



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA MEDICIÓN Y
VISUALIZACIÓN DE VARIABLES FISIOLÓGICAS DE UNA PERSONA DURANTE
LA INTERACCIÓN EN ENTORNOS VIRTUALES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: IVÁN RODOLFO DOMINGUEZ ARPI

TUTOR: ING. JORGE OSMANI ORDOÑEZ ORDOÑEZ, Mgst.

Cuenca – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Iván Rodolfo Dominguez Arpi con documento de identificación N° 0106841869;
manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro
la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de
manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 29 de Julio de 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Iván Rodolfo Dominguez Arpi', with a large, stylized initial 'I' and 'D'.

Iván Rodolfo Dominguez Arpi

0106841869

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Iván Rodolfo Dominguez Arpi con documento de identificación N° 0106841869, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Implementación de una plataforma para medición y visualización de variables fisiológicas de una persona durante la interacción en entornos virtuales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de julio de 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Iván Rodolfo Dominguez Arpi', with a horizontal line drawn underneath it.

Iván Rodolfo Dominguez Arpi

0106841869

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Osmani Ordoñez Ordoñez con documento de identificación N° 0302069497, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA PARA MEDICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE VARIABLES FISIOLÓGICAS DE UNA PERSONA DURANTE LA INTERACCIÓN EN ENTORNOS VIRTUALES, realizado por Iván Rodolfo Dominguez Arpi con documento de identificación N° 0106841869, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de julio de 2024

Atentamente,

Ing. Jorge Osmani Ordoñez Ordoñez, Mgst.

0302069497

AGRADECIMIENTO

Ante todo, expreso mi profunda gratitud a Dios, quien me ha dado fuerzas y guiado en este viaje tanto académico como personal. Mis padres merecen un agradecimiento especial por su amor incondicional, apoyo y paciencia; sin ellos, no hubiera sido posible alcanzar mis metas. Han sido pilares fundamentales, ofreciéndome soporte emocional e inspiración diaria.

También agradezco al Ing. Osmani Ordoñez y al Ing. Fernando Guerrero, por su experta orientación y apoyo crucial, y a la universidad por las herramientas y el entorno que me han permitido crecer, también a mis profesores que han sido esenciales en mi formación académica y desarrollo.

Estoy inmensamente agradecido con todos los que han contribuido a este viaje de crecimiento y descubrimiento, apreciando su generosidad y confianza en mis capacidades.

Ivan Rodolfo Dominguez Arpi

DEDICATORIA

Dedicatoria de Iván Rodolfo Dominguez Arpi

Dedico esta tesis a mis padres, pilares fundamentales de mi vida, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi refugio y fortaleza. A mis hermanos y toda mi familia, que ha sido una fuente constante de ánimo y confianza, agradeciendo cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo. Asimismo, dedico este trabajo a todas aquellas personas que nunca se rinden, que enfrentan los desafíos de la vida con determinación y coraje, y que inspiran con su perseverancia y su incansable búsqueda de la excelencia. Que este logro sirva como un reflejo de nuestro esfuerzo compartido y de la firme creencia en que la persistencia y la pasión son el verdadero motor del cambio y el progreso.

Índice general

Agradecimiento	I
Dedicatoria	II
Índice General	III
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
Antecedentes	1
Justificación	2
Objetivos	4
Introducción	5
1. Fundamentos y aplicaciones de la realidad virtual en la medición de respuestas fisiológicas	6
1.1. Realidad Virtual (VR)	6
Realidad Virtual (VR)	6
1.1.1. Interacción humano-computadora en entornos virtuales.	6
1.1.2. Componentes Técnicos de la VR:	7

1.1.3. Aplicaciones de la VR:	8
1.2. Tecnologías de detección de variables fisiológicas	8
1.3. Sistemas de visualización de datos en tiempo real.	9
1.4. Respuestas fisiológicas a VR en psicológica: estado del arte	9
2. Metodología	21
2.1. Definición de requerimientos y especificaciones	22
2.1.1. Identificación de necesidades	22
2.1.2. Manejo de sensores	25
2.1.3. Especificaciones técnicas	28
2.2. Desarrollo de la plataforma	28
2.2.1. Integración de sensores	29
2.2.2. Desarrollo de software	30
2.2.3. Diseño de interfaz	31
2.3. Pruebas	33
2.3.1. Pruebas de funcionalidad	33
2.3.2. Validación de datos	33
2.3.3. Usabilidad	34
2.3.4. Pruebas reales con personas para medir sus respuestas fisiológicas	34
3. Medición de respuestas fisiológicas a ambientes virtuales	41
3.1. Resultados de las pruebas realizadas mediante el rier Social Stress Test .	41
3.1.1. Análisis sociodemográfico y de ansiedad	42
3.1.2. Medición de respuestas fisiológicas	42
3.1.3. Respuestas a la intervención de estrés	42
3.2. Resultados de las pruebas realizadas con ambientes virtuales no inmersivos	50
4. Conclusiones y Trabajos Futuros	54
Glosario	56
Referencias	62

Índice de figuras

2.1. Sensor Polar H10.	26
2.2. Sensor Shimmer3.	27
2.3. Tobii Eye Tracker 5.	27
2.4. Physiological Response to Virtual Reality Interface.	32
2.5. Ambiente Virtual.	37
2.6. Meta Quest 2.	39
3.1. Atención de la mirada de los participantes durante la prueba.	46
3.2. Frecuencia respiratoria de los participantes durante la prueba.	49
3.3. Conductancia de la piel de los participantes durante la prueba.	50
3.4. Frecuencia cardiaca de los participantes durante la prueba.	50
3.5. Frecuencia respiratoria de los participantes durante la prueba.	52
3.6. Conductancia de la piel de los participantes durante la prueba.	52
3.7. Frecuencia cardiaca de los participantes durante la prueba.	53

Índice de tablas

Resumen

En este trabajo se investigó acerca de la implementación de una plataforma para la medición y visualización de variables fisiológicas de una persona durante la interacción en entornos virtuales. El objetivo principal fue desarrollar un sistema que permita obtener datos de sensores de frecuencia cardíaca, resistencia galvánica de la piel y seguimiento ocular, y visualizarlos en una interfaz de usuario de código abierto. Además, se buscó automatizar la generación de informes con el historial de estas variables para su interpretación por profesionales en psicología.

Para lograr estos objetivos, se llevó a cabo la integración de sensores específicos y su configuración para la recopilación precisa de datos en tiempo real. Se desarrollaron scripts en Python que permiten manipular y almacenar estos datos de manera eficiente. La interfaz de usuario se diseñó utilizando Python, proporcionando una representación gráfica de las variables fisiológicas mientras el usuario interactúa en entornos virtuales.

Los resultados más importantes logrados incluyen la implementación de la plataforma, la obtención de datos fisiológicos, y la visualización en tiempo real de estos datos a través de una interfaz. Además, se logró automatizar la generación de informes, que incluyen gráficos de las variables fisiológicas, facilitando su interpretación por parte de los profesionales en el área de psicología.

Palabras clave: adquisición de datos; código abierto; frecuencia cardíaca; resistencia galvánica de la piel; seguimiento ocular; interfaz de usuario; visualización de datos en tiempo real.

Abstract

In this work I investigated about the implementation of a platform for measuring and visualizing physiological variables of a person during interaction in virtual environments . The main objective was to develop a system that allows obtaining data from heart rate, galvanic skin resistance, and eye-tracking sensors, and visualizing them in an open-source user interface. Additionally, the aim was to automate the generation of reports with the history of these variables for interpretation by psychology professionals.

To achieve these objectives, specific sensors were integrated and configured for precise real-time data collection. Python scripts were developed to efficiently manipulate and store this data. The user interface was designed using Python, providing a graphical representation of the physiological variables while the user interacts in virtual environments.

The most important results achieved include the implementation of the platform, the acquisition of physiological data, and the real-time visualization of this data through an interface. Additionally, the generation of reports, which include graphs of the physiological variables, was automated, facilitating their interpretation by professionals in the field of psychology.

Keywords: open-source; heart rate; galvanic skin resistance; eye-tracking; user interface; real-time data visualization.

Antecedentes

La investigación en la medición y visualización de variables fisiológicas durante la interacción en Entornos Virtuales (VE, del inglés Virtual Environments) ha ganado relevancia en los últimos años debido a su aplicación en diversas áreas como la psicología, la medicina y la educación. Este campo combina el uso de tecnologías avanzadas como sensores biométricos, interfaces de usuario intuitivas y herramientas de análisis de datos para comprender mejor las respuestas fisiológicas de las personas en entornos controlados y simulados.

Los sensores de Frecuencia Cardíaca (HR, del inglés Heart Rate) han sido ampliamente utilizados para monitorear la salud cardiovascular y la respuesta del cuerpo al estrés. Dispositivos como el Polar H10 ofrecen alta precisión y son compatibles con diversos entornos de programación. La Respuesta Galvanica de la Piel (GSR, del inglés Galvanic Skin Response) es una medida de la conductancia eléctrica de la piel, que varía con la transpiración y puede indicar niveles de estrés emocional. Sensores como los de Shimmer3 permiten la recopilación de estos datos en tiempo real y su análisis detallado. El Seguimiento Ocular (ET, del inglés Eye Tracking) se utiliza para determinar dónde está mirando una persona, lo que es crucial para entender el foco de atención y la carga cognitiva. Dispositivos como el Tobii Eye Tracker son líderes en este campo, proporcionando datos precisos y en tiempo real. Las plataformas de código abierto, como las desarrolladas en Python, son esenciales para la accesibilidad y personalización de herramientas de medición y visualización.

Justificación

Debido al alto porcentaje de inserción de herramientas de Realidad Virtual (VR, del inglés Virtual Reality) en diferentes aspectos, también incrementa la necesidad de comprender y analizar la interacción humana dentro de VE, especialmente en lo que respecta a la medición y visualización de variables fisiológicas. El uso de la VR ha trascendido el entretenimiento, incursionando significativamente en áreas como la educación, la psicología y la medicina. No obstante, a pesar de su expansiva aplicación, la mayoría de las plataformas VR actuales no están completamente equipadas para integrar y analizar datos fisiológicos de manera efectiva, lo que limita su potencial para adaptarse y responder en tiempo real a las necesidades del usuario [1].

Este proyecto propone la implementación de una plataforma avanzada medir y visualizar variables fisiológicas tales como la frecuencia cardíaca, la conductancia de la piel y dirección de la mirada, durante la interacción con un entorno de VR. Este enfoque no solo permitirá una evaluación más profunda y precisa del estado emocional de los usuarios durante la interacción con VR, sino que la información recopilada podría facilitar a futuro la personalización de las experiencias VR para mejorar el bienestar y la eficacia del aprendizaje o la terapia.

De acuerdo con la literatura actual, la integración de mediciones fisiológicas puede mejorar significativamente la interacción del usuario con la tecnología VR, permitiendo ajustes dinámicos del VE basados en las respuestas fisiológicas [2]. Este tipo de adaptabilidad es particularmente valiosa en aplicaciones terapéuticas y educativas donde la respuesta individual puede variar ampliamente y donde la personalización puede llevar a mejores resultados terapéuticos o educativos [3].

Además, la implementación de esta plataforma permitirá a investigadores y

profesionales obtener datos valiosos sobre cómo los VE pueden ser diseñados para influir positivamente en diferentes estados fisiológicos. Esto no solo es relevante para el diseño de videojuegos o experiencias de entretenimiento más inmersivas y reactivas, sino también para crear entornos de entrenamiento más efectivos en otros campos, como el entrenamiento e intervención psicológica.

Objetivos

Objetivo general

- Implementar una plataforma para medición y visualización de variables fisiológicas de una persona durante la interacción en entornos virtuales.

Objetivos específicos:

- Obtener los datos de los sensores de frecuencia cardiaca, resistencia galvánica de la piel y dirección de la mirada, en un formato manipulable en entornos de programación de código abierto.
- Visualizar los datos obtenidos en una interfaz desarrollada en código abierto, almacenando las variables para su posterior interpretación.
- Generar informes de manera automática con la información del usuario y el historial de sus variables fisiológicas con respaldos gráficos para la interpretación de profesionales en el área de psicología.

Introducción

La interacción en **VE** se ha convertido en una herramienta poderosa en diversas disciplinas como la educación, la psicología y la medicina. Estas tecnologías permiten la simulación de escenarios controlados que pueden ser utilizados para formación, terapia y evaluación. Sin embargo, para maximizar el potencial de estas interacciones, es crucial entender cómo las personas responden fisiológicamente durante su uso. La implementación de una plataforma que mida y visualice variables fisiológicas como la **HR**, **GSR** y **ET** puede proporcionar información valiosa para profesionales del área Psicológica.

La falta de herramientas que integren la medición de respuestas fisiológicas limita la capacidad de evaluar de manera integral la eficacia de estas tecnologías. Las limitaciones actuales incluyen la compatibilidad y precisión de los sensores disponibles, así como la capacidad de los profesionales para interpretar correctamente los datos fisiológicos. Aunque los sensores de **HR**, **GSR** y **ET** han avanzado considerablemente, su integración en una plataforma única y su visualización en tiempo real aún presentan desafíos técnicos. Además, la interpretación de los datos fisiológicos requiere experiencia y conocimiento, lo que puede limitar su uso a profesionales capacitados.

Esta tesis se centra en el desarrollo de una plataforma que permite la medición y visualización de estas variables fisiológicas en tiempo real mientras una persona interactúa en **VE**. El objetivo es proporcionar una herramienta que no solo recopile datos precisos, sino que también los presente de manera intuitiva y accesible para su análisis posterior por parte de profesionales en psicología y otras áreas afines.

Capítulo 1

Fundamentos y aplicaciones de la realidad virtual en la medición de respuestas fisiológicas

1.1. Realidad Virtual (VR)

La VR se define como un entorno simulado generado por computadora que puede simular la presencia física en lugares del mundo real o imaginados. La VR logra esta inmersión colocando al usuario dentro de una experiencia tridimensional, permitiendo la interacción con ese entorno durante la simulación. Los dispositivos típicos utilizados incluyen cascos de VR (headsets), guantes especiales, y otros equipos que pueden transmitir vibraciones y otras sensaciones al usuario [4] [5].

1.1.1. Interacción humano-computadora en entornos virtuales.

La Interacción Humano-Computadora (HCI, siglas en inglés *Human-Computer Interaction*) en VE se refiere al estudio y diseño de interfaces que facilitan la interacción entre los usuarios y los sistemas computacionales dentro de un VE. Este campo combina elementos de la informática, la psicología y el diseño ergonómico para crear experiencias de usuario que sean intuitivas y eficaces [4] [5] [6].

- VR Inmersiva: La Realidad Virtual inmersiva sumerge completamente al usuario

en un entorno digital creado por computadora. Este tipo de VR se logra a través de sistemas que incluyen cascos de realidad virtual (HMDs), guantes hápticos, y entornos auditivos y visuales que bloquean completamente el mundo real. La interacción es intensamente realista, permitiendo a los usuarios moverse y actuar dentro del VE como si estuvieran en el mundo real. Este tipo de VR es común en aplicaciones de simulación avanzada, entrenamiento militar y juegos.

- **VR no-inmersiva:** También conocida como realidad virtual de escritorio, la VR no inmersiva permite al usuario interactuar con un VE a través de una pantalla de computadora, sin necesidad de equipos especializados para bloquear el entorno físico. Aunque ofrece una experiencia menos envolvente que la VR inmersiva, sigue siendo efectiva para aplicaciones educativas y de diseño donde la inmersión completa no es necesaria. Los usuarios controlan su interacción a través de dispositivos tradicionales como teclados, ratones o joysticks.
- **VR Semi-inmersiva:** La VR semi-inmersiva proporciona una experiencia visualmente envolvente, pero no bloquea completamente el mundo real. Generalmente se logra a través de proyectores de gran escala o múltiples monitores que crean una experiencia convincente de estar en otro lugar, manteniendo cierta conciencia del entorno real del usuario. Este tipo de VR es frecuentemente utilizado en la educación y la formación profesional, ofreciendo una inmersión significativa sin el costo o la complejidad de los sistemas totalmente inmersivos.

1.1.2. Componentes Técnicos de la VR:

La VR se compone de varios elementos técnicos clave [4] [6]:

- **Hardware:** Incluye visores de VR, controladores de mano, rastreadores de movimiento, y plataformas que proporcionan feedback táctil.
- **Software:** Programas que crean y administran VE, incluyendo motores de juego como Unity o Unreal Engine que permiten el desarrollo de aplicaciones de VR.

- Interfaz de Usuario: Métodos de interacción que permiten a los usuarios controlar y navegar dentro del VE.

1.1.3. Aplicaciones de la VR:

La versatilidad de la VR ha permitido su aplicación en múltiples campos, destacando [7] [5] [8]:

- Educación y capacitación: Utilizada para simulaciones en entornos controlados donde los estudiantes o profesionales pueden practicar habilidades sin los riesgos asociados con el mundo real. Ejemplos incluyen la formación de cirujanos, pilotos y personal militar.
- Salud y psicología: La VR se emplea en tratamientos psicológicos, como la terapia por medio de desensibilización para trastornos de ansiedad, y en rehabilitación física donde se utilizan VE para gestionar el dolor y mejorar las habilidades motoras.
- Entretenimiento: Videojuegos, experiencias cinematográficas y tours virtuales que ofrecen experiencias inmersivas únicas.
- Ingeniería y Diseño: La VR facilita la visualización de construcciones arquitectónicas y prototipos de ingeniería, permitiendo modificaciones antes de su construcción o fabricación real.
- Comercio y Mercadeo: Recorridos virtuales por propiedades inmobiliarias o nuevas localizaciones de tiendas, además de la prueba virtual de productos.

1.2. Tecnologías de detección de variables fisiológicas

Las tecnologías de detección de variables fisiológicas se refieren a los dispositivos y métodos utilizados para medir y monitorear las señales corporales que reflejan actividades fisiológicas y estados de salud. Estos sensores pueden ser clasificados en varias categorías basadas en el tipo de señal que registran [9] [10]:

- **Sensores Cardiovasculares:** Como los monitores de HR y presión arterial, que utilizan métodos como la fotopletismografía (PPG) para medir el flujo sanguíneo o sensores eléctricos para el electrocardiograma (ECG).
- **Sensores de Actividad Electrodermica:** Que miden la conductancia de la piel para evaluar la respuesta al estrés o la excitación emocional.
- **Sensores de Movimiento:** Como acelerómetros y giroscopios que se usan para evaluar la actividad y los patrones de movimiento.
- **Sensores de Respiración:** Que pueden monitorizar la tasa y calidad de la respiración a través de bandas respiratorias o sensores de flujo de aire.

1.3. Sistemas de visualización de datos en tiempo real.

Los sistemas de visualización de datos en tiempo real se refieren a tecnologías y software que permiten la representación gráfica de datos conforme se van generando o recolectando. Estos sistemas son cruciales para monitorear procesos dinámicos donde la toma de decisiones depende de la actualización continua de la información. Componentes esenciales incluyen:

- **Fuentes de Datos:** Sensores y otros dispositivos de captura que proporcionan datos continuos.
- **Procesamiento de Datos:** Servidores y software que procesan y preparan los datos para su visualización.
- **Interfaces de Usuario:** Dashboards y otras interfaces gráficas que muestran los datos de forma comprensible y accesible.

1.4. Respuestas fisiológicas a VR en psicológica: estado del arte

La interacción con entornos de Realidad Virtual (VR, del inglés Virtual Reality) han demostrado afectar significativamente el estado emocional de las personas.

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE10

Estas afectaciones se observan en la generación de cambios notorios en respuestas fisiológicas como: dilatación de la pupila, cambio en la frecuencia de parpadeo, sudoración en las manos y alteración de la HR, entre otros [11]. Estos hallazgos abren camino para indagar sobre esos cambios fisiológicos siguiendo con una línea de investigación que permite aportes constantes, tanto a los desarrolladores como a los usuarios.

Algunos trabajos previos que han abordado la evaluación de respuestas fisiológicas frente a la interacción con entornos de VR, sustentan la importancia de contar con información en tiempo real de los usuarios con distintas finalidades. Es así que en 2019, [12] desarrolló un experimento evaluando tres VE dinámicos diseñados para evocar distintas respuestas emocionales y fisiológicas, incluyendo la neutralidad emocional, emociones desagradables y síntomas de cybersickness. Se utilizaron mediciones objetivas de respuestas fisiológicas como la dilatación de la pupila, parpadeos, fijaciones, sacadas y la HR, complementadas con autoevaluaciones subjetivas a través de cuestionarios pre y post sesión en VR. Los resultados del experimento revelaron que la exposición a entornos de VR dinámicos influye significativamente en las respuestas fisiológicas; específicamente, la dilatación de la pupila, mientras que el entorno neutral disminuyó la ansiedad y mejoró el confort; a pesar de estar diseñados para minimizar los efectos del cybersickness, todos los entornos provocaron síntomas en los participantes, demostrando así la complejidad de las respuestas humanas en la VR.

Otro aporte se observa en el trabajo de Gromer et al. [13], que abordan la capacidad de los entornos de VR para generar respuestas emocionales significativas, particularmente el miedo, en situaciones simuladas de altura. Se exploró la relación causal entre la sensación de presencia y el miedo, manipulando experimentalmente ambos aspectos para desentrañar su vínculo. Se recolectaron mediciones de presencia y respuestas verbales y fisiológicas al miedo, como la conductancia de la piel y la HR; sus resultados destacaron que las respuestas fisiológicas, junto con las valoraciones subjetivas de presencia, se intensificaron en VE que inducían miedo, comparado con los controles neutrales. En este artículo revelan que la inducción de miedo en entornos de VR aumenta significativamente tanto la respuesta fisiológica como la percepción de

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE¹¹

presencia en comparación con entornos neutros. Se observó que la mayor sensación de presencia, potenciada por el VE realista, correlacionaba directamente con un aumento en la HR y la conductancia de la piel, indicativos de una respuesta emocional intensa.

Rizzo et al. [14] presenta un análisis de cómo la VR ha creado nuevas oportunidades en la evaluación clínica e intervenciones terapéuticas. La VR se está considerando como una opción innovadora para abordar las alteraciones cognitivas, psicológicas, motoras y funcionales resultantes de diversas condiciones de salud. La tecnología de VR permite la presentación precisa y el control de estímulos dentro de simulaciones dinámicas y multisensoriales 3-D generadas por computadora, así como proporciona métodos avanzados para capturar y cuantificar respuestas conductuales. En particular, se detalla el uso de la Terapia de Exposición en Realidad Virtual (VRET, del inglés *Virtual Reality Exposure Therapy*) para trastornos de ansiedad y Trastorno de Estrés Postraumático (PTSD, del inglés *Post-Traumatic Stress Disorder*). La VRET se ha aplicado con éxito en el tratamiento de fobias específicas y PTSD, utilizando entornos inmersivos que simulan experiencias traumáticas relevantes para el paciente, permitiendo una exposición controlada y progresiva que resulta crucial para la terapia. Las variables fisiológicas medidas comúnmente en este contexto incluyen la HR y la conductancia de la piel, entre otras, que se registran a través de dispositivos no invasivos. Estos datos se utilizan para correlacionar los estados emocionales del usuario y su interacción con el VE, proporcionando información valiosa para la terapia. Los resultados de varios estudios y ensayos clínicos citados en el artículo indican que la VRET es una intervención efectiva, con una cantidad significativa de participantes que ya no cumplen con los criterios para PTSD después del tratamiento y mantienen sus ganancias terapéuticas en el seguimiento.

Krogmeier [15], muestra avances significativos en cómo los entornos VR pueden influir en los estados psicológicos y fisiológicos, destacando la importancia de estas tecnologías en contextos educativos y terapéuticos; se utilizan variables como la GSR, la HR y la dilatación pupilar para medir reacciones emocionales y carga cognitiva, integrando sensores y análisis en tiempo real para proporcionar datos objetivos sobre la experiencia del usuario en VR; estos métodos permiten ajustar entornos basados en respuestas fisiológicas en tiempo real, mejorando la efectividad

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE¹²

de intervenciones psicológicas y experiencias de aprendizaje.

Martens et al. [16] evidencia el potencial de la VR para inducir respuestas fisiológicas y psicológicas significativas en contextos controlados; este estudio investigó la respuesta al estrés en hombres sanos expuestos a un entorno VR que simulaba un elevador externo en un edificio alto, contrastándolo con un elevador de control; se midieron índices de estrés fisiológicos como conductancia de la piel, HR, variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV, del inglés *Heart Rate Variability*), y cortisol salival, además del rendimiento en la tarea de memoria de trabajo N-back; los resultados mostraron que la VR puede evocar una respuesta de estrés genuina, reforzando su aplicabilidad para examinar y tratar desórdenes relacionados con el estrés, subrayando su valor como estresor experimental en estudios de medicina.

Niu et al. [17], explora la implementación de plataformas para la medición y visualización de variables fisiológicas durante la interacción en VE, con énfasis en las respuestas emocionales y fisiológicas evocadas. El problema principal es la necesidad de métodos objetivos para evaluar la experiencia de usuario en VR comparado con entornos 2D. La metodología se basa en experimentos controlados donde se comparan sentimientos subjetivos y datos fisiológicos en ambos entornos, usando herramientas como el Self-assessment Manikin (SAM) y el Positive And Negative Affect Schedule (PANAS). Las variables fisiológicas estudiadas incluyen el Electrocardiograma (ECG, del inglés *Electrocardiogram*), la Temperatura de la Piel (SKT, del inglés *Skin Temperature*) y la Actividad Electrodermal (EDA, del inglés *Electrodermal Activity*). Los resultados muestran diferencias significativas en la excitación y las emociones evocadas entre los entornos VR y 2D, proporcionando una base para futuras investigaciones y aplicaciones en psicología y terapias basadas en VR.

En 2020, Mosquera-Dussan et al. [18], explora cómo el estrés influenciado por estímulos de VR puede afectar la toma de decisiones al aumentar las probabilidades de error. Centrándose en entornos militares y situaciones de alta tensión, se investiga la relación intrínseca entre el estrés, la toma de decisiones y las respuestas fisiológicas en el nivel comportamental y neural, se empleo herramientas de VR para inducir estrés en un entorno de laboratorio, permitiendo el análisis de las respuestas fisiológicas del sistema nervioso central y autónomo; las variables fisiológicas medidas abarcan

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE13

señales Electroencefalográficas (EEG. del inglés *Electroencephalographic*), HRV, EDA, y otros indicadores biológicos como la temperatura corporal y los niveles de cortisol salival, estas mediciones proveen una comprensión detallada de cómo los individuos responden a situaciones estresantes y su impacto en la capacidad de tomar decisiones efectivas. Los resultados obtenidos en el estudio indican que el estrés inducido en VE puede alterar significativamente el proceso de toma de decisiones, aumentando las probabilidades de cometer errores. Particularmente en entornos militares y situaciones de alta tensión, se observó que bajo estrés, los participantes tendieron a tomar decisiones más precipitadas y menos sistemáticas, a menudo sin considerar todas las opciones disponibles.

Min et al. [19] aborda cómo diferentes tipos de contenidos en VR pueden influir en la ansiedad y los parámetros fisiológicos asociados al estado de atención plena. Mediante un diseño experimental que involucró a 25 adultos, se evaluaron los efectos de dos tipos de contenido VR: "calmante" y "perturbador", se midieron señales fisiológicas como la HR, la presión arterial y la GSR, antes y después de la exposición a estos contenidos. Los resultados obtenidos del estudio destacan que el contenido calmante ayudó significativamente a regular hacia una menor HR y presión arterial, manteniendo una GSR estable, mientras que el contenido "perturbador" tuvo el efecto opuesto, elevando la HR y la presión arterial.

Pathan et al. [1] discute la implementación de una plataforma para medir y visualizar variables fisiológicas de personas durante la interacción en entornos de VR, enfocándose en aplicaciones educativas; se describe un mecanismo innovador que captura la interacción del aprendiz mediante grabaciones de pantalla en un entorno VR móvil, estudiando la circulación humana; la metodología involucra la anotación manual de las grabaciones para formar una serie de acciones secuenciales, proporcionando un perfil detallado de la interacción del aprendiz; en pruebas preliminares con tres aprendices, se analizaron los datos basados en acciones frecuentes, distribución temporal de cada acción y secuencias de acciones, revelando patrones que informan sobre la interacción del usuario en el entorno VR. Los resultados del estudio detallan que la interacción en entornos de VR afectó significativamente las respuestas fisiológicas y emocionales de los estudiantes,

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE¹⁴

especialmente en contextos de aprendizaje relacionados con la circulación humana. Se observó que el análisis detallado de las acciones y secuencias de interacción permitió identificar patrones específicos de aprendizaje y adaptación a las características del VR. Estos hallazgos sugieren que una interacción bien diseñada y monitorizada en VR puede mejorar la comprensión y retención del contenido educativo, proporcionando una base sólida para futuras aplicaciones pedagógicas de esta tecnología.

En 2021, Halbig et al. [11] destacó el notable avance de la VR como herramienta esencial para simular una variedad de situaciones controlables; la medición de parámetros fisiológicos en VR se ha establecido como método efectivo para evaluar y monitorear de forma objetiva, no intrusiva y frecuentemente semiautomática el comportamiento del usuario, incluyendo la actividad cardíaca, la conductividad de la piel y la tasa de respiración, que permiten cuantificar reacciones emocionales y evaluar la carga cognitiva; estas técnicas se aplican en terapia, rehabilitación, entrenamiento, educación y entretenimiento, por ejemplo, en terapia se utilizan para evaluar la ansiedad en terapias de exposición y adaptar tratamientos automáticos, mientras que en entrenamiento se ajusta la dificultad de las tareas basadas en la carga cognitiva para mantener el nivel óptimo de activación del usuario. Los resultados del artículo muestran que la exposición a entornos de VR indujo un aumento significativo en la conductancia de la piel y la HR durante situaciones estresantes, mientras que la toma de decisiones se vio comprometida bajo estrés, reflejando un incremento en errores durante las pruebas. Estos hallazgos sugieren que la respuesta fisiológica aumentada podría estar vinculada a una disminución en la capacidad de toma de decisiones eficaz en contextos de alta tensión.

Kalantari et al. [20], explora el uso de VE para evaluar respuestas humanas a diseños arquitectónicos y de productos, destacando su eficacia para modificar y ajustar características específicas; mediante un estudio comparativo entre entornos reales y virtuales replicados, se midieron las respuestas fisiológicas de participantes realizando pruebas cognitivas en ambos tipos de aulas; los datos se recogieron utilizando EEG, ECG, electrooculografía (EOG, del inglés Electrooculogram), GSR y aceleración de la cabeza; se observó que el rendimiento cognitivo era similar en ambos entornos, aunque las reacciones eran más rápidas en el VE, sin diferencias significativas en la

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE¹⁵

tasa de parpadeo y HR, pero con una menor variabilidad del GSR y aceleración de la cabeza en el VE. Los resultados obtenidos en el estudio realizado por Halbig y colaboradores en 2021 demostraron que la VR es una herramienta eficaz para simular diversas situaciones, permitiendo medir con precisión las respuestas fisiológicas como la actividad cardíaca, la conductividad de la piel y la tasa de respiración. Estas mediciones son cruciales para evaluar tanto las reacciones emocionales como la carga cognitiva en los usuarios. La aplicación de estas técnicas en campos como la terapia, rehabilitación, entrenamiento, educación y entretenimiento ha mostrado beneficios significativos, tales como la evaluación y adaptación de terapias de exposición para tratar la ansiedad y la adaptación de la dificultad de tareas basadas en la carga cognitiva para optimizar el nivel de activación del usuario en situaciones de entrenamiento.

Kisker [21], destaca que la VR se ha consolidado como una herramienta metodológica esencial en la investigación psicológica, ofreciendo entornos ricos y controlados experimentalmente; el estudio investiga si la VR puede imitar efectivamente la realidad física para analizar comportamientos auténticos en un contexto experimental, centrando la investigación en el realismo del comportamiento y las respuestas psicofisiológicas durante exposiciones a alturas en VR, donde se hipotetiza que los participantes actuarán como en la realidad; se utilizó un entorno VR que simula una viga de acero en un edificio alto para inducir ansiedad, empleando mediciones como el tiempo de caminata y la HR, junto con cuestionarios para evaluar la presencia y bienestar, midiendo principalmente la HR a través de ECG con una tasa de muestreo de 1000 Hz; los resultados revelaron comportamientos y respuestas fisiológicas coherentes con situaciones de altura real, indicando una respuesta cuidadosa y auténtica al miedo y al estrés. Los resultados del estudio detallado en el artículo demuestran que la VR puede emular de manera efectiva situaciones de la vida real, generando respuestas psicofisiológicas y comportamentales realistas en los participantes. Durante la exposición a alturas simuladas en VR, los participantes mostraron una disminución en la velocidad de caminata y un aumento en la HR, comportamientos típicos de situaciones que generan ansiedad. Esto refuerza la validez ecológica de la VR para estudios psicológicos, evidenciando que puede

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE16

ser una herramienta útil para investigar comportamientos complejos en un entorno controlado y seguro.

Lukacs [22], investiga cómo los Trastornos Asociados al Latigazo Cervical (WAD) afectan actividades diarias hasta un año tras la lesión, utilizando un simulador de VR para accidentes automovilísticos para explorar la conexión entre estrés y trauma; este enfoque interdisciplinario sugiere que las reacciones inmediatas a choques vehiculares son clave para entender el desarrollo de síntomas crónicos; el estudio evalúa la modulación del dolor condicionado y su relación con el sistema simpático y el eje hipotálamo-pituitario-adrenal, replicando la experiencia de un accidente sin causar lesiones físicas; se analizaron respuestas fisiológicas como variabilidad de la HR, conductancia de la piel y cortisol salival; los resultados muestran alta tolerancia al simulador VR, con una fuerte correlación entre la sensación de presencia y reducción del mareo por simulación, y más del 40 % de los participantes experimentaron un aumento en la sensibilidad al dolor post-simulación, posiblemente por un incremento en la actividad del sistema nervioso parasimpático y el cortisol salival.

Bolinski et al. [2], se centra en la creciente integración de la VR para la evaluación de variables fisiológicas durante interacciones en VE, destacando su aplicabilidad en campos como la psicoterapia y la formación cognitiva. Se identifican las variables fisiológicas comúnmente medidas, como la HR, la conductancia de la piel y la actividad electroencefalográfica, mediante el uso de dispositivos portátiles y técnicas no invasivas, las cuales permiten estudios más detallados sobre la reacción emocional y cognitiva de los usuarios en tiempo real; el análisis de estos datos ayuda a ajustar los VE para optimizar las respuestas emocionales y cognitivas, mostrando potencial para futuras aplicaciones terapéuticas y educativas. Los resultados obtenidos destacan un aumento significativo en la tolerancia al simulador de VR, lo cual es importante al considerar la implementación de plataformas de VR para estudios relacionados con estrés y trauma.

Li et al. [23], refleja un campo emergente en el cruce entre la tecnología VR y la investigación biométrica; el problema abordado es la necesidad de entender cómo la complejidad de las tareas en VR afecta la percepción del tiempo y las respuestas

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE 17

fisiológicas, utilizando EEG para medir cambios en la potencia de la banda beta, lo que refleja el nivel de complejidad de la tarea; se analizan las respuestas conductuales, subjetivas y fisiológicas, mostrando que mayores errores de estimación del tiempo se asocian con tareas de alta complejidad; esta comprensión puede mejorar la precisión de las intervenciones en VR, personalizando la experiencia del usuario para optimizar el aprendizaje y la terapia. Los resultados obtenidos en el estudio demuestran que el incremento en la complejidad de las tareas en un entorno de VR afecta negativamente la percepción del tiempo y aumenta los errores en la estimación del tiempo. Además, se observó que la mayor complejidad de las tareas está asociada con una menor potencia en la banda beta del EEG, indicando un mayor esfuerzo cognitivo. El estudio también encontró que la carga de trabajo percibida, medida a través del índice NASA-TLX, fue significativamente mayor en tareas de alta complejidad en comparación con tareas de baja complejidad. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la complejidad de la tarea al diseñar entornos de VR para aplicaciones de formación y evaluación psicológica.

Por su parte en 2022, Luong et al. [24], exploran las respuestas fisiológicas en VR, enfocándose en estados transitorios como miedo, frustración e insight con 24 participantes; se diseñaron cinco escenarios VR para inducir estos estados, correlacionando las reacciones con señales fisiológicas recogidas por sensores no invasivos, incluyendo actividad cardíaca, electrodermal, pulmonar y pupilar; además, se usaron cuestionarios para evaluar la subjetividad del miedo y la frustración, y la interacción en el juego para captar momentos de insight; los resultados, medidos en tiempo real, mostraron patrones distintivos para cada estado psicológico, destacando diferencias significativas en las respuestas al miedo y la frustración, tanto en mediciones fisiológicas como en la experiencia subjetiva de los participantes. Los resultados del estudio revelaron patrones distintivos en las respuestas fisiológicas de los participantes en VR ante estados transitorios como miedo, frustración e insight. Se observaron diferencias significativas en las mediciones de actividad cardíaca, electrodermal, pulmonar y pupilar en respuesta a cada estado psicológico inducido en los cinco escenarios diseñados. Además, los cuestionarios subjetivos confirmaron la experiencia diferenciada de miedo y frustración entre los participantes, mientras que

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE18

la interacción en el juego capturó momentos de insight distintivos. Estos hallazgos subrayan la capacidad de la VR para generar respuestas emocionales y cognitivas específicas, lo que tiene implicaciones importantes en áreas como la terapia, la formación y la evaluación psicológica.

Zhu et al. [25] investiga la inducción de efectos emocionales y fisiológicos en VE comparados con videos; en un experimento controlado, se evalúan las diferencias emocionales al exponer a sujetos a entornos de VR diseñados para provocar alegría o tristeza usando un HTC Vive Pro y un monitor para videos; las respuestas fisiológicas, medidas con una banda Empatica E4, y las emocionales, evaluadas mediante PANAS y SAM, revelan que la VR intensifica las emociones y eleva la tasa cardíaca más que los videos; análisis ANOVA resalta impactos significativos del medio y tipo de contenido en la afectividad, valence, arousal y dominance, demostrando la capacidad de la VR para amplificar emociones de manera más efectiva que los videos, lo cual subraya la necesidad de más estudios sobre medición en tiempo real de emociones en VR. Los resultados del estudio mostraron que la VR induce efectos emocionales y fisiológicos más intensos en comparación con los videos. Se observó que la exposición a entornos de VR diseñados para provocar alegría o tristeza generaba respuestas emocionales más fuertes, así como un aumento significativo en la tasa cardíaca en comparación con la visualización de videos. Los análisis estadísticos destacaron diferencias significativas en la afectividad, valencia, arousal y dominancia entre la VR y los videos, resaltando la capacidad de la VR para amplificar las emociones de manera más efectiva. Estos hallazgos subrayan la importancia de continuar investigando la medición en tiempo real de emociones en entornos de VR.

Chiossi et al. [26], aborda el avance de la VR adaptativa, enfocándose en la actividad electrodermal como indicador clave de la carga cognitiva y el estrés emocional en usuarios interactuando en escenarios virtuales socialmente complejos. Este enfoque incluye la utilización de un bucle de control biocibernético que ajusta dinámicamente la complejidad del VE basado en las mediciones en tiempo real de la actividad electrodermal, proporcionando así una experiencia de usuario optimizada sin sobrecargar cognitivamente al usuario. Las variables fisiológicas medidas incluyen la conductividad de la piel y la HR, ajustando el VE en respuesta a cambios en estas

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE¹⁹

para mantener un estado óptimo de activación fisiológica. Este sistema de adaptación fisiológica muestra potencial para mejorar significativamente la interacción del usuario en aplicaciones de VR destinadas a educación, trabajo y entrenamiento al mantener la comodidad y maximizar el rendimiento cognitivo. Los resultados del estudio indican que la VR adaptativa, basada en la actividad electrodermal como indicador de carga cognitiva y estrés emocional, permite ajustar dinámicamente la complejidad del VE. Esto se logra mediante un bucle de control biocibernético que optimiza la experiencia del usuario sin sobrecargarlo cognitivamente. Las mediciones en tiempo real de la conductividad de la piel y la HR permiten ajustar el VE para mantener un estado óptimo de activación fisiológica. Este sistema muestra potencial para mejorar la interacción del usuario en aplicaciones de VR en educación, trabajo y entrenamiento al maximizar el rendimiento cognitivo y la comodidad del usuario.

En 2023, Wang et al. [27], destaca el papel creciente de la VR en el estudio de respuestas fisiológicas y emocionales, influenciadas por VE inmersivos; la investigación examinó efectos de VR en creatividad, emociones y ondas cerebrales usando un diseño cuasi-experimental en 76 estudiantes, midiendo variables como la actividad cerebral (onda beta, gamma), emociones y respuestas creativas durante sesiones de VR; los resultados mostraron variaciones significativas en las respuestas emocionales y creativas, correlacionadas con cambios específicos en la actividad cerebral, demostrando la utilidad de VR en entornos educativos y terapéuticos.

Schöne et al. [3], examina la implementación de una plataforma para medir y visualizar variables fisiológicas durante la interacción en VE, abordando las diferencias de exposición en entornos reales y virtuales con videos 3D-360. Se empleó una muestra no clínica, utilizando EEG y HRV para comparar las respuestas psicofisiológicas. Los participantes experimentaron la exposición a la altura en un entorno real y en VR, mostrando reacciones fisiológicas similares, lo que sugiere que los entornos de VR pueden replicar experiencias reales efectivamente, diferenciándose considerablemente de un ambiente laboral 2D. Se midieron variables como la HR y la conductancia de la piel, correlacionándolas con niveles de ansiedad y presencia, para evaluar la calidad de simulación de VR y su aplicabilidad en estudios comportamentales y emocionales bajo condiciones controladas. Los resultados del

1.4. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A VR EN PSICOLÓGICA: ESTADO DEL ARTE²⁰

estudio señalan que los VE pueden replicar efectivamente experiencias reales, mostrando similitudes en las respuestas fisiológicas de los participantes expuestos a la altura tanto en entornos reales como virtuales. Se utilizaron mediciones de electroencefalografía (EEG) y variabilidad del ritmo cardíaco (HRV) para comparar las respuestas psicofisiológicas. Además, se observaron diferencias significativas entre entornos de VR y videos 2D en cuanto a la calidad de la simulación y la generación de respuestas emocionales y comportamentales. Estos hallazgos resaltan la aplicabilidad de los VE en estudios comportamentales y emocionales bajo condiciones controladas.

Baghaei et al. [28], aborda la creación de una plataforma para la medición y visualización de variables fisiológicas durante interacciones en VE, enfocada en la salud mental; el estudio destaca la integración de datos fisiológicos como la HR en experiencias de VR personalizadas para mejorar la auto-compasión y manejar trastornos como la ansiedad y la depresión; se exploran visualizaciones de la HR, incluyendo valores numéricos simples, un corazón pulsante, efectos de viñeta y sonidos de latidos del corazón, para enriquecer la experiencia de VR y facilitar intervenciones terapéuticas más efectivas; estas herramientas se diseñan para visualizar en tiempo real las reacciones emocionales y fisiológicas del usuario, permitiendo adaptaciones instantáneas y personalizadas dentro del VE. Los resultados destacan la efectividad de la integración de datos fisiológicos, como la HR, en experiencias de VR personalizadas para mejorar la auto-compasión y manejar trastornos de salud mental como la ansiedad y la depresión. Las visualizaciones de la HR, que incluyen elementos como valores numéricos, un corazón pulsante y efectos de sonido, enriquecen la experiencia de VR y facilitan intervenciones terapéuticas más efectivas. Además, se observa que estas herramientas permiten la visualización en tiempo real de las reacciones emocionales y fisiológicas del usuario, lo que posibilita adaptaciones instantáneas y personalizadas dentro del VE.

En base a los trabajos analizados, se observa que la evaluación de las respuestas fisiológicas de las personas mientras interactúan con VE es esencial para contar con una retroalimentación en tiempo real sobre la experiencia de usuario. Esta información no solo permitirá conocer el estado emocional de los usuarios, sino que trazará la dirección sobre las posibles mejoras en los entornos evaluados.

Capítulo 2

Metodología

La metodología aplicada en esta tesis se diseñó para desarrollar una plataforma robusta y eficiente que permita la medición y visualización de variables fisiológicas en tiempo real durante la interacción en VE. Este capítulo detalla los pasos y procedimientos seguidos para alcanzar los objetivos planteados, asegurando que cada componente de la plataforma cumpla con los requisitos técnicos y funcionales establecidos.

La metodología se dividió en cuatro fases principales: definición de requerimientos y especificaciones; desarrollo de la plataforma; ejecución de pruebas y validación; e implementación de funciones para impresión de reporte. Cada una de estas fases se abordó de manera sistemática, comenzando con la identificación de necesidades y la selección de sensores adecuados, pasando por la programación y el diseño de la interfaz de usuario, hasta la evaluación de la funcionalidad y usabilidad de la plataforma. Finalmente, se integro las capacidades de generación de informes, proporcionando herramientas que faciliten la interpretación de los datos fisiológicos por parte de los usuarios.

Esta metodología aseguro una aproximación integral y coherente para la implementación de la plataforma, esperando su utilidad y eficacia en contextos académicos y profesionales.

2.1. Definición de requerimientos y especificaciones

La definición de requerimientos y especificaciones fue una etapa crucial en el desarrollo de la plataforma tecnológica. En esta tesis, se buscó implementar una plataforma que permitiera la medición y visualización de variables fisiológicas de una persona durante la interacción en VE. Para garantizar que la plataforma cumpliera con los objetivos establecidos, fue esencial identificar claramente las necesidades específicas, seleccionar los sensores adecuados y definir las especificaciones técnicas del software. Este proceso aseguró que todos los componentes de la plataforma fueran compatibles y funcionaran de manera óptima.

2.1.1. Identificación de necesidades

La primera fase en la definición de requerimientos fue identificar las necesidades específicas de visualización y análisis de datos, lo cual constituyó un componente crítico para el éxito de la plataforma. Esta identificación implicó comprender profundamente qué datos eran esenciales para los usuarios y determinar cómo debían ser presentados para optimizar su interpretación y uso práctico. Los datos esenciales incluyeron métricas como la HR, GSR y los patrones de movimiento ocular, cada uno proporcionando una ventana única al estado psicológico y fisiológico del usuario en VE. La presentación de estos datos, por lo tanto, debía ser no sólo precisa sino también intuitiva, permitiendo a los usuarios, especialmente a los profesionales de la psicología, obtener perspectivas rápidas y aplicables sin necesidad de procesamientos adicionales complejos.

Esta fase implicó la colaboración con los usuarios finales para entender sus necesidades y expectativas. Mediante conversaciones y pruebas de usabilidad, se pudieron recolectar valiosos comentarios que guiaron el diseño de la interfaz y las funcionalidades de análisis. Por ejemplo, se determinó si un gráfico de tiempo real era más útil que un resumen estadístico periódico. Este proceso de co-creación aseguró que la plataforma no solo fuera capaz de recoger y mostrar datos, sino que también los presentara de una manera que fuera verdaderamente beneficiosa para el contexto específico de su aplicación, ya sea en terapias virtuales, entornos educativos

o investigaciones científicas. Con estas consideraciones en mente, la identificación de necesidades se convirtió en un proceso dinámico y basado en evidencia, esencial para la creación de una herramienta que realmente respondiera a las exigencias del usuario final.

Visualización de datos:

La visualización de datos fue un componente clave de la plataforma, ya que una presentación efectiva de los datos fisiológicos pudo mejorar significativamente la habilidad que tienen los usuarios para interpretar y responder a la información recibida. Los datos como la frecuencia cardíaca **HR**, **GSR**, y **ET** ofrecieron perspectivas valiosas sobre la respuesta emocional y cognitiva de los individuos en **VE**. Estos fueron presentados de una manera que fue no solo clara y comprensible, sino también contextualmente relevante para los usuarios finales. Para esto, fue crucial definir los tipos de gráficos y visualizaciones que mejor se adaptaron a las necesidades específicas de los usuarios. Los gráficos de curvas, fueron ideales para monitorear cambios y tendencias a lo largo del tiempo, como la **HR** durante una sesión de terapia virtual. Por otro lado, los gráficos de barras fueron útiles para comparar distintos niveles de estrés en diferentes momentos o situaciones, utilizando medidas de **GSR**.

Además, fue importante considerar la implementación de visualizaciones interactivas que permitieran a los usuarios explorar los datos de manera más profunda. Diagramas de calor o mapas de calor fueron especialmente efectivos para mostrar visualmente el foco de atención ocular, permitiendo a los psicólogos y educadores ver exactamente dónde estaban dirigiendo su atención los usuarios durante las interacciones con **VE**. Estas visualizaciones fueron complementadas con herramientas de zoom y detalles sobre demanda, que proporcionaron más información al pasar el cursor sobre áreas específicas de los gráficos. Esta capacidad de interactuar con los datos no solo mejoró la comprensión del usuario sino que también permitió una manipulación más precisa de los datos para análisis específicos. El desarrollo de estas visualizaciones fue guiado por principios de diseño claro y accesibilidad para asegurar que todos los usuarios, independientemente de su experiencia con herramientas analíticas, pudieran beneficiarse plenamente de las

capacidades de la plataforma.

Análisis de datos

El análisis de datos representa una faceta crítica en la funcionalidad de la plataforma, ya que provee a los profesionales en psicología con las herramientas necesarias para interpretar y aprovechar efectivamente los datos fisiológicos recopilados. Este análisis no se limita solo a la observación de datos brutos; más bien, involucra la aplicación de técnicas estadísticas que permiten descubrir patrones subyacentes, tendencias y correlaciones que podrían no ser evidentes a simple vista. Los usuarios de la plataforma pueden necesitar realizar desde análisis descriptivos básicos, como cálculos de medias y desviaciones estándar, hasta pruebas estadísticas más complejas, como análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de correlación. Estas herramientas estadísticas avanzadas son esenciales para validar hipótesis sobre la efectividad de intervenciones terapéuticas en VE y para explorar la relación entre diferentes variables fisiológicas y respuestas conductuales.

Además, la capacidad de identificar correlaciones entre diferentes variables es fundamental para los psicólogos que buscan comprender cómo diversos aspectos de la respuesta fisiológica, como la frecuencia cardíaca y la resistencia galvánica de la piel, pueden interrelacionarse bajo diferentes estímulos psicológicos. Por ejemplo, un aumento en la frecuencia cardíaca acompañado de un cambio en la resistencia galvánica de la piel podría indicar un momento de alta tensión emocional. La plataforma debe, por lo tanto, ofrecer herramientas que faciliten la realización de estos análisis de manera intuitiva, permitiendo a los usuarios configurar y ejecutar análisis personalizados sin necesidad de conocimientos profundos en estadística. Este nivel de análisis no solo enriquece la interpretación de los datos, sino que también apoya la generación de informes que documentan los hallazgos.

Interacción en tiempo real

La interacción en tiempo real con los datos fue fundamental para la eficacia de la plataforma que se utiliza en contextos donde la respuesta rápida y precisa es crucial, como es el caso de las intervenciones terapéuticas y los VE. Al habilitar

la visualización de datos en tiempo real, la plataforma permitió a los profesionales no solo monitorear sino también reaccionar de manera oportuna a las respuestas fisiológicas de los individuos mientras estos interactuaban en VE. Esta capacidad de monitoreo continuo fue vital, por ejemplo, para terapias de exposición virtual, donde la capacidad de observar cambios instantáneos en indicadores como la HR y la GSR podía indicar niveles de ansiedad o estrés, permitiendo ajustes inmediatos en el enfoque terapéutico.

En el ámbito educativo, la interacción en tiempo real con los datos fisiológicos ofreció a los usuarios una herramienta para evaluar la participación y la carga cognitiva de los estudiantes. Al observar los patrones de atención mediante el seguimiento ocular, o las variaciones en la respuesta emocional a través de la GSR, los usuarios pudieron ajustar dinámicamente el contenido y el ritmo de las sesiones para optimizar el aprendizaje. Esta retroalimentación inmediata no solo enriqueció la experiencia de aprendizaje sino que también ayudó a personalizarla, adaptando los recursos y métodos pedagógicos a las necesidades individuales de cada estudiante en tiempo real. Al integrar estas funcionalidades, la plataforma se convirtió en una herramienta integral para mejorar y personalizar la experiencia en terapias y educación, basándose en datos precisos y actualizados que reflejaban el estado real del usuario en cada momento.

2.1.2. Manejo de sensores

La selección de sensores fue un paso crítico en el desarrollo de la plataforma, ya que la precisión y fiabilidad de los datos fisiológicos dependieron en gran medida de los dispositivos utilizados. Elegir los sensores adecuados garantizó que los datos recopilados fueran precisos y fiables, permitiendo así un análisis más efectivo y una mejor toma de decisiones basada en dichos datos. Cada sensor fue seleccionado no solo por su precisión sino también por su robustez, facilidad de uso y compatibilidad con otros sistemas y tecnologías utilizados en la plataforma. La integración de sensores de alta calidad también reforzó la confianza de los usuarios en la herramienta, esencial para su adopción en entornos clínicos y educativos.

Frecuencia Cardíaca (HR)

Para la medición de la frecuencia cardíaca, se seleccionó un sensor de alta precisión como el Polar H10, mostrado en la Fig. 2.1. Este sensor no solo es conocido por su exactitud en la medición de la frecuencia cardíaca, sino que también ofrece la capacidad de medir la Frecuencia Respiratoria (BR, del inglés Breath Rate), proporcionando así una visión más completa del estado fisiológico del usuario. Su capacidad para conectarse a múltiples dispositivos y plataformas lo hace ideal para un entorno multidisciplinario y tecnológicamente diverso. Además, es compatible con protocolos de comunicación estándar como Bluetooth y ANT+, facilitando su integración en la plataforma sin necesidad de hardware o software adicional. La versatilidad y fiabilidad del Polar H10 aseguraron que los datos de frecuencia cardíaca y respiratoria fueran recopilados de manera continua y precisa, lo que fue crucial para monitorear la respuesta del usuario a diferentes estímulos en un VE.



Figura 2.1: Sensor Polar H10.

Respuesta Galvánica de la Piel (GSR)

La medición de la GSR fue realizada mediante el sensor Shimmer3, que se muestra en la Fig. 2.2. Estos sensores son altamente precisos y están diseñados para detectar cambios sutiles en la conductancia de la piel, proporcionando datos valiosos sobre los niveles de estrés y excitación emocional. La capacidad de estos sensores para medir las fluctuaciones mínimas en la conductancia aseguró que incluso las respuestas más leves fueran detectadas y analizadas. Además, su compatibilidad con plataformas de código abierto facilitó la integración de estos dispositivos en la plataforma, permitiendo utilizar una variedad de herramientas y bibliotecas de software para procesar y visualizar los datos recogidos. Esta integración sin problemas fue crucial para mantener un flujo de trabajo eficiente y efectivo en el análisis de datos.



Figura 2.2: Sensor Shimmer3.

Seguimiento Ocular (ET)

El seguimiento ocular se implementó utilizando el dispositivo Tobii Eye Tracker, el mismo se muestra en la Fig. 2.3. Este sensor es líder en la industria por su precisión y capacidad para rastrear los movimientos oculares en tiempo real. La información obtenida de este sensor fue crucial para entender el foco de atención y la carga cognitiva del usuario, proporcionando observaciones detalladas sobre cómo los usuarios interactuaron y respondieron a los estímulos visuales en los VE. La implementación del Tobii Eye Tracker en la plataforma permitió una evaluación precisa de la atención del usuario, facilitando estudios sobre la usabilidad y la experiencia del usuario en aplicaciones educativas y terapéuticas. Además, este dispositivo ofrece diversas configuraciones y opciones de calibración que permiten su uso en una amplia gama de escenarios y poblaciones de usuarios, asegurando que los datos de seguimiento ocular sean tanto inclusivos como representativos de diversos grupos demográficos.



Figura 2.3: Tobii Eye Tracker 5.

2.1.3. Especificaciones técnicas

Definir las especificaciones técnicas del software fue esencial para asegurar que la plataforma funcionara correctamente y cumpliera con los objetivos establecidos. Estas especificaciones incluyeron la compatibilidad con Python y otras herramientas de código abierto, así como los requisitos de hardware y software necesarios para el desarrollo y operación de la plataforma.

Compatibilidad con Python

Python se eligió como el lenguaje principal de desarrollo debido a su versatilidad y la amplia disponibilidad de bibliotecas y herramientas de código abierto. Librerías como NumPy, pandas y SciPy fueron utilizadas para el procesamiento y análisis de datos, mientras que matplotlib y Plotly se emplearon para la visualización de datos. Flask o Django se consideraron para el desarrollo de la interfaz de usuario, proporcionando una plataforma robusta y escalable.

Requisitos de hardware y software

La plataforma debía ser capaz de ejecutarse en equipos estándar utilizados en entornos académicos y profesionales. Esto incluyó computadoras con sistemas operativos Windows, con al menos 8 GB de RAM y un procesador de cuatro núcleos. Además, se garantizó que los sensores seleccionados fueran compatibles con estos sistemas operativos y pudieran conectarse a través de interfaces estándar como USB o Bluetooth.

2.2. Desarrollo de la plataforma

El desarrollo de la plataforma se centró en la creación de una solución tecnológica que integrara la medición de variables fisiológicas en VE. Esta etapa se centró en tres pilares fundamentales: la integración de sensores, el desarrollo de software y el diseño de la interfaz de usuario. Cada uno de estos componentes fue vital para asegurar que la plataforma no solo fuera funcional sino también eficaz y

accesible para los usuarios finales. A través de este proceso, se pretendió construir una herramienta robusta que facilitara la recopilación, el análisis y la visualización de datos críticos en tiempo real, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones en contextos terapéuticos y educativos.

2.2.1. Integración de sensores

La integración de sensores involucró una serie de procesos técnicos destinados a garantizar que la recopilación de datos fuera tanto precisa como confiable. La selección de sensores avanzados como el Polar H10 para la **HR** y **BR**, el Shimmer3 para la **GSR**, y el Tobii Eye Tracker para el **ET**, fue solo el primer paso hacia la construcción de una infraestructura de recopilación de datos.

Una vez seleccionados, los sensores fueron configurados y calibrados para asegurar su operatividad dentro de los rangos óptimos para cada tipo de medición. Esta calibración fue muy importante, ya que diferentes **VE** pudieron presentar variadas condiciones que afectarían el desempeño de los sensores. Por ejemplo, el sensor de **HR** tuvo que ser capaz de registrar datos precisos independientemente de los movimientos físicos del usuario, mientras que el sensor de **GSR** se ajustó para detectar sutiles cambios en la piel que podían ser indicativos de respuestas emocionales o de estrés.

Además, la programación de los sensores incluyó algoritmos capaces de filtrar y procesar los datos para eliminar ruidos o artefactos que pudieran distorsionar las lecturas. Esto fue especialmente importante en un entorno dinámico como el de las interacciones en **VR**.

Otro aspecto importante de la integración fue la sincronización de los datos recogidos por los diferentes sensores. La coherencia temporal entre los datos de **HR**, **GSR** y **ET** fue esencial para realizar un análisis integrado que pudiera ofrecer una imagen completa de la respuesta fisiológica del usuario. Esta sincronización tuvo que ser precisa para asegurar que las correlaciones y análisis derivados fueran válidos y representativos de los estados fisiológicos reales del usuario.

Implementar mecanismos de sincronización efectivos implicó el uso de estampas de tiempo unificadas para todos los datos recogidos, así como la

implementación de protocolos de comunicación que mantuvieran los datos alineados a través de diferentes flujos de entrada. Esto requirió una sólida arquitectura de software y un conocimiento profundo de las características operativas de cada sensor.

2.2.2. Desarrollo de software

El desarrollo de software en la plataforma fue fundamental para garantizar la eficacia y eficiencia en la recopilación, el manejo y el análisis de los datos fisiológicos. Utilizando Python como el lenguaje de programación principal, este segmento del desarrollo aprovechó las capacidades de Python, incluyendo su sintaxis intuitiva, su amplia gama de bibliotecas y módulos dedicados a la ciencia de datos como NumPy, pandas, SciPy y Matplotlib, y su fuerte comunidad de apoyo. Estas características hacen de Python una opción ideal para manejar complejas tareas de procesamiento de datos y cálculos estadísticos en tiempo real, cruciales para el análisis fisiológico en entornos dinámicos.

Lógica de adquisición de datos

La lógica para la adquisición de datos fue diseñada para ser robusta y capaz de manejar altas frecuencias de entrada de múltiples sensores simultáneamente. Esta lógica implicó la captura de señales fisiológicas de manera continua y su estandarización en un formato común para su posterior procesamiento. Se desarrollaron interfaces de programación de aplicaciones (APIs) específicas que facilitaron la comunicación entre los sensores y la plataforma, asegurando que los datos recogidos fueran coherentes y estuvieran sincronizados. Estas APIs gestionaron las peculiaridades de cada tipo de sensor, como la frecuencia de muestreo y el tipo de datos, y las abstraían de manera que el sistema de recopilación de datos fuera uniforme.

Arquitectura de almacenamiento de datos

Por otro lado, la arquitectura de almacenamiento de datos en este sistema se basó en la gestión temporal de datos en memoria y la generación de informes

en tiempo real. Los datos fisiológicos capturados por los sensores se almacenaron temporalmente en arrays de numpy para su procesamiento inmediato, lo que permitió un manejo eficiente y rápido de los datos sin necesidad de almacenamiento persistente. En lugar de bases de datos tradicionales, se utilizó la biblioteca reportlab para generar informes en formato PDF, que se guardaron localmente. Esta estrategia permitió una rápida adaptación y procesamiento de datos en tiempo real, manteniendo la integridad y disponibilidad de la información durante las sesiones de monitoreo.

Interoperabilidad y mantenimiento

Finalmente, se puso un énfasis particular en la interoperabilidad y el mantenimiento del software. La plataforma estuvo diseñada para integrarse fácilmente con otros sensores y dispositivos de monitoreo, como Polar H10, Shimmer3 y Emotiv EPOC, a través de interfaces de comunicación bien definidas y estándares abiertos. Esto fue vital para permitir que la plataforma funcionara en un ecosistema más amplio de dispositivos de salud y monitoreo fisiológico. Además, se establecieron prácticas de desarrollo continuo y despliegue continuo mediante el uso de herramientas de automatización y pruebas, permitiendo la actualización y mejora constantes del software sin interrumpir el servicio a los usuarios.

En conjunto, estas estrategias y técnicas aseguraron que el desarrollo del software no solo cumpliera con los requisitos funcionales y técnicos de la plataforma, sino que también respaldara su misión de proporcionar un servicio confiable para la visualización de datos fisiológicos en [VE](#).

2.2.3. Diseño de interfaz

El diseño de la interfaz de usuario jugó un papel crucial en la efectividad de la plataforma de análisis de datos. La interfaz fue desarrollada en un entorno de código abierto como Python. Esta tecnología permitió una gran flexibilidad y personalización, esencial para adaptar la plataforma a las necesidades específicas de los usuarios.

La interfaz estuvo desarrollada en el entorno de PySide6, aprovechando su amplia gama de widgets y capacidades de personalización para crear una experiencia

de usuario optimizada y accesible que enriqueció la experiencia del usuario al ofrecer representaciones visuales dinámicas e interactivas de los datos fisiológicos. Estas herramientas no solo mejoraron la estética de la plataforma, sino que también facilitaron la comprensión y el análisis de los datos.

La estructura de la interfaz se centró en un enfoque modular, donde cada componente gráfico fue cuidadosamente diseñado para mostrar datos específicos de manera clara y comprensible. Por ejemplo, se utilizaron widgets como QChartView para representar gráficamente los datos fisiológicos como la HR y la GSR. Estos gráficos fueron dinámicos y permitieron la visualización en tiempo real, lo cual fue crucial para aplicaciones en contextos terapéuticos y educativos, donde la respuesta inmediata era esencial.

Los colores y estilos de los gráficos fueron elegidos cuidadosamente para asegurar que fueran legibles para todos los usuarios, incluyendo aquellos con impedimentos visuales. La interfaz también incluyó etiquetas claras y un contraste adecuado para facilitar su uso.

Además, la interfaz integró funciones como la capacidad de generar informes, lo cual se facilitó mediante el uso de componentes como QPushButton para acciones específicas. Estos informes incluyeron gráficos que proporcionaron perspectivas a partir de los datos recopilados, soportando la toma de decisiones y la evaluación de intervenciones en un contexto terapéutico. Esta interfaz se muestra en la Fig. 2.4.

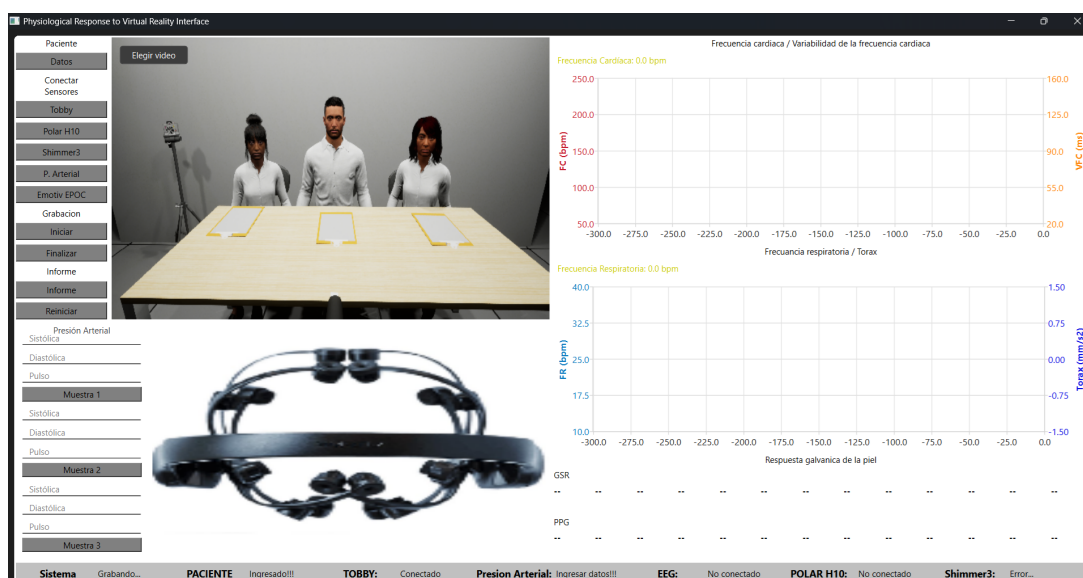


Figura 2.4: Physiological Response to Virtual Reality Interface.

2.3. Pruebas

La fase de pruebas en el desarrollo de la plataforma para la medición de los datos fisiológicos en VE fue muy importante. Esta etapa aseguró no solo el correcto funcionamiento técnico de la plataforma, sino también su eficacia y fiabilidad en un contexto real de uso. A continuación, se detallan los diferentes aspectos de las pruebas que se realizaron para la plataforma:

2.3.1. Pruebas de funcionalidad

Las pruebas de funcionalidad se centraron en verificar que todos los componentes de la plataforma trabajaran conforme a las especificaciones y que interactuaran correctamente entre sí. En esta etapa, se validó que la plataforma pudiera recoger y visualizar los datos proporcionados por los sensores en tiempo real de manera precisa. Esto implicó asegurar que la transmisión de datos desde los sensores hasta la plataforma fuera fluida y sin errores, y que la visualización en la interfaz reflejara exactamente la información recogida en cada momento. Por ejemplo, se realizaron pruebas dinámicas en las que se simulaban condiciones variadas de uso para observar la respuesta del sistema, como cambios rápidos en la HR o en la GSR, y se verificó que estos cambios se reflejaran de manera precisa en la interfaz gráfica.

2.3.2. Validación de datos

La validación de datos sirvió para garantizar la precisión y la confiabilidad de la información que la plataforma manejaba. Este proceso incluyó comparar los datos recogidos por los sensores con valores estándar conocidos o mediante el uso de equipos de medición certificados. Por ejemplo, se realizaron mediciones con relojes inteligentes para verificar que el sensor de HR y los algoritmos asociados produjeran resultados correctos. Además, se realizaron pruebas controladas en entornos donde variables específicas podían ser monitorizadas y manipuladas de manera precisa, proporcionando un conjunto robusto de datos para validar el rendimiento del sistema en diferentes escenarios.

2.3.3. Usabilidad

Las pruebas de usabilidad aseguraron que la plataforma no solo fuera funcional, sino que también fuera fácil de usar por los usuarios finales, que en este caso incluían estudiantes y profesionales de la psicología. Estas pruebas evaluaron la experiencia del usuario al interactuar con la interfaz, considerando aspectos como la intuitividad del diseño, la facilidad de navegación y la claridad en la presentación de la información.

2.3.4. Pruebas reales con personas para medir sus respuestas fisiológicas

Se realizaron sesiones de prueba con usuarios reales que representaban al público objetivo de la plataforma, donde pudieron interactuar con el sistema y proporcionar retroalimentación sobre su experiencia. Se utilizaron métodos en los que se observaron las interacciones del usuario mientras completaban tareas específicas, y se recogieron sus opiniones y sugerencias para mejorar la interfaz y la funcionalidad general de la plataforma.

Pruebas con Trier Social Stress Test

Para estas pruebas, se siguió un protocolo detallado que fue diseñado específicamente para el proyecto. Este protocolo permitió medir con precisión las respuestas fisiológicas de los individuos en situaciones inducidas por el Trier Social Stress Test, proporcionando datos valiosos para nuestro análisis.

Protocolo de experimentación

El protocolo incluyó varios pasos importantes: desde la recolección de información sociodemográfica y la aplicación de encuestas de ansiedad hasta la colocación precisa de sensores y la ejecución de actividades diseñadas para inducir estrés. Cada paso estuvo cuidadosamente planificado para asegurar la coherencia y la fiabilidad de los datos recogidos.

Objetivo: Medir las respuestas fisiológicas de personas expuestas a ansiedad producida por Trier Social Stress Test.

Hipótesis: Es posible identificar estados de ansiedad durante la interacción con entornos virtuales, mediante una interfaz que mide diferentes variables fisiológicas.

Diseño experimental:

Variables:

- Sociodemográficas (edad, género, estado civil, carrera universitaria, ciclo que se encuentra cursando, estilo de crianza, ingresos económicos en el hogar, con quien convive actualmente, afiliación religiosa).
- Niveles de Ansiedad (Ansiedad Estado-Rasgo).
- Variables fisiológicas: frecuencia cardiaca, variabilidad de frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, expansión del tórax, resistencia galvánica de la piel, fotoplestismografía.

Grupo experimental: Estudiantes de carreras no afines a psicología.

Materiales y métodos:

- Cámara de Gesell
- STAI (Google forms)
- Actividad Trier Social Stress
- Computador
- Cámara
- Sensor Shimmer3
- Sensor PolarH10
- Physiological Response to Virtual Reality Interface.

Métodos:

1. Aplicación de consentimiento informado para los participantes.
2. Recolección de información sobre variables sociodemográficas

3. Aplicación del reactivo psicológico STAI a través de un Google forms.

4. Preparación y colocación de sensores.

a) Polar H10:

- Colocar el sensor alrededor del pecho, justo debajo de los músculos pectorales.
- Asegurarse de que la banda esté suficientemente ajustada para mantener contacto constante pero cómodo con la piel.
- Conecta el sensor a la interfaz de adquisición a través de Bluetooth.

b) Shimmer3:

- Posicionar el Shimmer3 en el dedo o en la muñeca para fotopleletismografía y en la palma o los dedos para medir la resistencia galvánica de la piel.
- Asegurar el dispositivo para evitar el movimiento y garantizar la precisión de las lecturas.
- Asegurarse de que esté correctamente conectado y configurado para enviar datos a la interfaz de usuario.

5. Recolección y visualización de datos.

a) Recolección de datos

- Inicio de la sesión: Iniciar la sesión de recolección de datos en la interfaz.
- Monitorización continua: Observar las lecturas en tiempo real para asegurar que los sensores están funcionando adecuadamente durante toda la sesión.

b) Visualización de Datos en la Interfaz

- Tiempo Real: Visualizar los datos de frecuencia cardíaca, variabilidad de la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, expansión del tórax, resistencia galvánica de la piel y fotopleletismografía en tiempo real.

6. Ejercicios de relajación y respiración previo al inicio de la intervención.

a) Respiración diafragmática: 3 minutos

- Acomódate en una postura relajada.
- Pon una mano en el pecho y la otra en el vientre.
- Respira hondo por la nariz durante cuatro segundos, sintiendo cómo el abdomen se infla y el pecho se mantiene casi inmóvil.
- Exhala despacio por la boca durante seis a ocho segundos.
- Continúa este proceso por un periodo de dos minutos.

7. Aplicación de actividades de Trier Social Stress Test: Para la inducción de estrés psicológico se empleará Trier Social Stress Test, el cual ha sido utilizado en estudios de investigación, que demuestran la efectividad de este test [29][30][31]. Esta prueba consiste en un periodo de aproximadamente 13 minutos, en el que los sujetos estarán expuestos a tres escenarios.

- a) Conferencia (4 minutos): Durante esa actividad, los participantes tendrán 2 minutos para preparar una conferencia sobre el cambio climático en la actualidad y tendrán 2 minutos para exponerlo. Los participantes estarán sujetos a la visualización de avatares quienes emitirán expresiones respecto a la actividad. Los avatares corresponden al ambiente virtual como se muestra en la Fig. 2.5.



Figura 2.5: Ambiente Virtual.

- b) Resolución de cálculos mentales (4 minutos): Los participantes deberán realizar cálculos mentales sobre la resta de un número

natural menos un número primo frente a una audiencia (entorno virtual). Si el participante se equivoca, regresara inicialmente a la cifra correspondiente.

- c) Actividad Stroop para inducir estrés (5 minutos): Se presentarán tres láminas a los participantes.

La primera hoja (P) se compone de las palabras ROJO, VERDE y AZUL presentadas en un orden aleatorio, impresas en tinta negra sobre un papel tamaño A4.

La segunda hoja (C) incluye 100 estímulos, dispuestos de manera similar, que consisten en equis (XXXX) impresas en tinta de color azul, verde o rojo.

La tercera hoja (PC) combina las palabras de la primera hoja en los colores de tinta de la segunda. Aquí, el individuo debe decir el color de la tinta.

8. Ejercicios de relajación y respiración:

a) Técnica de Enraizado

- Acomódese en una postura relajada, asegurándose de que sus piernas y brazos no estén cruzados.
- Tome aire lentamente y exhálolo con calma.
- Observe su entorno y enumere cinco objetos que observe y que no le generen estrés.
- Inhale y exhale de manera tranquila y profunda.
- Identifique y nombre cinco sonidos que escuche y que no le resulten molestos.
- Respire profundamente llenando sus pulmones de aire y luego suéltelo lentamente.
- Señale cinco sensaciones que experimente que no le causen incomodidad.
- Respire hondo y expulse el aire lentamente.

9. Creación de Informes para Análisis

- a) **Recopilación de Datos:** Al final de la sesión, asegura la recopilación de todos los datos de los sensores.
- b) **Generación de Informes:** Elabora informes que contengan gráficos y tablas para visualizar tendencias, picos y otros fenómenos de interés.
- c) **Interpretación y Recomendaciones:** Incluye una sección de interpretación que explique los resultados y posibles implicaciones para la salud o rendimiento del individuo

Pruebas con ambientes virtuales no inmersivos

Estas pruebas realizadas, se llevaron a cabo utilizando ambientes virtuales no inmersivos, con el objetivo de evaluar el impacto de estos entornos en los usuarios. Durante estas pruebas, se empleó el dispositivo Meta Quest 2, Fig 2.6, un visor de realidad virtual que, aunque es capaz de ofrecer experiencias inmersivas, fue configurado para limitar esta característica y así crear un ambiente no inmersivo. Estas pruebas se realizaron para comprender cómo el ambiente virtual afecta la experiencia del usuario y sus respuestas fisiológicas.



Figura 2.6: Meta Quest 2.

Las pruebas se efectuaron en un espacio cerrado, donde los participantes interactuaron con el Meta Quest 2 durante un periodo de siete minutos. Esta duración fue escogida para permitir una adecuada adaptación al entorno virtual sin llegar a ser extenuante para los usuarios. Se seleccionó una aplicación de realidad virtual que proporcionaba una experiencia visual y auditiva, pero que restringía la interacción física completa, manteniendo así un nivel bajo de inmersión.

Antes de iniciar cada sesión, se explicaba a los participantes el funcionamiento del dispositivo y se les ajustaba el visor para asegurar su comodidad. Durante la experiencia, los participantes se mantuvieron sentados y se les pidió que interactuaran con el entorno virtual mediante movimientos limitados de cabeza y ojos, evitando interacciones que requirieran movimiento corporal completo o el uso de controles manuales avanzados.

Para evaluar el impacto de esta experiencia no inmersiva, se monitorearon variables como la HR, BR y GSR y presión arterial. Estas medidas se tomaron durante y después de la exposición al ambiente virtual, con el fin de detectar cualquier cambio significativo que pudiera indicar una respuesta emocional o fisiológica. Además, al concluir la sesión, se solicitaba a los participantes completar un breve cuestionario sobre su experiencia, centrándose en su nivel de comodidad, engagement y cualquier sensación de disonancia o estrés experimentado durante la interacción con el entorno virtual.

Capítulo 3

Medición de respuestas fisiológicas a ambientes virtuales

El estudio de las respuestas fisiológicas humanas a ambientes virtuales se vincula directamente con las innovaciones tecnológicas en VR con aplicaciones en psicología, educación y salud. Este capítulo presenta una síntesis de los resultados obtenidos del experimento diseñado para medir cómo los ambientes virtuales pueden influir en diversas respuestas fisiológicas, tales como la frecuencia cardíaca, la conductancia de la piel.

La habilidad para inducir y medir reacciones fisiológicas precisas en tales entornos permite entender mejor cómo las emociones y la cognición son afectadas por estímulos virtuales. Este capítulo no solo describe los métodos y tecnologías utilizados para capturar estos datos, sino que también discute los hallazgos clave que destacan la relación entre la exposición a entornos virtuales y las reacciones fisiológicas observadas.

3.1. Resultados de las pruebas realizadas mediante el Trier Social Stress Test

La aplicación del Trier Social Stress Test a un grupo de doce estudiantes no afines a la psicología proporcionó una perspectiva detallada sobre las respuestas

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL TRIER SOCIAL STRESS TEST

fisiológicas frente a situaciones de estrés inducido. Este experimento permitió la recolección de datos valiosos acerca de cómo los individuos reaccionan bajo presión en un entorno controlado.

3.1.1. Análisis sociodemográfico y de ansiedad

Inicialmente, se recopiló información sociodemográfica y se aplicaron encuestas de ansiedad Estado-Rasgo a través de Google Forms, estableciendo una línea base para cada participante. Esta etapa preliminar fue fundamental para contextualizar las reacciones individuales durante las pruebas subsiguientes.

3.1.2. Medición de respuestas fisiológicas

Durante las pruebas, se monitorizaron múltiples variables fisiológicas utilizando sensores como el Polar H10 y el Shimmer3. Los resultados mostraron incrementos significativos en la **HR**, **BR** y **GSR**, indicativos de una respuesta de estrés. La fotopletimografía proporcionó datos adicionales sobre la circulación periférica, que también reflejó variaciones acordes con situaciones de ansiedad.

3.1.3. Respuestas a la intervención de estrés

La fase de intervención del Trier Social Stress Test reveló varios hallazgos clave:

Ejercicios de relajación y respiración previo al inicio de la intervención.

Antes de comenzar la intervención con el Trier Social Stress Test, se implementaron técnicas específicas de relajación y respiración para preparar a los participantes, tanto física como mentalmente. Estos ejercicios fueron esenciales para establecer una línea base relajada en los sujetos, permitiendo una evaluación más precisa de las respuestas fisiológicas inducidas por el estrés durante las pruebas.

Implementación de Técnicas de Respiración Diafragmática

La aplicación de estos ejercicios de respiración produjo una notable disminución en la tensión muscular y una mejora en la relajación general de los

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL TRIER SOCIAL STRESS TEST

participantes. Además, se observó una reducción en la HR y GSR, indicadores objetivos de una disminución en los niveles de estrés autonómico.

Impacto en la Intervención

La introducción de estos ejercicios antes del inicio de la intervención probó ser fundamental. Al comenzar desde un estado de relajación, fue posible discernir con mayor claridad las reacciones fisiológicas específicas atribuibles al estrés inducido por el Trier Social Stress Test. Este enfoque valida la efectividad del protocolo de intervención y confirma la capacidad de las técnicas de respiración para mitigar los efectos iniciales del estrés antes de enfrentar tareas desafiantes. Además, proporcionó una comprensión más profunda de cómo las intervenciones de respiración pueden ser utilizadas efectivamente en entornos clínicos y de investigación para manejar y estudiar el estrés y la ansiedad.

Conferencia sobre el Cambio Climático

Como parte del Trier Social Stress Test, se diseñó una conferencia sobre el cambio climático para evaluar las respuestas de estrés en un entorno controlado que imita una situación de hablar en público. Esta actividad no solo puso a prueba la capacidad de los participantes para manejar el estrés, sino que también permitió observar cómo la presión de la presentación afectaba sus respuestas fisiológicas. Durante esta tarea, se observaron aumentos notables en la frecuencia cardíaca y la respiración, evidenciando un estado elevado de ansiedad al hablar en público frente a avatares que simulaban una audiencia crítica.

Como parte del Trier Social Stress Test, se diseñó una conferencia sobre el cambio climático para evaluar las respuestas de estrés en un entorno controlado que imita una situación de hablar en público. Esta actividad no solo puso a prueba la capacidad de los participantes para manejar el estrés, sino que también permitió observar cómo la presión de la presentación afectaba sus respuestas fisiológicas. Durante esta tarea, se observaron aumentos notables en la frecuencia cardíaca y la respiración, evidenciando un estado de ansiedad al hablar en público frente a avatares que simulaban una audiencia crítica. Además, se utilizó el sistema Tobii para rastrear los movimientos oculares, proporcionando datos adicionales sobre la atención y la

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4

carga cognitiva de los participantes mientras enfrentaban esta tarea.

Implementación de la Actividad

La actividad de la conferencia sobre el cambio climático fue estructurada de la siguiente manera:

A cada participante se le dieron dos minutos para preparar una presentación sobre el impacto actual del cambio climático. Se les proporcionó un conjunto básico de datos y estadísticas para incorporar en su discurso. La conferencia se realizó en una Cámara de Gesell, frente a un panel de avatares en una pantalla, diseñados para simular una audiencia real con expresiones faciales y reacciones variadas.

Tras la preparación, los participantes tuvieron dos minutos para exponer sus puntos ante la audiencia virtual. Durante este tiempo, los avatares podían mostrar algunas reacciones, dando la sensación de estar siendo evaluados.

Tecnología Utilizada

Se usaron cámaras para capturar la expresión facial y el lenguaje corporal de los participantes. Los sensores como el Polar H10 y el Shimmer3 monitorearon continuamente las respuestas fisiológicas, tales como la [HR](#), [BR](#), [GSR](#) y [ET](#).

Impacto en los Participantes

La conferencia sobre el cambio climático demostró tener un impacto significativo en los niveles de estrés de los participantes, evidenciado por varias métricas fisiológicas y observaciones comportamentales.

Respuestas Fisiológicas:

- Aumento de la [HR](#): Los participantes mostraron un aumento notable en la frecuencia cardíaca.
- Variabilidad de la [HRV](#): Se observó una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca, señalando un aumento en la activación del sistema nervioso.
- Aumento en la [GSR](#): Hubo incrementos en la conductancia de la piel, reflejando una mayor respuesta al estrés.
- Aumento en la [BR](#): Los participantes experimentaron incrementos en su ritmo respiratorio, indicativo de una respuesta fisiológica al estrés.

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4

- Elevación en la fotopletismografía: Se registraron aumentos en las mediciones de fotopletismografía, que indican cambios en el flujo sanguíneo asociados con la respuesta al estrés.
- Comportamiento No Verbal: Los gestos y la postura de los participantes durante la conferencia mostraron signos de nerviosismo y tensión.
- Interacción con la Audiencia: Los participantes ajustaban sus respuestas según las reacciones visuales y comportamentales de los avatares, quienes a menudo proporcionaban retroalimentación crítica, intensificando así la percepción del estrés y la ansiedad durante la presentación.

Evaluación del Impacto:

Los datos recogidos ayudaron a entender mejor cómo las personas reaccionan fisiológica y emocionalmente bajo presión en situaciones de comunicación. Esta fase del test proporcionó puntos de vista valiosos sobre las estrategias de manejo del estrés y la eficacia de las intervenciones de preparación previas a la exposición al estrés. Este enfoque multifacético para evaluar el impacto de hablar en público sobre el estrés permitió a los capturar una amplia gama de respuestas, facilitando un análisis detallado de cómo los individuos enfrentan y manejan situaciones estresantes en contextos similares al de la conferencia sobre el cambio climático.

La figura 3.1 muestran una captura de un entorno virtual diseñado para simular una conferencia sobre el cambio climático, y representa la distribución de la atención de la mirada de los participantes. Las áreas superpuestas en colores desde el rojo hasta el morado indican los niveles de atención; las zonas moradas representan las áreas de mayor atención, mientras que las áreas en tonos más claros indican menor atención. Este mapa de calor ilustra cómo los participantes dirigieron su mirada durante la sesión, destacando las zonas que captaron más interés y aquellas que fueron menos observadas. Esta visualización ayuda a entender los patrones de atención en un entorno de realidad virtual durante una actividad.

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4



Figura 3.1: Atención de la mirada de los participantes durante la prueba.

Resolución de Cálculos Mentales

Esta actividad, diseñada para simular situaciones de alta presión, mostró consistentemente un patrón de estrés en los participantes, caracterizado por picos notables en la frecuencia cardíaca cada vez que cometían errores en los cálculos mentales y se veían obligados a iniciar el proceso nuevamente. Esta dinámica de repetición no solo prolongaba la duración de la tarea bajo presión, sino que también intensificaba su estado de ansiedad. La anticipación de posibles fallos y la presión por corregirlos en tiempo real contribuían a un ciclo continuo de estrés agudo, evidenciado por las mediciones fisiológicas.

La reacción física a estos errores, un aumento en la frecuencia cardíaca, servía como un indicador claro de la carga emocional y psicológica que los participantes experimentaban durante la prueba. Este aumento sostenido en la respuesta al estrés destacaba la efectividad del diseño del experimento para evocar y medir reacciones de ansiedad en un entorno controlado dando como resultado lo siguiente:

Respuestas Fisiológicas:

- Incremento de la **HR**: Casi todos los participantes mantuvieron su frecuencia

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4

cardíaca, lo que indica una reacción de estrés frente a la presión de realizar cálculos bajo observación.

- Reducción de la **HRV**: Se registró una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca.
- Aumento de la **GSR**: Se detectaron aumentos en la conductancia de la piel, reflejo de la intensidad del estrés psicológico durante la actividad.
- Incremento en la **BR**: Los patrones respiratorios se alteraron, mostrando una ligera disminución en la mayoría de participantes.
- Elevación en la fotopletismografía: Las mediciones mostraron variaciones en el volumen sanguíneo periférico, indicando fluctuaciones en la circulación causadas por el estrés.
- Comportamiento no verbal: Se observaron cambios en la postura y gestos de los participantes, tales como movimientos nerviosos y ajustes frecuentes en la posición, evidenciando su incomodidad.

Evaluación del Impacto: La evaluación de las respuestas durante la resolución de cálculos mentales proporcionó una comprensión de las dinámicas de estrés bajo condiciones de presión. Los datos recogidos demostraron cómo los individuos responden fisiológicamente a las demandas mentales intensas. Este segmento del test fue esencial para observar las estrategias de manejo del estrés en un contexto que requería un alto nivel de concentración y precisión bajo tiempo limitado.

Prueba de Stroop

La tarea de nombrar el color de la tinta, y no la palabra impresa, provocó confusión y estrés, reflejado en un incremento de todas las medidas fisiológicas monitoreadas.

Respuestas Fisiológicas:

- Aumento de la **HR**: La prueba de Stroop provocó una disminución en la frecuencia cardíaca de los participantes, destacando una respuesta menor de estrés provocado por la confusión entre el color y la palabra impresa.

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4

- Variabilidad de la **HRV**: Se observó una disminución en la variabilidad de la frecuencia cardíaca, indicativo de un estado de alerta elevado.
- Aumento en la **GSR**: Hubo un incremento en la conductancia de la piel, lo que refleja una mayor activación del sistema nervioso debido al estrés.
- Aumento en la **BR**: La respiración de los participantes se volvió más rápida y menos profunda, una manifestación típica de la respuesta al estrés.
- Elevación en la fotopletismografía: Esta medida también mostró incrementos, señalando alteraciones en el flujo sanguíneo como reacción al estrés cognitivo de la tarea.

Evaluación del Impacto:

La prueba de Stroop fue valiosa para entender las reacciones emocionales y fisiológicas ante conflictos cognitivos. La confusión inherente a la tarea, donde se exige ignorar el significado automático de las palabras y concentrarse en el color de la tinta, induce un tipo específico de estrés que es relevante para estudiar la capacidad de manejo de distracciones y conflictos internos.

Los resultados de esta fase del experimento permitieron una evaluación de cómo los individuos gestionan y responden a la confusión y el estrés en tareas que requieren atención selectiva y concentración.

Ejercicios de Relajación

Posteriormente a las intervenciones de estrés, se llevaron a cabo ejercicios de relajación y respiración que ayudaron a algunos participantes a reducir sus niveles de estrés, como se evidenció por una disminución en la **GSR** y normalización de la **HR** y **BR**.

Además de los cambios fisiológicos medidos, los participantes también reportaron sentirse más tranquilos después de los ejercicios. Estas técnicas no solo proporcionaron un alivio temporal, sino que también equiparon a los individuos con herramientas valiosas para gestionar el estrés en situaciones futuras. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar prácticas de relajación en los protocolos de

3.1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS MEDIANTE EL RIER SOCIAL STRESS TEST4

intervención de estrés, especialmente en entornos clínicos o terapéuticos donde la regulación emocional es fundamental.

Las figuras 3.4, 3.2 y 3.3. muestran los datos recogidos durante las pruebas con ambientes virtuales no inmersivos, monitoreando la frecuencia respiratoria, la conductancia galvánica de la piel, y la frecuencia cardíaca de cuatro participantes a lo largo del tiempo. La primera gráfica ilustra un patrón general de aumento en la frecuencia respiratoria, alcanzando su punto máximo cerca de la mitad de la sesión antes de descender gradualmente. La segunda muestra variaciones en la conductancia galvánica de la piel, reflejando diferentes niveles de respuesta al estrés de cada participante durante la prueba. Finalmente, la tercera gráfica demuestra un aumento constante en la frecuencia cardíaca de los participantes, con variaciones notables dependiendo del individuo, lo que sugiere una elevación en el nivel de estrés o actividad fisiológica a medida que interactuaban con el entorno virtual.

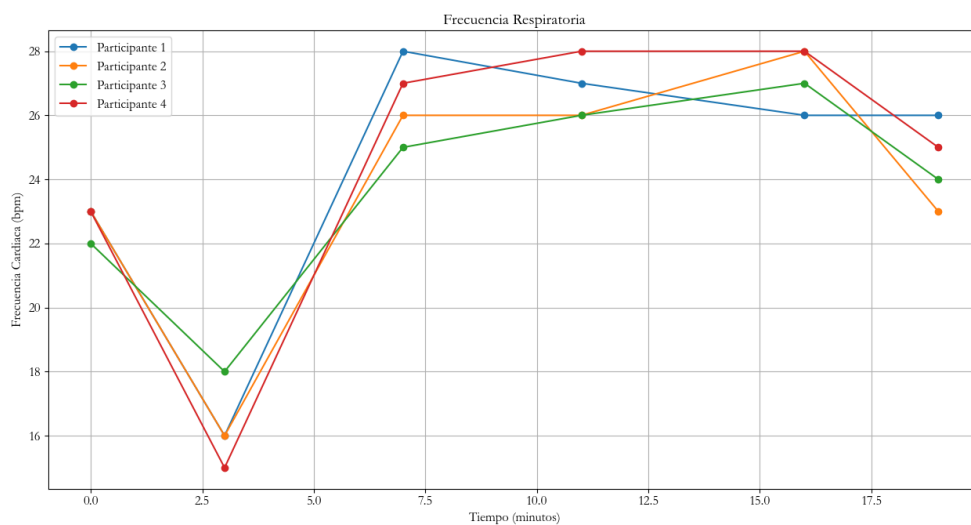


Figura 3.2: Frecuencia respiratoria de los participantes durante la prueba.

3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON AMBIENTES VIRTUALES NO INMERSIVOS

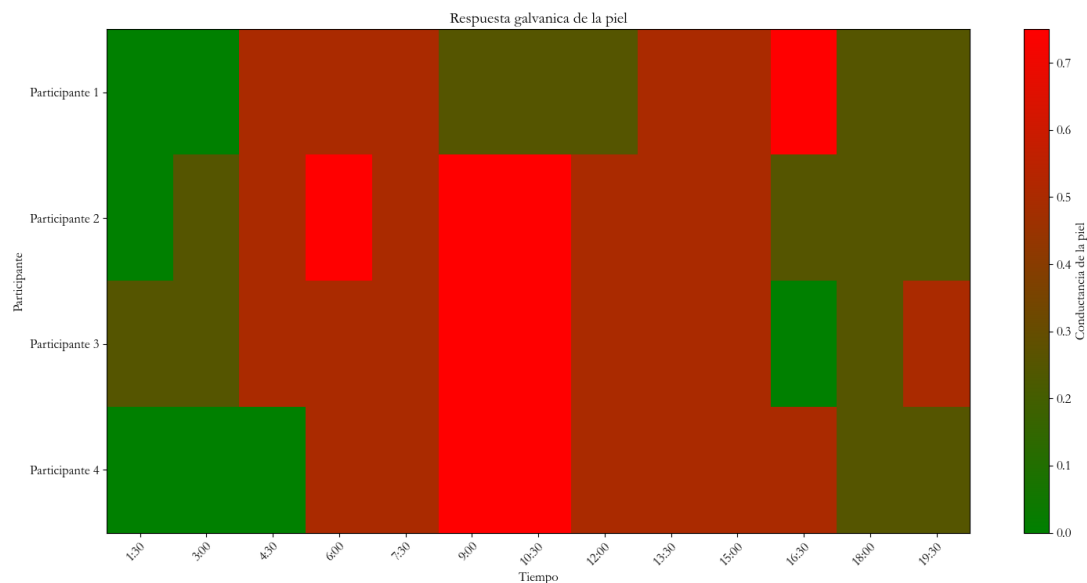


Figura 3.3: Conductancia de la piel de los participantes durante la prueba.

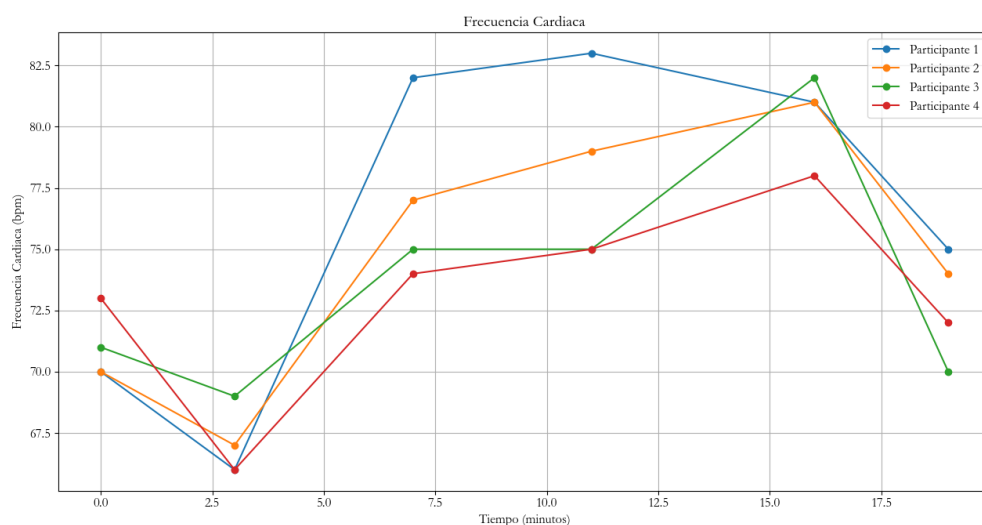


Figura 3.4: Frecuencia cardiaca de los participantes durante la prueba.

3.2. Resultados de las pruebas realizadas con ambientes virtuales no inmersivos

Las pruebas realizadas con el uso de ambientes virtuales no inmersivos, empleando el dispositivo Meta Quest 2, arrojaron datos relevantes sobre el impacto

3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON AMBIENTES VIRTUALES NO INMERSIVOS

de estos entornos en los usuarios. A lo largo de los siete minutos de interacción, se observaron varias respuestas fisiológicas y psicológicas significativas que contribuyen a nuestra comprensión de cómo la exposición a entornos virtuales menos inmersivos afecta a los individuos.

Respuestas Fisiológicas:

- Frecuencia Cardíaca (HR): La mayoría de los participantes mostró un leve aumento significativo en la frecuencia cardíaca al principio de la sesión, que se estabilizó después de los primeros minutos, sugiriendo una adaptación inicial al entorno virtual.
- Frecuencia Respiratoria (BR): Se registraron variaciones en la frecuencia respiratoria menores que con la prueba anterior, indicando que el nivel de actividad física reducido no imponía un estrés significativo.
- Resistencia Galvánica de la Piel (GSR): Hubo un incremento moderado en la GSR en algunos participantes, lo que puede reflejar una respuesta emocional al contenido visual y auditivo del ambiente virtual, aunque no fue uniforme en todos los casos.
- Presión Arterial: La presión arterial se mantuvo relativamente constante, con variaciones mínimas que no indican respuestas de estrés agudo.

Las respuestas fisiológicas de las personas a las esta sesión de pruebas se muestran en las figuras 3.7, 3.5 y 3.6.

Las figuras 3.7, 3.5 y 3.6, muestran las variaciones fisiológicas observadas en cinco participantes durante una sesión de siete minutos en un entorno virtual no inmersivo usando el dispositivo Meta Quest 2. Estos datos son clave para entender cómo las interacciones con entornos virtuales moderadamente inmersivos pueden influir en los estados emocionales y físicos de los usuarios.

3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON AMBIENTES VIRTUALES NO INMERS

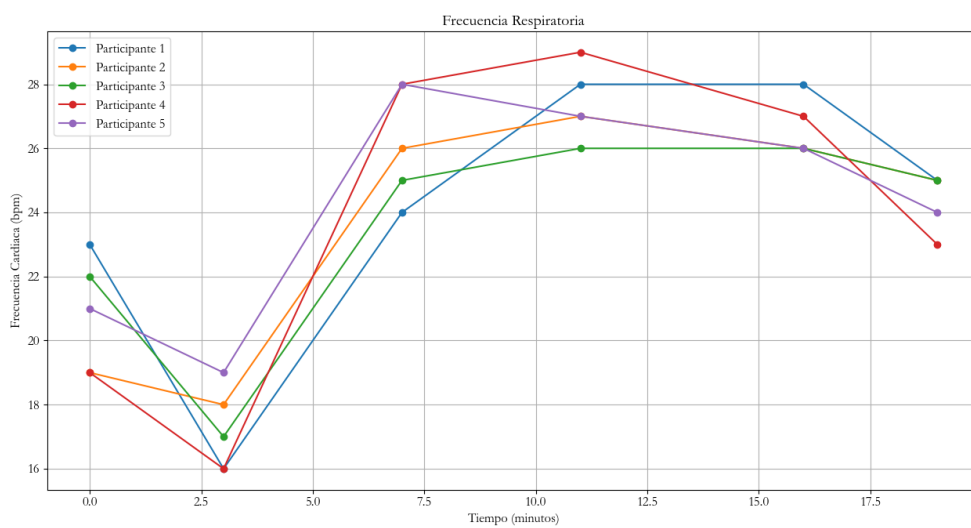


Figura 3.5: Frecuencia respiratoria de los participantes durante la prueba.

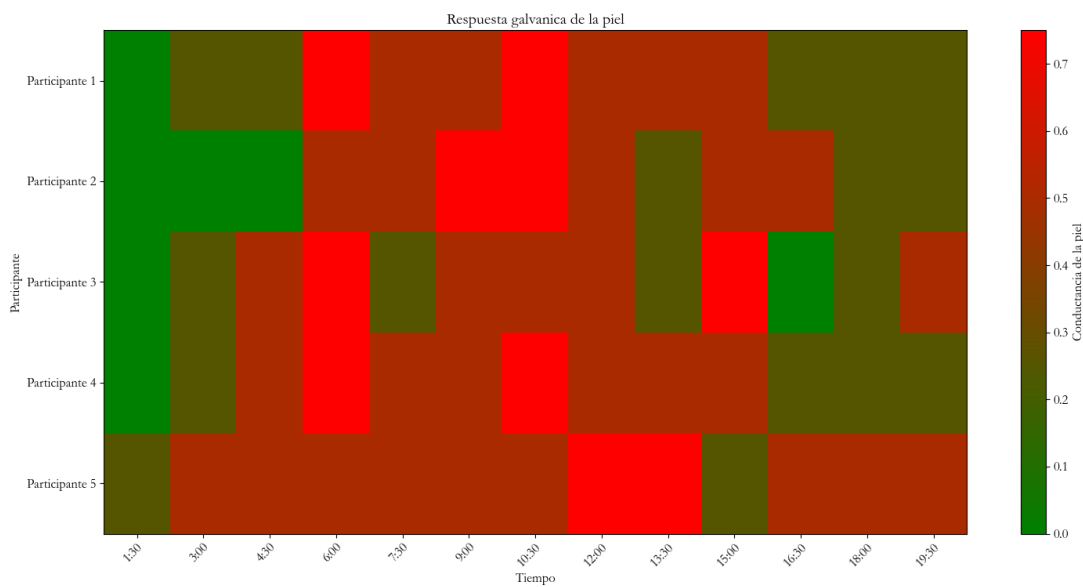


Figura 3.6: Conductancia de la piel de los participantes durante la prueba.

3.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON AMBIENTES VIRTUALES NO INMERS

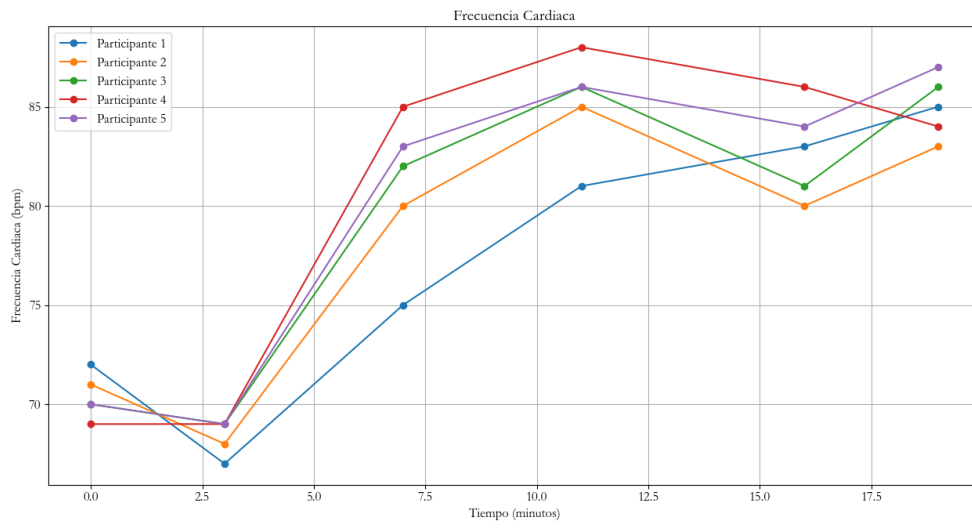


Figura 3.7: Frecuencia cardiaca de los participantes durante la prueba.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajos Futuros

Esta investigación valida la hipótesis propuesta, demostrando que es factible medir respuestas fisiológicas de personas que están expuestas a entornos virtuales.

La plataforma logró la captura eficiente de datos fisiológicos clave, como la frecuencia cardíaca, la resistencia galvánica de la piel y la dirección de la mirada. La implementación de sensores avanzados y la integración de estos datos en entornos de programación de código abierto han permitido un manejo flexible y extensible de los datos.

La interfaz desarrollada proporciona una visualización clara y accesible de las variables fisiológicas recogidas. Diseñada para ser intuitiva, la interfaz ha demostrado ser una herramienta útil tanto para los profesionales del área de psicología y para los pacientes, permitiendo un entendimiento inmediato y detallado de las métricas fisiológicas importantes. Esta visualización en tiempo real, junto con capacidades de almacenamiento seguras y eficientes, ha facilitado un seguimiento y análisis detallado de las condiciones del paciente, proporcionando una base para el diagnóstico y la evaluación continua.

La funcionalidad de generación automática de informes ha simplificado significativamente el proceso de documentación y análisis de las sesiones. Estos informes, que incluyen datos y gráficos de las variables fisiológicas, han sido fundamentales en el área terapéutica, ofreciendo a los profesionales una herramienta robusta para evaluar la efectividad de las intervenciones.

La adaptación del Trier Social Stress Test a entornos virtuales ha probado ser un

método efectivo para simular y cuantificar el estrés, lo que abre nuevas posibilidades para investigaciones en el campo de la psicología y es de gran utilidad para evaluar y diseñar intervenciones terapéuticas enfocadas en el manejo del estrés.

Las pruebas demostraron la capacidad para generar estrés de forma controlada y evaluar sus impactos ofrece una herramienta para estudios que requieren una comprensión del estrés sin exponer a los participantes a riesgos innecesarios. Desde una perspectiva clínica, identificar que las respuestas fisiológicas pueden ser inducidas y medidas en entornos virtuales sugiere nuevas direcciones para tratamientos que utilicen estas tecnologías para evaluar a pacientes y adaptar técnicas de manejo de acuerdo a sus necesidades.

Estos resultados estimulan el desarrollo de futuras aplicaciones clínicas y educativas que emplean la realidad virtual como herramienta para diagnóstico, tratamiento y entrenamiento en habilidades de manejo de estrés. Estas innovaciones tienen el potencial de ampliar la efectividad de las intervenciones psicológicas y terapéuticas, adaptándose a la era digital y satisfaciendo las necesidades específicas de los pacientes de una manera accesible y segura. Este enfoque podría transformar significativamente la práctica clínica, aprovechando las ventajas de las tecnologías digitales en la salud mental.

Glosario

BR Frecuencia Respiratoria – Breath Reate.

ECG Electrocardiograma – Electrocardigram.

EDA Actividad Electrodermal – Electrodermal Activity.

EEG Electroencefalográficas – Electroencephalographic.

EOG Electrooculografía – Electroocoulogram.

ET Seguimiento Ocular – Eye Tracking.

GSR Respuesta Galvanica de la Piel – Galvanic Skin Response.

HCI Interacción Humano-Computadora – Human-Computer Interaction.

HR Frecuencia Cardiaca – Heart Reate.

HRV Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca – Heart Rate Variability.

PTSD Trastorno de Estrés Postromántico – Post-Traumatic Stress Disorder.

SKT Temperatura de la Piel – Skin Temperature.

VE Entornos Virtuales – Virtual Environments.

VR Realidad Virtual – Virtual Reality.

VRET Terapia de Exposición en Realidad Virtual – Virtual Reality Exposure Therapy.

Referencias

- [1] R. Pathan, R. Rajendran y S. Murthy, «Mechanism to capture learner's interaction in VR-based learning environment: design and application,» *Smart Learning Environments*, vol. 7, n.º 1, pág. 35, 26 de nov. de 2020, ISSN: 2196-7091. DOI: 10.1186/s40561-020-00143-6. dirección: <https://doi.org/10.1186/s40561-020-00143-6> (visitado 13-03-2024).
- [2] F. Bolinski, A. Etzelmüller, N. A. De Witte et al., «Physiological and self-reported arousal in virtual reality versus face-to-face emotional activation and cognitive restructuring in university students: A crossover experimental study using wearable monitoring,» *Behaviour Research and Therapy*, vol. 142, pág. 103877, jul. de 2021, ISSN: 00057967. DOI: 10.1016/j.brat.2021.103877. dirección: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0005796721000760> (visitado 25-03-2024).
- [3] B. Schöne, J. Kisker, L. Lange, T. Gruber, S. Sylvester y R. Osinsky, «The reality of virtual reality,» *Frontiers in Psychology*, vol. 14, pág. 1093014, 15 de feb. de 2023, ISSN: 1664-1078. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1093014. dirección: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2023.1093014/full> (visitado 25-03-2024).
- [4] A. D. Nair, «A Brief Study on Virtual Reality,» *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 9, n.º 4, págs. 665-666, 30 de abr. de 2021, ISSN: 23219653. DOI: 10.22214/ijraset.2021.33664. dirección: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=33664> (visitado 23-04-2024).
- [5] X. Ma, «Application Research of Virtual Reality Technology,» *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1624, n.º 6, pág. 062018, 1 de oct. de 2020, ISSN: 1742-6588, 1742-6596. DOI: 10.1088/1742-6596/1624/6/062018. dirección: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1624/6/062018> (visitado 23-04-2024).

- [6] Y. Zhang, H. Liu, S.-C. Kang y M. Al-Hussein, «Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities,» *Automation in Construction*, vol. 118, pág. 103311, oct. de 2020, ISSN: 09265805. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103311. dirección: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580520301394> (visitado 23-04-2024).
- [7] T. A. Garner, «Applications of virtual reality,» en *Echoes of Other Worlds: Sound in Virtual Reality*. Cham: Springer International Publishing, 2018, págs. 299-362, ISBN: 978-3-319-65707-3 978-3-319-65708-0. DOI: 10.1007/978-3-319-65708-0_9. dirección: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-65708-0_9 (visitado 23-04-2024).
- [8] Vivi Melinda y Andree Emmanuel Widjaja, «Virtual Reality Applications in Education,» *International Transactions on Education Technology (ITEE)*, vol. 1, n.º 1, págs. 68-72, 29 de nov. de 2022, ISSN: 2963-1947, 2963-6078. DOI: 10.34306/itee.v1i1.194. dirección: <https://journal.pandawan.id/itee/article/view/194> (visitado 23-04-2024).
- [9] E. Smets, W. De Raedt y C. Van Hoof, «Into the Wild: The Challenges of Physiological Stress Detection in Laboratory and Ambulatory Settings,» *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 23, n.º 2, págs. 463-473, mar. de 2019, ISSN: 2168-2194, 2168-2208. DOI: 10.1109/JBHI.2018.2883751. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8550712/> (visitado 23-04-2024).
- [10] A. Dessai y H. Virani, «Emotion Detection Using Physiological Signals,» en *2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, Cape Town, South Africa: IEEE, 9 de dic. de 2021, págs. 1-4, ISBN: 978-1-66544-231-2. DOI: 10.1109/ICECET52533.2021.9698729. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9698729/> (visitado 23-04-2024).
- [11] A. Halbig y M. E. Latoschik, «A Systematic Review of Physiological Measurements, Factors, Methods, and Applications in Virtual Reality,» *Frontiers in Virtual Reality*, vol. 2, pág. 694567, 14 de jul. de 2021, ISSN: 2673-4192. DOI: 10.3389/frvir.2021.694567. dirección: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.694567/full> (visitado 25-03-2024).
- [12] B. Cebeci, U. Celikcan y T. K. Capin, «A comprehensive study of the affective and physiological responses induced by dynamic virtual reality environments,» *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 30, n.º 3, e1893, mayo de 2019, ISSN: 1546-4261,

- 1546-427X. DOI: 10.1002/cav.1893. dirección: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cav.1893> (visitado 25-03-2024).
- [13] D. Gromer, M. Reinke, I. Christner y P. Pauli, «Causal Interactive Links Between Presence and Fear in Virtual Reality Height Exposure,» *Frontiers in Psychology*, vol. 10, pág. 141, 30 de ene. de 2019, ISSN: 1664-1078. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00141. dirección: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.00141/full> (visitado 27-03-2024).
- [14] A. Rizzo, S. Thomas Koenig y T. B. Talbot, «Clinical Results Using Virtual Reality,» *Journal of Technology in Human Services*, vol. 37, n.º 1, págs. 51-74, 2 de ene. de 2019, ISSN: 1522-8835, 1522-8991. DOI: 10.1080/15228835.2019.1604292. dirección: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15228835.2019.1604292> (visitado 25-03-2024).
- [15] C. M. Krogmeier, «Exploring Human Responses to a Virtual Character Bump,» thesis, Purdue University Graduate School, 11 de jun. de 2019. DOI: 10.25394/PGS.8038763.v1. dirección: https://hammer.purdue.edu/articles/thesis/Exploring_Human_Responses_to_a_Virtual_Character_Bump/8038763/1 (visitado 27-03-2024).
- [16] M. A. Martens, A. Antley, D. Freeman, M. Slater, P. J. Harrison y E. M. Tunbridge, «It feels real: physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory,» *Journal of Psychopharmacology*, vol. 33, n.º 10, págs. 1264-1273, oct. de 2019, ISSN: 0269-8811, 1461-7285. DOI: 10.1177/0269881119860156. dirección: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269881119860156> (visitado 25-03-2024).
- [17] Y. Niu, D. Wang, Z. Wang, F. Sun, K. Yue y N. Zheng, «User Experience Evaluation in Virtual Reality based on Subjective Feelings and Physiological Signals,» *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 63, n.º 6, págs. 060413-1-060413-11, 1 de nov. de 2019, ISSN: 1943-3522. DOI: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2019.63.6.060413. dirección: <https://library.imaging.org/jist/articles/63/6/jist0730> (visitado 25-03-2024).
- [18] O. Mosquera-Dussán, D. Guzmán-Pérez, P. Terán-Ortega et al., «Decisión Making, Stress Assessed by Physiological Response and Virtual Reality Stimuli,» *Revista Colombiana de Psicología*, vol. 29, n.º 2, págs. 89-103, dic. de 2020, ISSN: 0121-5469. DOI: 10.15446/rcp.v29n2.742800. dirección: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=>

- sci_abstract&pid=S0121-54692020000200089&lng=en&nrm=iso&tlng=en (visitado 27-03-2024).
- [19] S. Min, J.-g. Moon, C.-H. Cho y G. J. Kim, «Effects of Immersive Virtual Reality Content Type to Mindfulness and Physiological Parameters,» en *26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, Place: Virtual Event Canada, ACM, nov. de 2020, págs. 1-9, ISBN: 978-1-4503-7619-8. DOI: 10.1145/3385956.3418942. dirección: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3385956.3418942> (visitado 25-03-2024).
- [20] S. Kalantari, J. D. Rounds, J. Kan, V. Tripathi y J. G. Cruz-Garza, «Comparing physiological responses during cognitive tests in virtual environments vs. in identical real-world environments,» *Scientific Reports*, vol. 11, n.º 1, pág. 10227, 13 de mayo de 2021, ISSN: 2045-2322. DOI: 10.1038/s41598-021-89297-y. dirección: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89297-y> (visitado 25-03-2024).
- [21] J. Kisker, T. Gruber y B. Schöne, «Behavioral realism and lifelike psychophysiological responses in virtual reality by the example of a height exposure,» *Psychological Research*, vol. 85, n.º 1, págs. 68-81, feb. de 2021, ISSN: 0340-0727, 1430-2772. DOI: 10.1007/s00426-019-01244-9. dirección: <http://link.springer.com/10.1007/s00426-019-01244-9> (visitado 25-03-2024).
- [22] M. Lukacs, «Creation of a Virtual Interface for Stress-Trauma Investigations through Open World Navigation: An Exploration of Tolerability and Physiological Reactions,» *Electronic Thesis and Dissertation Repository*, 19 de ago. de 2021. dirección: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/8004>.
- [23] J. Li y J.-E. Kim, «The Effect of Task Complexity on Time Estimation in the Virtual Reality Environment: An EEG Study,» *Applied Sciences*, vol. 11, n.º 20, pág. 9779, 19 de oct. de 2021, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/app11209779. dirección: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/20/9779> (visitado 26-03-2024).
- [24] T. Luong y C. Holz, «Characterizing Physiological Responses to Fear, Frustration, and Insight in Virtual Reality,» *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 28, n.º 11, págs. 3917-3927, nov. de 2022, ISSN: 1077-2626, 1941-0506, 2160-9306. DOI: 10.1109/TVCG.2022.3203113. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9873958/> (visitado 25-03-2024).

- [25] Y. Zhu y A. Dey, «Comparing Physiological and Emotional Effects of Happy and Sad Virtual Environments Experienced in Video and Virtual Reality,» en *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, Place: Christchurch, New Zealand, IEEE, mar. de 2022, págs. 848-849, ISBN: 978-1-66548-402-2. DOI: 10.1109/VRW55335.2022.00275. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9757493/> (visitado 27-03-2024).
- [26] F. Chiossi, R. Welsch, S. Villa, L. Chuang y S. Mayer, «Virtual Reality Adaptation Using Electrodermal Activity to Support the User Experience,» *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 6, n.º 2, pág. 55, 13 de mayo de 2022, ISSN: 2504-2289. DOI: 10.3390/bdcc6020055. dirección: <https://www.mdpi.com/2504-2289/6/2/55> (visitado 27-03-2024).
- [27] Y.-Y. Wang, T.-H. Weng, I.-F. Tsai, J.-Y. Kao e Y.-S. Chang, «Effects of virtual reality on creativity performance and perceived immersion: A study of brain waves,» *British Journal of Educational Technology*, vol. 54, n.º 2, págs. 581-602, mar. de 2023, ISSN: 0007-1013, 1467-8535. DOI: 10.1111/bjet.13264. dirección: <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.13264> (visitado 26-03-2024).
- [28] N. Baghaei, P. Balakrishnan, L. Greig, R. Porter y J. D. Henry, «Visualising Physiological Cues in Individualised Virtual Reality for Mental Health,» en *2023 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Place: Sydney, Australia, IEEE, 16 de oct. de 2023, págs. 340-344, ISBN: 9798350328912. DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct60411.2023.00073. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10322159/> (visitado 25-03-2024).
- [29] J. Wu, T.-M. Phillip, V. Doretto et al., «An inactive control of the ‘trier social stress test’ for youth 10–17 years: Neuroendocrine, cardiac, and subjective responses,» *Psychoneuroendocrinology*, vol. 104, págs. 152-164, jun. de 2019, ISSN: 03064530. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2019.02.027. dirección: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306453018310825> (visitado 23-07-2024).
- [30] B. Kudielka, S. Wüst, C. Kirschbaum y D. Hellhammer, «Trier social stress test,» en *Encyclopedia of Stress*, Elsevier, 2007, págs. 776-781, ISBN: 978-0-12-373947-6. DOI: 10.1016/B978-012373947-6.00681-4. dirección: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123739476006814> (visitado 23-07-2024).

- [31] I. K. Sequeira, A. S. Longmire y N. J. McKay, «Trier social stress test elevates blood pressure, heart rate, and anxiety, but a singing test or unsolvable anagrams only elevates heart rate, among healthy young adults,» *Psych*, vol. 3, n.º 2, págs. 171-183, 3 de jun. de 2021, ISSN: 2624-8611. DOI: 10.3390/psych3020015. dirección: <https://www.mdpi.com/2624-8611/3/2/15> (visitado 23-07-2024).