efficient cognitive abilities, facilitating virtual interaction and making it more interactive compared to other learning platforms.

In this project, a methodology was created to characterize and induce mental states through immersive virtual reality environments, using computational interfaces such as the virtual reality viewer (headset) combined with other Human Computer Interaction (HCI) technologies, such as the Brain Computer Interfaces (BCI), for the registration of brain biometric data of a subject, the objective of this thesis was to create a methodology that would allow to induce cognitive and emotional states through immersive virtual reality, using international image repositories , video and audio classified to induce affective and cognitive states.

# Índice

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>13</b>
<b>TABLA DE TÉRMINOS Y SIGLAS .....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	21
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1 INTERACCIÓN HUMANO COMPUTADORA .....	24
2.2 EL SISTEMA NERVIOSO .....	24
2.2.1 <i>La neurona</i> .....	24
2.2.2 <i>Sinapsis</i> .....	25
2.3 LOS LÓBULOS DEL CEREBRO .....	25
2.3.1 <i>Lóbulo frontal</i> .....	26
2.3.2 <i>Lóbulo parietal</i> .....	26
2.3.3 <i>Lóbulo occipital</i> .....	26
2.3.4 <i>Lóbulo temporal</i> .....	26
2.3.5 <i>Ínsula</i> .....	27
2.4 ESTADO MENTAL.....	27
2.4.1 <i>Estados cognitivos</i> .....	27
2.4.2 <i>Estados Afectivos</i> .....	27
2.5 ONDAS CEREBRALES.....	29
2.5.1 <i>Ondas delta</i> .....	30
2.5.2 <i>Ondas theta</i> .....	30
2.5.3 <i>Ondas alfa</i> .....	30
2.5.4 <i>Ondas beta</i> .....	30
2.5.5 <i>Ondas gamma</i> .....	30
2.6 INTERFACES CEREBRO COMPUTADORA.....	31
2.6.1 <i>Electroencefalograma</i> .....	31
2.7 CLASIFICACIÓN DE ESTADOS MENTALES.....	33
2.7.1 <i>Artefacto</i> .....	33
2.8 SISTEMA INTERNACIONAL 10-20 .....	33
2.9 REALIDAD VIRTUAL .....	34
2.9.1 <i>Componentes de un ambiente de realidad virtual</i> .....	34
2.9.2 <i>Sentido de Presencia</i> .....	35
2.9.3 <i>Realidad virtual no inmersiva</i> .....	35
2.9.4 <i>Realidad virtual inmersiva</i> .....	35
2.10 INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN PSICOLÓGICA .....	36
2.10.1 <i>Maniquí de autoevaluación SAM</i> .....	37
2.10.2 <i>Positive and negative affect schedule (PANAS)</i> .....	37
2.10.3 <i>Patient health questionnaire-9 (PHQ9)</i> .....	37
2.10.4 <i>The state-trait anxiety inventory (STAI)</i> .....	37
2.11 PROCEDIMIENTOS DE INDUCCIÓN EMOCIONAL (PIE's) .....	37
2.11.1 <i>Sistema Internacional de Imágenes Afectivas (IAPS)</i> .....	38

2.11.2 <i>The geneva affective picture database (GAPED)</i> .....	38
2.11.3 <i>Sistema internacional de sonidos afectivos (IADS)</i> .....	38
<b>3 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>39</b>
3.1 IMPROVING CHILDREN'S COGNITIVE MODIFIABILITY BY DYNAMIC ASSESSMENT IN 3D IMMERSIVE VIRTUAL REALITY ENVIRONMENTS. (PASSIG, TZURIEL, & ESHEL-KEDMI, 2016).....	40
3.2 DESARROLLO DE INTERFACE DE DETECCIÓN DE EMOCIONES PARA SU UTILIZACIÓN EN REDES SOCIALES Y ENTORNOS VIRTUALES DE APRENDIZAJE (CAMPAZZO, MARTÍNEZ, GUZMÁN, & AGÜERO, 2013) .....	40
3.3 ASSESSING BRAIN ACTIVATIONS ASSOCIATED WITH EMOTIONAL REGULATION DURING VIRTUAL REALITY MOOD INDUCTION PROCEDURES (RODRÍGUEZ, REY, CLEMENTE, WRZESIEN, & ALCAÑIZ, 2014).....	41
3.4 DESIGN AND APPLICATION OF AN IMMERSIVE VIRTUAL REALITY SYSTEM TO ENHANCE MOTIONAL SKILLS FOR CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDERS (LORENZO, LLEDÓ, POMARES, & ROING, 2015) .....	42
3.5 DIFERENCIAS NEUROFUNCIONALES DE LA ONDA P300 ANTE ESTIMULACIÓN MULTISENSORIAL EN NIÑOS CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN/HIPERACTIVIDAD. (SORIA-CLAROS, Y OTROS, 2015).....	43
3.6 DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NEUROMARKETING USANDO EL DISPOSITIVO EMOTIV EPOC (MORENO, PEÑA, & GUALDRÓN, 2014).....	43
3.6.1 <i>Herramientas utilizadas</i> .....	44
3.6.2 <i>Método de inducción</i> .....	44
3.6.3 <i>Resultados obtenidos</i> .....	45
3.7 LA REALIDAD VIRTUAL EN LAS INTERVENCIONES PSICOLÓGICAS CON PACIENTES ONCOLÓGICOS (ESPINOZA, BAÑOS, PALACIOS, & BOTELLA, 2013).....	46
3.7.1 <i>Herramientas utilizadas</i> .....	46
3.7.2 <i>Método de inducción</i> .....	47
3.7.3 <i>Resultados obtenidos</i> .....	48
3.8 REAL-TIME EEG-BASED HAPPINESS DETECTION SYSTEM (JATUPAIBOON, PAN-NGUM, & ISRASENA, 2013) .....	48
3.8.1 <i>Herramientas utilizadas</i> .....	48
3.8.2 <i>Método de inducción</i> .....	49
3.8.3 <i>Resultados obtenidos</i> .....	50
3.9 ANÁLISIS TÉCNICO DEL ESTADO DEL ARTE .....	50
<b>4 METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN .....</b>	<b>53</b>
4.1 METODOLOGÍA PARA INDUCIR ESTADO MENTALES CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA .....	54
4.1.1 <i>Perfiles de usuario de la metodología</i> .....	56
4.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA INDUCIR ESTADOS MENTALES CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.....	57
4.2.1 <i>Etapa 1 Preparación</i> .....	57
4.2.2 <i>Etapa 2 Inducción de estados mentales</i> .....	65
4.2.3 <i>Etapa 3 Finalización</i> .....	67
<b>5 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA .....</b>	<b>71</b>
5.2 ENTORNO VIRTUAL CON MÚSICA/AUDIO IADS.....	74
5.3 ENTORNO VIRTUAL CON VIDEOS AFV .....	75
5.4 ENTORNO VIRTUAL CON IMÁGENES IAPS & AUDIO .....	77
5.5 ENTORNO VIRTUAL CON ESTÍMULOS MIXTOS.....	79
<b>6 PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
6.1 VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA INDUCIR ESTADOS MENTALES CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA .....	83
6.1.1 <i>Objetivo del experimento I.R.A</i> .....	83
6.1.2 <i>Información recopilada en el experimento</i> .....	83
6.1.3 <i>Muestra de participantes del experimento</i> .....	83
6.1.4 <i>Herramientas para el experimento I.R.A</i> .....	84
6.1.5 <i>Descripción del experimento</i> .....	84
6.1.5.1 <i>ETAPA 1 PREPARACIÓN</i> .....	84
6.1.5.2 <i>ETAPA 2 INDUCCIÓN EMOCIONAL</i> .....	85
6.1.6 <i>Protocolo de experimento</i> .....	86

6.1.7 Estímulos del experimento .....	86
6.1.8 Montaje del experimento.....	86
6.1.9 Datos analizados del experimento .....	87
6.1.10 Resultados .....	87
6.2 EVALUACIÓN DE EXPERIENCIA DEL USUARIO UX DE LA METODOLOGÍA DE INDUCCIÓN DE ESTADOS MENTALES CON REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA.....	90
6.2.1 Plan de pruebas .....	90
6.2.2 Ejecución de la prueba .....	93
6.3 IMPLEMENTACIÓN DE CORRECCIONES.....	100
6.3.1 Técnica Think-Aloud.....	100
6.3.2 Mejoras a la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva .....	101
6.4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN UX.....	102
6.4.1 Resultados de información demográfica de los participantes .....	103
6.4.2 Resultados del test SAM de inducción de estados mentales positivos (relajación, alegría).....	107
<b>7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>109</b>
7.1 CONCLUSIONES.....	110
7.2 APORTACIONES.....	111
7.3 RESULTADOS OBTENIDOS .....	112
7.4 TRABAJOS FUTUROS.....	113
<b>8 REFERENCIAS.....</b>	<b>114</b>
<b>9 ANEXOS.....</b>	<b>118</b>

## Lista de figuras

Figura 1. Proceso de sinapsis entre neuronas extraída de (Ormrod, 2005).....	25
Figura 2. Lóbulos del cerebro humano (Ortega, 2006).....	26
Figura 3. Clasificación de estados mentales.....	28
Figura 4. Realizando electroencefalograma (Schanuel, 2013).....	31
Figura 5. Diadema Emotiv EPOC (Emotiv, 2016).....	32
Figura 6. Antena EEG NeuroSky (NeuroSky, 2016).....	33
Figura 7 Sistema Internacional 10-20.Extraído de (Roberto Sepúlveda, Oscar Montiel, Gerardo Díaz, Daniel Gutierrez , & Oscar Castillo, 2015).....	34
Figura 8. Propiedades básicas de un sistema de realidad virtual extraída de (Jurnet, 2009).....	35
Figura 9. Clasificación de realidad virtual (Monleon, 2016).....	36
Figura 10. Resultados de evaluación en realidad virtual 3D (Passig, Tzuriel, & Eshel-Kedmi, 2016).....	40
Figura 11. Prototipo de diadema creada para análisis de ondas cerebrales (Rithec, 2015).....	41
Figura 12. Media de la localización de fuentes mediante LORETA del potencial evocado P300. ....	43
Figura 13. Arquitectura de inducción emocional sistema de neuromarketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014).....	44
Figura 14. Algoritmo de inducción de emociones del sistema de neuromarketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014).....	45
Figura 15. Herramientas utilizadas para inducir emociones a pacientes con cáncer terminal. Extraída de (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013).....	47
Figura 16. Entorno virtual (no inmersivo), para generar relajación a pacientes con cáncer terminal extraída de (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013).....	47
Figura 17. Clasificación de emociones extraída de (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013).....	49
Figura 18. Procedimiento de experimento EEG, extraída de (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013).....	49
Figura 19. Metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva.....	54
Figura 20. Estructura general de la metodología para inducir estados mentales.....	55
Figura 21. Etapa 1. Preparación del experimento para inducir EM.....	57
Figura 22. Diagrama de actividades del procedimiento 1. Conociendo al usuario.....	59
Figura 23. Diagrama de actividades del procedimiento 2. Preparar dispositivos y zona de trabajo.....	60
Figura 24. Diagrama de actividades del procedimiento 3. Instalando dispositivos al usuario.....	60
Figura 25. Diagrama de actividades del procedimiento 4. Iniciar grabación EEG.....	62
Figura 26. Diagrama de actividades del procedimiento 5. Iniciar entorno virtual inmersivo.....	63
Figura 27. Arquitectura del proceso de inducción de EM.....	64
Figura 28. Etapa 2. Inducción de estados mentales.....	65
Figura 29. Diagrama de actividades del procedimiento 6,7 y 8. Etapa de Inducción de estados mentales.....	65
Figura 30. Etapa 3. Finalización de inducción de estados mentales.....	67
Figura 31. Diagrama de actividades del procedimiento 9. Finalizar entorno virtual inmersivo.....	68
Figura 32. Diagrama de actividades del procedimiento 10. Finalización de grabación EEG.....	68
Figura 33. Diagrama de actividades del procedimiento 11. Desinstalar dispositivos al usuario.....	69
Figura 34. Diagrama de actividades del procedimiento 12. Aplicar cuestionario PANAS.....	70

Figura 35. Arquitectura del entorno de imágenes IAPS.....	72
Figura 36. Entorno virtual imágenes iaps .....	74
Figura 37. Arquitectura del entorno virtual de audios IADS.....	74
Figura 38. Entorno virtual Audios.....	75
Figura 39. Arquitectura del entorno virtual de videos AFV .....	76
Figura 40. Entorno virtual videos AFV .....	77
Figura 41. Arquitectura del entorno virtual audiovisual IAPS/IADS.....	78
Figura 42. Entorno virtual audio fotográfico .....	79
Figura 43. Arquitectura del entorno virtual mixto con diferentes PIE's .....	80
Figura 44. Entorno virtual de estímulos mixtos, imágenes, videos, audios y texto .....	81
Figura 45. Evaluación Likert SAM .....	81
Figura 46. Proceso de experimento para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva.	86
Figura 47. Experimentos aleatorizados .....	88
Figura 48. Se muestra sujeto con dispositivos instalados, lado izquierdo utiliza: B-ALERTX10, Shimmer GSR, ECG, EMG. Del lado derecho, usa Emotiv Epop, Shimmer GRS + ECG .....	89
Figura 49. El sujeto interactuando con escenario virtual de relajación (izquierda) y escenario virtual que induce ansiedad (estrés) del lado derecho, con distintos dispositivos EEG.....	89
Figura 50. El sujeto interactuando con escenario virtual de relajación B-AlertX10.....	89
Figura 51. Secuencia de estímulos psicológicos utilizados dentro de las pruebas de la metodología I.E.M.....	93
Figura 52. Pruebas procedimiento 1, conociendo al usuario .....	94
Figura 53. Fase de pruebas, procedimiento 2, preparando equipo y zona de trabajo .....	94
Figura 54. Fase de pruebas, procedimiento 3, instalando dispositivos EEG .....	95
Figura 55. Fase de pruebas, procedimiento 3, instalando dispositivos RV .....	95
Figura 56. Fase de pruebas, procedimiento 4, iniciar grabación EEG .....	96
Figura 57. Fase de pruebas, procedimiento 5, iniciar entorno virtual .....	96
Figura 58. Fase de pruebas, procedimiento 5,6 y 7, sujeto interactuando con entorno virtual .....	97
Figura 59. Fase de pruebas, procedimiento 8 y 9, finalizando entorno virtual.....	97
Figura 60. Fase de pruebas, procedimiento 10, finalizando grabación EEG .....	98
Figura 61. Fase de pruebas, procedimiento 11, desinstalando dispositivos al usuario .....	98
Figura 62. Fase de pruebas, procedimiento 12, cuestionario PANAS .....	99
Figura 63. Manuales de instalación y ejecución de plataformas .....	101
Figura 64. Muestra de género .....	103
Figura 65. Análisis de IHC .....	104
Figura 66. Análisis de BCI.....	104
Figura 67. Análisis de ondas EEG .....	105
Figura 68. Análisis de realidad virtual.....	105
Figura 69 Análisis de nivel de estrés de los participantes.....	106
Figura 70. Análisis de nivel de relajación de los participantes.....	106
Figura 71. Valoración SAM de sujetos con RV .....	108
Figura 72. Consentimiento de experimento para inducir estados mentales con RV .....	119

## Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de experimentos aplicados en la investigación de Balam, 2015.....	17
Tabla 2. Clasificación de los estados afectivos (Mas, 2016). .....	28
Tabla 3. Tipos de ondas cerebrales (Medina, 2009) .....	29
Tabla 4. Indicadores estadísticos de las pruebas del sistema de marketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014).....	46
Tabla 5. Matriz comparativa del estado del arte .....	51
Tabla 6 Componentes de la arquitectura para inducir estados mentales con RV .....	64
Tabla 7. Resultados de Experimento I.R.A.....	87
Tabla 8 Aspectos evaluados con la técnica Think-Aloud. ....	100
Tabla 9 sujetos de prueba que participaron en la inducción de estados mentales .....	102
Tabla 10. Resultados Likert SAM de las pruebas de inducción mental .....	107

## Tabla de términos y siglas

Iniciales	Inglés	Español
HCI	Human Computer Interaction	Interacción Humano Computadora
BCI	Brain Computer Interface	Interfaz Cerebro Computadora
VR	Virtual Reality	Realidad Virtual
EEG	Electroencephalography	Electroencefalografía
ECG	Electrocardiography	Electrocardiografía
ECoG	Electrocorticography	Electrocorticografía
FMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging	Imagen de Resonancia Magnética Funcional
PIE	Emotional Induction Procedures	Procedimientos de Inducción Emocional
IAPS	International Affective Picture System	Sistema Internacional de Imágenes Afectivas
IADS	International Affective Digital Sounds	Sistema Internacional de Sonidos Afectivos
GAPED	Geneva Affective Picture Database	Base de Datos de Imágenes Afectivas de Ginebra
SAM	Self-Assessment Manikin	El Maniquí de Autoevaluación
STAI	The State-Trait Anxiety Inventory	Inventario de Ansiedad Estado-Rasgo
PHQ9	Patient Health Questionnaire-9	Cuestionario de Salud Del Paciente-9
PANAS	Positive And Negative Affect Schedule	Lista de Emociones Positivas Y Negativas
UX	User Experience	Experiencia del Usuario
ANOVA	Analysis Of Variance	Análisis de Varianza
HZ	Hertz	Hercio
SVM	Support Vector Machines	Máquinas de Soporte Vectorial
IRA	Induction Of Relaxation And Anxiety	Inducción de Relajación y Ansiedad
IEM	Induction of Estates Mental	Inducción de Estados Mentales

# 1 Introducción

*En este capítulo se describen los antecedentes sobre la presente investigación, el contexto en el cual se propuso el tema de tesis desarrollada, el problema a resolver, los objetivos específicos y los alcances.*

En la actualidad, el detectar la manera de cómo aprende cada persona se ha facilitado debido a diversas tecnologías para la detección de estados cognitivos, un ejemplo claro son las Interfaces Cerebro Computadora (BCI por sus siglas en inglés). Las BCI son dispositivos capaces de detectar el flujo eléctrico que se genera cuando las neuronas cerebrales se comunican a través de las dendritas, este proceso se conoce como sinapsis, cada señal eléctrica es producida por estímulos percibidos por nuestros sentidos (auditivo, visual, olfativo, táctil y gustativo), cada estímulo genera una intensidad de onda eléctrica en nuestro cerebro que se conocen como ondas mentales y se clasifican como: delta, theta, beta, alfa y gamma, cada onda mental determina un estado cognitivo o emocional en un individuo según su tiempo de duración y su amplitud, así también con la intensidad de la frecuencia que ésta genera.

Como seres humanos somos capaces de pasar de un estado mental a otro en milésimas de segundo, por lo cual, en el área de neurociencias e interacción humano computadora se está desarrollando investigación científica para evaluar cuándo un sujeto se encuentra en un estado cognitivo o emocional idóneo para desempeñarse mejor en actividades que requieren capacidad cognitiva.

Las nuevas tecnologías de interacción como la Realidad Virtual (RV), ofrecen técnicas innovadoras para la adquisición de nuevos conocimientos de forma más interactiva, la RV ha venido a revolucionar la forma de aprender de las personas, brindando capacidades cognitivas más eficientes, facilitando la interacción virtual, volviéndola más eficaz al momento de generar conocimiento a diferencia de las plataformas de aprendizaje convencionales.

En esta tesis se creó y evaluó una metodología para caracterizar e inducir estados mentales mediante entornos inmersivos de realidad virtual, utilizando interfaces computacionales, principalmente dispositivos de realidad virtual, así también, se utilizaron las BCI para el registro de datos biométricos cerebrales de un sujeto.

## 1.1 Antecedentes

En esta sección se describen algunos proyectos de tesis de maestría y doctorado que han sido desarrollados en el CENIDET, los cuales están relacionados con el desarrollo de esta tesis.

En (Balam, 2015), se diseñó e implementó un modelo semántico para la gestión de técnicas de HCI mediante el monitoreo de actividad bioeléctrica para caracterizar estados mentales y su relación con cambios en el contexto del usuario.

La metodología que se desarrolló en (Balam, 2015), define los siguientes procesos: adquisición, procesamiento, obtención de características y clasificación de las señales electroencefalograficas (EEG); los cuales definieron el modelo para caracterizar y monitorear dos estados mentales: concentración y relajación.

Para cada estado mental se diseñó e implementó un protocolo de inducción; estos protocolos fueron el Test del trazo (Drake, 2007) y Test de Toulouse (Montiel, Rocha, Bizzotto & Martins, 2006) correspondientes al estado de concentración. En cuanto al estado de relajación, se controló el lugar de las pruebas con factores determinantes de la iluminación, el ruido y el clima para propiciar dicho estado mental. Para las pruebas experimentales y funcionales, en (Balam, 2015), se establecieron cinco escenarios para evaluar los protocolos, ver tabla 1.

Tabla 1. Tipos de experimentos aplicados en la investigación de Balam, 2015

Escenario	Método de experimento
<b>Escenario 1</b>	No controlado y sin procesamiento de señal.
<b>Escenario 2</b>	No controlado y con procesamiento de señal utilizando el algoritmo de optimización mínima secuencial (SMO) (Platt, 1999).
<b>Escenario 3</b>	Controlado y sin procesamiento de señal.
<b>Escenario 4</b>	Controlado y con procesamiento de señal utilizando el algoritmo de SMO.
<b>Escenario 5</b>	Controlado y con procesamiento de señal utilizando el algoritmo de clasificación de Bayes (Santafé, Lozano & Larranaga, 2004).

Los resultados obtenidos en (Balam, 2015) , indican que las pruebas no controladas y sin procesamiento de señal, son afectadas por el ruido ambiental y

por condiciones contextuales no favorables para la prueba. En cambio, los escenarios 4 y 5, donde se controlaron las variables antes mencionadas, las señales EEG obtenidas ofrecieron información con mayor precisión.

El segundo trabajo de investigación que se consideró relevante para el desarrollo de esta tesis, es el descrito en (González Franco, 2015). En este trabajo, se diseñó un modelo de interacción multimodal para personas con discapacidad, integrado a un sistema de recomendación sensible al contexto.

En esta tesis (González Franco, 2015), se desarrolló e implementó un método de evaluación centrado en el usuario (UCE por sus siglas en inglés), el cual es aplicable a sistemas adaptados a mecanismos HCI, en donde se exploran distintas mediciones fisiológicas para obtener una valoración objetiva de la experiencia del usuario.

La contribución más significativa de (González Franco, 2015), es el grupo poblacional que consideró para la realización de las pruebas experimentales, que son personas con parálisis cerebral infantil (PCI). En las pruebas realizadas en (González Franco, 2015) se llevaron a cabo diferentes tareas para inducir estados cognitivos en personas con PCI, las cuales fueron:

- Actividades para el desarrollo de habilidades de comunicación basadas en tableros de pictogramas.
- Actividades para el desarrollo de habilidades de comunicación basadas en señas.
- Actividades recreativas desarrolladas partir de juegos de mesa.

En los resultados de (González Franco, 2015), se logró identificar un patrón de comportamiento distinto en los ritmos cerebrales alfa, beta, delta y theta, este patrón fue la adquisición de información del ritmo cerebral gamma.

El tercer trabajo de investigación vinculado al desarrollo de esta tesis es (Carreón, 2016). El proyecto consistió en “diseñar e implementar una metodología de comunicación aumentativa y alternativa capaz de integrar diferentes dispositivos de interacción humano computadora”, que permitieron a personas con discapacidad motriz y/o de lenguaje, expresar sus ideas y pensamientos de forma sencilla. Utilizando herramientas que detectan ondas cerebrales para el análisis de estados emocionales que transmitían de forma automática las personas con capacidades diferentes, ya que por su discapacidad se le dificulta la comunicación verbal. Se realizaron diversas pruebas para inducir estados emocionales a través de películas a 46 sujetos con parálisis cerebral que reciben atención en el centro de rehabilitación “Asociación”.

## 1.2 Descripción del problema

La inducción de estados emocionales tiene cierto grado de complejidad, debido a que las personas cuentan con distintos estilos de capacidades mentales, por ende, ha surgido un campo encargado de realizar estudios de interacción entre el humano y la computadora. La Cognición Aumentada (**AugCog** por sus siglas en inglés), esta disciplina se encarga de realizar estudios en las habilidades y procesos cognitivos del usuario, estudiando su comportamiento racional y emocional (Brave, 2002).

Los aspectos emocionales juegan un papel fundamental en la interacción del usuario. Como se menciona en (Norman, 2012) los estados emocionales afectan a los procesos cognitivos. En otras palabras, los estados afectivos del usuario influyen en qué tan bien éste resuelve problemas racionales. De forma más específica, de acuerdo a (Brave, 2002) las emociones afectan a la capacidad de atención y memorización, al rendimiento del usuario y a su valoración del producto.

Para evaluar la experiencia del usuario (UX por sus siglas en inglés) se recurre al uso de instrumentos convencionales, por ejemplo: cuestionarios, entrevistas, análisis observacional, en ocasiones estos instrumentos pueden sesgar los resultados, por lo que el problema con este tipo de evaluaciones es que no

brindan una valoración precisa, es decir, no podemos saber cómo se siente realmente el usuario sobre el sistema (Vermeeren, ACM. 2010), por lo tanto, actualmente se realizan estudios de análisis de comportamiento más precisos a través de mediciones fisiológicas (biofeedback) como electroencefalogramas (EEG), Electrocardiogramas (ECG), conductividad en piel (GSR), entre otros.

El uso de EEG en la evaluación de la UX permite una valoración más precisa, que sumado a los instrumentos convencionales mencionados anteriormente, brindan resultados importantes para analizar de manera más objetiva el comportamiento neurofisiológico de las personas ante cualquier estimulación sensorial, esto debido a que las muestras de satisfacción hacia el producto provienen directamente de lo que el usuario está sintiendo en el momento en el que está experimentando el producto, proceso o servicio.

Por otro lado, existen diversas técnicas para inducir estados emocionales o cognitivos, por ejemplo, mediante la música, imágenes o fragmentos de video, cada una de estas técnicas producen sensaciones diferentes en nuestro cerebro, logrando inducir un estado emocional o cognitivo, sin embargo, no siempre se logra inducir con éxito el estado mental esperado o con la intensidad que se requiere, la principal razón radica en que las técnicas que se aplica puede que no sea la adecuada para cierto tipo de individuo (fuera de su perfil demográfico), es decir, pueden existir sesgos de imágenes que impacten emocionalmente a dos personas pero en escalas completamente diferentes.

El problema que se pretende resolver con esta tesis está relacionado en el proceso de evaluación de la experiencia del usuario, en el cual, se utilizan métodos convencionales que no miden adecuadamente las emociones ni los niveles cognitivos del usuario, además de que carecen de mecanismos para evaluar el contexto introspectivo (lo que el usuario siente internamente).

### **1.3 Objetivo general**

Diseñar, desarrollar y evaluar una metodología que permita caracterizar e inducir estados cognitivos y emocionales a través de entornos de realidad virtual inmersiva mediante técnicas de cognición aumentada para generar un repositorio bioinformático de patrones.

### **1.4 Objetivos específicos**

- Identificar técnicas para inducir estados cognitivos en entornos inmersivos de realidad virtual.
- Identificar técnicas para inducir estados emocionales en entornos inmersivos de realidad virtual.
- Caracterizar patrones de estados cognitivos de relajación, atención y concentración mediante señales EEG.
- Caracterizar patrones de estados emocionales de alegría, miedo y tristeza mediante señales EEG.
- Crear un repositorio de patrones EEG de estados cognitivos y emocionales.
- Implementar un prototipo software para probar la metodología.
- Evaluar y validar el prototipo mediante un protocolo de validación.

### **1.5 Justificación**

En el área de las neurociencias se utilizan distintas técnicas para inducir estados afectivos y/o cognitivos, mediante la exposición a música, imágenes o fragmentos de video, cada uno de estos estímulos producen diferentes percepciones o sensaciones en nuestro cerebro, logrando un estado emocional o cognitivo, sin embargo, no siempre que se desea inducir un determinado estado cognitivo o emocional se logra con éxito, ya que las técnicas que se usan no son adecuadas para algunos usuarios, debido a que dependen del perfil demográfico de cada persona.

El uso de técnicas tradicionales como cuestionarios, entrevistas, grabaciones, entre otros, permiten tener una valoración parcial de la experiencia del usuario (Montero, Fernández, & J, 2005). Los investigadores del área de Interacción

Humano Computadora (HCI por sus siglas en inglés) han establecido que para evaluar apropiadamente la experiencia del usuario es necesario saber cómo se siente realmente cuando utiliza un sistema de software (Vermeeren, ACM. 2010). Por esta razón surge la necesidad de diseñar e implementar metodologías que permitan obtener una valoración más objetiva ante un estímulo visual y/o auditivo.

Sin embargo, para realizar un proceso de inducción emocional eficiente es necesario tomar en cuenta varios aspectos del perfil del usuario relacionados con su personalidad, su estado afectivo y sus emociones. Debido a que este tipo de evaluaciones son subjetivas, es necesario contar con información confiable que permita valorar al usuario. Para lograr que estas mediciones sean cuantificables y objetivas es necesario utilizar técnicas de biofeedback las cuales registran y procesan información neurofisiológica del usuario para extraer características, relacionadas con estos datos biométricos, que permiten identificar patrones asociados al estado cognitivo y/o con el estado afectivo que está experimentando el usuario cuando utiliza un producto, un proceso o un servicio.

Por lo tanto la metodología creada en esta investigación se justifica ya que la tecnología utilizada para inducir estados emocionales o cognitivos mediante sistemas de realidad virtual inmersiva proporciona un método viable que facilita la inducción de distintos estados mentales, debido a que el sistema inmersivo absorbe los sentidos (visual y auditivo) que pueden producir sensaciones al usuario y lo enfoca a una sola función, que es ofrecerle la capacidad de sentirse en otro lugar, esta sensación se conoce como *sentido de presencia*.

# 2 Marco Teórico

*El estudio de los estados mentales dentro de la rama de investigación en la interacción humano computadora ha aumentado en años. Esto se debe a la creciente necesidad de aplicaciones informáticas capaces de detectar e inducir un estado emocional en los usuarios (Picard, 2002), en este capítulo se muestran los conceptos teóricos que se usaron para el desarrollo de la tesis.*

Esta investigación involucra diversas áreas técnico-científicas, tales como: Interacción Humano Computadora (HCI por sus siglas en inglés), Interfaces Cerebro Computadora (BCI por sus siglas en inglés), Inteligencia Artificial (IA), Neurociencias, psicología y Realidad Virtual (RV). En esta sección se describen las bases teóricas relacionadas con el desarrollo de esta tesis.

## **2.1 Interacción Humano Computadora**

La Interacción Humano Computadora, es el estudio de la interacción entre el ser humano, las computadoras y las tareas que desarrollan; principalmente se enfoca en conocer cómo las personas pueden interactuar para llevar a cabo tareas por medio de software y hardware (Martínez de la Teja, 2007).

## **2.2 El sistema nervioso**

El sistema nervioso tiene dos componentes principales: El sistema nervioso central, que comprende el cerebro y la médula espinal, es el centro de coordinación: conecta lo que sentimos, lo que vemos, oímos, olemos, gustamos y sentimos, con lo que hacemos (por ejemplo, la forma en que movemos nuestros brazos y piernas) y el sistema nervioso periférico, es el sistema que transmite la información desde las células receptoras, que están especializadas para detectar tipos específicos de estimulación (luz, sonido, química, calor, presión) hasta el sistema nervioso central y, de vuelta, hacia las distintas partes del cuerpo para responder a estos estímulos (Ormrod, 2005).

### **2.2.1 La neurona**

Las neuronas o células nerviosas proporcionan el medio para que el sistema nervioso transmita y coordine la información. Cada neurona del cerebro humano tiene una de estas funciones. Las neuronas sensoriales transportan la información que llega de las células receptoras, transmiten esta información a las interneuronas, que integran e interpretan la información que proviene de diferentes lugares. Las “decisiones” resultantes se transmiten a las neuronas motrices, las cuales envían mensajes que indican a las partes apropiadas del cuerpo cómo actuar y responder (Ormrod, 2005).

### 2.2.2 Sinapsis

Las neuronas no se tocan entre sí de manera directa, sino que envían mensajes químicos a las neuronas adyacentes a través de pequeños huecos que reciben el nombre de sinapsis, ver figura 1. La transmisión de información en el interior de una neurona se realiza mediante impulsos eléctricos, la transmisión entre neuronas se hace mediante sustancias químicas que se denominan neurotransmisores. Estas sustancias son las que viajan entre las sinapsis y estimulan las dendritas o los somas de otras neuronas (Ormrod, 2005).

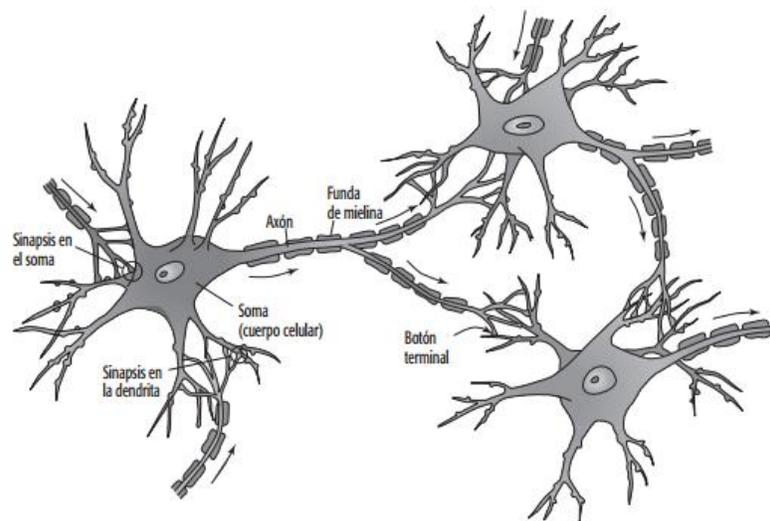


Figura 1. Proceso de sinapsis entre neuronas extraída de (Ormrod, 2005)

### 2.3 Los lóbulos del cerebro

En su investigación (Triglia, 2014), menciona que cada hemisferio está cubierto por una capa llamada corteza cerebral, esta corteza puede dividirse en diferentes lóbulos atendiendo a sus distintas funciones y localizaciones, ver figura 2.

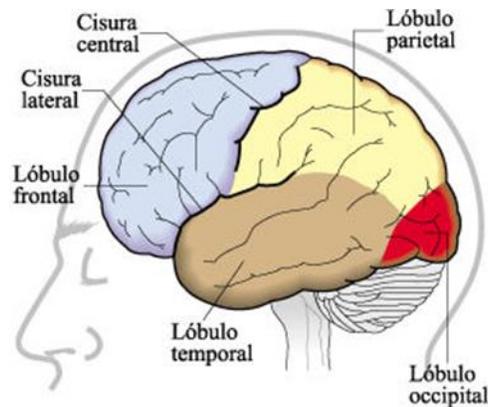


Figura 2. Lóbulos del cerebro humano (Ortega, 2006)

### 2.3.1 Lóbulo frontal

El lóbulo frontal es el más grande de los lóbulos del cerebro. Se caracteriza por su papel en el procesamiento de funciones cognitivas de alto nivel como la planificación, la coordinación, la ejecución, el control de la conducta y la regulación de las emociones.

### 2.3.2 Lóbulo parietal

El lóbulo parietal se ubica entre los lóbulos frontal y occipital como se muestra en la figura 2. Su función principal es procesar información sensorial que llega de todas las partes del cuerpo, como el tacto, la sensación de temperatura, el dolor y la presión, y es capaz de relacionar esta información con el reconocimiento de números.

### 2.3.3 Lóbulo occipital

El lóbulo occipital es el menor de los cuatro principales lóbulos del cerebro y se encuentra en la zona posterior del cráneo, cerca de la nuca como se representa en la figura 2. Este lóbulo tiene un papel crucial en el reconocimiento de objetos, aunque por sí misma no tiene la capacidad para crear imágenes coherentes. (Triglia, 2014)

### 2.3.4 Lóbulo temporal

El lóbulo temporal recibe información de distintas partes del cuerpo. Sus funciones tienen que ver con la memoria y el reconocimiento de patrones en los datos

provenientes de los sentidos en el reconocimiento de rostros y voces así también en el recuerdo de palabras (Triglia, 2014).

### 2.3.5 **Ínsula**

La ínsula es una parte de la corteza que queda oculta entre los lóbulos temporal y parietal. Es por eso no se interpreta como un lóbulo más, ya que está unida a estructuras encargadas de hacer posible la aparición de emociones y su funcionamiento es mediar con los procesos cognitivos que se realizan en el resto de lóbulos del cerebro (Triglia, 2014).

## 2.4 **Estado mental**

Estado o proceso que corresponde con el pensar y sentir de un sujeto, y que además posee propiedades espaciotemporales, causas y efectos distinguibles (Goldstein, 2000). Los estados mentales se clasifican en dos tipos: estados cognitivos y estados afectivos.

### 2.4.1 **Estados cognitivos**

Un estado cognitivo es una condición neuropsicológica que presenta un sujeto durante la realización de una o más tareas cognitivas, las cuales contemplan los procesos necesarios para el cálculo, la concentración y la memoria, además de las funciones ejecutivas, de las cuales se consideran las siguientes:

- Concentración.
- Planificación de tareas.
- Resolución de problemas.
- Formular conceptos abstractos.
- Autoconciencia.

### 2.4.2 **Estados Afectivos**

Se entiende por estados afectivos a la condición neuropsicológica que presenta un sujeto. Los estados afectivos se clasifican en emociones y sentimientos. Los estados afectivos se diferencian principalmente por el tiempo de duración, los sentimientos tienen una duración mayor que las emociones. En la tabla 2 se

presenta la clasificación de los estados afectivos y algunos ejemplos que permiten diferenciarlos.

Tabla 2. Clasificación de los estados afectivos (Mas, 2016).

Clasificación de los estados afectivos	
Emociones	Sentimientos
Miedo	Vergüenza
Ira	Resentimiento
Tristeza	Amor
Alegría	Simpatía
Sorpresa	Orgullo
Asco	Celos

Los estados emocionales se clasifican en dos tipologías: estados emocionales positivos y estados emocionales negativos. En la figura 3 se muestra una categorización de estados mentales.

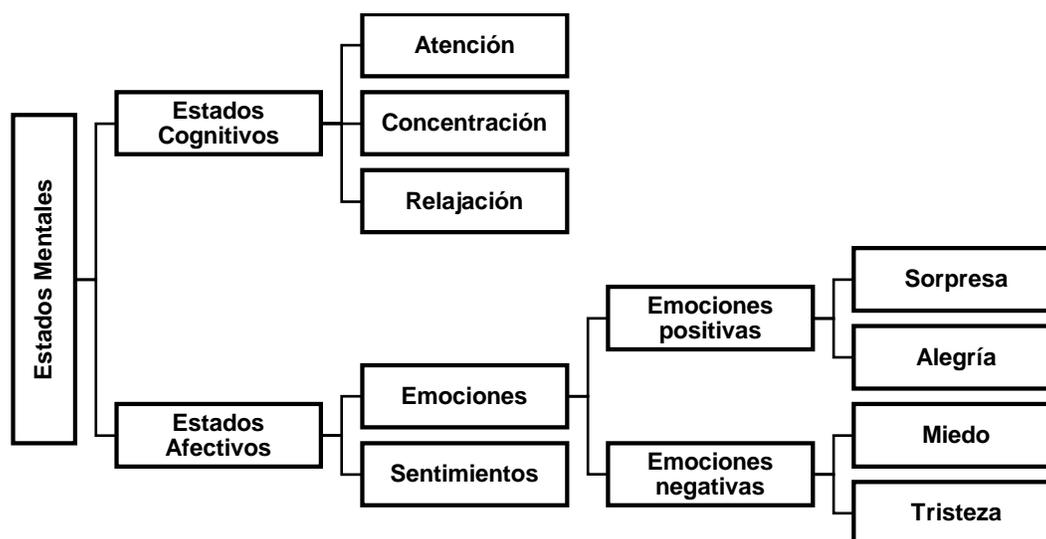


Figura 3. Clasificación de estados mentales

### 2.4.2.1 Estado emocional positivo

También conocido como estado afectivo positivo, está compuesto por emociones positivas, como la alegría, el buen humor, el optimismo, el entusiasmo y el amor, este estado emocional conlleva a una situación placentera (Fredrickson, 2003), por lo que se puede considerar que las emociones son tendencias de respuesta

con un gran valor adaptativo, que tienen evidentes manifestaciones a nivel fisiológico, en la expresión facial, la experiencia subjetiva, el procesamiento de la información, etc., que son intensas pero breves en el tiempo y que surgen ante la evaluación de algún acontecimiento antecedente.

#### 2.4.2.2 Estado emocional negativo

Estado afectivo compuesto por emociones negativas, como el miedo, la culpa, la ira y el disgusto que conlleva una situación no placentera, las emociones negativas solucionan problemas de supervivencia inmediata porque tienen asociadas tendencias de respuesta específicas, la ira por ejemplo, prepara para el ataque; el asco provoca rechazo; el miedo prepara para la huida (Malatesta & Wilson, 1988).

## 2.5 Ondas cerebrales

Es la actividad eléctrica producida por el cerebro. Estas ondas pueden ser detectadas mediante un electroencefalógrafo. A continuación, se describen los tipos de ondas cerebrales que logran ser detectadas en la actualidad y se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de ondas cerebrales (Medina, 2009)

Tipo de onda / voltaje	Frecuencia	Situación mental
Ondas theta 50-100 micro voltios	3.5 - 7.5 Hz	Estado de sueño, equilibrio entre los dos hemisferios, plenitud, armonía, mayor capacidad de aprendizaje.
Ondas alfa 100-150 micro voltios	7.5 - 13 Hz	Relajación, tranquilidad, creatividad, inicio de actividad plena del hemisferio izquierdo, desconexión del hemisferio derecho. Optimismo y sentimientos de integración.
Ondas beta 150-200 micro voltios	13 - 28 Hz	Estado de alerta máxima, estado de vigilia, miedo; es la situación normal cuando estamos despiertos, o cuando realizamos actividades como trabajar, leer, caminar, conducir, ansiedad, alerta e irritación.
Ondas gamma +200 micro voltios	Más de 28 Hz	Estado de estrés u confusión

### 2.5.1 Ondas delta

Este tipo de ondas corresponden al sueño y cuyo ritmo oscila entre 3 y 4 Hz, estas ondas son principalmente asociadas con el sueño profundo y pueden estar presentes al despertar (Sanei & Salas, 2007).

### 2.5.2 Ondas theta

Este tipo de ondas, corresponden a un ritmo que oscila entre 6 y 7 Hz, llegando a él en estado de sueño ligero, las ondas theta aparecen cuando la conciencia se desliza hacia la somnolencia. Una onda theta suele ir acompañada de otras frecuencias y parece estar relacionada con el nivel de excitación (Sanei & Salas, 2007).

### 2.5.3 Ondas alfa

Las ondas alfa aparecen en la mitad posterior de la cabeza y se encuentran generalmente sobre la región occipital del cerebro (Sanei & Salas, 2007). Este tipo de ondas, tiene un ritmo oscilante entre 8 y 12 Hz, a las que se llega cerrando los ojos y relajando completamente los músculos. En tales circunstancias, el individuo no piensa ni tiene emociones. Cualquier agitación, por leve que sea, lo lleva de inmediato al ritmo Beta.

### 2.5.4 Ondas beta

Este tipo de ondas, oscilan entre 14 y 30 Hz, se presenta durante los períodos en que la mente y los sentidos se encuentran en actividad. Una onda beta es el ritmo de vigilia normal del cerebro, asociada con el pensamiento activo, la atención activa, se centran en el mundo exterior, o la resolución de problemas concretos. Una onda beta de alto nivel puede ser adquirida cuando un ser humano está en un estado de pánico (Sanei & Salas, 2007).

### 2.5.5 Ondas gamma

Cómo define (Sanei & Salas, 2007), las frecuencias superiores a 30 Hz (principalmente hasta 45 Hz) corresponden al rango gamma. Aunque la aparición de estas frecuencias es rara, su detección puede ser utilizada para la confirmación de ciertas enfermedades cerebrales.

## 2.6 Interfaces cerebro computadora

Interfaces Cerebro Computadora (BCI por sus siglas en inglés), es un dispositivo que se encarga de la creación de vías de comunicación directa entre el cerebro y una computadora. (Baranyi & Csapó, 2012).

Existen diferentes métodos para registrar la actividad cerebral, entre los que destacan los sistemas de Electroencefalograma (EEG), Electrocorticografía (ECoG), Magnetoencefalografía (MEG), tomografía por emisión de positrones (Positron Emission Tomography, PET) o imágenes de resonancia magnética funcional (Functional Magnetic Resonance Imaging, FMRI). La ECoG es una técnica invasiva, es decir, requiere de una intervención para la colocación de electrodos en la superficie cortical del cerebro. Por su parte, las técnicas MEG, PET y FMRI requieren de instalaciones y equipos costosos. Por ello, el método más empleado para el registro de la actividad cerebral en sistemas BCI es el EEG, ya que se trata de una técnica sencilla, no invasiva, portátil y de bajo costo. (Hornero, Corralejo, & Álvarez, 2016).

### 2.6.1 Electroencefalograma

El electroencefalograma o EEG, consiste en el registro de la actividad eléctrica del cerebro mediante un equipo especial denominado electroencefalógrafo. La actividad cerebral genera señales eléctricas que pueden ser captadas mediante electrodos situados sobre el cuero cabelludo. Estas señales son amplificadas y se pueden representar en una pantalla o registrar en una gráfica (Giménez, 2011), como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Realizando electroencefalograma (Schanuel, 2013)

### 2.6.1.1 Emotiv EPOC

El sistema consiste de un aparato semejante a una corona que cuenta con 14 electrodos distribuidos en los hemisferios derecho e izquierdo del cerebro, como se muestra en la figura 5. Estos electrodos se adhieren al cuero cabelludo, mediante una solución salina que aumenta el contacto con la superficie. El Emotiv EPOC transmite una señal inalámbrica por radiofrecuencia a un receptor USB en una computadora. La señal emitida es interpretada por el software de Emotiv EPOC con el propósito de configurar el perfil del usuario y adiestrar al sistema a reconocer las acciones mentales y los gestos faciales. (Rivera, 2012)



Figura 5. Diadema Emotiv EPOC (Emotiv, 2016)

### 2.6.1.2 NeuroSky

La diadema NeuroSky es un dispositivo de bajo costo y fácil de usar para detectar señales de electroencefalograma (EEG), como se muestra en la figura 6. Captura la actividad cerebral utilizando un electrodo que decodifica por medio de algoritmos dos estados mentales (concentración y relajación), además de que proporciona información sobre las ondas cerebrales delta, theta, alfa, beta, y gamma de un sujeto (NeuroSky, 2016).



Figura 6. Antena EEG NeuroSky (NeuroSky, 2016)

## 2.7 Clasificación de estados mentales.

Una vez que se obtienen las características principales de la señal EEG, se recurre a varios métodos para la clasificación (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013); se pueden recurrir a varios métodos estadísticos como a técnicas de inteligencia artificial, entre las que se encuentran Maquinas de Soporte Vectorial (SVM), Redes Neuronales (NN), Análisis de Discriminante Lineales (LDA), Algoritmos Genéticos (GA) entre otras. Existen estudios que demuestran la utilidad de contar con métodos de inteligencia artificial para facilitar la clasificación acertada de señales EEG (Balam, 2015).

### 2.7.1 Artefacto

La actividad eléctrica generada en el cerebro es obtenida por el EEG, sin embargo, existen diferentes componentes de la señal que no son originados neurológicamente. Estas señales, que no son generadas en el cerebro, pero que están presentes en el EEG, son llamadas artefactos y son generados principalmente por parpadeo, efectos musculares, vasculares y por brillo cinético (Valderrama & Ulloa, 2012).

## 2.8 Sistema internacional 10-20

El sistema internacional 10-20 hace referencia a la manera de colocar los electrodos en la cabeza, siguiendo una proporción (10% y 20%) respecto a unas medidas generales tanto anteroposterior, sagital y axial del cráneo, como se

muestra en la figura 7. De esta manera se consigue que todos los electrodos estén colocados de forma correcta, que es la premisa fundamental, para obtener una señal del EEG correcta para su posterior análisis. (Ferré, 2016)

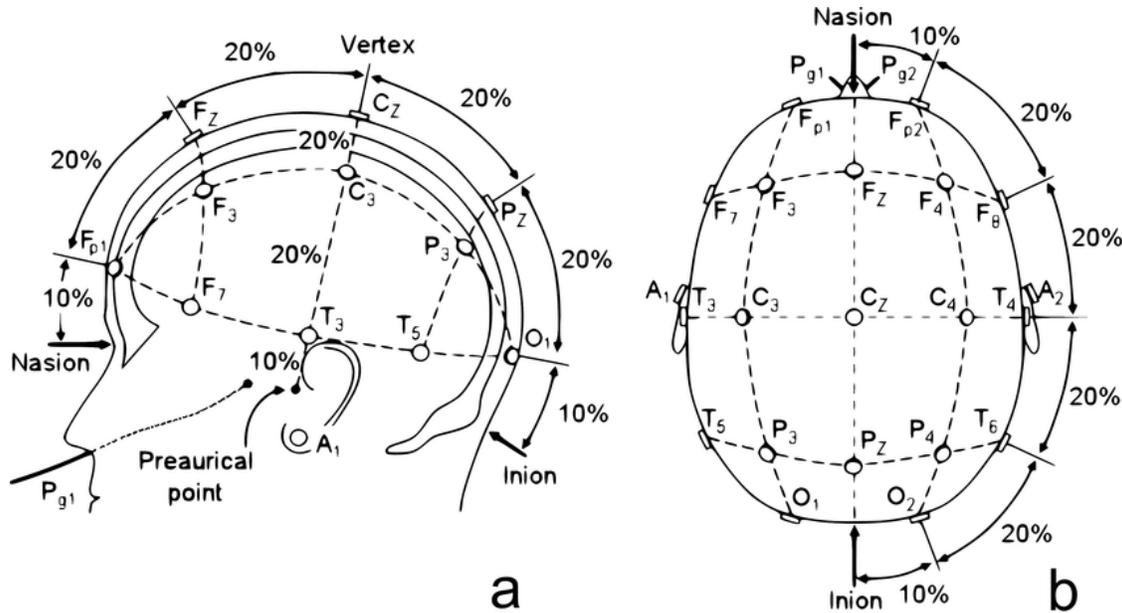


Figura 7 Sistema Internacional 10-20. Extraído de (Roberto Sepúlveda, Oscar Montiel, Gerardo Díaz, Daniel Gutierrez, & Oscar Castillo, 2015)

## 2.9 Realidad virtual

La realidad virtual (VR por sus siglas en inglés), es un mundo virtual generado por computadora en el que el usuario tiene la sensación de estar en el interior de este mundo, y dependiendo del nivel de inmersión, éste puede interactuar con el mundo virtual (Jurnet, 2009)

### 2.9.1 Componentes de un ambiente de realidad virtual

La VR juega un papel central en el ámbito de la evaluación, la percepción, la memoria, la atención y las emociones por lo que es cada vez más usada por parte de los profesionales de la salud mental para realizar terapias y tratamiento psicológicos (Jurnet, 2009).

Actualmente se pueden diferenciar seis partes fundamentales de un equipo de VR como son: la computadora, el entorno virtual, los sistemas de entrada (tomando como referencia computadora), los sistemas de salida, la persona que utiliza esta tecnología y, en algunas ocasiones, la red (Jurnet, 2009).

### 2.9.2 Sentido de Presencia

La realidad virtual, mediante la estimulación multisensorial y la posibilidad de interacción, permite inducir en el usuario una sensación de estar físicamente dentro de los entornos virtuales, como se describe en la figura 8. Esta ilusión se denomina “Sentido de Presencia” (Steuer, 1992) y es precisamente lo que convierte la VR en una herramienta de enorme potencial para la inducción de estados mentales.

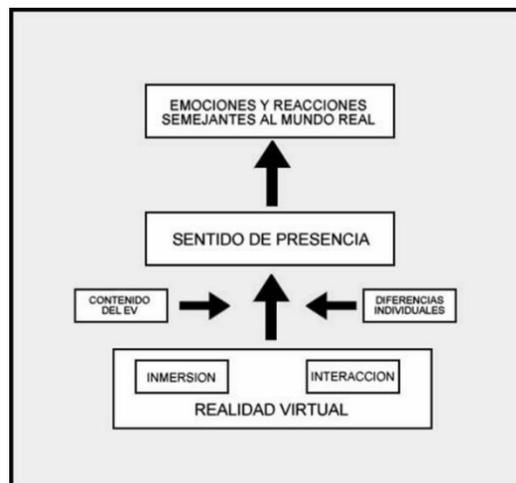


Figura 8. Propiedades básicas de un sistema de realidad virtual extraída de (Jurnet, 2009)

### 2.9.3 Realidad virtual no inmersiva

Es un sistema de realidad virtual en donde se interactúa con el mundo virtual, pero sin estar sumergido en el mismo, por ejemplo, a través de una pantalla en versión 2D. Este tipo de realidad virtual es muy común en videojuegos (Monleon, 2016), como se muestra en la figura 9.

### 2.9.4 Realidad virtual inmersiva

La realidad virtual inmersiva también definida como "inmersión multimedia" tiene la capacidad de recrear experiencias sensoriales como el gusto, el olor, el sonido y el tacto, ya que brinda una inmersión virtual total mediante periféricos (cascos de realidad virtual, gafas y posicionadores), hasta el punto de pensar que está en otra dimensión (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), en la figura 9 se aprecian los componentes de la RV

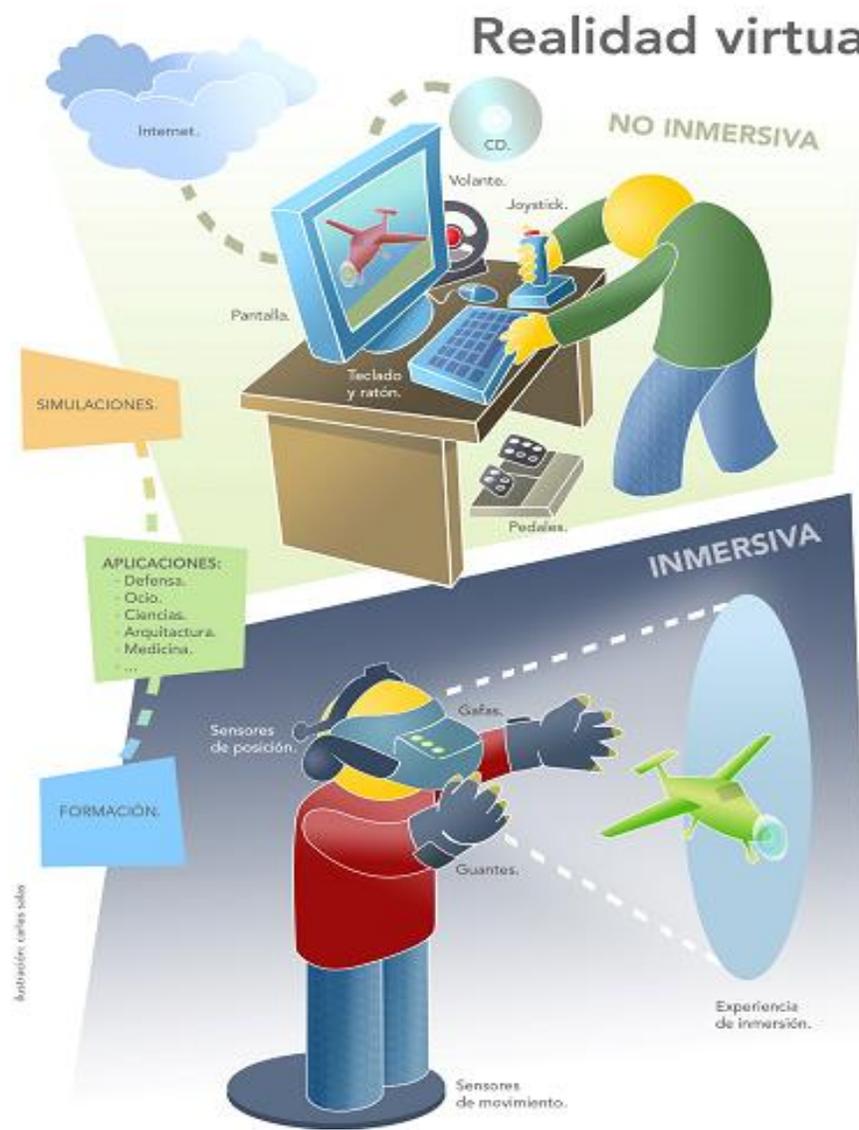


Figura 9. Clasificación de realidad virtual (Monleon, 2016)

## 2.10 Instrumentos de evaluación psicológica

Los test de evaluación de la experiencia del usuario (UX por sus siglas en inglés), son instrumentos estandarizados cuyas calificaciones se basan en la ejecución de pruebas a sujetos para predecir lo que sucederá en determinado contexto y bajo condiciones específicas. Cuando se evalúan los resultados de una prueba se puede identificar un atributo, o cualidad, o particularidad, o capacidad de un individuo que en cierto sentido es equivalente a otras personas y con manifestaciones similares (López Angulo, 2006).

### **2.10.1 Maniquí de autoevaluación SAM**

El método SAM es una escala representativa desarrollada para la medición del placer, la excitación y la dominación, a pesar de su tiempo de creación, sigue siendo una de las herramientas más populares de autoevaluación en pruebas psicológicas (Bradley & Lang, 1994).

### **2.10.2 Positive and negative affect schedule (PANAS)**

El método PANAS es una lista de emociones positivas y negativas de Watson, tiene como objetivo valorar separadamente las experiencias emocionales positivas y negativas vividas recientemente por el sujeto (Watson, Clark, & Tellegan, 1988).

### **2.10.3 Patient health questionnaire-9 (PHQ9)**

El método PHQ9, es un test que determina el estado mental de una persona, esto con la finalidad de verificar si cumple adecuadamente un estado de salud idóneo para participar en la prueba, esta herramienta contiene evaluación sobre 12 diferentes trastornos de salud mental (Kroenke & Spitzer, 2002).

### **2.10.4 The state-trait anxiety inventory (STAI)**

El objetivo del cuestionario STAI es evaluar dos conceptos independientes de la ansiedad, cada una de ellas con 20 afirmaciones: Ansiedad como estado (A/E): donde se evalúa un estado emocional transitorio, caracterizado por sentimientos subjetivos, conscientemente percibidos, de atención y aprensión y por hiperactividad del sistema nervioso autónomo. Ansiedad como rasgo (A/R): en esta evaluación se señala una propensión ansiosa, relativamente estable, que caracteriza a los individuos con tendencia a percibir las situaciones como amenazadoras (Spielberger, Gorsuch, & Lushene, 1988).

## **2.11 Procedimientos de inducción emocional (PIE's)**

Los procedimientos de inducción emocional (PIE's), también llamados "estrategias de inducción emocional" son procedimientos utilizados para generar diversos estados de ánimo de forma artificial en ambientes controlados, esto con la finalidad de extrapolar la relación existente entre emoción, cognición y conducta en la vida real (García Palacios & Baños Rivera, 1999).

### 2.11.1 Sistema Internacional de Imágenes Afectivas (IAPS)

El IAPS, es un conjunto de imágenes con diferentes categorías emocionales (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997) . En la elaboración de este instrumento, Lang y sus colaboradores parten de que las emociones están organizadas alrededor de dos grandes emociones, la valencia afectiva (cuyo rango va desde lo muy placentero hasta lo muy displacentero) y la activación o arousal (rango que va desde muy calmado hasta muy excitado).

### 2.11.2 The geneva affective picture database (GAPED)

La base de datos de imágenes afectiva de la universidad de Ginebra (GAPED), se creó para aumentar la disponibilidad de estímulos emocionales visuales. Esta base de datos contiene cuatro contenidos negativos específicos, estas son arañas, serpientes y escenas que inducen emociones relacionadas con la violación de las normas morales y legales (violación de los derechos humanos o maltrato animal). También se incluyeron imágenes positivas y neutrales, las imágenes positivas representan principalmente bebés humanos y animales, así como paisajes de la naturaleza, mientras que las imágenes neutrales representan principalmente objetos inanimados. Las imágenes se clasifican según la valencia, la excitación y la congruencia de la escena representada (Dan-Glauser & Scherer, 2011).

### 2.11.3 Sistema internacional de sonidos afectivos (IADS)

El sistema internacional de sonidos afectivo (IADS), proporciona 110 audios con estímulos emocionales acústicos para investigaciones experimentales de emoción y atención. Este conjunto de estímulos sonoros estandarizados son de los principales evocadores de emociones, además de que funcionan internacionalmente, debido a que incluye contenidos en una amplia gama de categorías semánticas. (Bradley, MM, & Lang, 1999).

# 3 Estado del Arte

*En los últimos años se han presentado investigaciones sobre generación y detección de estados mentales a través del monitoreo de ondas EEG, a continuación, se describen los métodos usados en cada investigación referente a la generación de estados mentales, así como sus resultados y aportaciones a esta investigación científica.*

### 3.1 Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. (Passig, Tzuriel, & Eshel-Kedmi, 2016)

El objetivo de esta investigación fue estudiar el grado de aprendizaje en procedimiento de evaluación dinámica (DA), usando un entorno computarizado inmersivo de realidad virtual (3D IVR), donde se evaluaron los niveles de complejidad y abstracción de las tareas que se ejecutaron de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto.

Se realizaron pruebas en un grupo de 117 niños (61 varones y 56 mujeres), de primer y segundo de dos escuelas primarias de Israel para participar en este estudio, el rango de edad de los niños fue de entre 72 y 102 meses.

Los resultados en las pruebas realizadas, figura 10, reportaron que los niños que aprendieron analogías en un entorno 3D IVR aumentan su estrategia de aprendizaje mejor que los niños que practicaban analogías mirando cuadros.

**Table 3**

Means, standard deviations, and F statistics of the four groups in CMB analogies in pre- and post-teaching stages of the DA procedure.

	3D-IVR n = 36		2D n = 36		Tangible Blocks n = 24		Control n = 21		Group × Time	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	F(3,113)	Eta <sup>2</sup>
M	2.58	10.72	4.02	9.75	4.70	10.45	4.00	4.19	25.18***	0.40
SD	3.27	3.89	3.36	2.87	4.49	3.20	4.42	3.57		

\*\*\* $p < 0.001$ .

Figura 10. Resultados de evaluación en realidad virtual 3D (Passig, Tzuriel, & Eshel-Kedmi, 2016)

### 3.2 Desarrollo de interface de detección de emociones para su utilización en redes sociales y entornos virtuales de aprendizaje (Campazzo, Martínez, Guzmán, & Agüero, 2013)

En este proyecto se desarrolló un interfaz humano computadora compuesta por hardware y software, integrando cada una de las partes para lograr un dispositivo funcional. Para la captura y conversión de las señales eléctricas se utilizó un controlador Arduino. Estas señales se procesaron en la computadora para luego ser interpretadas y transmitidas a la red de datos.

La interfaz estaba conformada por electrodos ubicados en la parte exterior de la cabeza a través de un casco flexible diseñado para tal fin, ver figura 11. Los electrodos captaban las señales eléctricas producidas por el cerebro, estas

señales se amplificaban y se filtraban para eliminar las señales de frecuencias no significativas en el análisis y el procesamiento.

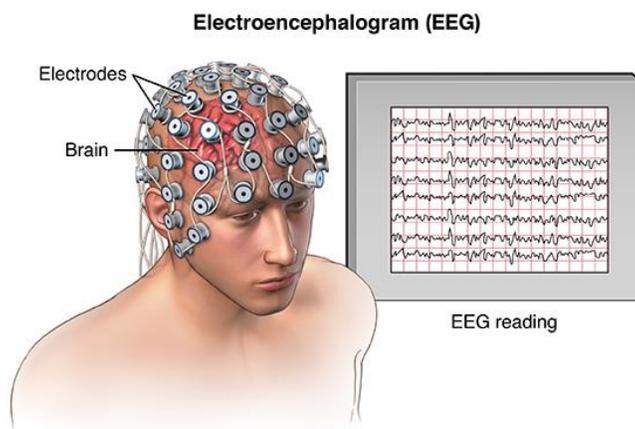


Figura 11. Prototipo de diadema creada para análisis de ondas cerebrales (Rithec, 2015)

Los resultados del prototipo de análisis de emociones mostraron que la interfaz permite inferir estados de excitación y somnolencia en los usuarios.

### **3.3 Assessing brain activations associated with emotional regulation during virtual reality mood induction procedures (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014)**

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la actividad cerebral con dos estrategias de regulación emocional, induciendo la emoción de tristeza mediante un entorno virtual no inmersivo.

Se midió la señal EEG usando la BCI Emotiv EPOC durante tres condiciones: una condición de inducción tristeza y dos condiciones de regulación emocional (reevaluación cognitiva y la supresión expresiva).

Los resultados muestran la activación de varias regiones del cerebro pertinentes que están asociadas con la inducción de la tristeza (por el grupo de control) y que están asociadas con la aplicación de estrategias de regulación emocional (para los grupos regulación controlada y grupo experimental).

Se encontraron activaciones en las áreas frontales para el grupo de control relacionadas con una inducción de la tristeza (Baumgartner et al., 2010). Además, otra implicación clave de este estudio, es el hecho de que todos los hallazgos se

obtuvieron a través de la transformación de una medida temporal que se obtuvo mediante una herramienta de EEG portátil de bajo costo.

En el estudio se menciona que con el dispositivo Emotiv EPOC se pueden realizar estudios de regulación emocional como herramienta de evaluación objetiva. Con los resultados obtenidos, se comprobó la capacidad de uso de la BCI Emotiv EPOC en el ámbito de la regulación emocional.

### **3.4 Design and application of an immersive virtual reality system to enhance motional skills for children with autism spectrum disorders (Lorenzo, Lledó, Pomares, & Roing, 2015)**

En este trabajo se realizó el diseño y aplicación de un sistema de realidad virtual de inmersión para mejorar y entrenar las habilidades emocionales de los estudiantes con trastornos del espectro autista, este sistema fue desarrollado para cubrir dos objetivos, el primero en actualizar las situaciones sociales, el estilo de aprendizaje y el estado de ánimo emocional del alumno, y el segundo para confirmar de manera automática, si el comportamiento del niño es apropiado en la situación social que representa.

El experimento fue diseñado para estudiantes de escuela primaria, entre las edades de 7 y 12 donde todos los participantes tienen un diagnóstico confirmado de trastorno del espectro autista, en donde el entorno de inmersión permitiera al estudiante formar y desarrollar diferentes situaciones sociales de una manera estructurada, visual y continua. Se propuso el uso de un sistema de visión por computadora para determinar automáticamente el estado emocional del niño.

Se creó un software que utiliza un algoritmo que genera un valor numérico que se emplea para identificar y cuantificar cuatro expresiones básicas del usuario: la ira, la alegría, la tristeza y la sorpresa.

### 3.5 Diferencias neurofuncionales de la onda P300 ante estimulación multisensorial en niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad. (Soria-Claros, y otros, 2015)

El objetivo de esta investigación fue evaluar el procesamiento cerebral de la información mediante el componente P300, en modalidad auditiva, visual y táctil, en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

Se registraron los componentes P300 auditivo, visual y táctil a 17 niños con TDAH (10 combinados y siete inatentos) y a 15 niños de control de edades comprendidas entre 7 y 10 años de ambos sexos.

Los resultados con respecto a los tiempos de reacción, se halló una tendencia más acentuada en el tiempo auditivo y visual, pero no estadísticamente significativo en ninguna de las tres respuestas; en el porcentaje de errores, un incrementó en los niños con TDAH respecto al grupo control, ver figura 12.

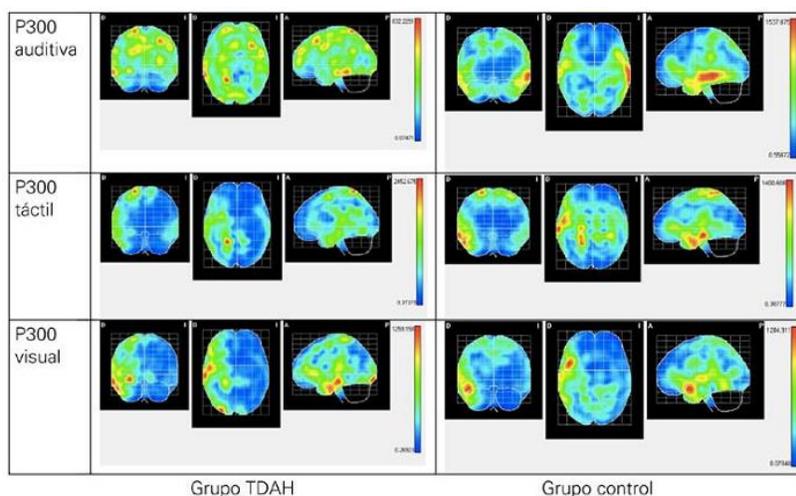


Figura 12. Media de la localización de fuentes mediante LORETA del potencial evocado P300.

### 3.6 Desarrollo de un sistema de neuromarketing usando el dispositivo Emotiv Epoc (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014)

Para ejecutar un sistema de neuro-mercadotecnia, se realizó un experimento con 12 usuarios adultos de los cuales 6 eran profesionistas (entre 25 y 40 años) y 6 estudiantes universitarios (entre 20 y 23 años), el objetivo era poder evaluar las emociones que experimentaban los sujetos al presentarles un comercial

publicitario, dicha medición se registró con el dispositivo BCI *Emotiv Epoc* y la suite que incluye para grabar la señal biométrica de los usuarios.

### 3.6.1 Herramientas utilizadas

Para la realización de su sistema de detección de emociones utilizaron la diadema EEG de la compañía *Emotiv*, la antena tiene por nombre *Emotiv Epoc*. De la misma manera, utilizaron una televisión donde se mostraban los comerciales de forma aleatoria a cada sujeto de prueba, los comerciales eran 12 de los cuales se presentaba información de servicios y productos, dentro de cada comercial existía una inducción de emoción para el televidente, dentro de los cuales se encuentran:

- Alegría
- Tristeza

Con el fin de analizar y evidenciar algunos efectos netamente visuales, se usaron algunos clips de comerciales sin sonido, así como otros clips de otro país y en otro idioma para corroborar su nivel de afectación de las emociones.

### 3.6.2 Método de inducción

Para el proceso de inducción, los autores crearon un algoritmo para ser usado dentro de su arquitectura del sistema de neuromarketing, como se muestra en la figura 13.

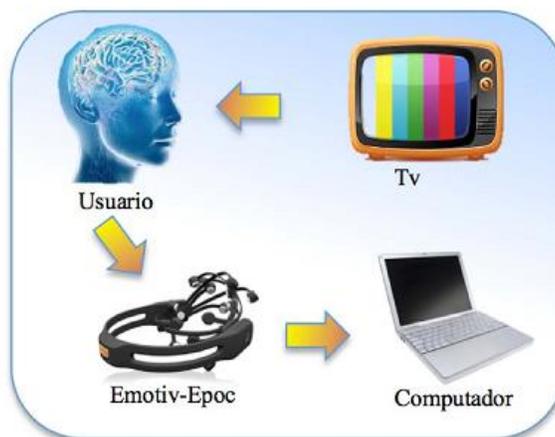


Figura 13. Arquitectura de inducción emocional sistema de neuromarketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014)

Un usuario está viendo un comercial, el evaluador al mismo tiempo evalúa su condición mental por medio de la herramienta que proporciona la suite de Emotiv Epoc. Tomando en cuenta el proceso que se realizó para ejecutar las acciones se llevó a cabo el seguimiento del algoritmo, el cual se muestra en la figura 14.

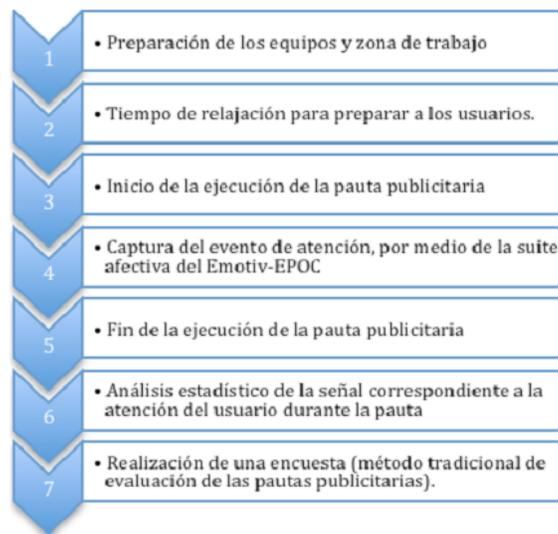


Figura 14. Algoritmo de inducción de emociones del sistema de neuromarketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014)

Antes de la grabación se instalaron los dispositivos necesarios para la realización de las pruebas, al sujeto se le permitía estar sentado y colocado de forma relajada en una habitación con un televisor, para evitar que se grabara de forma incorrecta la señal después de colocar el dispositivo Emotiv Epoc, se le brindaba un tiempo de familiarización con las herramientas, es indispensable señalar que al inicio de cada comercial el usuario tenía que ver la pantalla en blanco por 30 segundos, esto con la finalidad de que se encontrará en un estado mental neutro.

### 3.6.3 Resultados obtenidos

De los 12 comerciales presentados al sujeto, 3 tenían la prioridad de que se evaluará el grado de atención que generaba cada uno de los comerciales presentados, el que más nivel de inducción obtuvo fue un clip asiático que a pesar de tener subtítulos y estar en otro idioma causo un nivel alto de atención.

En la tabla 4 se muestran los resultados de cada comercial que fue evaluado con su nivel de atención.

Tabla 4. Indicadores estadísticos de las pruebas del sistema de marketing extraída de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014)

Publicidad	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Media	8.8264	0.6200	0.7283
Mediana	0.8318	0.6099	0.7342
Desviación Estándar	0.0587	0.0817	0.1072
Varianza	0.0034	0.0067	0.0115

### 3.7 La realidad virtual en las intervenciones psicológicas con pacientes oncológicos (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013)

El objetivo de este trabajo fue mostrar las principales aportaciones de la Realidad Virtual (RV) en el tratamiento psicológico con pacientes oncológicos y describir un programa de intervención que utiliza esta tecnología para promover bienestar emocional en pacientes hospitalizados. La RV se presenta como una prometedora herramienta de apoyo al paciente oncológico. Diversos estudios plantean su utilidad para hacer algunos tratamientos médicos más tolerables, para reducir los niveles de dolor y aumento de la relajación, así como promover mayores niveles de emociones positivas. Se ha empleado principalmente con pacientes ambulatorios, Esta intervención se compone de 4 sesiones (módulos de distracción y reminiscencia) implementadas individualmente en la habitación del paciente. Antes y después de cada sesión se evaluó el estado emocional (escalas visuales), la percepción de paso del tiempo (en minutos), de cambio en el estado de ánimo y de satisfacción con el procedimiento.

#### 3.7.1 Herramientas utilizadas

Para presentar la prueba, se utilizó una pantalla LCD de 32 pulgadas conectada a una computadora, todo instalado en un soporte que permitía el desplazamiento de una habitación a otra dentro del hospital. Se utilizaron audífonos para el sonido (para el paciente y terapeuta), el teclado de la computadora para redactar los

capítulos del libro de la vida, y se utilizó un rumblepad y un trackball como dispositivos de interacción y desplazamiento en los entornos virtuales, ver figura 15.



Figura 15. Herramientas utilizadas para inducir emociones a pacientes con cáncer terminal. Extraída de (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013)

### 3.7.2 Método de inducción

Se transmitían en una televisión diversas técnicas de inducción emocional a los sujetos los cuales incluyen:

- Imágenes
- Música
- Video
- Recuerdos auto bibliográficos
- Realidad virtual no inmersiva

A continuación, se muestran los entornos que fueron utilizados para generar relajación y disminución de dolor en los pacientes sometidos a la prueba, ver figura 16.



Figura 16. Entorno virtual (no inmersivo), para generar relajación a pacientes con cáncer terminal extraída de (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013)

### 3.7.3 Resultados obtenidos

Todos los pacientes eran del Hospital Clínica Benidorm. La media de edad de los participantes fue de 58,7 años (rango 38-82 años), la mayoría eran mujeres (63,6%), casadas o que convivían con su pareja (63,6%), con nivel bajo de estudios (54,5%) y jubiladas (54,5%).

Al finalizar cada sesión se estimó el nivel de agrado y utilidad percibida de la sesión, utilizando una escala que va de 0 (nada) a 4 (mucho).

Se demostró que la RV en el ámbito oncológico ha ayudado a reducir el malestar derivado de los tratamientos médicos, fundamentalmente en reducir la ansiedad, fatiga, dolor y vómitos asociados a la quimioterapia.

### 3.8 Real-Time EEG-Based Happiness Detection System (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013)

El objetivo del artículo es presentar un sistema de detección de felicidad y tristeza mediante dispositivos de medición de señales EEG, en este experimento se utilizó la BCI Emotiv Epoc que consta de 14 electrodos. La diadema detecta el estado emocional del sujeto y si éste presenta un estado de felicidad, un avatar muestra en pantalla su emoción, y además dentro de un juego desarrollado por los autores del artículo llamado “*running game*”, el sujeto puede aumentar la velocidad del personaje con su nivel de felicidad que presente en tiempo real.

#### 3.8.1 Herramientas utilizadas

Se utilizó el dispositivo *BCI Emotiv Epoc* para la grabación de señales EEG, previamente para detectar la emoción de felicidad y tristeza para generar un patrón que identificará en un futuro la emoción, así también, se utilizaron algoritmos de reconocimiento de patrones máquinas de soporte vectorial (SVM) con el kernel Gaussiano para la parte de clasificación, además, se usaron base de datos de imágenes y música para inducir emociones *Geneva Affective Picture Database* (GAPED) y música clásica combinadas como un experimento audiovisual.

### 3.8.2 Método de inducción

Se utilizó el diagrama dimensional de J. Russell para evaluar el nivel de activación sensorial que presentaban los usuarios participantes de la inducción emocional, ver figura 17.

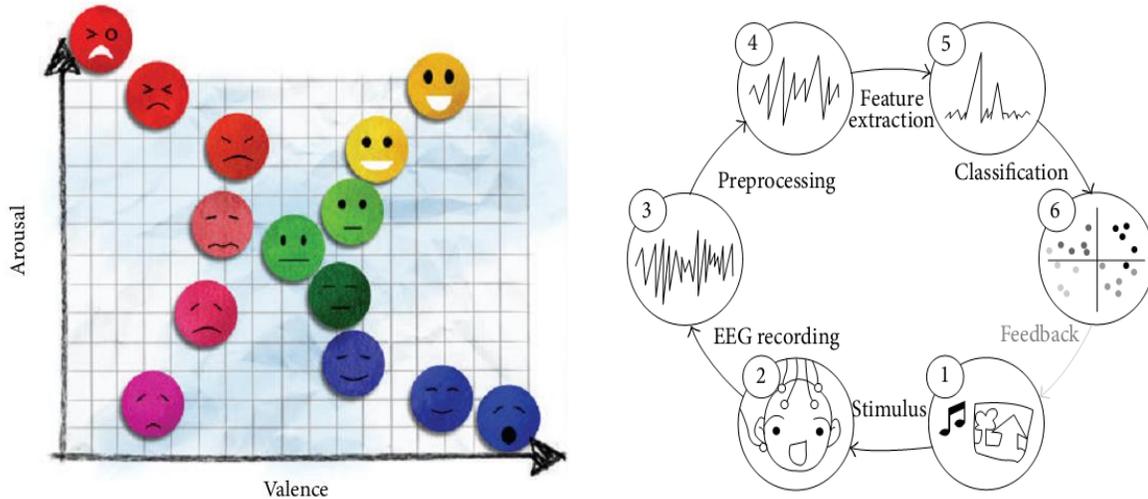


Figura 17. Clasificación de emociones extraída de (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013)

El proceso de inducción emocional fue de 5 segmentos, cada segmento duraba 15 minutos y fue aplicado a 10 sujetos de los cuales 9 eran mujeres y 1 hombre, a continuación, en la figura 18 se muestra el proceso que se realizó en para inducir emociones.

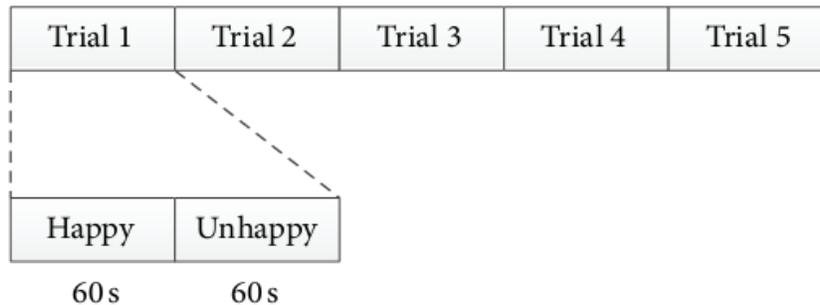


Figura 18. Procedimiento de experimento EEG, extraída de (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013)

La forma de inducción de emoción de felicidad y tristeza se dio por 10 imágenes respectivamente, acompañadas de una música clásica por 60 segundos.

Antes de cada cambio de segmento se mostraba al sujeto una pantalla negra por 12 segundos con la finalidad de mantenerlo en un estado neutral para la inducción emocional

### **3.8.3 Resultados obtenidos**

De los resultados obtenidos se determinó que de los 6000 ejemplares de EEG, aplicando máquinas de soporte vectorial gaussiano, los resultados de clasificación fueron de 69.20% con todos los sujetos y de 72.90% excluyendo a los sujetos adultos.

Se destaca que el lóbulo temporal es el más efectivo para detectar y clasificar felicidad y tristeza, además de que se recomienda usar el par de electrodos que están marcados como T7 y T8 con el fin de ahorrar costo computacional en el cálculo de los demás electrodos.

De la misma manera se llegó a la conclusión que para clasificar felicidad y tristeza es necesario enfocarse en bandas de alto nivel y omitir las bandas de bajo nivel, no considerando las ondas delta y theta para la clasificación de emociones.

### **3.9 Análisis técnico del estado del arte**

En la tabla 5, se presentan las características y técnicas que utilizan las investigaciones presentadas anteriormente, se muestra una descripción breve y características de los trabajos relacionados.

Tabla 5. Matriz comparativa del estado del arte

Artículo / Investigación	Objetivo de investigación	Sujeto de prueba	Realidad Virtual	Sensores de movimiento	Graba señales EEG	Estados emocionales que Induce	Estados cognitivos que Induce
Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. (Passig, Tzuriel, & Eshel-Kedmi, 2016)	Estudiar el grado de aprendizaje en procedimiento de evaluación dinámica (DA) usando un entorno computarizado inmersivos de realidad virtual (3D IVR).	117	Si	No	No	Aburrimiento	Atención concentración
Desarrollo de interface de detección de emociones para su utilización en redes sociales y entornos virtuales de aprendizaje (Campazzo, Martínez, Guzmán, & Agüero, 2013)	Desarrollar una interfaz hombre-máquina para lograr un dispositivo funcional para la captura y conversión de las señales eléctricas.	No aplica	No	No	Si	Alegría Tristeza Indiferencia	Ninguno
Assessing brain activations associated with emotional regulation during virtual reality mood induction procedures (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014))	Evaluar la actividad cerebral con dos estrategias de regulación emocional, induciendo la emoción de tristeza en un entorno virtual.	24	Si (no inmersiva)	No	Si	Tristeza	Ninguno
Design and application of an immersive virtual reality system to enhance motional skills for children with autism spectrum disorders (Lorenzo, Lledó, Pomares, & Roing, 2015)	Diseñar un sistema de realidad virtual de inmersión para mejorar y entrenar las habilidades emocionales de los estudiantes con trastornos del espectro autista.	40	Si	No	No	Alegría Sorpresa	Ninguno

Artículo / Investigación	Objetivo de investigación	Sujeto de prueba	Realidad Virtual	Sensores de movimiento	Graba señales EEG	Estados emocionales que Induce	Estados cognitivos que Induce
Diferencias neurofuncionales de la onda P300 ante estimulación multisensorial en niños con trastorno por déficit de atención/hiperactividad (Soria-Claros, y otros, 2015).	Evaluar el procesamiento cerebral de la información mediante el componente P300, en modalidad auditiva, visual y táctil, en niños con TDAH.	32	No	No	Si	Distracción	Ninguno
Desarrollo de un sistema de NeuroMarketing usando el dispositivo Emotiv Epor (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014).	Evaluar las emociones que presentan los sujetos al presentarle un comercial publicitario.	12	No	No	Si	Alegría Tristeza	Ninguno
La realidad virtual en las intervenciones psicológicas con pacientes oncológicos (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013).	Presentar las principales aportaciones de la Realidad Virtual (RV) en el tratamiento psicológico con pacientes oncológicos.	30	No	No	No	Ninguno	Relajación
Real-Time EEG-Based Happiness Detection System (Jatupaiboon, Pannungum, & Israsena, 2013).	Presentar un sistema de detección de felicidad y tristeza mediante dispositivos de medición de señales EEG.	10	No	No	Si	Alegría Tristeza	Relajación
Metodología para caracterizar e inducir estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva (Soriano,2018).	Creación de una metodología para caracterizar e inducir estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva.	18	Si	Si	Si	Alegría Tristeza	Atención Concentración Relajación

# 4 Metodología de Solución

*En este capítulo se argumenta el diseño de la metodología para inducir estados mentales (emocionales y cognitivos) a través de realidad virtual inmersiva, la metodología está constituida por 12 procedimientos distribuidos entre las tres etapas de desarrollo, cada procedimiento ofrece herramientas para realizar una adecuada inducción de estados mentales.*

## 4.1 Metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva

Se creó una metodología que tiene como objetivo obtener información biométrica más precisa mediante la inducción de estados mentales con Realidad Virtual Inmersiva (RVI) e interfaces cerebro computadora, esta metodología descrita en la figura 19 fue nombrada Inducción de Estados Mentales (IEM), cuenta con 3 etapas: preparación del experimento, inducción mental y finalización del experimento.

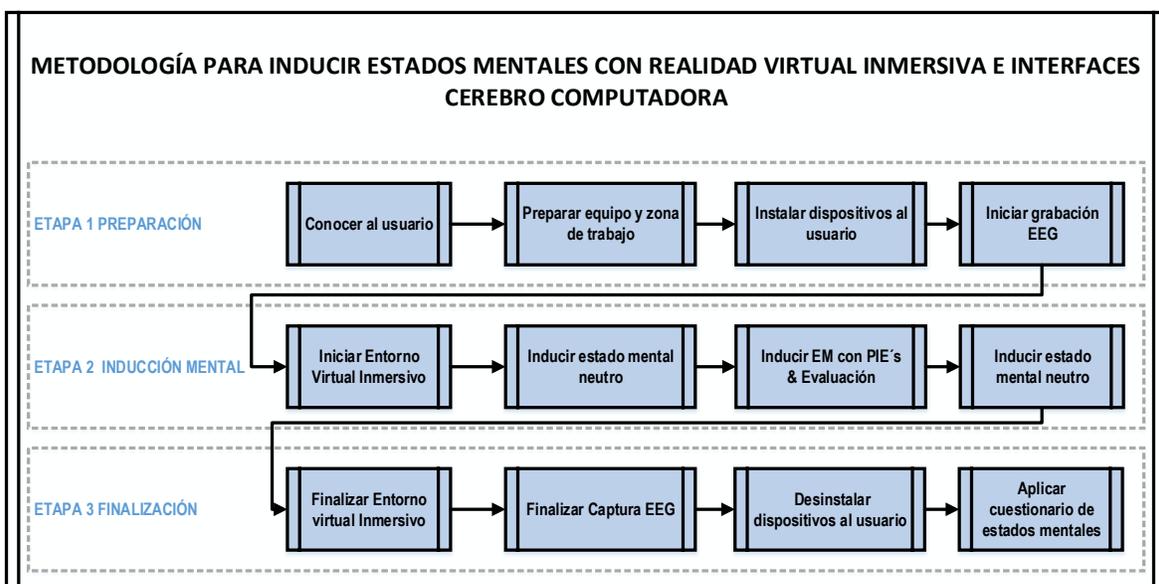


Figura 19. Metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva

Para aplicar los procedimientos descritos en esta metodología, el evaluador tiene que seguir la guía de interacción que se describe en la figura 20, en ésta se muestra la secuencia de procedimientos para realizar una adecuada inducción de estados mentales con RVI.

## GUÍA DE INTERACCIÓN CON LOS PROCESOS

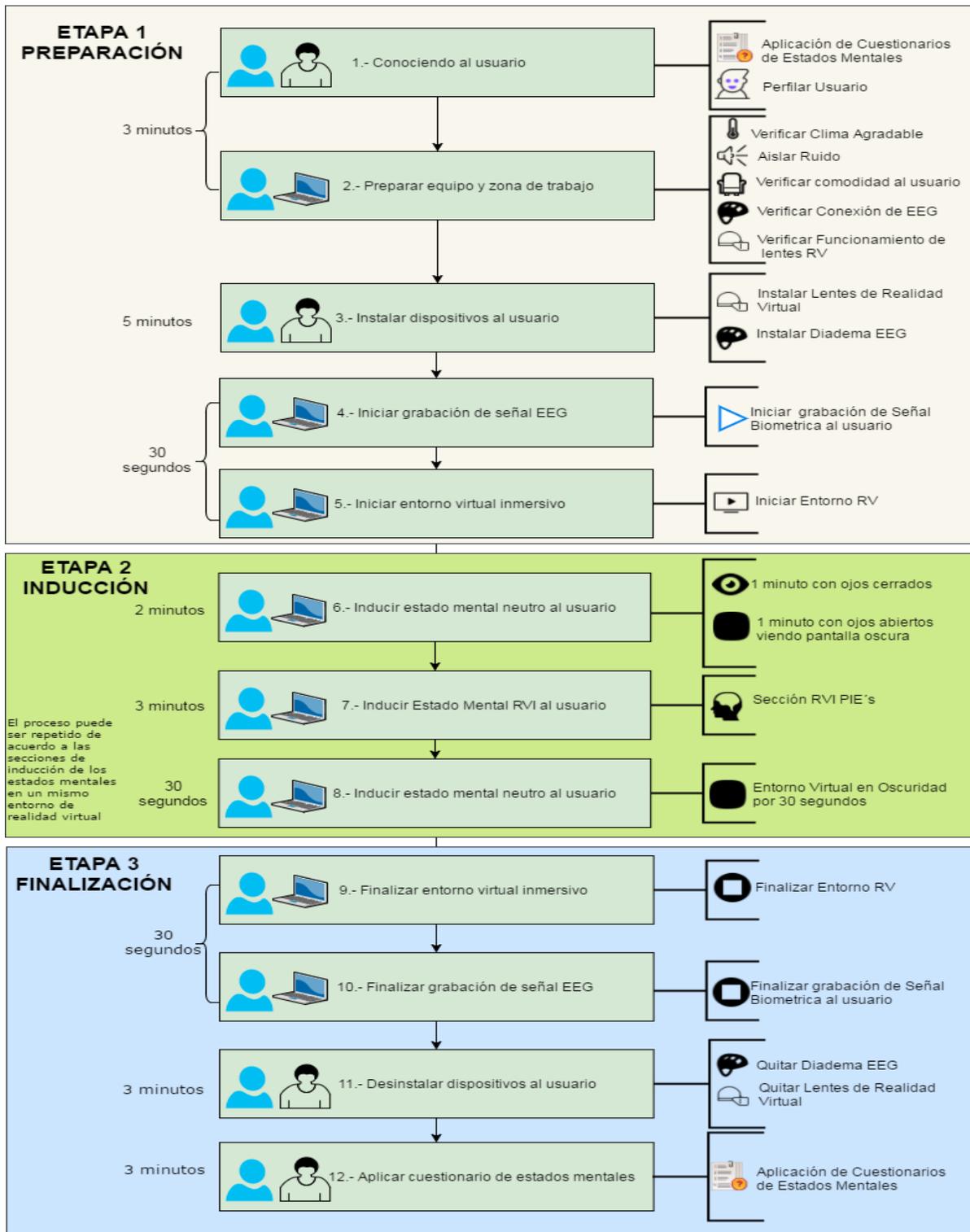


Figura 20. Estructura general de la metodología para inducir estados mentales

#### 4.1.1 Perfiles de usuario de la metodología

Dentro de la metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva e interfaz cerebro computadora existen 2 tipos de participantes, el evaluador y el sujeto de prueba, cada participante tiene actividades elementales para el desarrollo de la metodología.

##### 4.1.1.1 El evaluador

Es aquella persona capacitada para ejecutar los procesos de inducción mental, su área de conocimiento en sistemas computacionales y psicología es fundamental para poder llevar a cabo las siguientes actividades.

- Obtener información del sujeto de prueba de carácter personal para realizar las pruebas de inducción de estados mentales.
- Aplicar cuestionarios de estado mental al sujeto de prueba.
- Verificar la situación contextual del laboratorio de pruebas (clima, iluminación, ruido).
- Elegir qué estado emocional (tristeza, alegría, miedo) o estado cognitivo (atención, relajación, concentración) se inducirá.
- Configurar el escenario virtual para inducir el estado emocional o cognitivo según sea el caso.
- Instalar los lentes de realidad virtual e instrumentos para inducir el estado mental al sujeto de prueba.
- Instalar el dispositivo BCI (Emotiv/NeuroSky), evitando incomodidad al sujeto de prueba.
- Instalar los sensores biométricos para obtención de información (GSR, EMG, ECG).
- Iniciar y detener la grabación de información del estado emocional o cognitivo del sujeto con ayuda del sistema.
- Desinstalar los dispositivos del sujeto de prueba.
- Aplicar cuestionario de estado mental (PANAS) al sujeto de prueba para comprobar su estado mental neutro.

##### 4.1.1.2 El sujeto de prueba

Es aquella persona a la que se inducirán los estados mentales a través de entornos de realidad virtual inmersiva. Su principal actividad será brindar apoyo en la ejecución de cada segmento de inducción mental, su apoyo es esencial para una correcta recolección de información bioeléctrica generada por su cerebro.

## 4.2 Descripción de la metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva

Para diseñar una metodología que permitiera inducir estados mentales a través de realidad virtual inmersiva e interfaces cerebro computadora, fue necesario aplicar técnicas que han sido aplicadas en investigaciones descritas en el estado del arte.

### 4.2.1 Etapa 1 Preparación

En esta etapa, se conoce al sujeto al cual se le aplicara la inducción mental y se prepara la zona de trabajo donde se realizarán las pruebas de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva, ver figura 21.

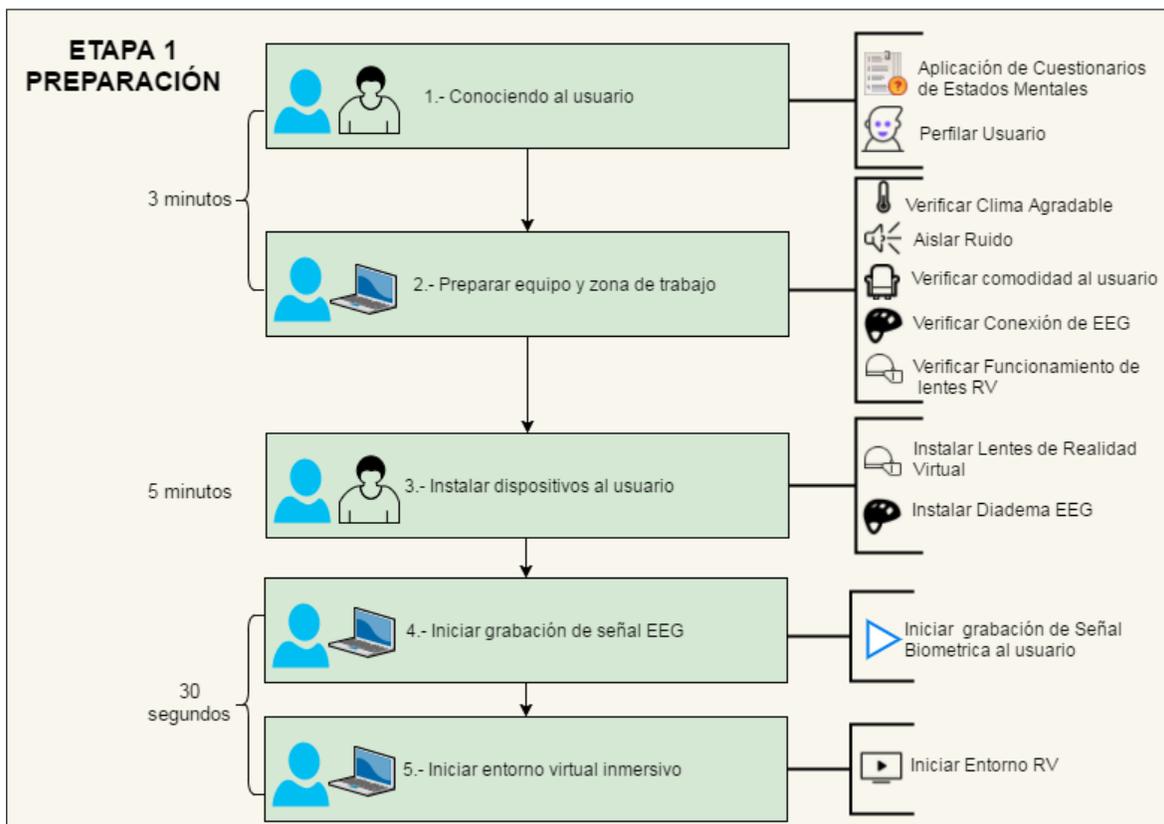


Figura 21. Etapa 1. Preparación del experimento para inducir EM

#### 4.2.1.1 Conociendo al usuario

Cuando se planea realizar una evaluación psicológica o generación de estados mentales, es indispensable conocer diversos aspectos fundamentales del sujeto al cual se le aplicará el experimento, como menciona (González Franco, 2015), para conocer a un sujeto es necesario aplicar cuestionarios y entrevistas previas al

experimento, cada cuestionario servirá para evaluar su estado mental, su salud en general y su capacidad cognitiva.

En este proceso se aplicará al usuario un cuestionario utilizado en la metodología para evaluar la experiencia del usuario en (Arana, 2014), esta metodología menciona que antes de realizar cualquier prueba o experimento en personas, es necesario categorizar al sujeto por su edad, sexo, nivel académico y el conocimiento que tiene sobre las herramientas y procesos que se usaran en la prueba, esto con la finalidad de evitar algún tipo de sesgo que pudiera afectar los resultados.

Cabe retomar que es necesario informar al sujeto sobre el objetivo de la prueba, así como los dispositivos que se instalaran en su cuerpo y el tiempo que durará la prueba, por ello antes de la intervención, el sujeto tendrá que firmar un consentimiento del experimento (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), en este consentimiento se estipula, que el sujeto es consciente del experimento, así como su aceptación de participación en el mismo.

En la investigación de (Aguado, 2016), se utilizaron herramientas de evaluación psicológica entre los cuales se mencionan, los cuestionarios de estado de salud de los 9 síntomas denominado PHQ9 (Kroenke & Spitzer, 2002), la finalidad de aplicar el cuestionario es conocer si el sujeto se encuentra sano física y mentalmente antes de presentar la prueba de inducción mental.

Para las pruebas de inducción mental con realidad virtual e interfaz cerebro computadora, se implementó un cuestionario extra llamado STAI (Spielberger, Gorsuch, & Lushene, 1988), la aplicación de este cuestionario es porque con el tipo de tecnología que se utiliza para inducir estados mentales (realidad virtual inmersiva), el sujeto puede presentar síntomas de estrés o ansiedad (Martens, 2017), por lo que es necesario evaluar qué tan tolerante al estrés o ansiedad se encuentra el sujeto antes de realizar la prueba de inducción de estados mentales.

Una vez que se aplican los test y cuestionarios, se le explica al sujeto sobre las medidas Likert, instrumento SAM, que se aplicarán en el proceso de inducción de

estados mentales, se brinda una previa capacitación de uso al usuario, donde se le menciona el significado de cada maniquí, así como el conjunto de datos de valencia, activación y dominancia (Picard, 2002).

En la figura 22, se muestran las actividades que realiza el evaluador al sujeto de prueba, estas actividades se realizan para conocer su situación mental y estado de salud.

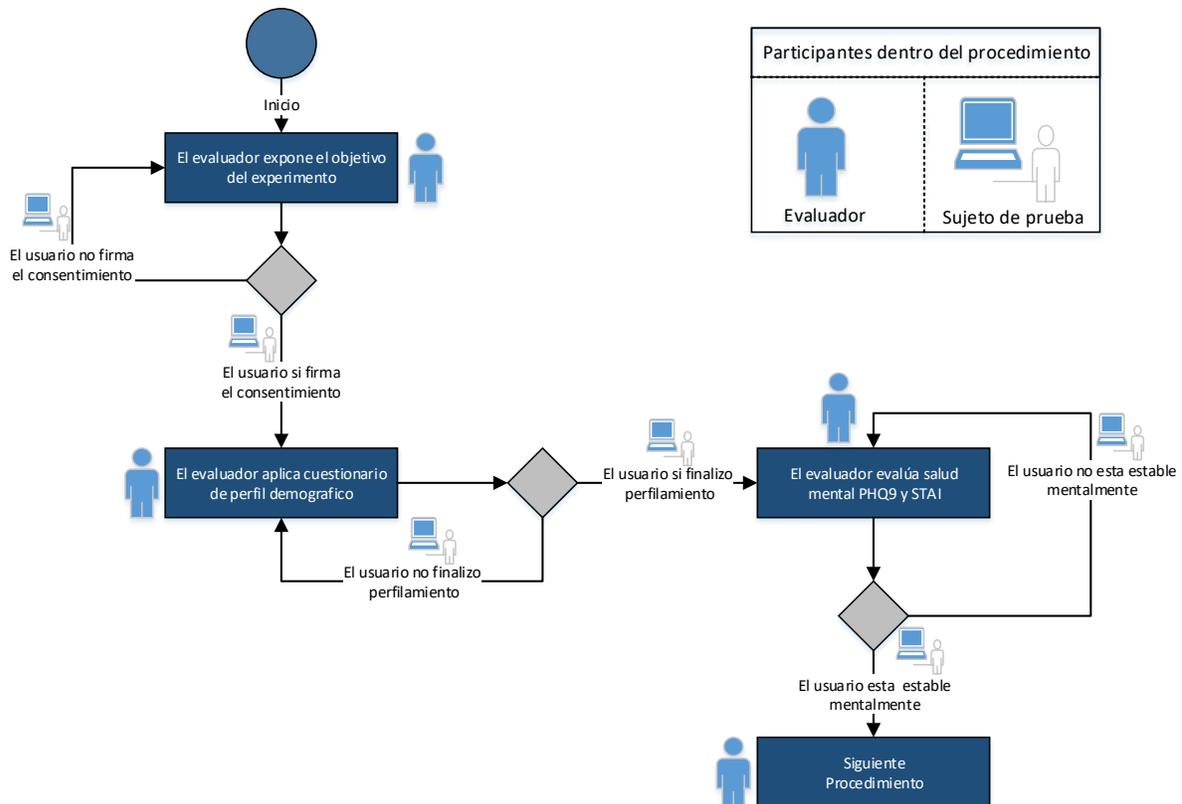


Figura 22. Diagrama de actividades del procedimiento 1. Conociendo al usuario

#### 4.2.1.2 Preparar equipo y zona de trabajo

En la investigación de (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014), se indica que en toda prueba de inducción de estados mentales, es necesario establecer una secuencia de métodos y actividades para obtener información sensorial de forma correcta, por lo que se debe verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos que se utilizarán, así como la zona de trabajo donde se presentará la prueba. En la figura 23, se describen las actividades que se tienen que realizar para cubrir el procedimiento 2 “preparación de los dispositivos y la zona de trabajo”.

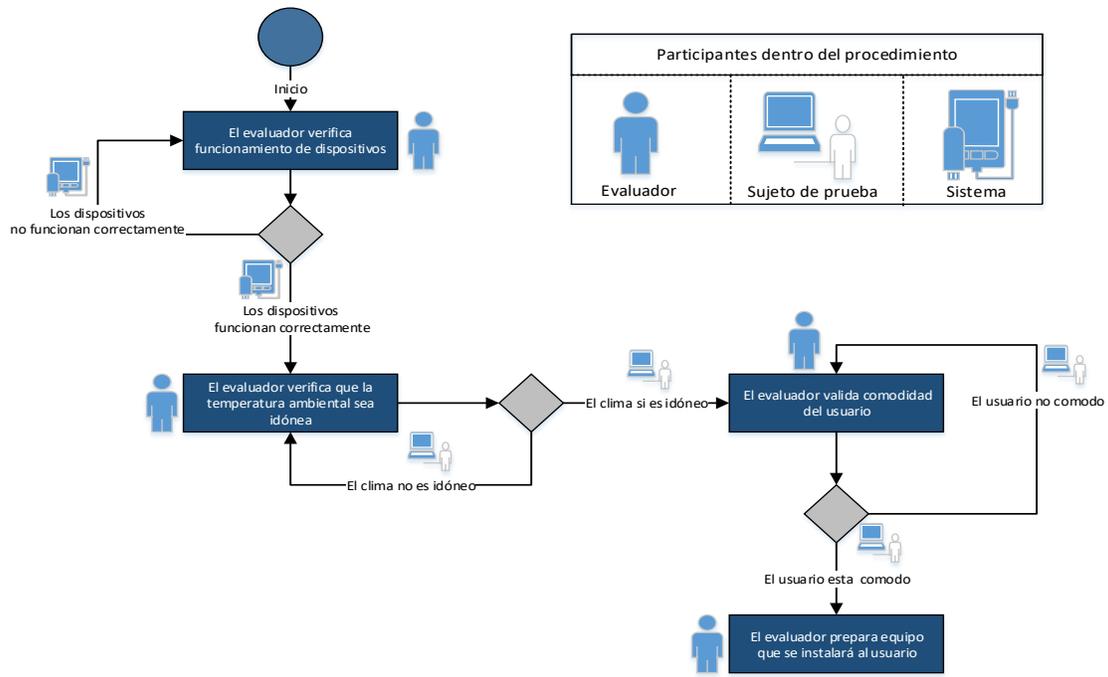


Figura 23. Diagrama de actividades del procedimiento 2. Preparar dispositivos y zona de trabajo

#### 4.2.1.3 Instalar dispositivos al usuario

Al terminar de verificar que los dispositivos funcionan correctamente y el ambiente del experimento es el correcto, el siguiente proceso será la instalación de dispositivos al usuario, este proceso se describe en la figura 24 de actividades.

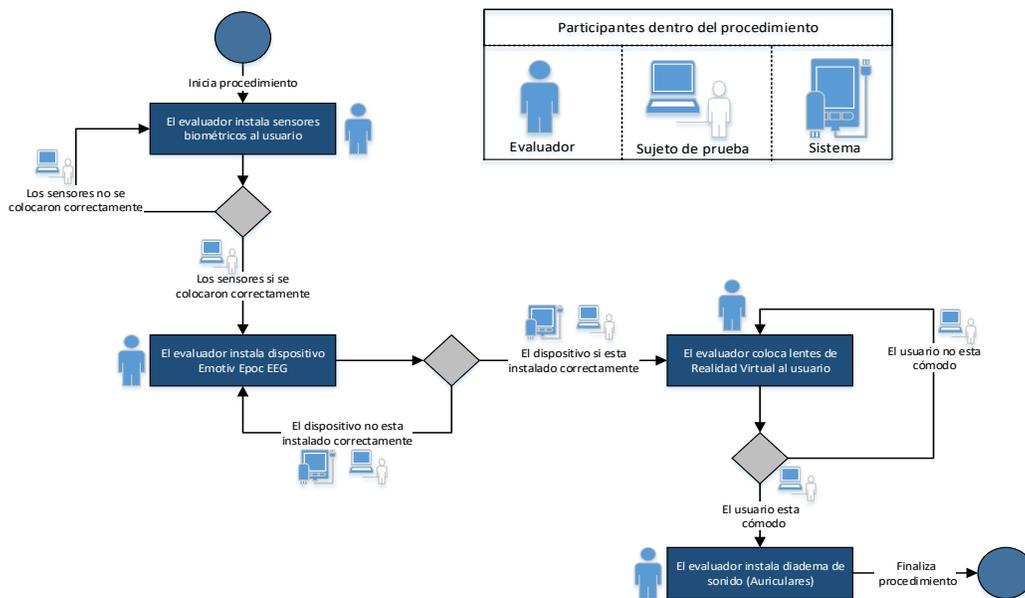


Figura 24. Diagrama de actividades del procedimiento 3. Instalando dispositivos al usuario

El procedimiento inicia cuando el evaluador instala los sensores biométricos (GSR, ECG, EMG), el evaluador tendrá que preguntar al usuario su estado de comodidad con los dispositivos, así también verificar si los sensores están conectados correctamente en el sujeto y en la plataforma de grabación de datos biométricos (Fouilloux Quiroz, 2018), posterior a la instalación de sensores biométricos se instala la Interfaz Cerebro Computadora (BCI), ver figura 24. En esta investigación se utilizó el dispositivo Emotiv Epor (Emotiv, 2016), ya que es un dispositivo de bajo costo y de alto grado de precisión para obtener información cerebral (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014).

Después de que el evaluador verificó que el dispositivo está instalado correctamente en el usuario y envía información a la plataforma de grabación EEG, se colocan los lentes de realidad virtual de manera que el usuario no se sienta incomodo con el dispositivo, en CENIDET existen distintos visores de realidad virtual inmersiva, en esta investigación se utilizó el dispositivo HTC Vive, ya que se adecua de manera exitosa al dispositivo Emotiv Epor (Jurnet, 2009).

Para finalizar el procedimiento de instalación se coloca un dispositivo de sonido de alta calidad, el cual permitirá al usuario escuchar instrucciones de la plataforma virtual.

#### **4.2.1.4 Iniciar grabación de señal EEG**

En (Balam, 2015), se creó una herramienta para grabar datos biométricos de manera independiente, ya que aplicaciones como Xavier Emotiv creadas por la compañía Emotiv (Emotiv, 2016), no permiten obtener la información de ondas cerebrales de manera libre, en CENIDET se utilizó en varias investigaciones, tales como (González Franco, 2015) y finalmente en (Carreón, 2016), aunque posteriormente surgió la necesidad de obtener otro tipo de información biométrica, como el nivel de respuesta galvánica de los sujetos y su reacción facial ante un estímulo, razón por la cual se estableció un método de sincronización de señales multimedia y biométricas desarrollado en (Fouilloux, 2018), este método usa una plataforma de grabación compatible con herramientas y sensores biométricos que

son usados en esta investigación, en la figura 25 se muestra el flujo de actividades dentro del procedimiento iniciar grabación EEG.

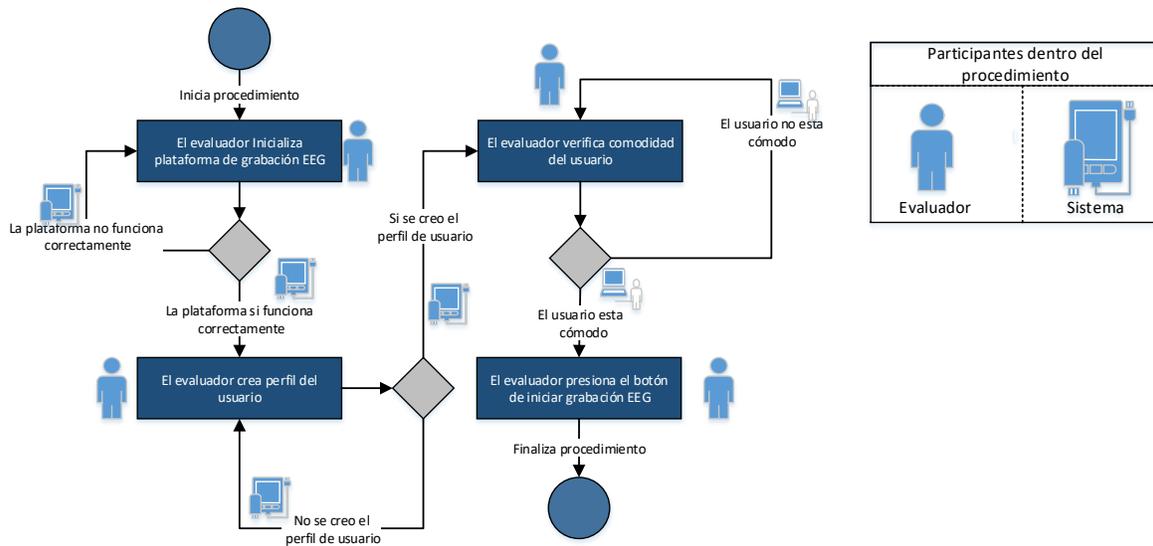


Figura 25. Diagrama de actividades del procedimiento 4. Iniciar grabación EEG

Como se muestra en la figura 25, el evaluador iniciará la plataforma de grabación multisensorial desarrollada en (Fouilloux, 2018), también verificará de manera rápida, si los dispositivos instalados previamente funcionan correctamente, posterior a esta actividad, el evaluador tendrá que crear una carpeta y dentro de la misma se generará el archivo con las iniciales del sujeto, número de prueba que se está realizando y fecha, esto con la finalidad de etiquetar la información biométrica que se genere, a continuación, se muestra un ejemplo de la forma en la que se debe almacenar.

N ° Prueba

Ejemplo: *JST-001-20171025*

Iniciales Sujeto                      Fecha prueba

Ya que los dispositivos estén instalados en el sujeto, así como la plataforma de grabación EEG funcionando con los sensores biométricos, el evaluador presionará

el botón de iniciar grabación y continuará con el procedimiento de “iniciar entorno virtual inmersivo”.

#### 4.2.1.5 Iniciar entorno virtual inmersivo

En este procedimiento, el evaluador tendrá que acceder al entorno virtual inmersivo que se describe en el capítulo cinco de esta investigación, cuando el evaluador acceda al directorio de la plataforma virtual, debe darle doble clic para ejecutarla, si la plataforma funciona correctamente, el usuario comenzará a interactuar con el entorno virtual, ver figura 26.

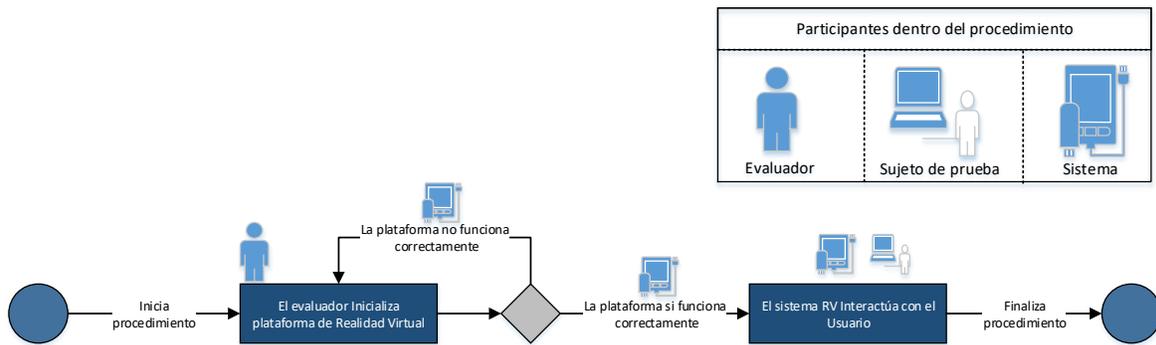


Figura 26. Diagrama de actividades del procedimiento 5. Iniciar entorno virtual inmersivo

Para poder ejecutar este procedimiento, se creó una arquitectura a partir de técnicas utilizadas en (Espinoza, Baños, Palacios, & Botella, 2013), (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014), ver figura 27. Con esta arquitectura, se construyeron cinco entornos virtuales inmersivos mediante Aframe (WebVR, 2017). Aframe es una herramienta de programación que combina HTML con Unity y JavaScript para crear entornos virtuales, esta herramienta es altamente compatible con la mayoría de los dispositivos de realidad virtual existentes en el mercado actual.

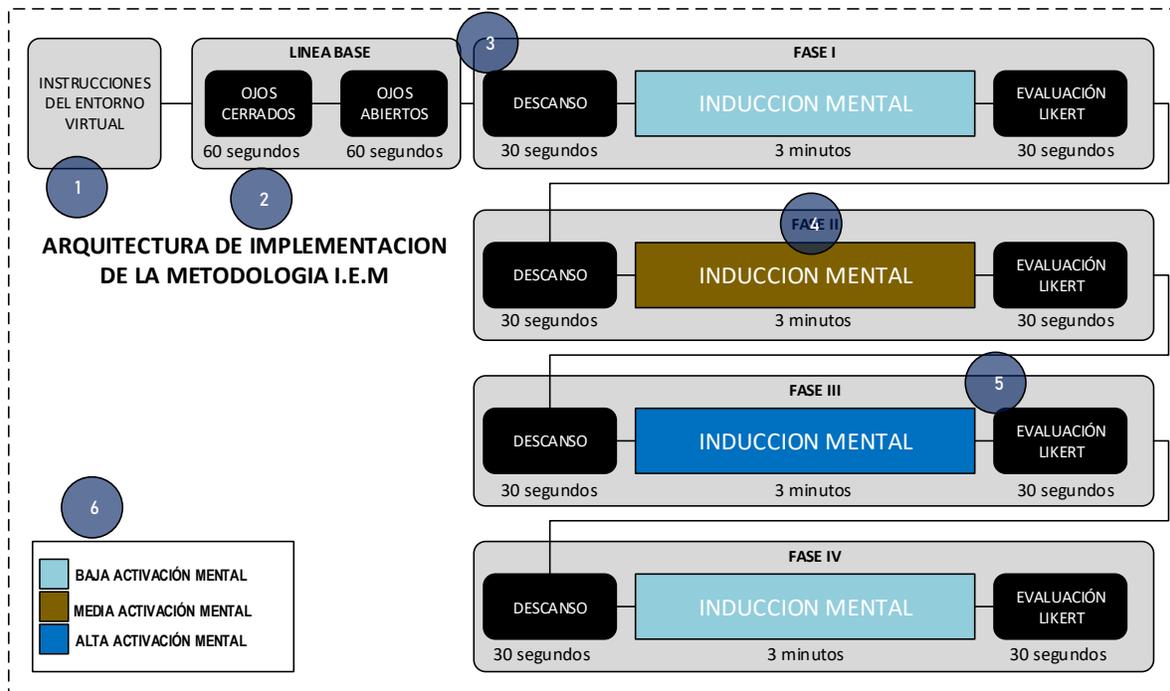


Figura 27. Arquitectura del proceso de inducción de EM

En la tabla 6, Se muestran los componentes que conforman la arquitectura de los escenarios virtuales para inducir estados mentales.

Tabla 6 Componentes de la arquitectura para inducir estados mentales con RV

N°	Nombre	Descripción
1	Instrucciones del entorno	Secuencia de actividades que la plataforma virtual indica al sujeto de prueba.
2	Línea base	Ojos cerrados El sujeto mantendrá los ojos cerrados por el tiempo que indique la plataforma RVI.
		Ojos abiertos El sujeto mantendrá los ojos abiertos observando la figura que muestre la plataforma RVI.
3	Descanso	La plataforma RVI indicara un tiempo para que el sujeto pueda relajarse.
4	Inducción mental	La plataforma RVI muestra un procedimiento de inducción emocional al usuario.

5	Evaluación Likert	La plataforma RVI muestra el test SAM y pregunta al usuario nivel de valoración mental.
6	Nivel de Arousal	Indica la intensidad del estímulo a nivel mental.

4.2.2 Etapa 2 Inducción de estados mentales

En esta etapa, se describen los procedimientos de inducción de estados mentales con realidad virtual mediante el escenario virtual inmersivo, ver figura 28.

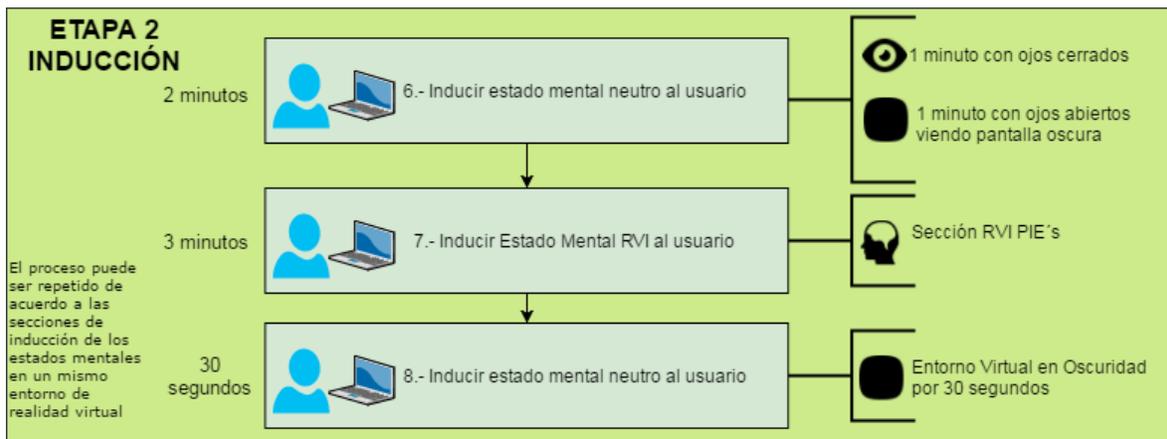


Figura 28. Etapa 2. Inducción de estados mentales

En la figura 29, se muestran los procesos que conforman la etapa 2 de la metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva.

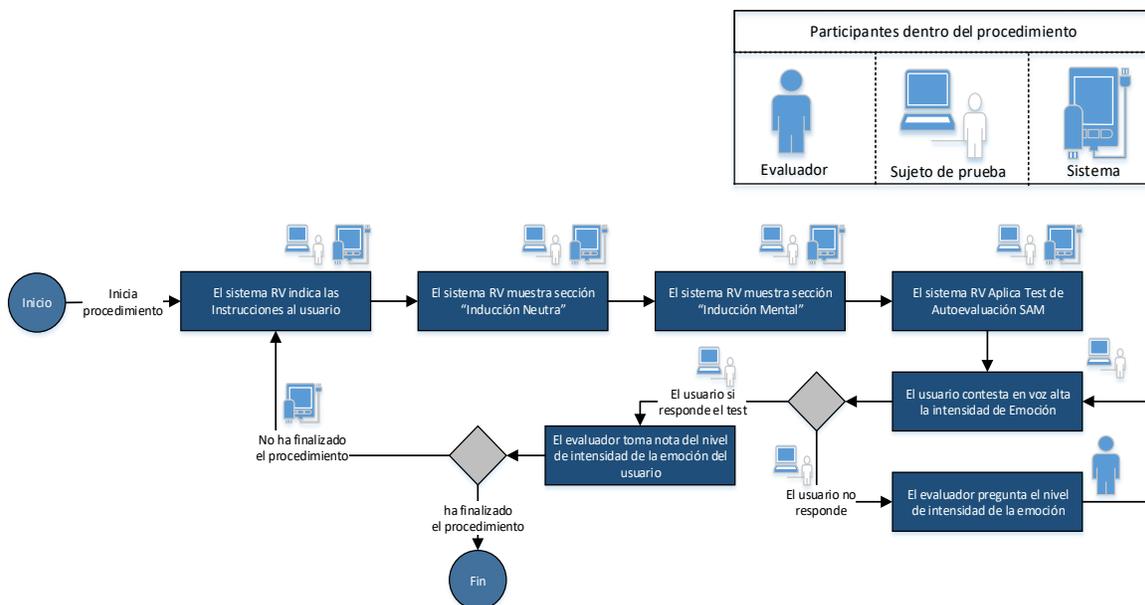


Figura 29. Diagrama de actividades del procedimiento 6,7 y 8. Etapa de Inducción de estados mentales

#### 4.2.2.1 Inducir estado mental neutro

El proceso de las actividades inicia con la aplicación de la línea base (Moreno, Peña, & Gualdrón, 2014), la línea base es el modo de relajación inicial que se aplicará al sujeto de prueba, en la línea base el sujeto mantendrá los ojos cerrados durante 60 segundos, y posteriormente otros 60 segundos mirando un símbolo que se muestra dentro del escenario virtual.

#### 4.2.2.2 Inducir estado mental con RVI

El escenario virtual desarrollado en Aframe, se desarrolló bajo la arquitectura mostrada en la figura 27, este escenario está constituido por 4 secciones, cada sección está conformada por un PIE´s, a continuación, se describe cada sección.

- En la primera sección se inducirán “emociones positivas utilizando imágenes IAPS” (Dan-Glauser & Scherer, 2011), durante aproximadamente 150 segundos, al finalizar se tomarán 30 segundos para evaluar el nivel de satisfacción y activación que se obtuvo en el estímulo aplicado, para esto el evaluador le preguntará al sujeto el nivel de arousal y valencia al término de la sección.
- En la segunda sección se inducirán “emociones positivas con audio IADS”, consecutivamente durante 95 segundos, al finalizar se tomará 30 segundos para evaluar el nivel de satisfacción y activación SAM que se obtuvo en el estímulo aplicado (Aguado, 2016), para esto el evaluador le preguntará al sujeto el nivel de arousal y valencia al término de la sección.
- En la tercera sección se inducirán “emociones positivas con videos”, por medio de realidad virtual consecutivamente durante 95 segundos, al finalizar se tomará 30 segundos para evaluar el nivel de satisfacción y activación que se obtuvo en el estímulo aplicado, para esto el evaluador le preguntará el nivel de arousal y valencia al término de la sección.
- En la cuarta sección se inducirán “emociones positivas con IAPS & IADS”, dentro del escenario de realidad virtual durante 45 segundos, al finalizar se tomará 30 segundos para evaluar el nivel de satisfacción y activación que se obtuvo en el estímulo aplicado, para eso el evaluador le preguntará al sujeto el nivel de arousal y valencia al término de la sección.

#### 4.2.2.3 Inducir Estado mental neutro

Este procedimiento lo aplica el entorno virtual inmersivo descrito en la figura 29, el escenario virtual después de cada sección aplica la técnica de descanso mental (30 segundos con pantalla oscura), esta técnica fue utilizada en (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), con esta técnica el sujeto permanece en un estado mental neutro.

#### 4.2.3 Etapa 3 Finalización

La etapa de inducción de emociones finaliza, cuando el escenario virtual indica que la prueba ha concluido, en este momento el evaluador tiene que aplicar la etapa de finalización. en la figura 30, se describe la etapa 3 finalización, en esta se describen los procedimientos para finalizar la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva.

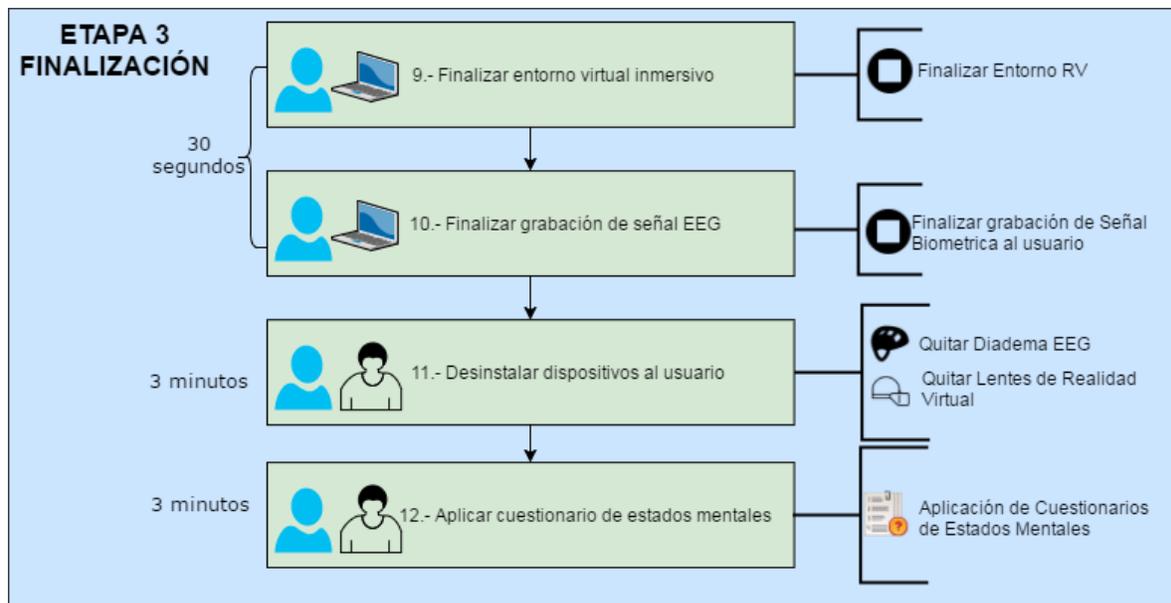


Figura 30. Etapa 3. Finalización de inducción de estados mentales

##### 4.2.3.1 Finalizar entorno virtual inmersivo RVI

Para finalizar el entorno virtual, el evaluador cerrará el navegador web, entonces el visor de realidad virtual detectará que concluyó el proceso de la plataforma, enseguida mostrará un entorno de relajación que se presenta por defecto, como se muestra en la figura 31.

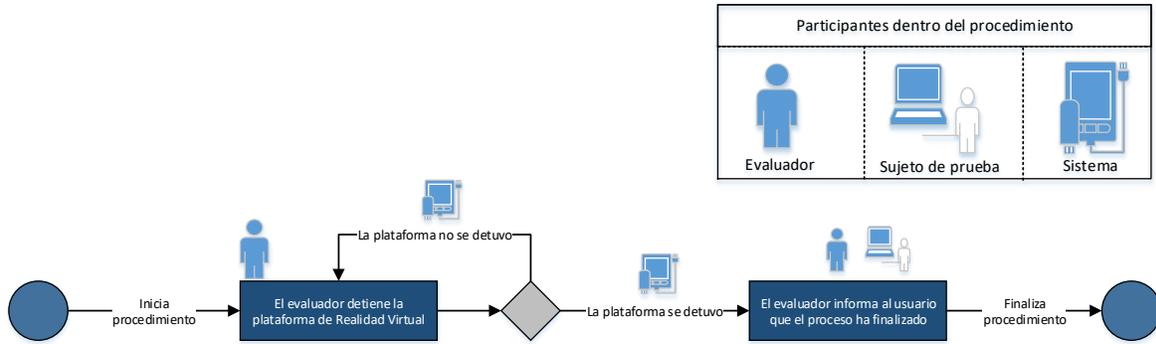


Figura 31. Diagrama de actividades del procedimiento 9. Finalizar entorno virtual inmersivo

#### 4.2.3.2 Finalizar captura EEG

El evaluador al notar que la prueba finalizó, ejecutará el procedimiento de finalización de la grabación EEG. En este procedimiento, el evaluador debe presionar el botón detener grabación que contiene la plataforma desarrollada en (Fouilloux, 2018) y automáticamente todos los sensores finalizaran el proceso de grabación multisensorial, después de que los sensores hayan sido finalizados correctamente, el evaluador informará al sujeto que la prueba ha finalizado y continuará con el procedimiento de desinstalación de dispositivos y sensores biométricos, ver figura 32.

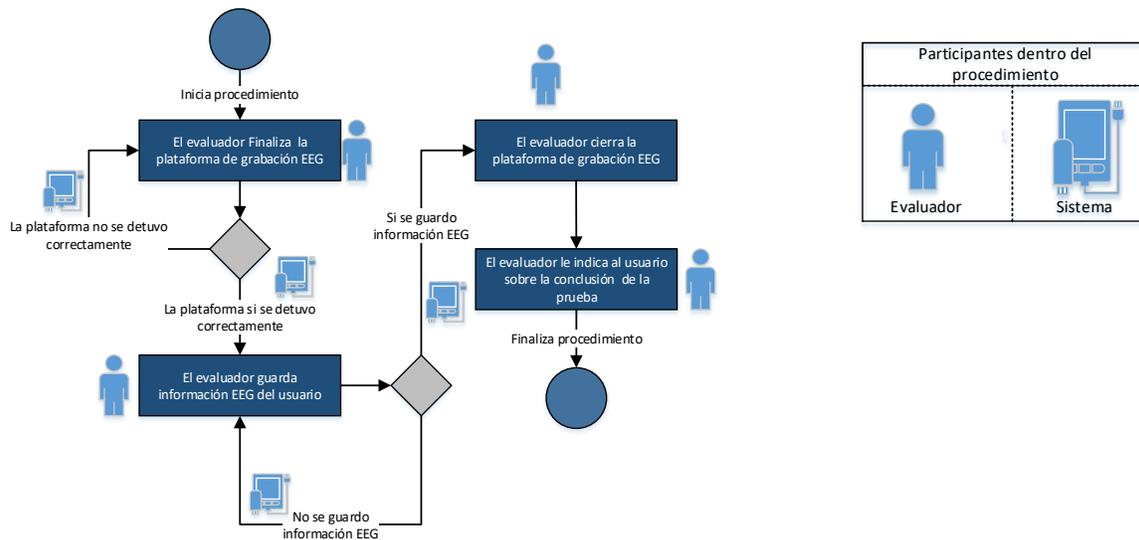


Figura 32. Diagrama de actividades del procedimiento 10. Finalización de grabación EEG

#### 4.2.3.3 Desinstalar dispositivos al usuario

El evaluador, tendrá que desinstalar los sensores biométricos del cuerpo del sujeto, posteriormente, se desconectará el dispositivo de sonido (auricular), así como los lentes de realidad virtual, de tal forma que los lentes de realidad virtual no afecten a la diadema Emotiv Epor, por último, se desinstalará el dispositivo de grabación EEG Emotiv Epor, ver figura 33.

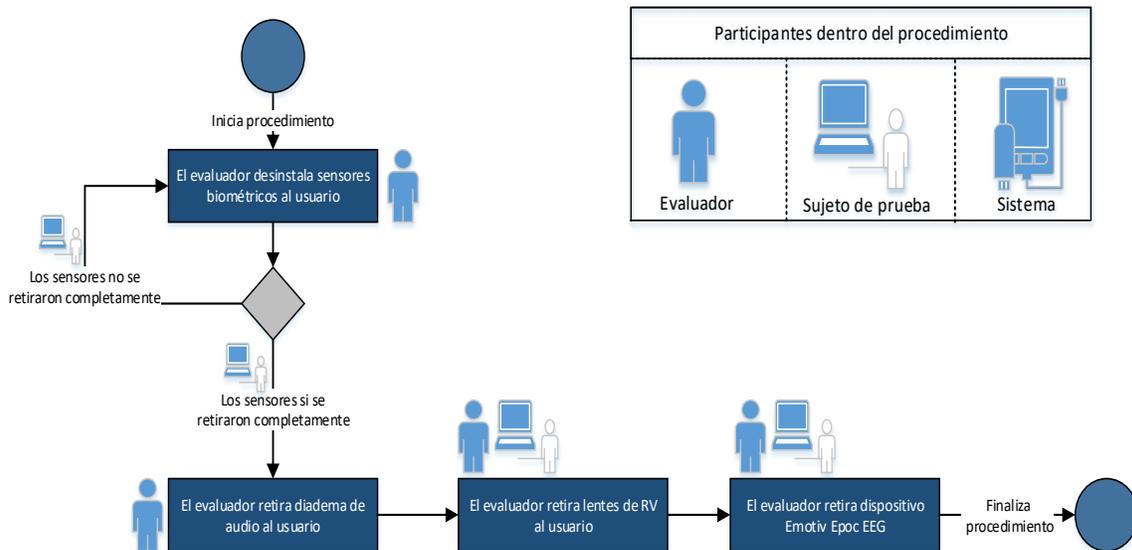


Figura 33. Diagrama de actividades del procedimiento 11. Desinstalar dispositivos al usuario

#### 4.2.3.4 Aplicar cuestionario de estados mentales

En este procedimiento, el evaluador explicará al usuario el último procedimiento de la metodología para inducir estados mentales (ver figura 34) , este último método consiste en aplicar el cuestionario PANAS (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014).

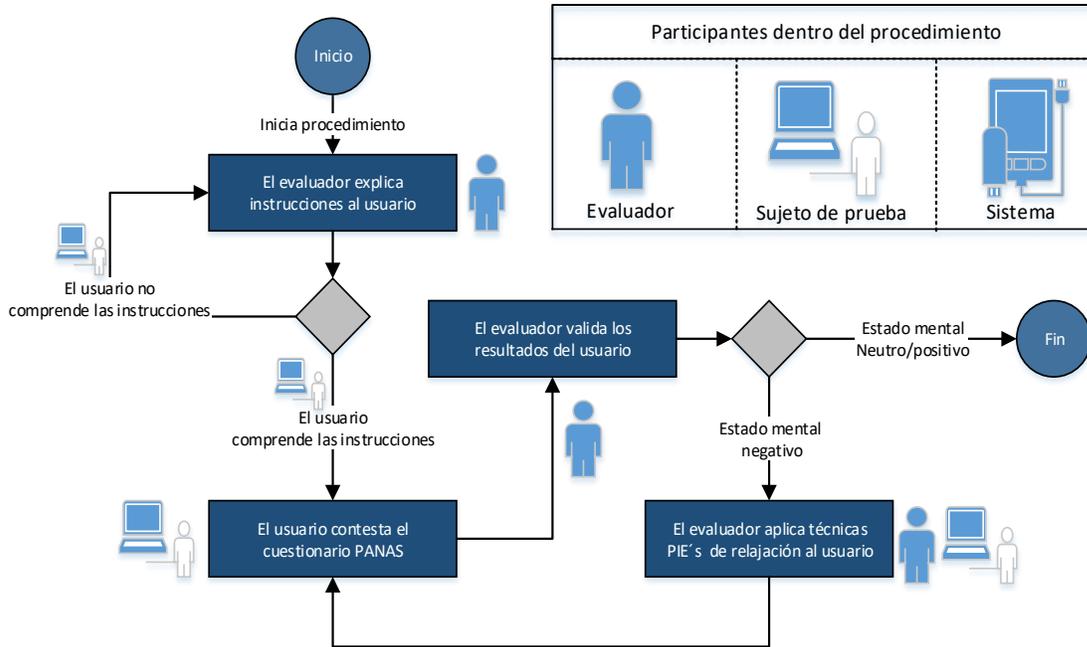


Figura 34. Diagrama de actividades del procedimiento 12. Aplicar cuestionario PANAS

Para realizar este procedimiento, es necesario que el evaluador cuente con conocimientos sobre la valoración del test; en (Martens, 2017), utilizaron una herramienta para analizar el estado mental del sujeto al inicio y al final del experimento, esta herramienta muestra las valoraciones que se deben seguir para el diagnóstico emocional en tiempo real (López Angulo, 2006), el uso de PANAS está fundamentado en el área de psicología, utilizado como herramienta de evaluación mental (Watson, Clark, & Tellegan, 1988).

# 5 Implementación de la metodología

*En este capítulo se muestran los entornos inmersivos de realidad virtual creados para poder implementar la metodología de inducción de estados mentales. En cada escenario se utilizó el protocolo de inducción de estados mentales desarrollado para esta investigación.*

Con la finalidad de implementar la metodología de solución planteada, se crearon cinco entornos virtuales inmersivos con la arquitectura mencionada en el capítulo 4 de este documento, cada entorno virtual permite inducir distintos estados mentales mediante el Procedimiento de Inducción Emocional (PIE), se utilizó el Framework de Aframe (WebVR, 2017) para la creación de la interfaz de RVI. A continuación, se describe cada uno de los entornos virtuales inmersivos.

### 5.1 Entorno virtual con imágenes IAPS

Escenario virtual con cuatro segmentos, cada segmento está conformado por 5 imágenes del repositorio internacional de imágenes afectivas IAPS (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997), y de la base de datos de imágenes afectivas de la universidad de Ginebra (Dan-Glauser & Scherer, 2011), cada imagen está clasificada por su nivel de activación (arousal).

La arquitectura del entorno virtual que se muestra en la figura 35 indica la composición del sistema para inducir estados mentales. Por defecto el sistema fue configurado con imágenes IAPS que inducen estados mentales positivos (Felicidad, Alegría).

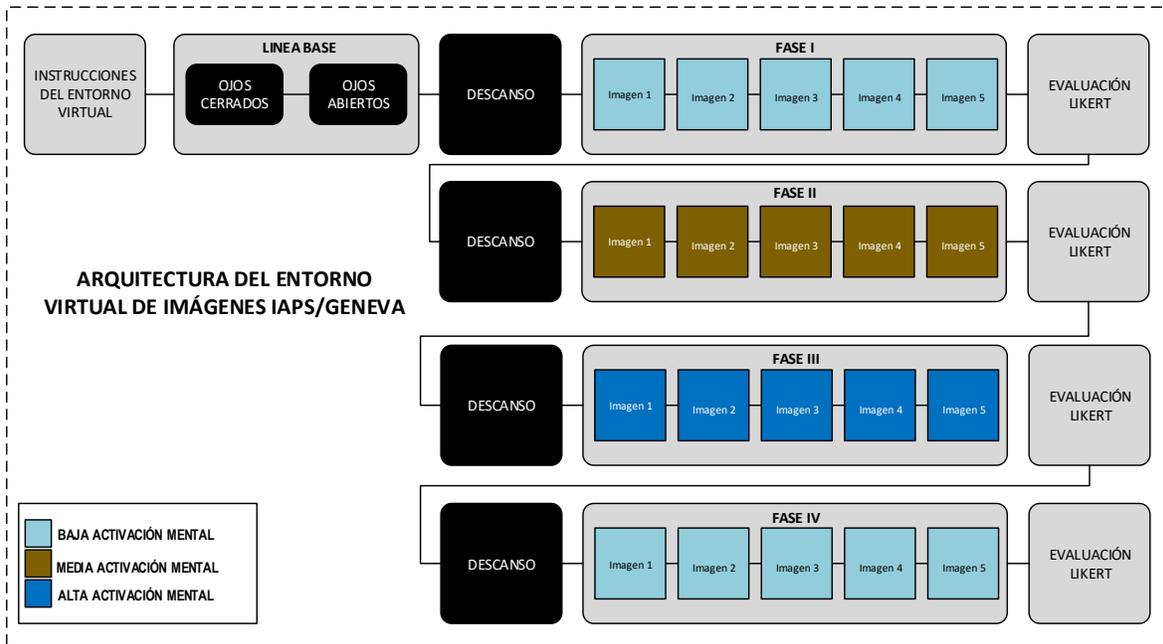


Figura 35. Arquitectura del entorno de imágenes IAPS

Dentro del sistema de realidad virtual inmersivo (RVI), el primer segmento muestra al usuario imágenes afectivas de baja intensidad emocional, esto quiere decir que

la emoción positiva inicia progresivamente, para que exista una adaptación al sistema de RVI.

En el segundo y tercer segmento se muestran imágenes de más alto nivel de activación cerebral, en el cuarto segmento se disminuye nuevamente la activación emocional con la finalidad de que el sujeto retorne a un estado mental neutro.

Cada segmento, está compuesto por un descanso, este consiste en brindar aproximadamente 30 segundos al usuario, antes de iniciar con la prueba, así también con una evaluación Likert (López Angulo, 2006) para conocer en todo momento si el procedimiento de inducción emocional funciona en el usuario, esta evaluación tiene 30 segundos para que el usuario responda del 1 al 9 su nivel de emoción, apoyándose del maniquí de autoevaluación emocional SAM (Bradley & Lang, 1994).

La plataforma virtual de inducción de estados mentales positivos (alegría, felicidad), mostrada en la figura 36, ha sido alojada para acceso público en la siguiente url:

[http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo\\_Imagenes/imagenes.html](http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo_Imagenes/imagenes.html), es funcional con el navegador Mozilla Firefox versión 54 o superior, el entorno virtual es compatible con lentes de realidad virtual Oculus Rift, HTC vive, Daydream y versiones móviles como Samsung Gear VR.



Figura 36. Entorno virtual imágenes iaps

## 5.2 Entorno virtual con Música/Audio IADS

Escenario virtual con cuatro segmentos de inducción emocional, cada segmento está conformado por dos audios del repositorio internacional de sonidos afectivos IADS (Bradley, MM, & Lang, 1999), cada sonido está clasificado por su nivel de activación (arousal).

En la arquitectura del entorno virtual de audios (ver figura 37), se muestra la estructura del sistema para inducir estados mentales. Por defecto el sistema fue configurado con audios IADS que inducen estados mentales positivos (felicidad, alegría).

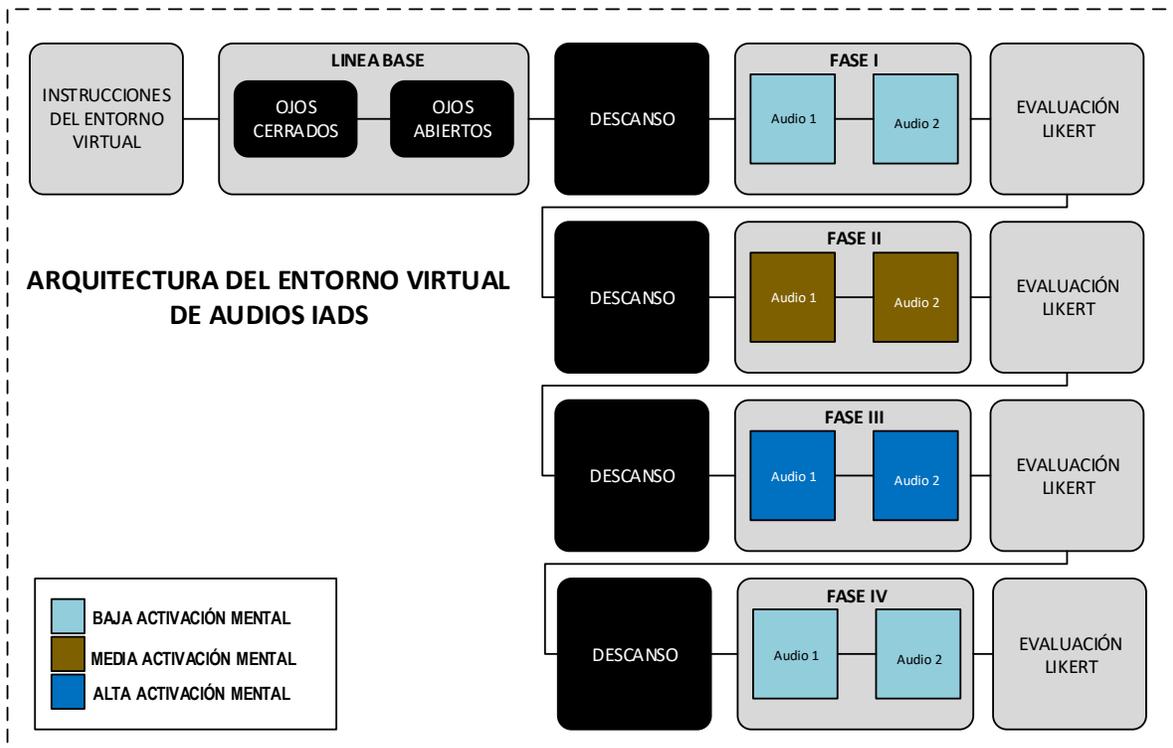


Figura 37. Arquitectura del entorno virtual de audios IADS

Dentro del sistema de realidad virtual de audios, el primer segmento muestra al usuario dos audios de baja intensidad emocional, esto quiere decir que la emoción positiva inicia progresivamente para que exista una adaptación al sistema de RV. En el segundo y tercer segmento se reproduce y muestra un audio con un nivel más alto de activación cerebral, en el cuarto segmento se disminuye nuevamente

la activación emocional con la finalidad de que el sujeto retorne a un estado mental neutro.

Cada segmento está compuesto por un descanso, este consiste en brindar aproximadamente 30 segundos al usuario, antes de iniciar con la prueba, así también con una evaluación Likert (López Angulo, 2006), esta evaluación tiene 30 segundos para que el usuario responda del 1 al 9 su nivel de emoción, apoyándose del maniquí de autoevaluación emocional SAM (Bradley & Lang, 1994).

La plataforma virtual de inducción de estados mentales positivos (alegría, felicidad), mediante audios, mostrada en la figura 38, ha sido alojada para acceso público en la siguiente url: [http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo\\_Audio/audio.html](http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo_Audio/audio.html), funciona con el navegador Mozilla Firefox versión 54 o superior, el entorno virtual es compatible con lentes de realidad virtual Oculus Rift, HTC vive, Daydream y versiones móviles como Samsung Gear VR.

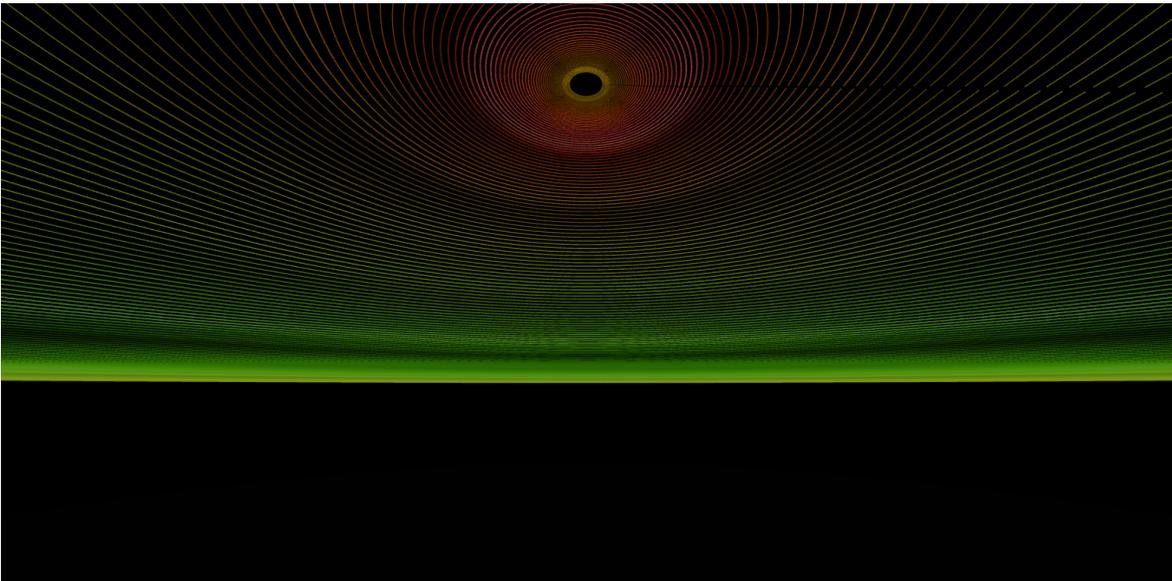


Figura 38. Entorno virtual Audios

### 5.3 Entorno virtual con videos AFV

Escenario virtual con cuatro segmentos, cada segmento está conformado por un video emocional (Aguado, 2016), cada video está clasificado por su nivel de activación (arousal). En la arquitectura del entorno virtual de videos presentada en

la figura 39, se muestra la estructura del sistema para inducir estados mentales por medio de clip de videos. Por defecto el sistema fue configurado con videos que inducen estados mentales positivos (felicidad, alegría).

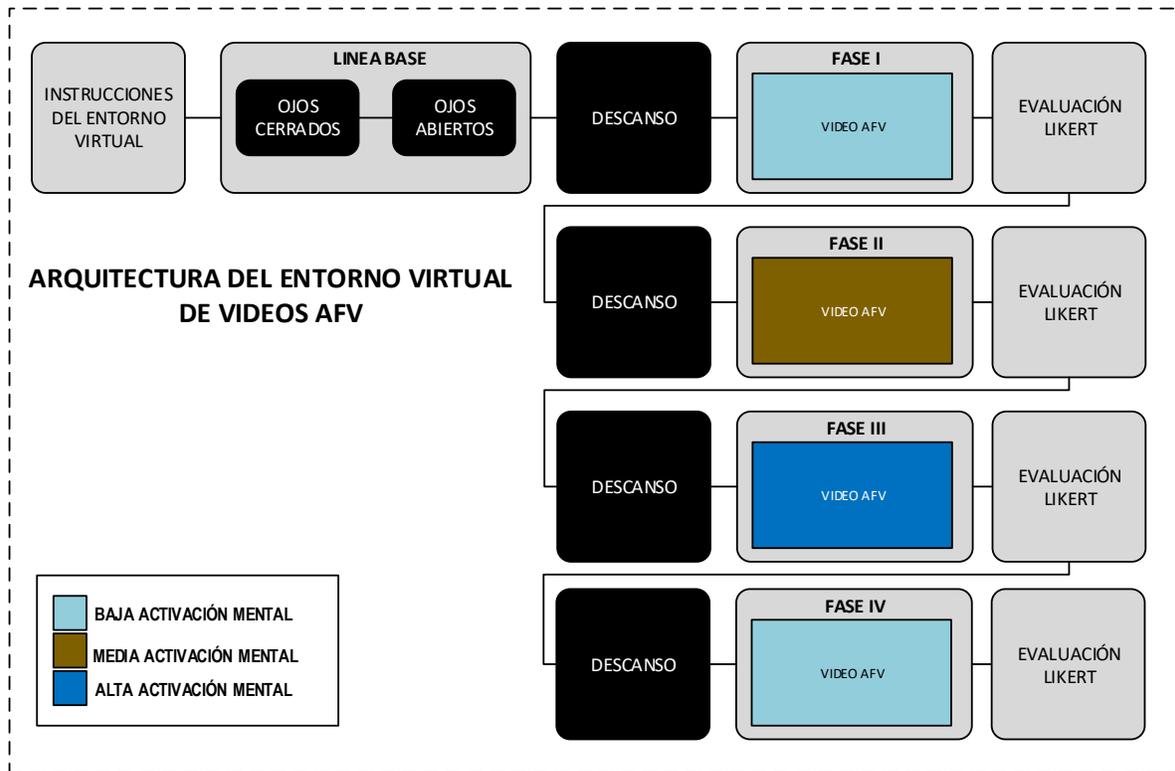


Figura 39. Arquitectura del entorno virtual de videos AFV

Dentro del sistema de realidad virtual inmersivo (RVI) de videos AFV, el primer segmento muestra al usuario un video de baja intensidad emocional, esto quiere decir que la emoción positiva inicia progresivamente para que el usuario se adapte al sistema de RVI.

En el segundo y tercer segmento se muestran videos con un nivel más alto de activación cerebral, en el cuarto segmento se disminuye nuevamente la activación emocional con la finalidad de que el usuario retorne a un estado mental neutro.

Cada segmento, está compuesto por un descanso que consiste en brindar aproximadamente 30 segundos al usuario viendo una pantalla oscura antes de iniciar con la prueba, así también se conforma de una evaluación Likert (López Angulo, 2006), esta evaluación brinda 30 segundos al usuario para que indique del 1 al 9 su nivel de emoción, apoyándose del maniquí de autoevaluación emocional SAM (Bradley & Lang, 1994).



Figura 40. Entorno virtual videos AFV

La plataforma virtual que permite inducir estados mentales positivos mediante videos, mostrada en la figura 40, ha sido alojada para acceso público en la siguiente url: [http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo\\_Videos/](http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo_Videos/), funciona con el navegador Mozilla Firefox versión 54 o superior, el entorno virtual es compatible con lentes de realidad virtual Oculus Rift, HTC vive, Daydream y versiones móviles como Samsung Gear VR.

#### **5.4 Entorno virtual con imágenes IAPS & Audio**

Escenario virtual con cuatro segmentos emocionales, cada segmento está conformado por 5 imágenes IAPS y un audio IADS (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), cada imagen está clasificada por su nivel de activación (arousal). En la arquitectura presentada en la figura 41, se muestra la estructura aplicada en la plataforma para inducir estados mentales con imágenes IAPS y sonidos IADS. Por defecto el sistema fue configurado con audios e imágenes que inducen estados mentales positivos (felicidad, alegría).

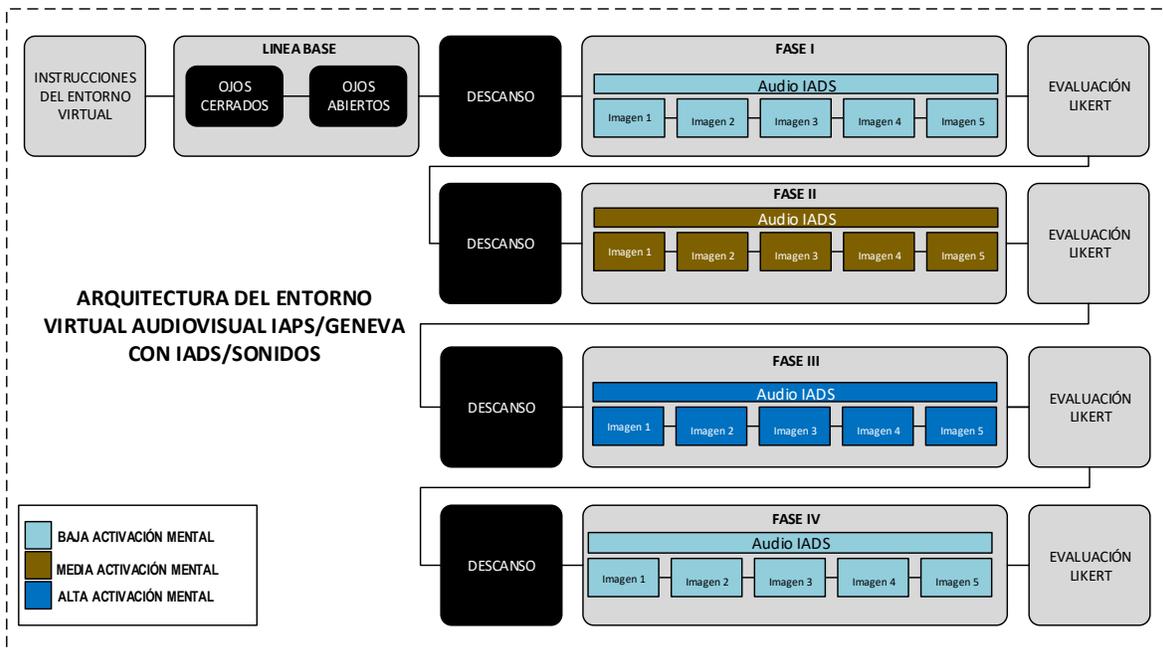


Figura 41. Arquitectura del entorno virtual audiovisual IAPS/IADS

Dentro del sistema de realidad virtual inmersiva (RVI) audiovisual, el primer segmento muestra al usuario 5 imágenes IAPS con audio de fondo de baja intensidad emocional, esto quiere decir que la emoción positiva inicia progresivamente para que exista una adaptación al sistema de RVI.

En el segundo y tercer segmento se muestran imágenes IAPS combinadas con audio con un nivel más alto de activación cerebral, en el cuarto segmento se disminuye nuevamente la activación emocional con la finalidad de que el usuario retorne a un estado mental neutro.

Cada segmento, está compuesto por un descanso, este descanso consiste en brindar aproximadamente 30 segundos al usuario mirando una pantalla oscura antes de iniciar con la prueba, así también con una evaluación Likert (López Angulo, 2006), esta evaluación brinda 30 segundos para que el usuario responda del 1 al 9 su nivel de emoción, apoyándose del maniquí de autoevaluación emocional SAM (Bradley & Lang, 1994).



Figura 42. Entorno virtual audio fotográfico

La plataforma virtual de inducción de estados mentales positivos (alegría, felicidad), mediante la combinación de imágenes IAPS y sonidos IADS (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013), mostrada en la figura 42, ha sido alojada para acceso público y puede ser modificada por la base de datos GAPED desde la url:

[http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo\\_AudioFotografico/imagenes\\_IAPS.html](http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulo_AudioFotografico/imagenes_IAPS.html)

esta plataforma funciona con el navegador Mozilla Firefox versión 54 o superior, el entorno virtual es compatible con lentes de realidad virtual Oculus Rift, HTC vive, Daydream y versiones móviles como Samsung Gear VR.

### 5.5 Entorno virtual con Estímulos Mixtos

Escenario virtual con cuatro segmentos, cada segmento está conformado por distintos procedimientos de inducción mental entre los que conforman imágenes IAPS, audio IADS (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), videos de regulación emocional e imágenes audiovisuales, cada segmento es clasificado por su nivel de activación (arousal). En la arquitectura presentada en la figura 43 se muestra la estructura del sistema usada en la plataforma para inducir estados mentales con diferentes PIE's. Por defecto el sistema fue configurado con imágenes, audios y videos que inducen estados mentales positivos (felicidad, alegría).

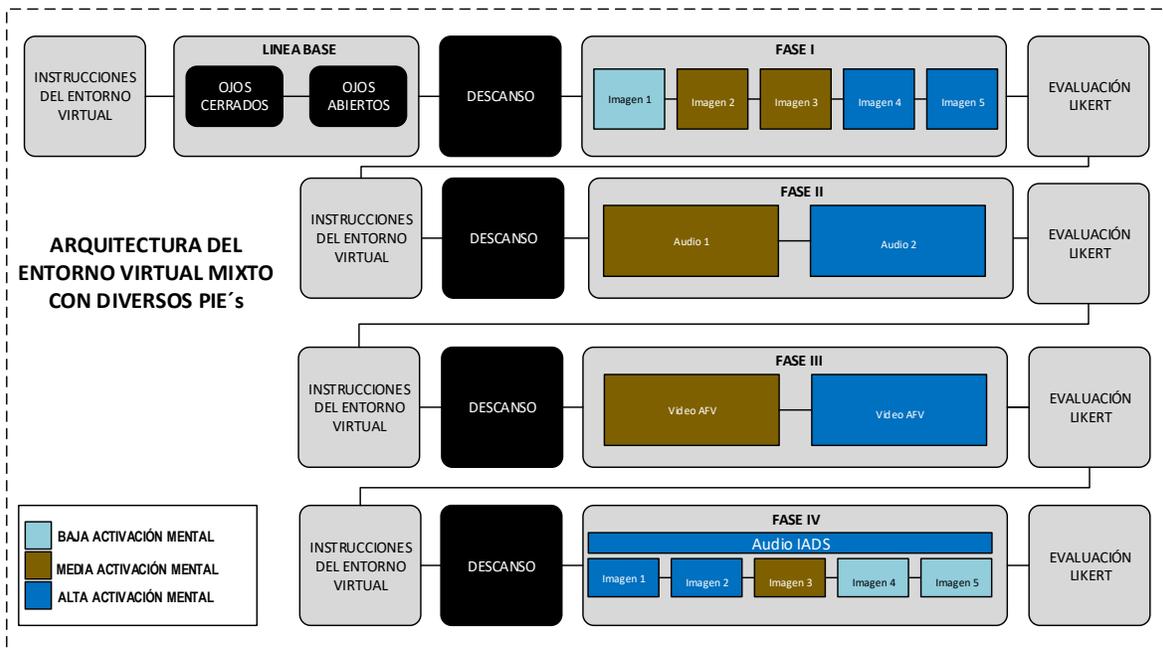


Figura 43. Arquitectura del entorno virtual mixto con diferentes PIE's

Dentro del sistema de realidad virtual mixto, el primer segmento muestra al usuario cinco imágenes IAPS, de las cuales una es de baja intensidad emocional, posteriormente, se muestran dos imágenes de media intensidad emocional y finalmente dos imágenes con alto nivel de emoción con la finalidad de lograr una inducción emocional completa.

En el segundo y tercer segmento se muestran audios y videos consecutivamente iniciando con media activación mental y finalizando con alto nivel emocional cada uno de los segmentos.

El cuarto segmento está conformado por sonidos IADS e imágenes IAPS, este segmento cuenta con un control de regulación emocional, finalmente cada segmento, está compuesto por instrucciones previas del entorno virtual inmersivo, y un descanso emocional, este descanso consiste en brindar aproximadamente 30 segundos al usuario observando una pantalla oscura antes de iniciar con la prueba, así también, la plataforma cuenta con una sección de evaluación Likert (López Angulo, 2006), esta evaluación tiene 30 segundos para que el usuario responda del 1 al 9 su nivel de emoción, apoyándose del maniquí de autoevaluación emocional SAM (Bradley & Lang, 1994).

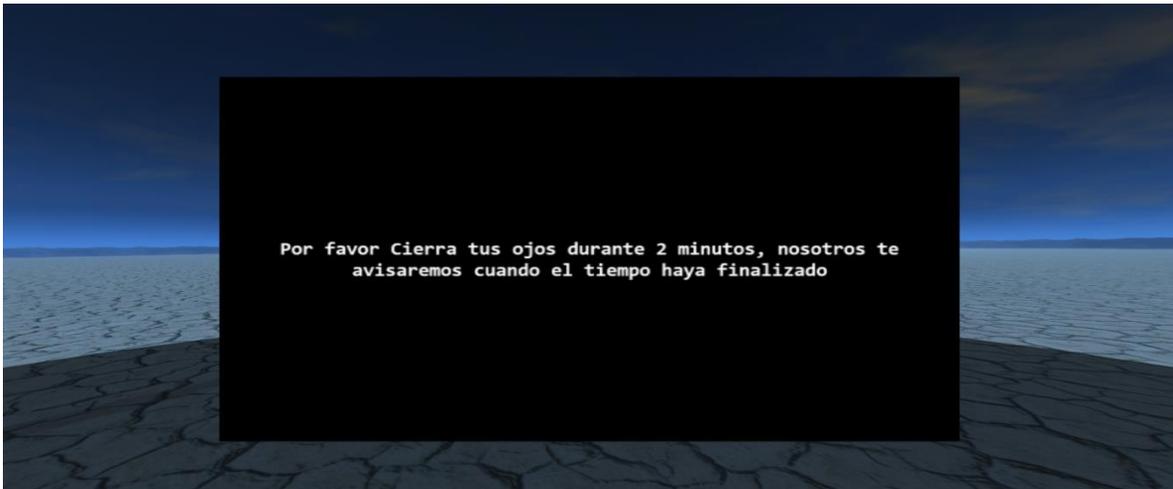


Figura 44. Entorno virtual de estímulos mixtos, imágenes, videos, audios y texto

La plataforma virtual de inducción de estados mentales positivos (alegría, felicidad), mediante la combinación distintos PIE's (Jatupaiboon, Pan-ngum, & Israsena, 2013) mostrada en la figura 44, ha sido alojada para acceso público y puede ser modificada para la inducción de otros estados mentales desde la url: [http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulos\\_Mixtos/mixtos.html](http://servicios.cenidet.edu.mx/E3/Estimulos_Mixtos/mixtos.html), esta plataforma funciona con el navegador Mozilla Firefox versión 54 o superior, el entorno virtual es compatible con lentes de realidad virtual Oculus Rift, HTC vive, Daydream y versiones móviles como Samsung Gear VR. Dentro de cada entorno virtual existe una evaluación Likert SAM como se muestra en la figura 45, esta evaluación se aplica al usuario después cada sección de inducción mental.

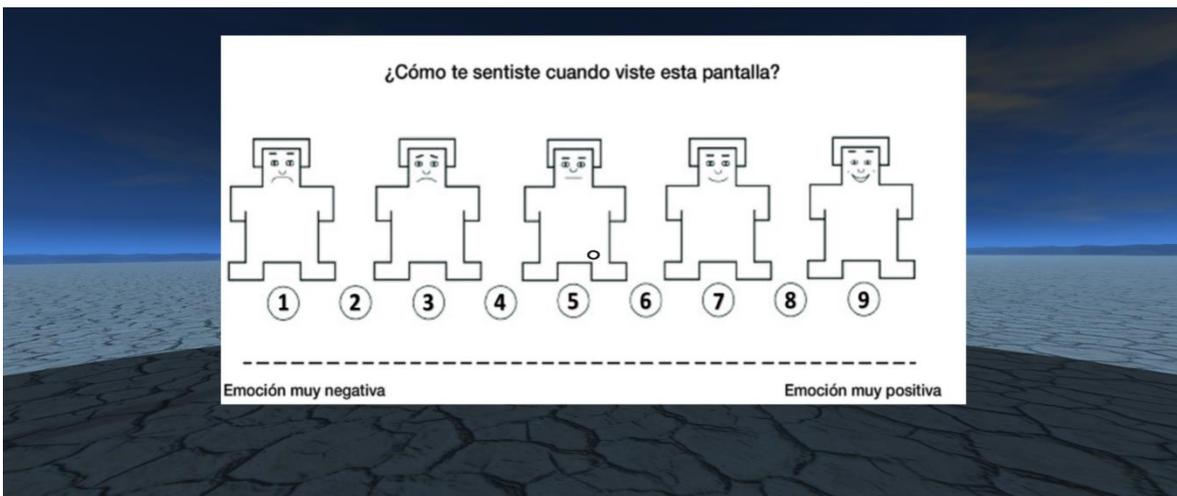


Figura 45. Evaluación Likert SAM

# 6 Pruebas y Resultados

*El Dr. Giuseppe Riva, investigador del comportamiento humano, propone que la realidad virtual es eficaz para la inducción de estados afectivos (Riva, 2017), razón por la cual se fortalece la posibilidad de que la realidad virtual se considere un nuevo procedimiento de inducción emocional (PIE's). En este capítulo se muestran las pruebas de la metodología creada en la investigación, así como los resultados de su evaluación.*

## **6.1 Validación de la metodología para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva**

Para validar la metodología de inducción de estados mentales a través de realidad virtual inmersiva (RVI) y comprobar si se cumplió con tiempos y procedimientos adecuados, se realizó una estancia académica en la Universidad Politécnica de Valencia, desarrollando el experimento de inducción de relajación y ansiedad "I.R.A", bajo la supervisión del Dr. Mariano Alcañiz, director del Laboratorio de Neurotecnologías Inmersivas.

### **6.1.1 Objetivo del experimento I.R.A**

**O1:** Comparar la inducción emocional realizada a través de tareas cognitivas y a través de Realidad Virtual, a nivel psicológico (escalas Likert).

**O2:** Comparar la inducción emocional realizada a través de tareas cognitivas y a través de Realidad Virtual, a nivel neurofisiológico (EEG).

**O3:** Comparar las señales neurofisiológicas registradas a través de Emotiv Eporc y B-Alertx10, concretamente los electrodos F3 y F4, en contextos de inducción emocional de Estrés y de Relajación

### **6.1.2 Información recopilada en el experimento**

- Información demográfica de los sujetos (edad, género, nivel académico).
- Cuestionarios con medidas tipo Likert de estrés y relajación
- Cuestionarios PHQ9, STAI.
- Información bioeléctrica de los electrodos AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
- Información bioeléctrica de los electrodos Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, POz, P3, P4

### **6.1.3 Muestra de participantes del experimento**

- Participantes: 8 sujetos
- Edad: Entre 18 y 40 años.
- Exclusiones: Problemas visuales y consumo de sustancias excitantes que modificarán su percepción mental.

#### 6.1.4 Herramientas para el experimento I.R.A

Se realizó un estudio del estado del arte para la generación de estados mentales mediante diversas técnicas (Procedimientos Velten, Videos, Imágenes, Sonidos), y se determinó que la realidad virtual funciona como un medio para que estos procedimientos puedan ejecutarse de manera más idónea.

Se obtuvieron cuestionarios que sirven para evaluar un estado mental de un sujeto antes y después del experimento, estos cuestionarios son aplicados al sujeto para determinar si cumple con los filtros de la prueba.

##### 6.1.4.1 Hardware

- Se trabajó con el dispositivo de captura de señal cerebral EEG Emotiv EPOC de 14 electrodos y 2 de referencia.
- Se utilizó el dispositivo de captura de señal EEG B-Alertx de 9 electrodos y EMG.
- Se utilizó SHIMMER GSR para analizar la respuesta galvánica de la persona mientras realizaba la prueba de inducción de emociones.
- Se utilizó una cámara web de la marca “hércules” para grabar el rostro del sujeto mientras realizaba la prueba.
- Una computadora de alta gama con características de procesamiento de procesador Intel Core I7, 8 GBS en RAM, tarjeta gráfica gtxforce nvidia 750.
- Se utilizó una habitación especial para las pruebas de realidad virtual denominada “Power Wall”, en esta habitación se dispone de una pantalla de alta resolución que simula un escenario virtual.

#### 6.1.5 Descripción del experimento.

Se utilizó la metodología para inducir estados cognitivos y emocionales a través de realidad virtual inmersiva (RVI) creada en esta investigación.

##### 6.1.5.1 Etapa 1 Preparación

En esta etapa el experimentador tenía que verificar, que la sala de experimento, así como los dispositivos funcionaran adecuadamente. Al sujeto de prueba se le invitó a pasar a una sala donde tenía que firmar el consentimiento de la prueba,

también contestar un cuestionario de perfilamiento, así como información sociodemográfica, mientras contestaba los cuestionarios, el experimentador verificaba las conexiones de los dispositivos (Emotiv/B-Alert) con la computadora, y posteriormente se instalaron los dispositivos al sujeto.

#### 6.1.5.2 **Etapa 2 Inducción emocional**

En esta etapa se inició el proceso de inducción emocional de estrés y relajación con técnicas de RVI y PIE's tradicionales. El experimentador, una vez instalado el primer dispositivo, invitaba al sujeto a cerrar los ojos (línea base) durante dos minutos, mientras el experimentador preparaba la plataforma virtual (si se iniciaba con estímulo virtual) y el dispositivo de grabación EEG, en todo momento el experimentador se encontró al pendiente del confort del sujeto ante el dispositivo, al terminar el sujeto continuaba otros dos minutos con ojos abiertos viendo una pantalla oscura (línea base).

Finalmente, se le brindó al sujeto 30 segundos de descanso y consecutivamente se inició el primer estímulo aleatorizado durante dos minutos, al finalizar el estímulo el sujeto contestaba los cuestionarios Likert de nivel de estrés o relajación de escala de -3 (Nada) a +3(Bastante). Este mismo proceso se realizó en las cuatro fases de inducción emocional.

Pasando la primera prueba se le indicó al sujeto que escuchase un audio relajante, mientras el experimentador desinstalaba el dispositivo EEG e instalaba el próximo dispositivo EEG, este proceso se lleva aproximadamente 10 minutos, cuando el experimentador finalizaba la conexión del nuevo dispositivo se aplicó nuevamente la Etapa 2 Inducción Emocional con distinto estímulo según la figura 46.

#### 6.1.5.3 **Etapa 3 Finalización**

En esta etapa se realizaron los procesos de desinstalar el dispositivo EEG y guardar la información recopilada del experimento. Ya concluida la fase de inducción emocional, se procedía a detener la grabación EEG y desinstalar los dispositivos previamente instalados al sujeto, para finalizar se detiene la

plataforma de captura de información neurofisiológica y se guardaba la información recopilada.

### 6.1.6 Protocolo de experimento

El experimento tomó la entrada de la figura 46. El proceso contaba con cuatro fases, en cada fase se utilizó un estímulo que inducía un estado mental de estrés o relajación con técnicas de inducción emocional (procesos estresores, contenido de video, realidad virtual). En este proceso se utilizaron dos BCIs: B-Alert y Emotiv Eloc, el sujeto realizó el proceso con cada dispositivo EEG en diferentes sesiones.

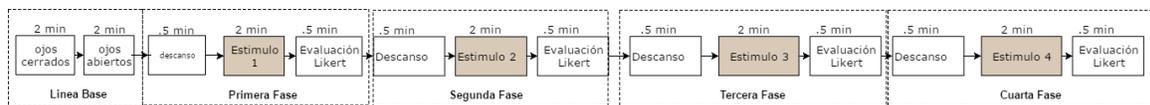


Figura 46. Proceso de experimento para inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva.

### 6.1.7 Estímulos del experimento

El primer estímulo consistía de un test matemático que genera estrés (Martens, 2017); el segundo, un video que genera relajación (Aguado, 2016); el tercero, un escenario virtual que cuenta con tareas que producen ansiedad; el cuarto un escenario virtual que genera relajación (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014).

Para la realización de todas las etapas del experimento el sujeto tenía que disponer de 1 hora dentro de las instalaciones de Laboratorio Europeo de Neurotecnologías Inmersivas (LENI), tiempo que tomaba realizar el proceso de las pruebas.

### 6.1.8 Montaje del experimento

Para montar el experimento se manipuló la plataforma de sincronización de información “iMotions”. Esta herramienta permite sincronizar los estímulos presentados al usuario con su información introspectiva para su posterior análisis y conclusiones de los datos al respecto de las distintas pruebas realizadas.

### 6.1.9 Datos analizados del experimento

La información obtenida se utilizó para determinar cuáles son las diferencias significativas en la captura de información biométrica con los siguientes análisis de medidas, ver tabla 7.

- Análisis de los datos psicológicos registrados usando escalas Likert, correspondientes a la inducción de estrés a través de tareas cognitivas y de realidad virtual.
- Análisis de los datos psicológicos registrados usando escalas Likert, correspondientes a la inducción de relajación a través de tareas cognitivas y de realidad virtual.
- Análisis de los datos neurofisiológicos de EEG, correspondientes al dispositivo Emotiv Epoc y B-Alertx10.

### 6.1.10 Resultados

Tabla 7. Resultados de Experimento I.R.A

Objetivo	Resultados y conclusiones
O1: Comparar la inducción emocional a través de tareas cognitivas y de Realidad Virtual, a nivel psicológico (escalas Likert).	R1: Tras los análisis estadísticos utilizando el programa IBM SPSS v22, se encontraron diferencias significativas entre la inducción emocional vía Tareas y vía Realidad Virtual a nivel psicológico.
O2: Comparar la inducción emocional a través de tareas cognitivas con Realidad Virtual, a nivel neurofisiológico (EEG).	R2: Tras un primer análisis estadístico exploratorio, se encontraron diferencias significativas entre la inducción emocional vía Tareas y vía Realidad Virtual a nivel neurofisiológico
O3: Comparar las señales neurofisiológicas registradas a través de Emotiv Epoc y B-Alertx10, en contextos de inducción emocional de Estrés y de Relajación.	R3: Tras un primer análisis estadístico exploratorio, se encontraron diferencias significativas entre ambos dispositivos, para la mayoría de estímulos (tanto Tarea como Realidad Virtual).

6.1.10.1 Anexo 1

Para cada experimento se aplicaron cuatro estímulos de inducción emocional, su característica de cada experimento fue el ordenamiento aleatorio para evitar efectos de arrastre <sup>1</sup> por parte de los participantes, este ordenamiento se puede apreciar en la figura 47.

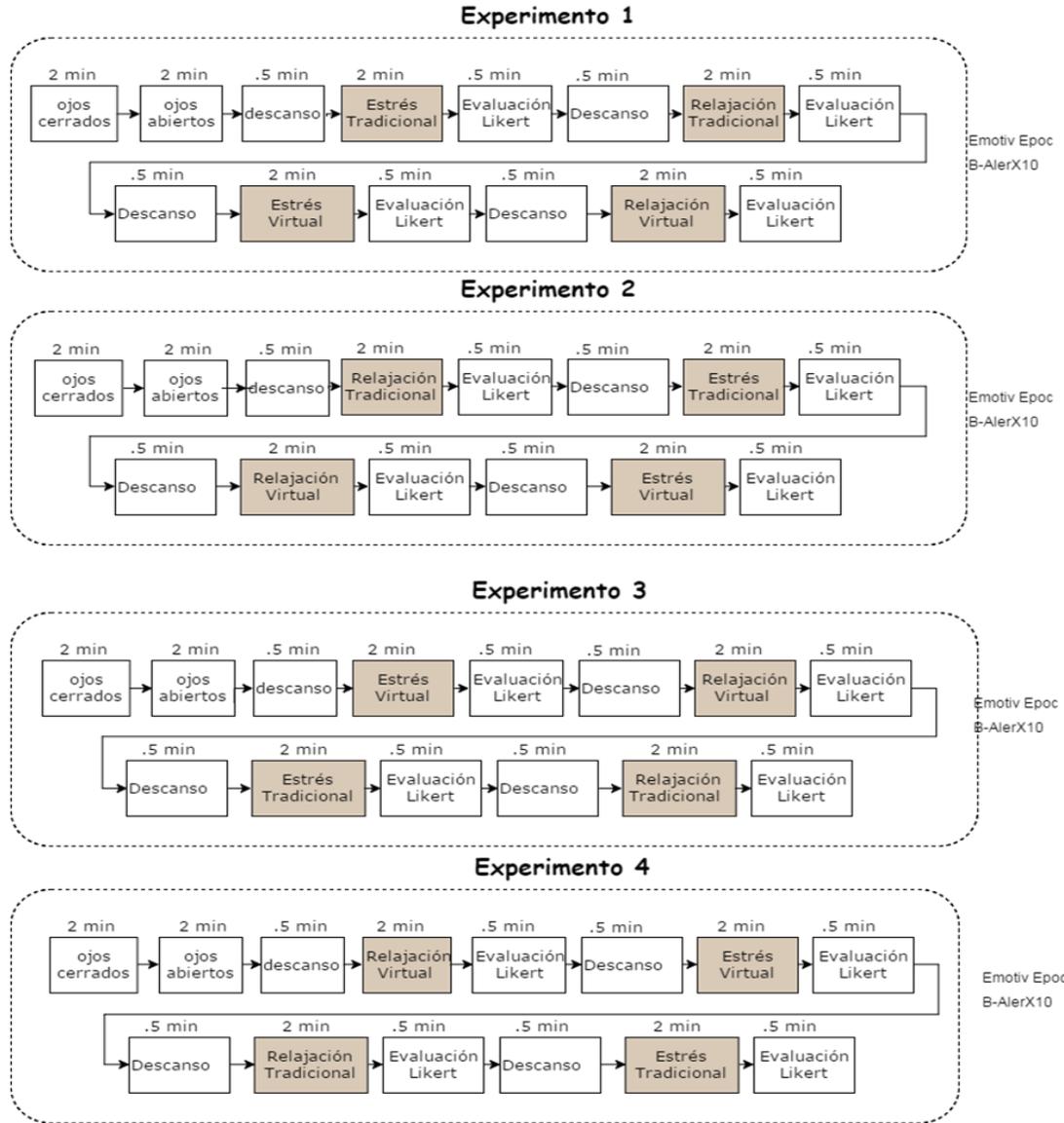


Figura 47. Experimentos aleatorizados

<sup>1</sup> El efecto Bandwagon o también conocido como efecto arrastre se define cuando una o varias personas siguen el comportamiento y acción de una primera persona sin fundamento o razón alguna.

6.1.10.1 Anexo 2

Se anexan las imágenes de la posición (ver figura 48) y equipamiento que se instaló a cada participante durante el experimento de inducción de estados emocionales de relajación y ansiedad, en la figura 49 y 50 donde se aprecia el entorno virtual inmersivo al cual fueron expuestos.



Figura 48. Se muestra sujeto con dispositivos instalados, lado izquierdo utiliza: B-ALERTX10, Shimmer GSR, ECG, EMG. Del lado derecho, usa Emotiv EPOC, Shimmer GRS + ECG



Figura 49. El sujeto interactuando con escenario virtual de relajación (izquierda) y escenario virtual que induce ansiedad (estrés) del lado derecho, con distintos dispositivos EEG

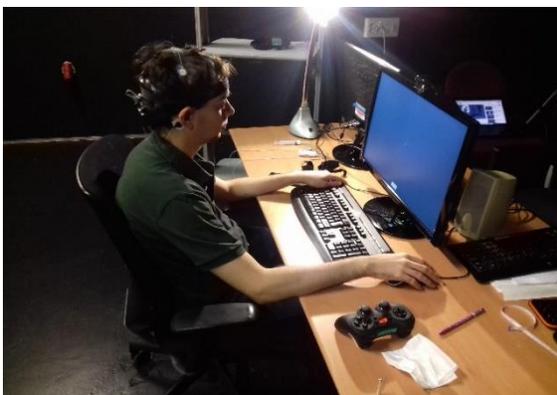


Figura 50. El sujeto interactuando con escenario virtual de relajación B-AlertX10

## **6.2 Evaluación de experiencia del usuario UX de la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva**

Para evaluar la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva, se aplicó la evaluación de la experiencia del usuario de (Arana, 2014), esta evaluación está basada en características de efectividad, confianza y satisfacción, desarrollada en el laboratorio de sistemas distribuidos en CENIDET, esta metodología presenta las siguientes ventajas:

- Permite realizar la evaluación desde etapas tempranas en el desarrollo del sistema.
- Cuenta con un framework para evaluación de sistemas de recomendación.
- Permite evaluar sistemas con interfaces multimodal.
- Permite medir aspectos subjetivos como la satisfacción del usuario.
- No evalúa únicamente el aspecto de la interfaz.
- Permite evaluar la calidad del contenido mostrado por la aplicación.
- Permite grabar la interacción del usuario con el sistema sin que el evaluador este presente.
- Contempla la aplicación de entrevistas, lo que permite contar con una opinión más directa del uso del sistema por parte del usuario.

De igual manera en (Arana Llanes , 2014), se realiza un análisis de las diferentes técnicas y métodos utilizadas para realizar evaluaciones de experiencia del usuario, las cuales son contempladas por la metodología desarrollada. Por esta razón se decidió utilizar esta metodología para realizar las pruebas del presente trabajo. Esta evaluación fue aplicada por cinco evaluadores del área de computación del CENIDET.

### **6.2.1 Plan de pruebas**

Para el desarrollo de este plan de pruebas se utilizó la Metodología para Evaluar la Experiencia del Usuario, Basada en Características de Efectividad, Confianza y Satisfacción de (Arana Llanes , 2014).

Esta metodología se compone de dos etapas de evaluación: evaluación formativa y evaluación sumativa, para este trabajo se aplicó sólo la evaluación formativa: Esta evaluación incluye tres técnicas: Evaluación Heurística, Think-Aloud y

Cognitive Walkthrough, que permiten encontrar aspectos que influirán de manera negativa y positiva en los usuarios que interactúen con el sistema. Esta etapa de evaluación lleva de la mano al desarrollador y diseñador del sistema, para que tomen en cuenta elementos dentro de las interfaces que pueden causar problemas y prevenirlos antes de que el sistema sea utilizado por usuarios reales.

#### 6.2.1.1 **Conociendo al usuario**

Para conocer a los usuarios es necesario realizar un cuestionario que permita clasificarlos en grupos similares y poder determinar las similitudes en apreciación de interacción con el sistema. Para lograrlo se aplicó el cuestionario presentado en (Arana Llanes , 2014).

#### 6.2.1.2 **Evaluación heurística**

Este tipo de evaluación garantiza que las interfaces que existen dentro del sistema cumplen con los lineamientos de usabilidad establecidos por Jakob Nielsen. Jakob Nielsen “el gurú de la usabilidad” es una de las personas más respetadas en el ámbito mundial sobre usabilidad. Jakob estudió 249 problemas de usabilidad y a partir de ellos diseñó lo que denominó las “reglas generales” para identificar los posibles problemas de usabilidad.

Las heurísticas de Jakob Nielsen son las siguientes:

1. Visibilidad del estado del sistema
2. Relación entre el sistema y el mundo real
3. Control y libertad del usuario
4. Consistencia y estándares
5. Prevención de errores
6. Reconocimiento antes que recuerdo
7. Flexibilidad y eficiencia de uso
8. Estética y diseño minimalista
9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores
10. Ayuda y documentación

Para realizar esta actividad se le solicitó al usuario que realizará cada una de las etapas de la metodología para inducir estados mentales y que posteriormente reportará los hallazgos encontrados en el formato UAR de (Arana Llanes , 2014).

#### 6.2.1.3 Evaluación Think - Aloud

Para realizar esta evaluación es necesario contar con el prototipo del sistema en papel o funcional. Para este caso, actualmente se cuenta con un prototipo funcional el cual puede ser utilizado en plataforma PC o móvil.

En esta actividad, el usuario mientras interactúa con el sistema, describirá las actividades que realiza y cómo lo hace, si tiene dudas las podrá expresar para contar con un registro, pero el evaluador no brindará ningún tipo de ayuda al usuario. El evaluador tomará notas sobre problemas encontrados durante la interacción del usuario y después llenará el formato UAR de (Arana Llanes , 2014).

#### 6.2.1.4 Cognitive Walk Through + Think - Aloud

Para realizar esta prueba se le entrega al usuario un listado de las actividades a desarrollar, esto con la finalidad de comprobar qué tan fácil es para el usuario concretar cada una de las actividades, posteriormente se le realizan las 4 preguntas de la técnica Cognitive Walk Through.

A continuación, se describen las pruebas que se realizaron para evaluar y validar la metodología desarrollada en esta investigación. Para el experimento se utilizó el escenario virtual de estímulos mixtos, que se describe en el capítulo 5 de este documento, este escenario virtual cuenta con 4 tipos de estímulos de inducción emocional mostrados en la figura 51, estos estímulos son usados para inducir emociones positivas (relajación / alegría).

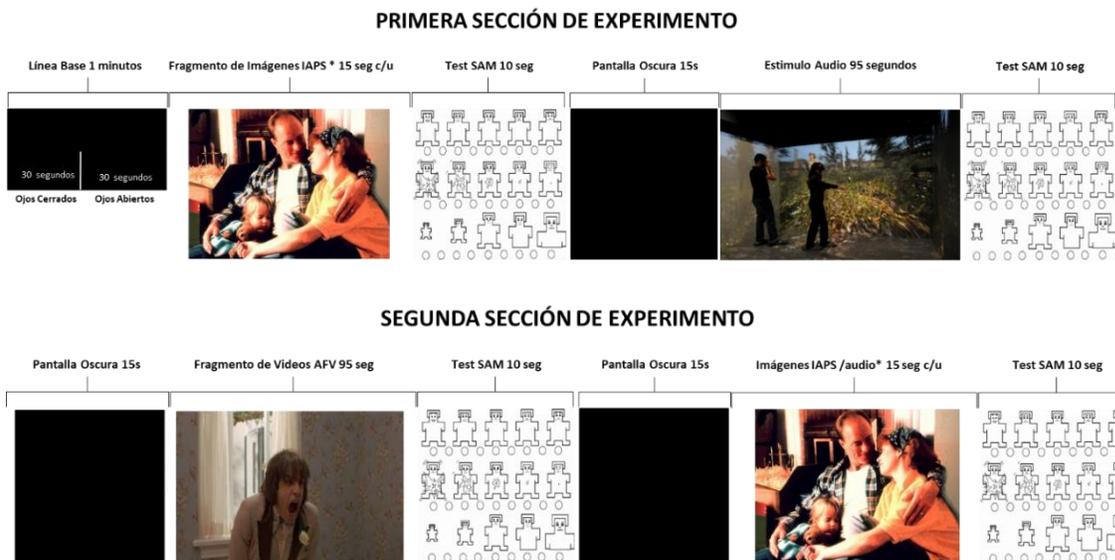


Figura 51. Secuencia de estímulos psicológicos utilizados dentro de las pruebas de la metodología I.E.M

### 6.2.2 Ejecución de la prueba

Al sujeto se le invitó a pasar a una sala donde tenía que firmar el consentimiento de la prueba, también, contestar unos cuestionarios de estados mentales, así como de información sociodemográfica, mientras respondía los cuestionarios, el evaluador verificaba las conexiones de los dispositivos (Emotiv/HTC/Oculus) con la computadora, y realizaba la instalación de los dispositivos al sujeto.

Posteriormente el evaluador iniciaba el proceso de inducción de estados positivos con técnicas PIE's dentro de un entorno de realidad virtual inmersiva (RVI). El evaluador verificó que los dispositivos estuvieran conectados correctamente al sujeto y dio inicio a la grabación EEG y al RVI, en todo momento el evaluador estuvo pendiente del confort del sujeto ante los dispositivos.

Dentro del entorno, el sistema virtual realiza las siguientes acciones: el sistema indica al sujeto que debe cerrar los ojos durante 30 segundos, enseguida debe mantenerlos abiertos por 30 segundos más, enseguida se inicia el primer estímulo durante 3 minutos, al finalizar el estímulo, la plataforma virtual pregunta al sujeto el nivel de valoración emocional en escala del 1 al 9, el usuario tiene que responder en voz alta y el evaluador toma nota sobre el valor. Este mismo proceso se realizó en las 4 fases de inducción emocional, después de que el entorno virtual terminaba las 4 fases, el evaluador tenía que detener la grabación EEG y desinstalar la diadema, los sensores biométricos, los lentes de realidad virtual y

verificar que la plataforma guardará la información recopilada del experimento. Finalmente se evaluaba el estado emocional del sujeto, aplicando el cuestionario PANAS, y se agradecía su apoyo en la prueba de inducción mental.

### 6.2.2.1 Conociendo al usuario

El evaluador le brinda a cada usuario, los cuestionarios que deben contestar antes de realizar la prueba, así también le da una breve explicación de lo que trata el experimento, de las herramientas que se instalan en su cuerpo y de aspectos generales de la prueba para inducir estados mentales con RVI, ver figura 52.



Figura 52. Pruebas procedimiento 1, conociendo al usuario

### 6.2.2.2 Preparar el equipo de trabajo

En este procedimiento, el evaluador se encarga de preparar los dispositivos que son necesarios para el proceso de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva, ver figura 53.



Figura 53. Fase de pruebas, procedimiento 2, preparando equipo y zona de trabajo

### 6.2.2.3 Instalar dispositivos al usuario

En esta etapa, el evaluador coloca los dispositivos que son necesarios para el proceso de inducción de estados mentales.

### 6.2.2.4 Instalar Emotiv Epoc

Los electrodos de la diadema Emotiv deben ser humedecidos con una solución salina antes de ser colocados en el sujeto (ver figura 53); esto para mejorar su eficiencia en el reconocimiento de señales eléctricas producidas por el cerebro.

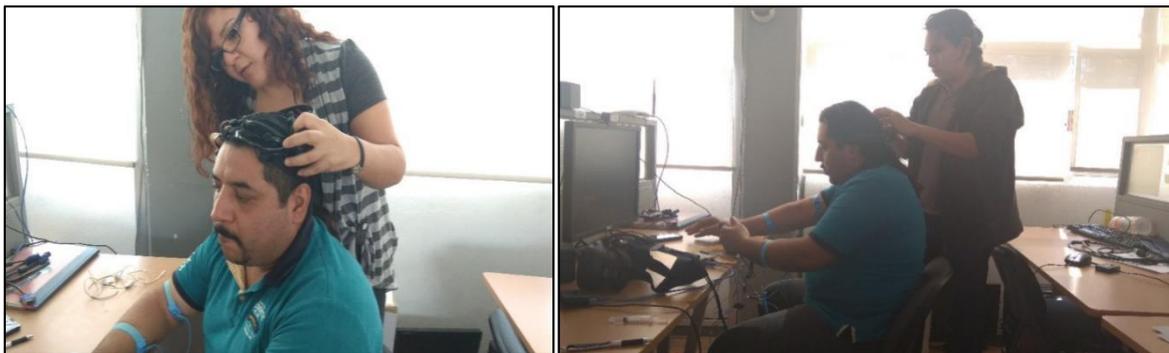


Figura 54. Fase de pruebas, procedimiento 3, instalando dispositivos EEG

### 6.2.2.5 Instalar Oculus Rift o HTC Vive

EL evaluador coloca los lentes de realidad virtual como se muestra en la figura 55, verificando que el usuario se encuentre cómodo, ya que, si los lentes ocasionan alguna incomodidad, no sería de utilidad la información capturada.



Figura 55. Fase de pruebas, procedimiento 3, instalando dispositivos RV

#### 6.2.2.6 Iniciar grabación EEG

Para la ejecución de este procedimiento, el evaluador utiliza la plataforma de grabación y sincronización de información biométrica que se muestra en la figura 56, esta plataforma fue desarrollada por (Fouilloux, 2018).



Figura 56. Fase de pruebas, procedimiento 4, iniciar grabación EEG

#### 6.2.2.7 Iniciar entorno RV

Antes de iniciar el entorno virtual, el evaluador tiene que configurar la plataforma virtual con alguna técnica de inducción de estados mentales ya sea (videos, música o imágenes IAPS) dentro del entorno de realidad virtual, en la figura 57 se aprecia la configuración de la plataforma virtual.



Figura 57. Fase de pruebas, procedimiento 5, iniciar entorno virtual

#### 6.2.2.8 Inducir estado mental

En este procedimiento, el sistema virtual aplica el esquema de procesos mostrado en el capítulo 5 de este documento, en donde cada fase es controlada por el sistema de RVI, en la figura 58 se aprecia a los sujetos de prueba interactuando con el sistema RVI.



Figura 58. Fase de pruebas, procedimiento 5,6 y 7, sujeto interactuando con entorno virtual

#### 6.2.2.9 Finalizar entorno virtual inmersivo

Cuando el sistema de RVI finaliza, el evaluador debe detener el entorno virtual inmersivo desde el lado del servidor, este proceso se muestra en la figura 59.

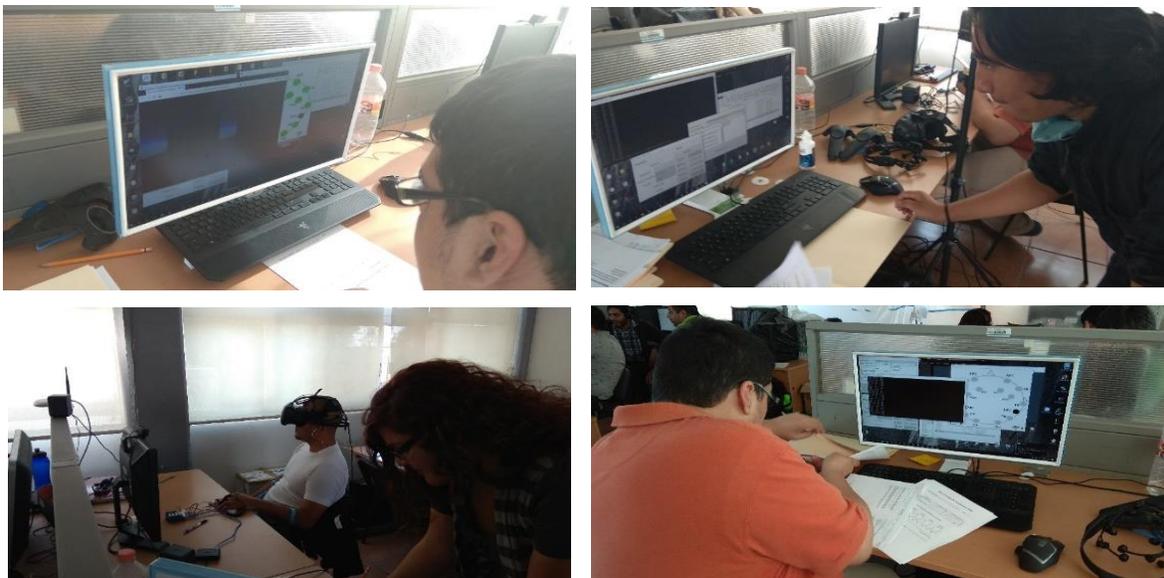


Figura 59. Fase de pruebas, procedimiento 8 y 9, finalizando entorno virtual

#### 6.2.2.10 Finalizar grabación de señal EEG y guardar archivo

Este procedimiento se aplica conjuntamente con el procedimiento 9, el evaluador finaliza la grabación de señal EEG y verifica que la plataforma EEG almacene en su respectiva carpeta la información obtenida, ver imagen 60.

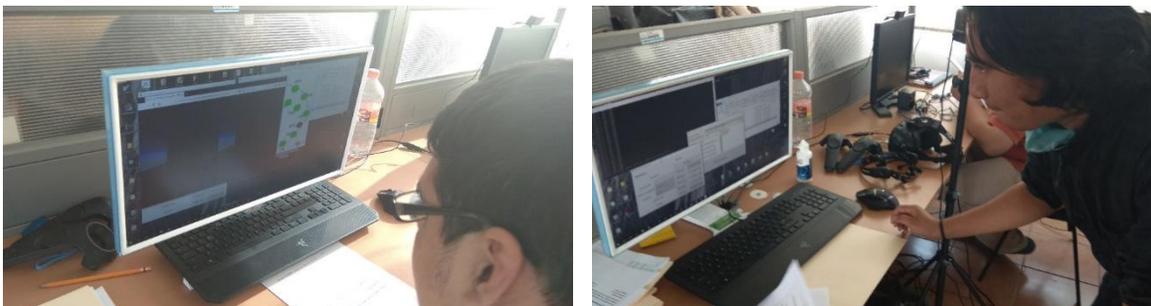


Figura 60. Fase de pruebas, procedimiento 10, finalizando grabación EEG

#### 6.2.2.11 Desinstalar dispositivos al usuario

Al finalizar el experimento, el evaluador desinstala los dispositivos instalados previamente al sujeto con debida precaución como se muestra en la figura 61, tomando en cuenta la fragilidad de los dispositivos y la integridad del sujeto evaluado.



Figura 61. Fase de pruebas, procedimiento 11, desinstalando dispositivos al usuario

#### 6.2.2.12 Aplicar cuestionario de estados mentales

Para finalizar la prueba, es necesario que el evaluador aplique el cuestionario PANAS al sujeto, ver figura 62, con el cuestionario PANAS se evalúa el estado mental final para culminar el experimento.



Figura 62. Fase de pruebas, procedimiento 12, cuestionario PANAS

### 6.3 Implementación de correcciones

Aplicando la fase Think-Aloud de la investigación de (Arana, 2014), los evaluadores de la metodología mencionaron las carencias que descubrieron al momento de aplicar la metodología de inducción de estados mentales.

#### 6.3.1 Técnica Think-Aloud

Tras la aplicación de la metodología para la inducción de estados mentales, se aplicó la técnica Think-Aloud para detectar los aspectos que considera el usuario pueden afectar el desarrollo de la metodología. En la tabla 8 se muestra un resumen de los aspectos identificados.

Tabla 8 Aspectos evaluados con la técnica Think-Aloud.

ID	PROBLEMA
TA01	Especificación de los tiempos en la metodología.
TA02	Faltan manuales de operación de los dispositivos sensoriales.
TA03	Falta manual de usuario del sistema de grabación.
TA04	No se especifica en la metodología, que las dos primeras fases se pueden realizar a la par.
TA05	Falta manual de usuario sobre la utilización de sensores
TA06	Falta un procedimiento en caso de falla del sistema.

Se detectaron seis problemas en la aplicación de la metodología que pueden afectar su implementación. Un problema es el establecimiento de tiempos para cada fase de la metodología, ya que en ciertas ocasiones es común demorarse en algunas fases como en la instalación de dispositivos y llenado de cuestionarios. Otro problema identificado es que no se contaba con manuales para instalar los dispositivos sensoriales en el usuario, otro problema detectado fue que no se tenía un manual de usuario para el sistema de grabación EEG.

En general todos los aspectos que pudieran afectar a la aplicación de la metodología eran la falta de manuales que capacitaran previamente al evaluador sobre la manipulación de la tecnología de forma correcta.

### 6.3.2 Mejoras a la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva

Tras analizar los problemas encontrados en la aplicación de la metodología, los evaluadores del CENIDET propusieron algunas mejoras que a continuación se mencionan:

- Quitar la especificación de tiempos para las fases en las etapas de preparación y finalización.
- Incluir manuales de operación e instalación de los dispositivos sensoriales.
- Incluir un manual de usuario del sistema de grabación de la UX.

Ya que las correcciones implican la creación principal de manuales de instalación y uso de los dispositivos y el sistema, se crearon manuales de operación para el evaluador presentados en la figura 63, estos manuales se utilizaron dentro de los procedimientos:

- Preparar equipo y zona de trabajo
- Iniciar captura de señal EEG
- Iniciar entorno de realidad virtual

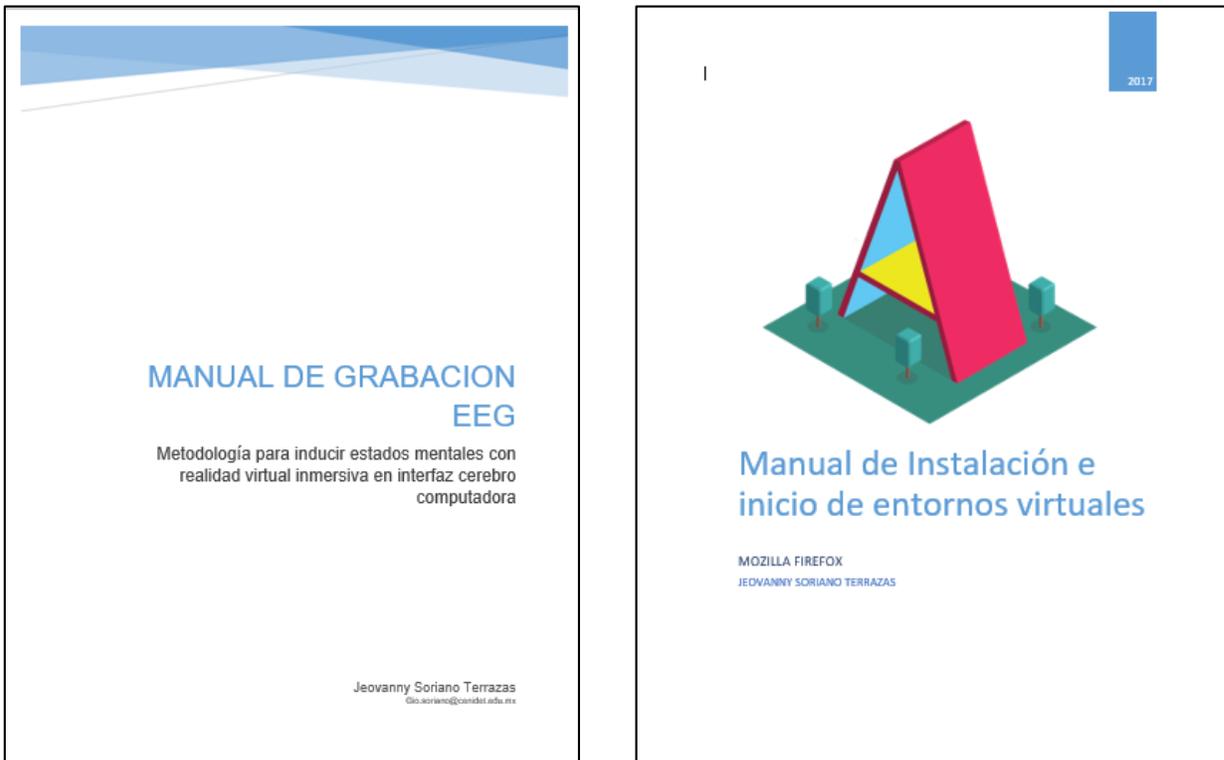


Figura 63. Manuales de instalación y ejecución de plataformas

## 6.4 Resultados de la evaluación UX

Cinco evaluadores replicaron la metodología I.E.M a 10 sujetos con edad media de 27 años, de los cuales 6 eran hombres y 4 mujeres, con nivel educativo universitario, de buena visión y libre de sustancias que afectara su condición mental, ver tabla 9.

Tabla 9 sujetos de prueba que participaron en la inducción de estados mentales

Clave	Sexo	Edad	Escolaridad	Área de conocimiento	Conocimiento de la tecnología
Sujeto001	Femenino	25	Universitario	Computación	Si
Sujeto002	Femenino	25	Universitario	Computación	Si
sujeto003	Femenino	27	Universitario	Computación	Si
Sujeto004	Femenino	26	Universitario	Computación	No
Sujeto005	Masculino	35	Universitario	Computación	Si
Sujeto006	Masculino	32	Universitario	Computación	No
Sujeto007	Masculino	24	Universitario	Computación	No
Sujeto008	Masculino	28	Universitario	Computación	Si
Sujeto009	Masculino	24	Universitario	Computación	Si
Sujeto010	Masculino	29	Universitario	Computación	Si
	Media	<b>27</b>			

A continuación se muestran los resultados de la evaluación UX (Arana, 2014) de la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva aplicado por evaluadores del área interacción humano computadora del CENIDET.

De cada participante se obtuvo como resultado:

- Información demográfica de los sujetos (Edad, Género, Nivel Académico).
- Cuestionarios con medidas tipo Likert SAM de inducción de estados mentales positivos (relajación, alegría)
- Cuestionarios PHQ9, STAI.
- Información bioeléctrica de los electrodos AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, 01, 02, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 del dispositivo Emotiv Eporc

#### 6.4.1 Resultados de información demográfica de los participantes

Como se muestra en la figura 64, el 60% de los participantes de la prueba de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva eran de sexo masculino, mientras el 40% de sexo femenino, esto considerando que las pruebas realizadas fueron de manera voluntaria por parte de los participantes.

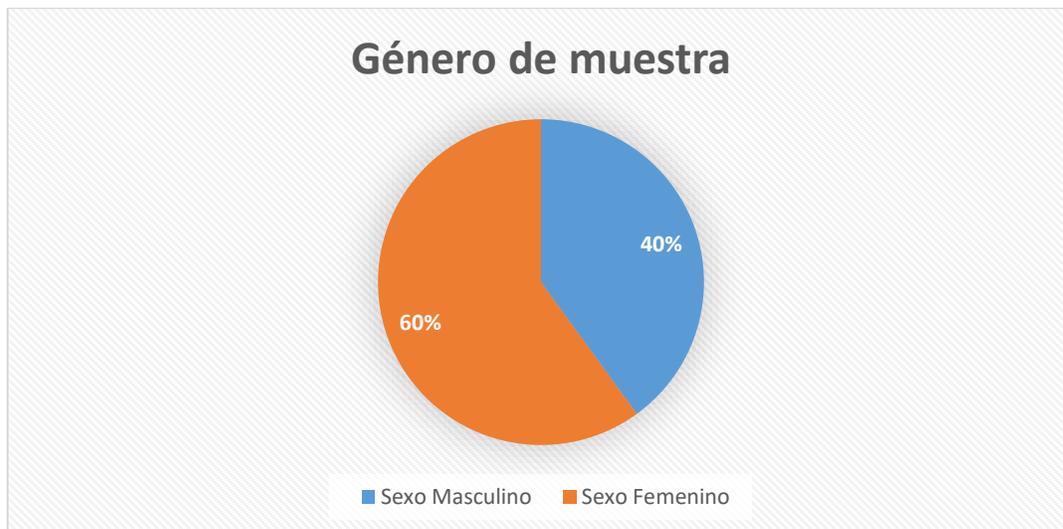


Figura 64. Muestra de género

Los resultados mostrados en la figura 65 están relacionados a la pregunta ¿Sabe qué es una Interfaz Cerebro Computadora BCI?, el 70% de los participantes contestó que si saben qué es interfaz cerebro computadora, esto se debe a que tienen conocimientos en el área de computación e informática, mientras que el 30% restante contestó que no tenía idea que era BCI.



Figura 65. Análisis de IHC

De acuerdo a la pregunta ¿Ha realizado algún análisis de Electroencefalografía anteriormente? Mostrada en la figura 66, el 90% respondió que no ha tenido este tipo de experiencia o análisis, razón por la cual brindaron todo su interés para realizar las pruebas de inducción mental con dispositivos EEG.

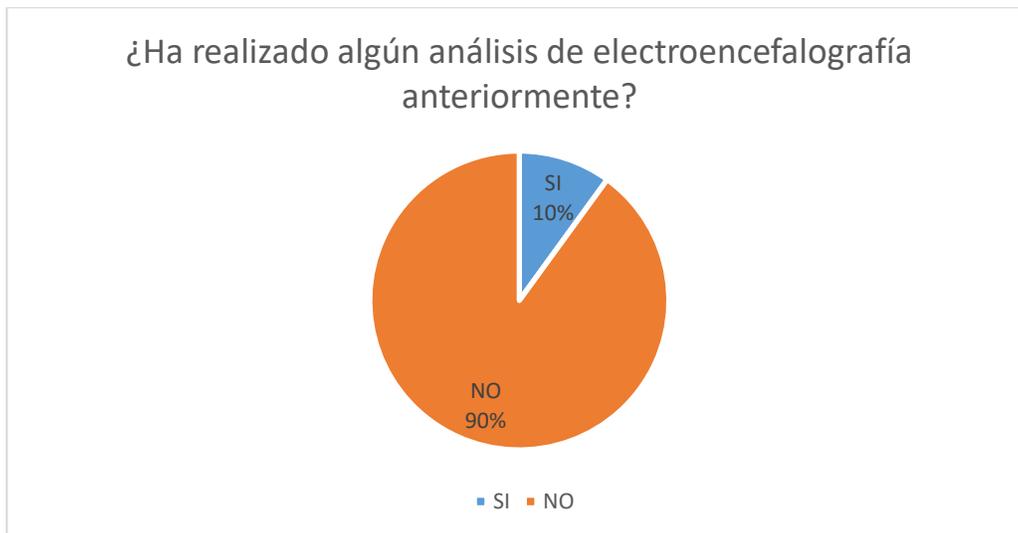


Figura 66. Análisis de BCI

El 70% de los sujetos sometidos a las pruebas de inducción mental con RV mencionaron que no conocían los ritmos cerebrales que produce nuestro cerebro el cual determina cual es nuestro estado mental actual. Esto los hacia idóneos para su cooperación con el seguimiento del experimento, ver imagen 67.

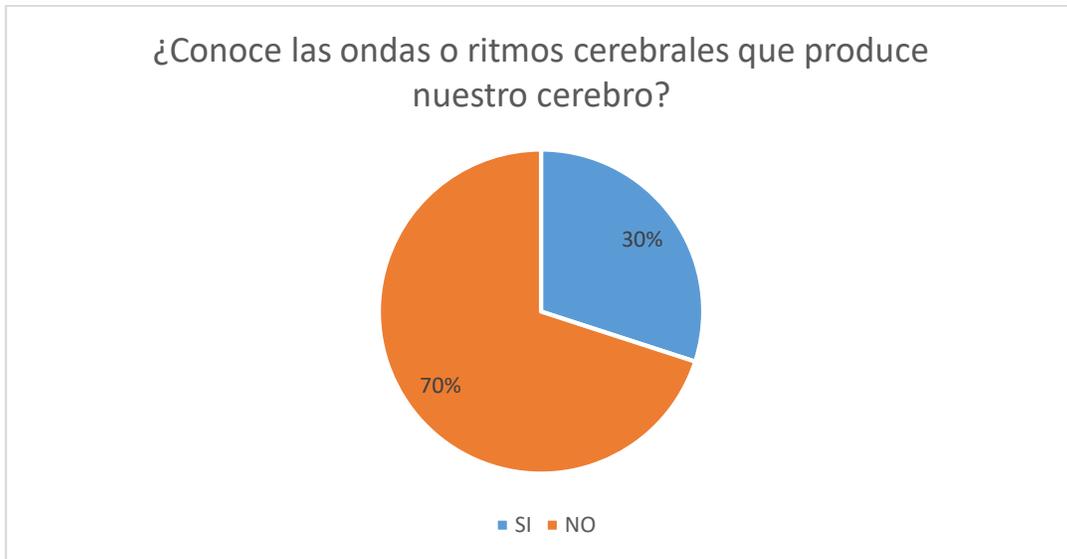


Figura 67. Análisis de ondas EEG

Derivado que es un tema novedoso y dentro del CENIDET es notable su uso, el 100% de los sujetos mencionaron que, si saben que es realidad virtual, este resultado se puede apreciar en la figura 68.



Figura 68. Análisis de realidad virtual

Con la pregunta de con qué frecuencia se sentían estresado/a en una semana típica presentada en la figura 69, hubo un 70% afirmando que de vez en cuando se sienten estresados, esta respuesta es justificable debido a su nivel de estudios que le exige un cierto grado de responsabilidad y carga académica.

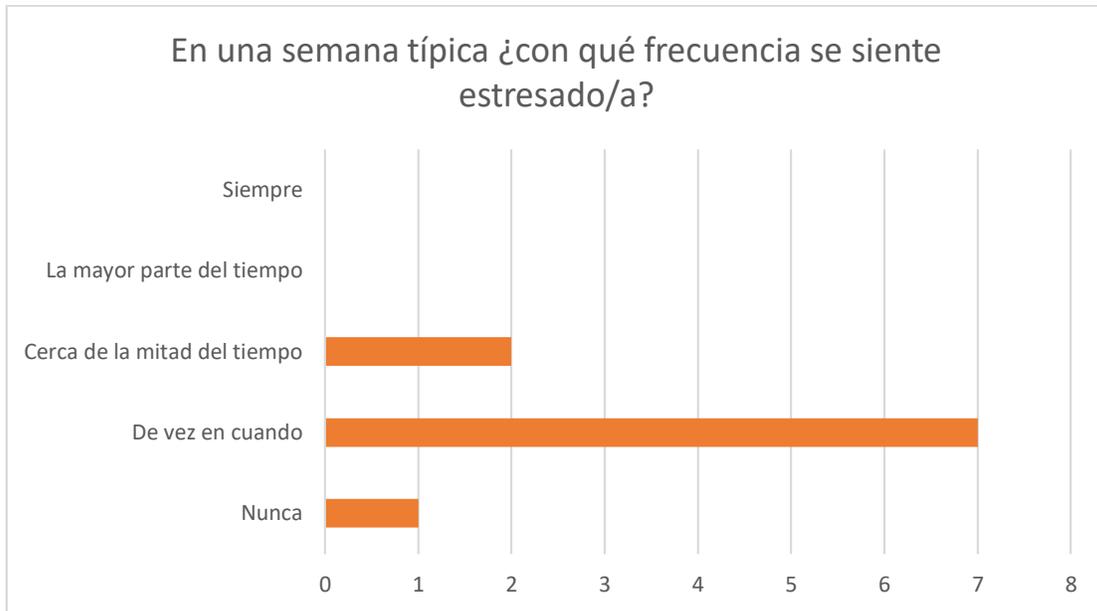


Figura 69 Análisis de nivel de estrés de los participantes

A la pregunta, ¿con qué frecuencia se siente Relajado/a?, hubo un empate con el 40% de cada respuesta en donde justifican que cerca de la mitad del tiempo los sujetos se mantienen relajados y el otro 40% mencionan que de vez en cuando se relajaban, mientras que existía un 10% que menciona que siempre esta relajado, ver figura 70.

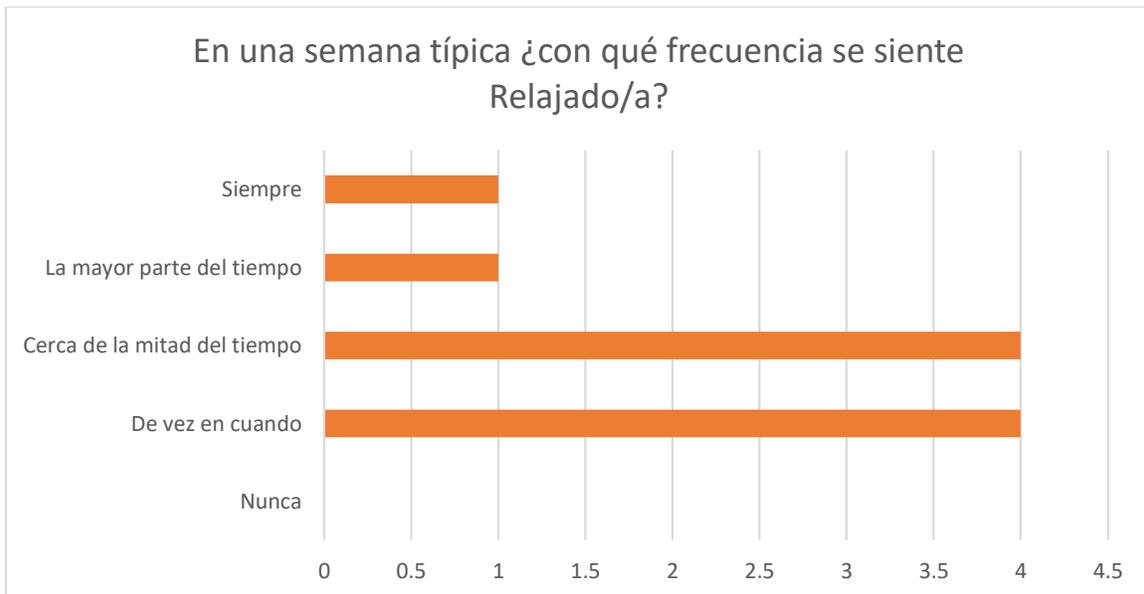


Figura 70. Análisis de nivel de relajación de los participantes

#### 6.4.2 Resultados del test SAM de inducción de estados mentales positivos (relajación, alegría)

En la tabla 10, se muestran los resultados de la evaluación de la medición del placer, la excitación y la dominación dentro de los estímulos de inducción mental con PIE´s bajo entornos de realidad virtual inmersiva.

Tabla 10. Resultados Likert SAM de las pruebas de inducción mental

CLAVE	PARTICIPANTE	ESTIMULO IAPS SIN MÚSICA	ESTIMULO SONIDOS	ESTIMULO VIDEO AFV	ESTIMULO IAPS CON MÚSICA
<b>RPE</b>	Sujeto 001_ RPE	7	7	8	7
<b>DCB</b>	Sujeto 002_ DCB	8	6	8	8
<b>AACG</b>	Sujeto 003_ AACG	7	8	7	8
<b>AGHS</b>	Sujeto 004_ AGHS	8	5	6	8
<b>ORS</b>	Sujeto 005_ ORS	7	9	9	8
<b>JRG</b>	Sujeto 006_ JRG	7	8	9	7
<b>FPR</b>	Sujeto 007_ FPR	7	8	9	7
<b>ARV</b>	Sujeto 008_ ARV	8	7	9	8
<b>LAM</b>	Sujeto 009_ LAM	7	8	9	7
<b>MMS</b>	Sujeto 010_ MMS	9	6	8	9

Como se muestra en la figura 71, de los cuatro estímulos usados para inducir el estado mental de alegría dentro del entorno virtual inmersivo mencionado en el capítulo 5 de esta investigación, se determinó que el estímulo de la fase de videos AFV, tiene mejor activación emocional positiva ante los usuarios, como se menciona en (Aguado, 2016), los videos brindan una mejor sensación de presencia, y por consiguiente se obtuvieron los resultados de manera favorable a este PIE´s.

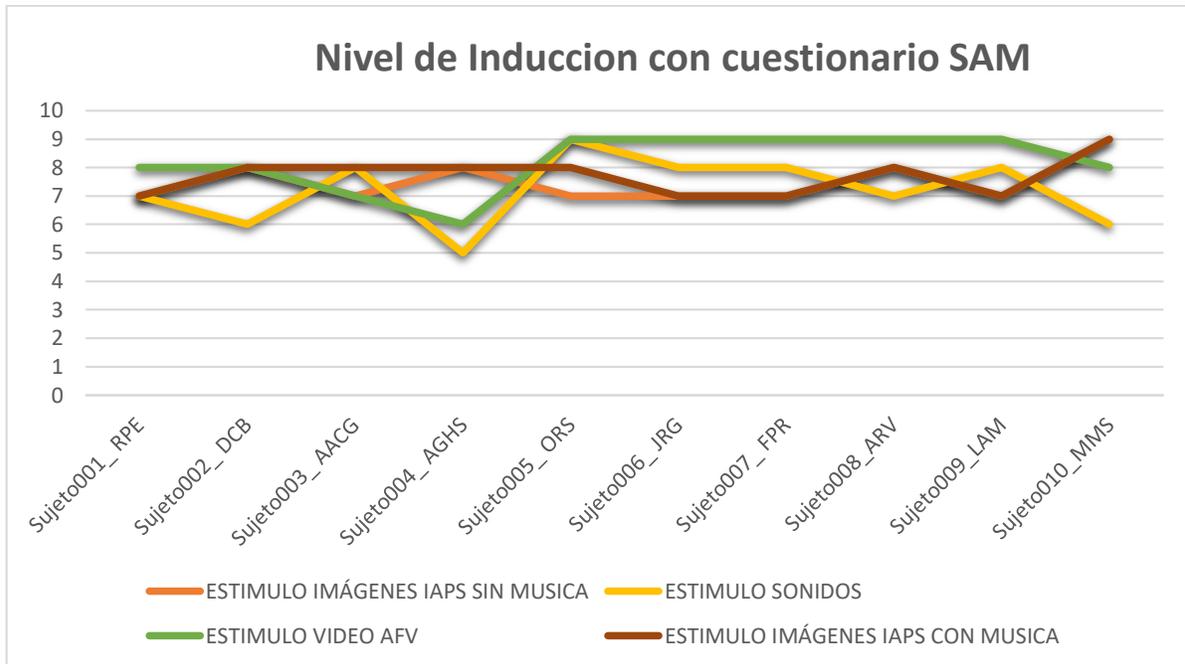


Figura 71. Valoración SAM de sujetos con RV

Cabe destacar que la realidad virtual ayuda a mejorar el sentido de presencia de las personas ante diversos estímulos, en la figura 71 se muestra la efectividad de los procedimientos de inducción emocional, ya que la mayoría de los estímulos brindaban una valoración Likert de mayor a 5, esto significa que todas las valoraciones acertaban a que el nivel de satisfacción (valence) era positivo.

# 7 Conclusiones y trabajos futuros

*En este capítulo se muestran las conclusiones de las pruebas realizadas donde se validaron los procedimientos de las etapas de la metodología, así también, la evaluación de la experiencia del usuario sobre la metodología de inducción de estados mentales a través de realidad virtual inmersiva e interfaz cerebro computadora.*

## 7.1 Conclusiones

La conclusión principal de esta tesis se refiere al hecho de que la realidad virtual ofrece la capacidad de generar un grado superior de inmersión al sujeto ante un procedimiento de inducción emocional convencional. Con las pruebas realizadas en el Laboratorio Europeo de Neurotecnologías Inmersivas (LENI), se pudo comparar diferentes PIE's frente a entornos RVI, confirmando que la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual es más idónea para inducir distintos estados emocionales o cognitivos.

La realidad virtual puede ser vista como una técnica más eficiente cuando se complementa con distintos PIE's, la RV mejora significativamente el sentido de presencia, aumentando los estímulos sensoriales humanos, así también, mejora la técnica de obtención de señal biométrica (cerebral, térmica, galvánica), dando como resultados patrones bioinformáticos más exactos, estos patrones pueden brindar un mejor entrenamiento a los clasificadores de inteligencia artificial, ofreciendo la posibilidad de una detección más precisa de estados cognitivos y emocionales.

Con la creación de la metodología de caracterización e inducción de estados cognitivos y emocionales mediante realidad virtual inmersiva, se obtiene un conjunto de procedimientos y herramientas que permiten realizar de manera idónea y estructurada la inducción de estados mentales con RVI, con el fin de generar un repositorio bioinformático de patrones.

El uso de herramientas psicológicas para la valoración introspectiva de un sujeto sobre un estímulo es relevante para poder ejecutar la metodología de inducción de estados mentales con realidad virtual inmersiva, por lo que se concluye que en la metodología se manejan evaluaciones psicológicas validadas en el área de neurociencias.

## **7.2 Aportaciones**

El aporte principal de esta investigación es la creación de una metodología que describe un conjunto de procedimientos y herramientas que permiten inducir estados mentales con técnicas de realidad virtual inmersiva a través de interfaces cerebro computadora, con la finalidad de perfeccionar la obtención de señal biométrica para la creación de patrones de distintos estados emocionales y cognitivos.

Una aportación secundaria pero relevante, es la creación de cinco entornos de realidad virtual con procedimientos de inducción emocional IAPS, IADS, videos, vudiovisuales y mixtos, cada entorno puede modificarse con otros estímulos para generar nuevos patrones de estados emocionales o cognitivos.

Otra aportación, fue la recopilación de técnicas de inducción mental con distintos procedimientos de inducción emocional, mismas técnicas pueden ser utilizadas dentro del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico con fines de investigación del comportamiento humano.

### 7.3 Resultados obtenidos

La investigación presentada en esta tesis, dio como resultado un artículo científico denominado “Inducción de Estados Mentales Mediante Técnicas de Realidad Virtual Inmersiva e Interfaces Cerebro Computadora”, en este artículo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas en la Universidad Politécnica de Valencia, el artículo fue presentado en el congreso de ingeniería en sistemas computacionales y aplicaciones (CISCA 2017), llevado a cabo del 08 al 10 de noviembre del 2017 en la Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla.

Así también, se colaboró con la Universidad Castilla de la Mancha UCLM, aportando los escenarios virtuales para inducir estados mentales, estos escenarios fungieron como apoyo para crear el artículo científico denominado “Scenarios of Virtual Reality (VR) using autobiographical memory: increasing ecological validity and mental time travel experience”, este artículo científico fue presentado del 19 al 20 de abril del 2018 en el doceavo encuentro de memoria autobiográfica llevado a cabo en Estrasburgo, Francia.

Durante la investigación para la creación de la metodología para caracterizar e inducir estados mentales con realidad virtual inmersiva, se realizaron participaciones en el Evento Nacional Estudiantil de Innovación Tecnológica (ENEIT).

- En ENEIT 2016, se colaboró en la aplicación de la metodología de modelado de información para gestión de procesos y productos usando tecnología de realidad aumentada MODELTHING, este proyecto tuvo alcance a nivel nacional.
- En ENEIT 2017, se colaboró en el proyecto de un ambiente virtual de aprendizaje inmersivo AVAI2C, este proyecto tuvo alcance a nivel nacional.

#### **7.4 Trabajos futuros**

La validación de la realidad virtual (RV), como un procedimiento de inducción de estados mentales brinda otros caminos para el estudio del comportamiento humano, así como su interacción con las interfaces humano computadora, sin embargo como se menciona en (Rodríguez, Rey, Clemente, Wrzesien, & Alcañiz, 2014), un alto porcentaje de personas que son evaluadas por medio de cuestionarios psicológicos para monitorear su comportamiento humano y emocional, mienten inconscientemente en la forma de sentirse ante un estímulo, por tal razón esta investigación puede extenderse para análisis futuro de la señal EEG y con esto realizar detecciones de estados mentales con los patrones obtenidos en esta investigación.

Como trabajo futuro, se podrían mejorar las plataformas virtuales anexando una interacción más inmersiva con diversos sensores de movimiento e implementar escenarios con mayor sentido de presencia que puedan ayudar en la captura de patrones EEG.

Otro trabajo futuro podría ser el incremento de muestras en la base de datos de patrones de señal biométrica, con el objetivo de retroalimentar a los distintos clasificadores de estados mentales y mejorar el neurofeedback de las interfaces cerebro computadora.

# 8 Referencias

## Referencias

- Aguado, L. F.-C. (2016). Evaluative and Psychophysiological Responses to Short Film Clips of Different Emotional Content. *Journal of Psychophysiology*.
- Arana Llanes , J. Y. (2014). *Tesis de Maestría: Metodología para Evaluación de SRSC Centrada en el Usuario, Basada en Características de Efectividad, Confianza y Satisfacción Mediante Interfaces Multimodales sobre Dispositivos Móviles Multisensoriales*. Cuernavaca Morelos: CENIDET.
- Arana, J. Y. (2014). Metodología para Evaluación de SRSC Centrada en el Usuario, Basada en Características de Efectividad, Confianza y Satisfacción Mediante Interfaces Multimodales sobre Dispositivos Móviles Multisensoriales. *Tesis*.
- Balam, G. L. (2015). *Modelo semántico para la gestión de técnicas de HCI mediante el monitoreo de actividad bioeléctrica (EEG) para caracterizar estados mentales y su relación con cambios en el contexto del usuario*. Cuernavaca.
- Baranyi, P., & Csapó, Á. (2012). Definition and Synergies of Cognitive Infocommunications. *Acta Polytechnica Hungarica* , 71.
- Bradley, M., & Lang, P. (1994). Medición de emoción: el maniquí de autoevaluación y el diferencial semántico. *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*, 25,49-59.
- Bradley, MM, & Lang, P. (1999). Sonidos digitalizados afectivos internacionales (IADS): Estímulos, manual de instrucciones y evaluaciones afectivas. *El Centro de Investigación en Psicofisiología, Universidad de Florida*. Obtenido de <http://csea.phhp.ufl.edu/media.html>
- Brave, S. N. (2002). *Emotion in human-computer interaction*. Jacko & A. Sears.
- Carreón, F. O. (2016). *Metodología de Comunicación Aumentativa y Alternativa para Personas con Parálisis Cerebral Mediante Mecanismos Heterogéneos de Interacción Humano Computadora*. Cuernavaca, Morelos, Mexico.
- Center, B. I. (04 de Mayo de 2015). Inmersión total con la realidad virtual. *BBVA Innovation Center*; . Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de <http://www.centrodeinnovacionbbva.com/noticias/inmersion-total-con-la-realidad-virtual>
- Dan-Glauser, E. S., & Scherer, K. R. (24 de Marzo de 2011). The Geneva affective picture database. *Psychonomic Society*. doi:10.3758/s13428-011-0064-1
- Emotiv. (2016). *Emotiv Epoc [Fotografía]*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016, de [https://i0.wp.com/emotiv.com/wp-content/uploads/2016/01/emotiv\\_epoc\\_01.jpg](https://i0.wp.com/emotiv.com/wp-content/uploads/2016/01/emotiv_epoc_01.jpg)
- Espinoza, M., Baños, R. M., Palacios, A. G., & Botella, C. (2013). La realidad virtual en las intervenciones psicológicas con pacientes oncológicos. *Psicooncología*, 247-261.
- Ferré, D. A. (2016). Sistema 10-20 EEG. *Doctoralia*. Recuperado el 11 de Febrero de 2017, de <http://www.doctoralia.es/pruebamedica/electroencefalograma-1328/pregunta/a-que-se-le-llama-sistema-10-20-en-un-electroencefalograma-242095>
- Fouilloux Quiroz, D. E. (2018). *Metodo de grabacion y sincronizacion de señales biometricas para evaluar la experiencia del usuario*. Cuernavaca: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Fouilloux, Q. D. (2018). Metodo de sincronizacion EEG para evaluar la experiencia del usuario. *Tesis*.
- Fredrickson, B. L. (2003). The value of positive emotions. *American Scientist*, 330-335.

- García Palacios, A., & Baños Rivera, R. (1999). Eficacia de dos procedimientos de inducción del estado de ánimo e influencia de variables moduladoras. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 15-16.  
doi:<https://doi.org/10.5944/rppc.vol.4.num.1.1999.3870>
- Goldstein, I. (2000). Intersubjective properties by which we specify pain, pleasure, and other kinds of mental states. *Philosophy*, 89-04.
- González Franco, N. (2015). *Metodología UXEeg para la evaluación de la Experiencia del Usuario en personas con discapacidad a partir de Interfaces Cerebro Computadora*. Cuernavaca.
- Hornero, R., Corralejo, R., & Álvarez, D. (15 de Junio de 2016). *Fundación General CSIC*. Obtenido de [http://www.fgcsic.es/lychnos/es\\_es/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo](http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/Brain-Computer-Interface-aplicado-al-entrenamiento-cognitivo)
- Hutchinson, L. (19 de Marzo de 2014). Oculus Rift Dev Kit 2 launches with 960×1080 resolution, lower latency. *arstechnica*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de <http://arstechnica.com/gadgets/2014/03/oculus-rift-dev-kit-2-launches-with-960x1080-resolution-lower-latency/>
- Jatupaiboon, N., Pan-ngum, S., & Israsena, P. (15 de Julio de 2013). Real-Time EEG-Based Happiness Detection System. *The Scientiic World Journal*, 12. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1155/2013/618649>
- Jurnet, I. A. (2009). Aplicaciones de la realidad virtual en la enseñanza de la psicología. *Revista de Enseñanza de la Psicología: Teoría y Experiencia*.
- Kroenke, K., & Spitzer, R. (2002). The PHQ-9: a new depression diagnostic and severity measure. *Psychiatric Annals*, 509-521.
- Lang, P., Bradley, & Cuthbert, B. (1997). International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings. *Center for the Study of Emotion and Attention*.
- López Angulo, L. M. (2006). *Instrumentos de evaluación psicologica*. Obtenido de Forum de ciencia y tecnología:  
<http://www.forumcyt.cu/UserFiles/forum/Textos/0601897.pdf>
- Lui, G., & Mao, F. (2015). *United State Patente nº 20,150,366,828*.
- Malatesta, C. Z., & Wilson, A. (1988). Emotion cognitioninteraction in personality development: A discreteemotions, funcionalist analysis. Special Issue: The social context of emotion. *British Journal of Social Psychology*, 91-112.
- Martens, M. T. (2017). Physiological and psychological effects of the Montreal Imaging Stress Task. *European Neuropsychopharmacology*, 27.
- Martínez de la Teja, G. M. (2007). Ergonomía e interfaces de interacción humano-computadora. *IX Congreso Internacional de Ergonomía*, 1-8.
- Monleon. (18 de Mayo de 2016). La realidad virtual inmersiva, una manera distinta de ver el mundo [Fotografía]. *Monleon*. Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de <http://www.monleon.com/post/la-realidad-virtual-inmersiva-una-manera-distinta-de-ver-el-mundo.html>
- Montero, H., Fernández, Y. M., & J, F. (2005). *La experiencia del usuario: no solo usabilidad*. Artículo.
- Moreno, L. A., Peña, C. A., & Gualdrón, O. E. (2014). Desarrollo de un sistema de neuromarketing usando el dispositivo Emotiv Epoc. *Redes de Ingenieria*, 06-15.
- NeuroSky. (9 de Junio de 2016). <http://neurosky.com>. Obtenido de <http://neurosky.com/>
- Norman, D. A. (2012). *Emotion an Design: Attractive things work better*.

- Ormrod, J. E. (2005). *Aprendizaje humano*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Passig, D., Tzuriel, D., & Eshel-Kedmi, G. (28 de 01 de 2016). Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. *ELSEVIER*.
- Picard, R. W. (2002). Computers that recognise and respond to user emotion: theoretical and practical implications. . *Interacting with computers*, 141-169.
- Platz, J., & Clothier, K. (19 de Agosto de 2015). Motion-controlled Servos with Leap Motion & Raspberry Pi [Fotografía]. *pubnub*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016, de <https://www.pubnub.com/blog/2015-08-19-motion-controlled-servos-with-leap-motion-raspberry-pi/>
- Rithec. (2015). Brain-Computer Interfaces [Fotografía]. *Riteh*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2016, de <http://www.riteh.uniri.hr/ustroj/zavodi/zae/laboratoriji/laboratorij-za-asistivnu-tehnologiju/asistivna-tehnologija/seminari/brain-computer-interfaces/>
- Riva, G. (15 de Mayo de 2017). *Giusepperiva*. Obtenido de <http://www.giusepperiva.com/>
- Roberto Sepúlveda, Oscar Montiel, Gerardo Díaz, Daniel Gutierrez , & Oscar Castillo. (Enero de 2015). Clasificación de señales encefalograficas mediante redes neuronales artificiales. (I. 2007-9737, Ed.) *Computación y Sistemas*, Vol. 19, No. 1, 69-88. doi:10.13053/CyS-19-1-1570
- Rodríguez, A., Rey, B., Clemente, M., Wrzesien, M., & Alcañiz, M. (13 de 10 de 2014). Assessing brain activations associated with emotional regulation during virtual reality mood induction procedures. *Elsevier*, 11.
- Sanei, S., & Salas, J. A. (2007). *Procesamiento de señales EEG*.
- Schanuel, I. (02 de Diciembre de 2013). Electroencephalograph (EEG). [fotografía]. *Qmedicine*. Recuperado el 31 de Octubre de 2016, de <http://www.qmedicine.co.in/top%20health%20topics/E/eeg.html>
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., & Lushene, R. (1988). Manual for the State-Trait Anxiety Inventory. *Center for Nursing Research*.
- Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal Of Comunication*, 73–93.
- Triglia, A. (2014). Los lóbulos del cerebro y sus distintas funciones. *Psicología y la Mente*, 5. Obtenido de <https://psicologiyamente.net/neurociencias/lobulos-del-cerebro-funciones>
- Urizarri, L. (2006). Metodología de la investigación científica. *Universidad de Ciencias Pedagógicas de Granma*.
- Valderrama, C., & Ulloa, G. (2012). Análisis espectral de parámetros fisiológicos para la detección de emociones. *Revista S&T*, 27-49.
- Vermeeren, A. (ACM. 2010). User experience evaluation methods: current state and development needs. En ACM (Ed.), *Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*.
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegan, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*,, 1063-1070.
- WebVR, M. (2017). Obtenido de A-frame: <https://aframe.io/>

# 9 Anexos

**Ficha de Estudio para Participante**

Estimad@ Sr/Sra;

Desde el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET de Cuernavaca, Morelos se están llevando a cabo diversos proyectos de investigación de comportamiento humano, quedando registrada la información proporcionada por usted y la extracción de los dispositivos biomédicos y de grabación.

A través de este documento, le informamos de las especificaciones del estudio en el que va a participar:

La participación es voluntaria y tiene el derecho de retirar el consentimiento para la participación en cualquier momento. Así mismo, podrá ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición al tratamiento mediante escrito, adjuntando un documento identificativo, ante el laboratorio de sistemas distribuidos del CENIDET. Interior Internado Palmira S/N, Palmira, 62400 Cuernavaca, Mor. Tel: +52 777 362 7765. Dirección web: [www.cenidet.edu.mx](http://www.cenidet.edu.mx)

Terminado el periodo en el cual, los resultados del proyecto no requieren de su tratamiento, la información será anonimizada completamente y solo será tratada globalmente y en términos estadísticos con fines de investigación.

**1. TITULO DEL ESTUDIO**

Inducción de Estados Mentales con PIE's

**2. EQUIPAMIENTO.**

- Dispositivo EEG Emotiv Epoc Plus 14 Electrodo
- Gafas de Realidad Virtual
- Sensores

**3. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO**

Se mostrarán cuatro estímulos con diferentes procedimientos de inducción emocional, dentro de cada estímulo existen cuestionarios adicionales que tendrá que responder después de cada experiencia. Mientras se realicen las actividades el dispositivo Emotiv Epoc grabará su señal bioeléctrica producida por su cerebro.

**4. OBJETIVO**

Inducir diferentes estados mentales, entre los que destacan emociones positivas ante distintos procedimientos de inducción emocional (Música, Videos, Imágenes).

**5. INFORMACION A RECOPILAR**

- ✓ Información demográfica de los sujetos (Edad, Genero, Nivel Académico).
- ✓ Medidas Likert de emociones positivas
- ✓ Cuestionarios PHQ9, STAI.
- ✓ Métricas neurofisiológicas extraída con el dispositivo Emotiv Epoc
  - a) Información bioeléctrica de los electrodos AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4

Grupo de Investigación del área de Interacción Humano Computadora del Centro Nacional De Investigación Y Desarrollo Tecnológico.  
 Cuernavaca, Morelos. México

**Ficha de Estudio para Participante**

**6. NÚMERO DE PASES Y DURACIÓN DE LOS MISMOS.**

Se realizará 1 pase de 4 fragmentos de inducción mental, cada fragmento de inducción mental, podrá ser imágenes, audios y videos que evoquen emociones positivas mientras se captura tu reacción cerebral con un dispositivo EEG.

**7. REMUNERACIÓN**

No hay remuneración.

**CONSENTIMIENTO**

He leído y comprendo la información precedente y todas mis preguntas recibí una respuesta satisfactoria. Acepto los términos de ejecución de la prueba, así como para la comunicación por correo electrónico de los siguientes estudios del Grupo HCI de CENIDET y autorizo a los investigadores de dicho Grupo a ponerse en contacto conmigo.

Fecha	Firma del participante o representante legal	Relación (si no es el paciente)

Dirección de correo electrónico del participante (en letra de imprenta):

Nombre del centro: Grupo de Investigación HCI, CENIDET

Nombre del Investigador:

Número de teléfono del Investigador:

Dirección de correo electrónico del Investigador:

Dirección de correo electrónico del centro: [www.cenidet.edu.mx](http://www.cenidet.edu.mx)

Grupo de Investigación del área de Interacción Humano Computadora del Centro Nacional De Investigación Y Desarrollo Tecnológico.  
 Cuernavaca, Morelos. México

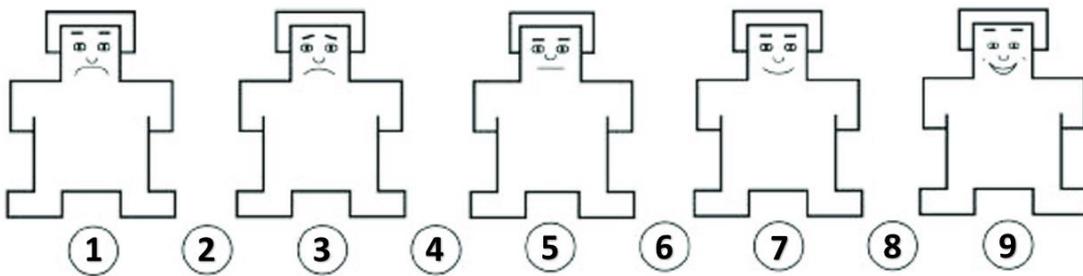
Figura 72. Consentimiento de experimento para inducir estados mentales con RV

# Hoja de evaluación de estímulos SAM

Nombre del evaluado: \_\_\_\_\_ clave: \_\_\_\_\_

ESTIMULOS	EMOCIONES NEGATIVAS				EMOCIONES POSITIVAS				
IMÁGENES IAPS SIN MUSICA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SONIDOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
VIDEOS AFV	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IMÁGENES IAPS CON MÚSICA	1	2	3	4	5	6	7	8	9

¿Cómo te sentiste cuando viste esta pantalla?



-----  
Emoción muy negativa

Emoción muy positiva

Nombre evaluador: \_\_\_\_\_

## Instrumento Escala de Afectividad (PANAS)

(Clark y Watson, 1988)

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Clave:** \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** A continuación, se presentan palabras que describen diferentes sentimientos y/o emociones. Indique en qué medida usted generalmente, se siente así utilizando la siguiente escala. No existen contestaciones buenas ni malas. Recuerda que tienes que señalar la alternativa que mejor se ajuste a tu forma de sentirte.

1 Nada	2 Muy poco	3 Algo	4 Bastante	5 Mucho
-----------	---------------	-----------	---------------	------------

Por ejemplo: 2(Muy poco) Triste || 4(Bastante) Molesto

_____	Interesado	_____	Irritado*
_____	Dispuesto	_____	Tenso*
_____	Animado	_____	Avergonzado*
_____	Disgustado/enfadado*	_____	Inspirado
_____	Enérgico	_____	Nervioso*
_____	Culpable*	_____	Decidido
_____	Temeroso*	_____	Atento
_____	Enojado*	_____	Intranquilo*
_____	Entusiasmado	_____	Activo
_____	Orgullosa	_____	Asustado*

**Nota.** Los reactivos con \* responden a la escala de Afecto Negativo, el resto a la escala de Afecto Positivo.

El instrumento evalúa dos factores esenciales de los estados emocionales, las emociones de carácter positivo y negativo, esto con el fin de indagar la inestabilidad emocional como una herramienta de evaluación del estado de ánimo.

# Inventario de Ansiedad Estado-Rasgo (STAI)

(Spielberger, Gorshuch y Lushene)

Nombre: \_\_\_\_\_ Clave: \_\_\_\_\_

**Instrucciones.** A continuación, encontrará una serie de frases que se utilizan corrientemente para describirse uno a sí mismo o una a sí misma. Lea cada frase y rellene con un  la alternativa que indique mejor **CÓMO SE SIENTE USTED EN GENERAL** en la mayoría de las ocasiones. No hay respuestas buenas ni malas. No emplee demasiado tiempo en cada frase y conteste señalando la respuesta que mejor describa su situación presente.

Me siento bien	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me canso rápidamente	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Siento ganas de llorar	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me gustaría ser tan feliz como otros	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Pierdo oportunidades por no decidirme pronto	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me siento descansado	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Soy una persona tranquila, serena, sosegada	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Veó que las dificultades se amontonan y no puedo con ellas	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me preocupo demasiado por cosas sin importancia	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Soy feliz	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Suelo tomar las cosas demasiado seriamente	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me falta confianza en mí mismo/a	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me siento seguro	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
No suelo afrontar las crisis o dificultades	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me siento triste (melancólico)	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Estoy satisfecho	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me rondan y molestan pensamientos sin importancia	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Me afectan tanto los desengaños que no puedo olvidarlos	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Soy una persona estable	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre
Cuando pienso sobre asuntos y preocupaciones actuales me pongo tenso y agitado	Casi nunca	A veces	A menudo	Siempre

### CONOCIENDO AL USUARIO

Bienvenido(a) a esta prueba de inducción de estados mentales, A continuación, se muestra una serie de preguntas con la finalidad de conocer un poco sobre tu perfil sociodemográfico, te invitamos a contestar con un  las respuestas de opción múltiple y complementes las que necesitan información escrita.

Perfil sociodemográfico del usuario						
Nombre(s) y Apellidos					Clave	
Sexo	Femenino			Masculino		
Edad						
Nivel máximo de educación	Básico (Primaria)	Medio (Secundaria)	Medio Superior (Preparatoria)	Superior (Universidad)	Superior (Maestría)	Superior (Doctorado)
Área de conocimientos en el que se desenvuelve						
¿Sabe que es Interfaz Cerebro Computadora BCI?	Si			No		
¿Ha utilizado Alguna Interfaz Cerebro Computadora BCI?	Si			No		
Si su respuesta es afirmativa ¿Qué Diademas de BCI ha utilizado?						
¿Ha realizado algún análisis de Electroencefalografía anteriormente?	Si			No		
¿Conoce las ondas o ritmos cerebrales que produce nuestro cerebro?	Si			No		
¿Sabe que es realidad virtual?	Si			No		
¿Ha utilizado Alguna vez la realidad virtual?	Si			No		
En una semana típica ¿con que frecuencia se siente estresado/a?	Nunca	De vez en cuando	Cerca de la mitad del tiempo	La mayor parte del tiempo	Siempre	
En una semana típica ¿con que frecuencia se siente Relajado/a?	Nunca	De vez en cuando	Cerca de la mitad del tiempo	La mayor parte del tiempo	Siempre	

## CUESTIONARIO SOBRE LA SALUD DEL PACIENTE-9 (PHQ-9)

Durante las últimas 2 semanas, ¿qué tan seguido ha tenido molestias debido a los siguientes problemas?  
(Marque con un "□" para indicar su respuesta)

	Ningún día	Varios días	Más de la mitad de los días	Casi todos los días
1. Poco interés o placer en hacer cosas	0	1	2	3
2. Se ha sentido decaído(a), deprimido(a) o sin esperanzas	0	1	2	3
3. Ha tenido dificultad para quedarse o permanecer dormido(a), o ha dormido demasiado	0	1	2	3
4. Se ha sentido cansado(a) o con poca energía	0	1	2	3
5. Sin apetito o ha comido en exceso	0	1	2	3
6. Se ha sentido mal con usted mismo(a) – o que es un fracaso o que ha quedado mal con usted mismo(a) o con su familia	0	1	2	3
7. Ha tenido dificultad para concentrarse en ciertas actividades, tales como leer el periódico o ver la televisión	0	1	2	3
8. ¿Se ha movido o hablado tan lento que otras personas podrían haberlo notado? o lo contrario – muy inquieto(a) o agitado(a) que ha estado moviéndose mucho más de lo normal	0	1	2	3
9. Pensamientos de que estaría mejor muerto(a) o de lastimarse de alguna manera	0	1	2	3

FOR OFFICE CODING 0 + \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_

■Total Score: \_\_\_\_\_

Si marcó cualquiera de los problemas, ¿qué tanta dificultad le han dado estos problemas para hacer su trabajo, encargarse de las tareas del hogar, o llevarse bien con otras personas?

No ha sido  
difícil

Un poco  
difícil

Muy  
difícil

Extremadamente  
difícil