

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación

### **Modelo de clasificación de emociones para la selección del mejor modo de interacción en estudiantes universitarios, basado en encuestas y en la aplicación y uso de dispositivos tecnológicos**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Ciencias de la Computación


#### **Autores:**

José María Berrezueta Domínguez

Santiago José Lituma Webster


#### **Director:**

Paúl Esteban Cárdenas Delgado

ORCID:  0000-0003-0526-8519

#### **Co-Director:**

Irene Priscila Cedillo Orellana

ORCID:  0000-0002-6787-0655

**Cuenca, Ecuador**

2024-08-30

## Resumen

La interacción de usuario es una preocupación para diseñadores, programadores e ingenieros, ya que el usuario decide la aceptación de una solución tecnológica, por lo que debe sentirse a gusto con la solución creada. Dado que pocos estudios se centran en adaptar la tecnología de acuerdo a sus características específicas, se ha encontrado la necesidad de realizar un estudio sobre estos atributos en relación con los modos de interacción usados.

Este trabajo desarrolla un cuestionario validado para identificar las características demográficas, tecnológicas y de expertise que influyen en el estado afectivo de un estudiante de acuerdo a un modo de interacción determinado. Esta encuesta va de la mano con un modelo con el fin de obtener el estado emocional de la persona al usar un dispositivo específico. Se desarrolló una metodología única combinando un proceso experimental con CRISP DM, integrando sus pasos finales para crear conjuntamente la encuesta y el modelo.

El estudio incluyó a 64 estudiantes universitarios que participaron en una encuesta en la que se recogieron datos demográficos, de preferencia y experticia tecnológica. Se midió el rendimiento de los participantes y sus estados afectivos (valencia, dominancia y excitación), durante sus interacciones con cada dispositivo. Se identificaron correlaciones significativas entre las características personales, el rendimiento y los estados afectivos para cada dispositivo utilizado. También se obtuvieron las características que influyen en el estado afectivo de la persona y se entrenó un modelo capaz de predecir las variables afectivas con la cantidad suficiente de datos.

*Palabras clave del autor:* Interacción hombre-máquina (HCI), computación afectiva, personalización de interfaces



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

User interaction is a concern for designers, programmers and engineers, since the user decides the acceptance of a technological solution, so he/she must feel at ease with the created solution. Since few studies focus on adapting technology according to its specific characteristics, the need for a study on these attributes in relation to the interaction modes used has been found.

This work develops a validated questionnaire to identify the demographic, technological and expertise characteristics that influence the affective state of a student according to a given interaction mode. This survey goes hand in hand with a model in order to elicit a person's emotional state when using a specific device. A unique methodology was developed by combining an experimental process with CRISP DM, integrating its final steps to jointly create the survey and the model.

The study included 64 university students who participated in a survey in which demographic, preference and technological expertise data were collected. Participants' performance and affective states (valence, dominance, and arousal) were measured during their interactions with each device. Significant correlations between personal characteristics, performance and affective states were identified for each device used. We also obtained the characteristics that influence the person's affective state and trained a model capable of predicting the affective variables with sufficient amount of data.

*Autor keywords:* Human-machine interaction (HCI), affective computing, interface customization



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights. **Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b> .....                                  | <b>12</b> |
| 1.1      | Motivación .....   | 12        |
| 1.2      | Planteamiento del problema .....                           | 13        |
| 1.3      | Solución propuesta .....                                   | 14        |
| 1.4      | Objetivos .....  | 14        |
| 1.4.1    | Objetivo general .....                                     | 14        |
| 1.4.2    | Objetivos específicos .....                                | 14        |
| 1.5      | Contexto del Proyecto .....                                | 15        |
| 1.6      | Metodología de la investigación .....                      | 15        |
| 1.7      | Estructura del trabajo de titulación .....                 | 17        |
| <b>2</b> | <b>Marco teórico</b> .....                                 | <b>21</b> |
| 2.1      | Interacción Humano-Computador (HCI) .....                  | 21        |
| 2.1.1    | Modos de Interacción Humano-Computador .....               | 22        |
| 2.1.1.1  | Dispositivos en la Interacción Humano-Computador .....     | 23        |
| 2.2      | Estados Afectivos .....                                    | 30        |
| 2.2.1    | Medición de Emociones .....                                | 31        |
| 2.2.1.1  | Maniquí de Autoevaluación (SAM) .....                      | 31        |
| 2.3      | Aprendizaje de Máquina .....                               | 33        |
| 2.3.1    | Modelos de Regresión .....                                 | 34        |
| 2.3.1.1  | Selección de Características .....                         | 35        |
| <b>3</b> | <b>Revisión Literaria</b> .....                            | <b>37</b> |
| 3.1      | Marco Histórico .....                                      | 37        |
| 3.2      | Tendencias Actuales y Huecos de Conocimiento .....         | 38        |
| 3.3      | Jerarquía de Temas Actuales .....                          | 41        |
| <b>4</b> | <b>Proceso experimental (Fase 1 - Investigación)</b> ..... | <b>43</b> |
| 4.1      | Definición del alcance .....                               | 43        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2      | Planificación . . . . .   | 44        |
| 4.2.1    | Selección del contexto . . . . .  | 44        |
| 4.2.2    | Formulación de hipótesis . . . . .  | 44        |
| 4.2.3    | Selección de variables . . . . .  | 46        |
| 4.2.4    | Selección de sujetos . . . . .  | 47        |
| 4.2.5    | Elección de diseño . . . . .  | 47        |
| 4.2.6    | Instrumentación . . . . .   | 48        |
| 4.2.6.1  | Encuesta integral del perfil personal y tecnológico . . . . .                           | 48        |
| 4.2.6.2  | Preguntas del cuestionario SAM (Self-Assessment Mankin) . . . . .                       | 55        |
| 4.2.6.3  | Aplicativo . . . . .  | 57        |
| 4.2.6.4  | Protocolo Experimental . . . . .  | 60        |
| <b>5</b> | <b>Proceso experimental (Fase 2 - Creación del modelo de aprendizaje automático)</b>    | <b>68</b> |
| 5.1      | Operación . . . . .   | 68        |
| 5.1.1    | Prueba piloto . . . . .   | 68        |
| 5.1.1.1  | Viabilidad, tiempos y riesgos del experimento . . . . .                                 | 69        |
| 5.1.1.2  | Validación de la encuesta . . . . .   | 69        |
| 5.1.2    | Ejecución . . . . .   | 70        |
| 5.1.2.1  | Desarrollo del cuasi-experimento . . . . .  | 70        |
| 5.1.3    | Validación y limpieza de datos . . . . .  | 70        |
| 5.1.4    | Entrenamiento de los modelos de regresión . . . . .                                     | 71        |
| 5.1.4.1  | Metodología usada para el entrenamiento de los modelos . . . . .                        | 72        |
| 5.1.4.2  | Selección de características . . . . .  | 73        |
| 5.1.4.3  | Entrenamiento . . . . .   | 74        |
| <b>6</b> | <b>Resultados</b> . . . . .   | <b>77</b> |
| 6.1      | Análisis e interpretación . . . . .   | 77        |
| 6.1.1    | Estadísticos descriptivos . . . . .   | 77        |
| 6.1.1.1  | Análisis de distribuciones de las encuestas de perfil personal y tecnológico: . . . . . | 77        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.1.1.2  | Análisis de distribuciones de las variables afectivas de la encuesta SAM: . . . . . | 80         |
| 6.1.1.3  | Correlaciones destacables . . . . .   | 85         |
| 6.1.2    | Selección de las variables con mayor información . . . . .                          | 90         |
| 6.1.3    | Modelos entrenados . . . . .  | 91         |
| 6.1.4    | Prueba de hipótesis . . . . .   | 95         |
| 6.2      | Presentación y difusión . . . . .   | 96         |
| <b>7</b> | <b>Conclusiones y trabajo futuro . . . . .</b>                                      | <b>98</b>  |
| 7.1      | Conclusiones . . . . .  | 98         |
| 7.2      | Trabajo Futuro . . . . .  | 99         |
|          | <b>Referencias . . . . .</b>  | <b>102</b> |
| <b>8</b> | <b>Anexos . . . . .</b>   | <b>116</b> |
| A        | Consentimiento Informado . . . . .  | 116        |
| B        | Gráficas de distribución . . . . .  | 117        |
| C        | Tablas de resultados de los modelos entrenados . . . . .                            | 128        |

## Índice de figuras

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1.1. Modelo de investigación cuantitativo. Fuente: [1] . . . . .                                     | 15  |
| Figura 1.2. Estructura del trabajo de titulación. Fuente: Elaboración propia. . . . .                       | 20  |
| Figura 4.1. Pantalla de juego. . . . .  | 58  |
| Figura 5.1. Estructura de las metodologías usadas. Fuente: Elaboración propia. . . . .                      | 72  |
| Figura 6.1. Distribución de las variables afectivas con el uso del ratón. . . . .                           | 81  |
| Figura 6.2. Distribución de las variables afectivas con el uso del teclado. . . . .                         | 81  |
| Figura 6.3. Distribución de las variables afectivas con el uso del gamepad. . . . .                         | 82  |
| Figura 6.4. Distribución de las variables afectivas con el uso de dispositivo táctil. . . . .               | 82  |
| Figura 6.5. Distribución de las variables afectivas con el uso del <i>eyetracker</i> . . . . .              | 83  |
| Figura 6.6. Distribución de las variables afectivas con el uso del <i>Leap Motion</i> . . . . .             | 84  |
| Figura 6.7. Distribución de las variables afectivas con el uso de realidad virtual. . . . .                 | 84  |
| Figura A.1. Consentimiento Informado. . . . .   | 116 |
| Figura B.2. Distribución de la edad de los encuestados. . . . .   | 117 |
| Figura B.3. Distribución del género (M es masculino, y F es femenino) de los encuestados. . . . .           | 117 |
| Figura B.4. Distribución de la ubicación geográfica en la que se ubican los encuestados. . . . .            | 118 |
| Figura B.5. Distribución de los idiomas entendidos por los encuestados. . . . .                             | 118 |
| Figura B.6. Distribución de las habilidades tecnológicas que consideran que tienen los encuestados. . . . . | 119 |
| Figura B.7. Distribución de tiempo que llevan usando dispositivos tecnológicos los encuestados. . . . .     | 119 |
| Figura B.8. Distribución de la razón de uso de internet de los encuestados. . . . .                         | 120 |
| Figura B.9. Distribución de dispositivos de entretenimiento que poseen los encuestados. . . . .             | 120 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura B.10. Distribución de las redes sociales en las que poseen una cuenta los encuestados. . . . .           | 120 |
| Figura B.11. Distribución de uso de dispositivos inteligentes por los encuestados. . . . .                      | 121 |
| Figura B.12. Distribución del uso de asistentes virtuales por los encuestados. . . . .                          | 121 |
| Figura B.13. Distribución de la frecuencia de uso de dispositivos tecnológicos por los encuestados. . . . .     | 122 |
| Figura B.14. Distribución de los dispositivos que usa con más frecuencia por parte de los encuestados. . . . .  | 122 |
| Figura B.15. Distribución de la frecuencia de uso de aplicaciones móviles por parte de los encuestados. . . . . | 123 |
| Figura B.16. Distribución de la frecuencia de uso de servicios en línea por parte de los encuestados. . . . .   | 123 |
| Figura B.17. Distribución del principal tipo de conexión a internet que poseen los encuestados. . . . .         | 124 |
| Figura B.18. Distribución de la situación laboral de los encuestados. . . . .                                   | 124 |
| Figura B.19. Distribución del tipo de contrato laboral que tienen los encuestados. . . . .                      | 125 |
| Figura B.20. Distribución de los encuestados que realizan teletrabajo. . . . .                                  | 125 |
| Figura B.21. Distribución de los encuestados que realizan formación continua. . . . .                           | 126 |
| Figura B.22. Distribución de dispositivos digitales que poseen los encuestados. . . . .                         | 126 |
| Figura B.23. Distribución de dispositivos para propósitos académicos que usan los encuestados. . . . .          | 126 |
| Figura B.24. Distribución de los lugares en los que los encuestados usan conexión a internet. . . . .           | 127 |
| Figura B.25. Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 1). . . . .                       | 127 |
| Figura B.26. Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 2). . . . .                       | 128 |
| Figura B.27. Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 3). . . . .                       | 128 |

### Índice de tablas

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Tabla 4.1.  | Operacionalización de las variables de perfil personal y tecnológico . . . . .  | 46  |
| Tabla 4.2.  | Operacionalización de las variables de estado afectivo . . . . .  | 47  |
| Tabla 4.3.  | Valores de <i>alfa de Cronbach</i> por variable obtenida en la sección 5.1.1 de la prueba piloto. . . . .                   | 49  |
| Tabla 4.4.  | Preguntas Demográficas del cuestionario. . . . .  | 50  |
| Tabla 4.5.  | Preguntas Tecnológicas del cuestionario. . . . .  | 50  |
| Tabla 4.6.  | Preguntas de preferencia de uso tecnológico del cuestionario. . . . .   | 51  |
| Tabla 4.7.  | Preguntas Laborales del cuestionario. . . . .   | 51  |
| Tabla 4.8.  | Preguntas sobre expertise con dispositivos del cuestionario. . . . .  | 51  |
| Tabla 4.9.  | Preguntas sobre expertise con dispositivos del cuestionario (continuación). . . . .   | 52  |
| Tabla 4.10. | Preguntas del cuestionario SAM. . . . .   | 57  |
| Tabla 6.1.  | Características con mayor información respecto a las variables afectivas respecto al uso de distintos dispositivos. . . . . | 91  |
| Tabla 6.2.  | Métricas de rendimiento por dispositivo usando <i>Random Forest</i> . . . . .   | 92  |
| Tabla 6.3.  | Métricas de rendimiento por dispositivo usando regresión polinómica. . . . .  | 93  |
| Tabla 6.4.  | Impacto de PCA en el Rendimiento de los Modelos. . . . .  | 93  |
| Tabla 6.5.  | Comparación de Modelos sin PCA. . . . .   | 94  |
| Tabla 6.6.  | Métricas de rendimiento del dispositivo <i>eyetracker</i> sin PCA. . . . .  | 94  |
| Tabla C.27. | Parámetros de los mejores modelos entrenados. . . . .   | 130 |
| Tabla C.27. | Comparación de los resultados de los modelos entrenados. . . . .  | 132 |

### **Dedicatoria**

#### **José María Berrezueta Domínguez**

A mi padre, a mi madre y a mi hermano, que a lo largo de toda mi carrera académica me han brindado su apoyo completo en todo momento. Gracias a ellos, he seguido adelante tanto en buenos momentos como en los difíciles.

A mi tía Mady, quien me inspiró a seguir este campo de estudio, que ha resultado ser mi pasión. A ella que me ha apoyado todo este tiempo tanto en mi vida académica como en la personal.

A mis amigos que hice durante la carrera, que han hecho de esta etapa algo mucho más ameno y han permitido que la universidad sea un espacio cómodo y gratificante.

#### **Santiago Jose Lituma Webster**

A mis padres, el pilar principal de mi desarrollo personal recae en sus hombros, el gigantesco peso que han soportado a lo largo de los años ha acumulado una deuda impagable.

A mis amigos, colegas de largas jornadas que en las mejores y peores condiciones supieron darme ese segundo aire tan necesario para completar los obstáculos a superar tanto en mi vida académica como en la tumultuosa etapa entre la adolescencia y adultez.

De manera muy especial a mi abuela Celia. Esta dedicatoria busca expresar el profundo amor y la infinita paciencia que me has brindado en cada momento de mi vida. Abuela, nunca imaginé que llegarías a verme convertido en un profesional, pero tu fortaleza y amor me han acompañado hasta este logro. Esta tesis es para ti, Celia, con todo mi corazón. Finalmente verás a tu nieto graduado, y nada me hace más feliz que compartir este momento contigo. Gracias por ser mi inspiración y mi apoyo incondicional.

Robando la frase a alguien que el tiempo y mi memoria le han arrebatado la autoría:

"Felicidad no es tenerlo todo, sino ya no desear nada más"

### Agradecimientos

Agradecemos, en primer lugar, a la Universidad de Cuenca por brindarnos la oportunidad de cursar esta carrera.

Asimismo, extendemos nuestra gratitud al director de este trabajo de titulación, el Ing. Paúl Cárdenas, y a la codirectora, la Ing. Priscila Cedillo, por su constante apoyo y paciencia durante el proceso de enseñanza y guía durante el desarrollo de este estudio.

Agradecemos la contribución de los participantes de nuestras pruebas, sin cuya cooperación no habríamos alcanzado los resultados obtenidos. Así también a nuestros compañeros y amigos, con mención especial a Andrea, Camila, Yuzabeth, Luis y Verónica, por su apoyo durante las diferentes etapas del desarrollo de este trabajo de titulación.

Por último, pero no menos importante, agradecemos a *Tainy*, cuyo álbum "DATA" fue una inspiración y motivación para superar todas las dificultades que se presentaron a lo largo del arduo camino, no solo académicamente sino también en las vidas personales de cada uno de nosotros.

**Berrezueta J., Lituma S.**

## 1. Introducción

El propósito de este capítulo es exponer la motivación, el contexto, la problemática actual y la solución propuesta en este trabajo de titulación, abarcando las hipótesis, así como los objetivos generales y específicos. También se destacan las contribuciones científicas derivadas del desarrollo de este proyecto.

### 1.1. Motivación

La Interacción Humano-Computador (HCI) es una disciplina considerada durante el diseño de interfaces y sistemas tecnológicos, fundamental para asegurar calidad de uso dentro de un sistema [2]. La HCI se centra en estudiar la manera en que los humanos interactúan con las computadoras, abordando cómo mejorar esas interacciones para proporcionar experiencias más satisfactorias y naturales [3]. También investiga diversos modos de interacción, como hápticos, visuales, auditivos, cerebrales y fisiológicos [4], con el objetivo de seleccionar la interacción más adecuada para un usuario, teniendo en cuenta sus destrezas, capacidades y preferencias [5]. De esta manera, puede aplicarse a diferentes tipos de usuarios de un sistema tecnológico, mejorando su interacción y teniendo un impacto significativo en sus actividades cotidianas, incluida la educación [6].

El hecho de que una persona se sienta cómoda o no usando un tipo de interacción, se encuentra relacionado con los estados afectivos [5]. Estos estados son considerados como las respuestas emocionales que experimenta una persona dentro de un contexto determinado [7], abarcando emociones como la felicidad, tristeza o ira, e incluyendo sentimientos de satisfacción, frustración o placer [8]. Así, los estados afectivos son imprescindibles en el contexto de la HCI, ya que el modo elegido de interacción puede influir en la eficiencia y satisfacción del uso de una tecnología.

Los dispositivos preferidos de los usuarios son el teclado y ratón, pantalla táctil y joystick [9]. Sin embargo, existen dispositivos menos explorados, como el seguimiento ocular, dispositivos de realidad virtual, entre otros, que ofrecen una experiencia diferente y aún no han sido completamente examinados [9].

Es importante resaltar la influencia tanto del aprendizaje automático como de la Inteligencia Artificial (IA) en la HCI. La IA, en particular a través del aprendizaje automático, ha cambiado la forma en la que los usuarios interactúan con las computadoras, permitiendo el desarrollo de sistemas más avanzados e inteligentes que se adaptan al usuario. En este contexto, la aplicación de aprendizaje automático es fundamental para lograr una personalización de los métodos de interacción del usuario, brindando herramientas para esta personalización. Para llegar a esto se utilizarán diferentes herramientas como son las encuestas y otros métodos empíricos que serán fundamentales.

Los diferentes métodos permitirán recolectar datos de los usuarios, evaluar la eficiencia de cada uno de los modos de interacción y su usabilidad. Al combinar los métodos con el aprendizaje automático, tendremos una mejor comprensión de cómo los diferentes modos de interacción pueden llegar a influir en el estado afectivo de los usuarios, lo que es base para esta investigación.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El aprendizaje automático provee varias técnicas que permiten clasificar las emociones según parámetros como la valencia, activación y dominancia [10]. En este contexto, se encontró que Support Vector Machine (SVM) es una de las técnicas más utilizadas [11]. Sin embargo, Saldarriaga [12], descubrió que el uso de redes neuronales puede mejorar la precisión de la clasificación de emociones. Además, según Rodríguez [13], la selección del modo de interacción adecuado puede mejorar significativamente la experiencia del usuario, aunque también enfatizó en el desafío de encontrar las características de una persona que hagan que un modo de interacción le sea más satisfactorio.

La falta de entendimiento sobre las características que influyen en la preferencia afectiva de un modo de interacción muestra el potencial para mejorar la experiencia del usuario y plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar sistemas que se ajusten eficazmente a las necesidades emocionales de los usuarios de acuerdo a sus características individuales? Comprender estas características puede conducir al diseño de sistemas más empáticos y personalizados.

### 1.3. Solución propuesta

Este trabajo de titulación se adentra en la compleja relación entre los modos de interacción, los estados afectivos y las variables individuales de los estudiantes universitarios. El objetivo principal es investigar esta relación mediante un proceso experimental que, junto con el desarrollo un cuestionario validado, permita identificar las características clave de los usuarios que influyen en su relación afectiva con la variedad de modos de interacción disponibles. El documento detalla los aspectos cubiertos por la investigación, incluyendo la metodología aplicada, los resultados previstos y la relevancia de la investigación para continuar con la comprensión de la HCI, con un enfoque particular en la mejora de esta interacción en el contexto de los estudiantes universitarios.

### 1.4. Objetivos

A continuación se detallan tanto el propósito general como los objetivos específicos de este proyecto de titulación.

#### 1.4.1. Objetivo general

Investigar los factores propios de una persona que influyen en sus experiencias afectivas cuando interactúan con diversos dispositivos tecnológicos (mediante distintos modos de interacción), basándose en encuestas y en la interacción con una herramienta de software en el contexto de los estudiantes universitarios.

#### 1.4.2. Objetivos específicos

1. Crear un cuestionario validado para determinar las características individuales de los estudiantes universitarios, que incluya datos demográficos, tecnológicos, de preferencia, y expertise tecnológico.
2. Desarrollar una herramienta de software que permita a los estudiantes interactuar, mediante un juego, con varios dispositivos, y asegurando una dificultad uniforme para cada uno de ellos.
3. Generar una base de datos a partir de encuestas personales, de su experiencia afectiva con el uso de diferentes modos de interacción y los datos de eficiencia en el juego.

4. Determinar las características específicas de los individuos que expliquen de mejor manera si un modo de interacción genera un estado afectivo positivo.
5. Estimar las variables emocionales de una persona con un dispositivo de interacción determinado mediante el entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático.

### 1.5. Contexto del Proyecto

Este trabajo de titulación se centra en estudiantes universitarios, un grupo demográfico que necesita hacer uso de dispositivos tecnológicos tanto para su proceso de aprendizaje como en su futuro ámbito laboral. Esto es importante, ya que los estudiantes universitarios al encontrarse dentro de su etapa de formación académica tienen el potencial de descubrir y formarse con un modo de interacción no tan explorado que podría permitir optimizar su rendimiento en sus actividades que uno no tan explorado o conocido como los que se encuentran más presentes en el medio actualmente.

### 1.6. Metodología de la investigación

Se empleará una metodología cuantitativa, compuesta por 10 fases. La Figura 1.1, traza el modelo con cada uno de los pasos correspondientes a la metodología de la investigación propuesta por Hernández, Fernández y Baptista [1].

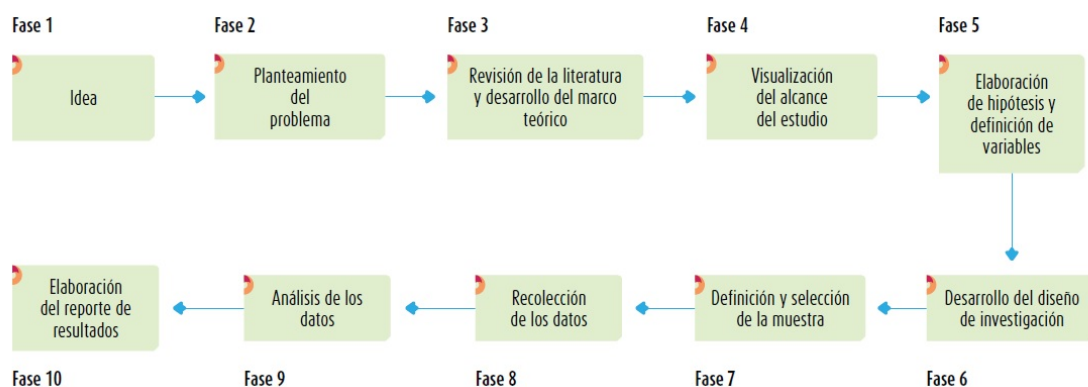


Figura 1.1: Modelo de investigación cuantitativa. Fuente: [1]

Cada una de las fases se detalla a continuación:

- **Idea:** a lo largo de esta fase se demuestra el surgimiento de la idea que permite investigar las características que influyen en la selección de un modo de interacción por parte

de un estudiante universitario mediante una herramienta informática, incorporando en el análisis de factores demográficos, tecnológicos, de preferencias y expertise con la tecnología.

- **Planteamiento del problema:** durante esta etapa se identificó el problema que motiva la investigación. Aquí se muestra la necesidad de conocer la experiencia del usuario con diferentes modos de interacción y se recopilan datos sobre las preferencias de los estudiantes y el acceso a la tecnología. En esta fase se incluyen los objetivos, la justificación, la motivación y la viabilidad de esta investigación.
- **Revisión de literatura y desarrollo del marco teórico:** luego de haber definido la problemática y la solución que se planea implementar, la siguiente etapa conlleva abordar tanto el fundamento tecnológico como el estado actual de la investigación, permitiendo dar a conocer los estudios que se han realizado alrededor de la problemática planteada, así como la realidad y el contexto pertinentes. Para esto, se realiza una revisión literaria, centrándose en los estudios existentes relacionados con los modos de interacción del usuario y el uso de la tecnología en entornos educativos. De esta manera, el marco teórico se elabora basándose en los hallazgos obtenidos de la revisión bibliográfica.
- **Definición del alcance del estudio:** en esta etapa es necesario determinar el alcance del estudio, que puede clasificarse en cuatro tipos: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo [1]. Este trabajo es considerado de tipo explicativo porque trata de identificar cómo influyen los estados afectivos de los usuarios en su interacción con los sistemas tecnológicos. Además, se desarrolla un modelo de aprendizaje automático que identifica la interacción en función de las emociones del usuario.
- **Elaboración de hipótesis y definición de variables:** a partir del alcance del estudio, se formularon hipótesis para orientar la investigación basadas en situaciones del mundo real, centrándose en las variables propias de un individuo que explican las experiencias afectivas de los estudiantes frente a distintos dispositivos de interacción. También se definieron variables dependientes, como el estado afectivo, e independientes, como las variables demográficas, tecnológicas, de preferencia, expertise tecnológicas y

otras que luego han sido puestas a prueba.

- **Desarrollo del diseño de la investigación:** en esta fase se desarrolló el diseño de la investigación, detallando el esquema de recogida y análisis de datos para verificar las hipótesis propuestas y alcanzar los objetivos del estudio.
- **Definición y selección de la muestra:** a partir del estudio [14], en esta fase del proceso se establece la población y el volumen de la muestra para el estudio de caso, basándose en el estudio previo. Es esencial seleccionar métodos de selección de muestras, probabilísticos o no probabilísticos, para garantizar la representatividad.
- **Recolección de la información:** en esta etapa se definen las técnicas de recolección de datos en función del problema planteado. Aquí se deben elegir y aplicar las herramientas e instrumentación para la recopilación de datos, de manera que luego de obtenerlos, se deben codificar y archivarlos para un posterior análisis.
- **Análisis:** aquí el objetivo es realizar un análisis de los datos obtenidos, por lo que es necesario seleccionar el software que permita realizar este análisis, realizar estudios exploratorios y evaluar la fiabilidad y validez de los datos recogidos. Además, las hipótesis propuestas deben analizarse, y deben realizarse análisis adicionales y reportarse los resultados de forma adecuada.
- **Elaboración del reporte de resultados:** la última fase consiste en analizar los datos recopilados y presentar los resultados que, mediante el presente trabajo de titulación, demuestren cada una de las fases previas y su razón de ser.

### 1.7. Estructura del trabajo de titulación

El objetivo de este trabajo de titulación, que utiliza un enfoque de investigación cuantitativo con una perspectiva participativa, es desarrollar y estructurar un proceso experimental centrado en la búsqueda de las características de los estudiantes universitarios que expliquen una experiencia positiva con un dispositivo de interacción en específico. El objetivo primario es identificar la razón por la cual un modo de interacción es óptimo para estos estudiantes, seguido del entrenamiento de un modelo de regresión. Tomando en cuenta estos objetivos, el apartado siguiente ofrece una visión general de cada uno de los capítulos correspondien-

tes a este trabajo.

- **Capítulo 1. Introducción:** La introducción ofrece una visión general del proyecto de investigación, incluyendo la motivación para realizar este trabajo, el problema abordado, la solución propuesta, las hipótesis y los objetivos. Estableciendo las bases de todo el estudio y describiendo la metodología que se empleará.
- **Capítulo 2. Marco teórico:** Este capítulo explora términos y conceptos clave relacionados con la Interacción Humano-Computador (HCI), los modos de interacción usados dentro de esta investigación, los estados afectivos y los modelos de regresión que, de acuerdo a la naturaleza de los datos provenientes de las encuestas, permitirán predecir si el sujeto va a tener una experiencia afectiva positiva.
- **Capítulo 3. Revisión literaria:** El capítulo sobre la revisión literaria revisa la investigación actual, las metodologías y las tendencias relacionadas con los estados afectivos y los modos de interacción en HCI.
- **Capítulo 4. Proceso experimental (Fase 1 - Investigación):** El proceso experimental sigue la metodología descrita por Genero Bocco en su libro [15], que incluye las siguientes etapas: definición del alcance, planificación, operación, análisis e interpretación, y presentación y difusión. Este capítulo se centra en la primera fase del proceso experimental, que abarca las etapas de definición del alcance y planificación. En él se detalla el diseño de la investigación, la selección de los participantes y la elaboración de la encuesta, que constituyen la base de las fases posteriores.
- **Capítulo 5. Proceso experimental (Fase 2 - Creación del modelo de aprendizaje automático):** Continuando con el proceso experimental, este capítulo aborda la fase de operación, describiendo la recogida y el tratamiento de los datos de la fase de investigación. También explica la selección y entrenamiento del modelo de aprendizaje automático utilizando los datos recopilados para predecir el estado afectivo en función de las características de las personas usando un modo de interacción determinado.
- **Capítulo 6. Resultados** Este capítulo abarca la fase de análisis e interpretación del proceso experimental. Presenta las conclusiones de la investigación y los resultados

del modelo de aprendizaje automático. Los resultados de la investigación se analizan para identificar distribuciones, correlaciones, y características clave. Además, se evalúa el rendimiento de los modelos de regresión, incluyendo métricas y áreas de mejora.

- **Capítulo 7. Conclusiones y trabajo futuro:** Este capítulo final se ajusta a la fase de presentación y difusión. Presenta las conclusiones extraídas del estudio, resume los resultados y sugiere áreas para futuras investigaciones y mejoras. Concluye la investigación destacando sus contribuciones y su impacto potencial en el campo de la HCI.
- **Apéndices:** Esta sección contiene material complementario como referencias, plantillas y documentos utilizados en la investigación, que apoyan la metodología y los resultados presentados en los capítulos principales para una comprensión global del estudio.

En la Figura 1.2 se muestra la estructura de los capítulos del proyecto de titulación de acuerdo a la metodología seleccionada.

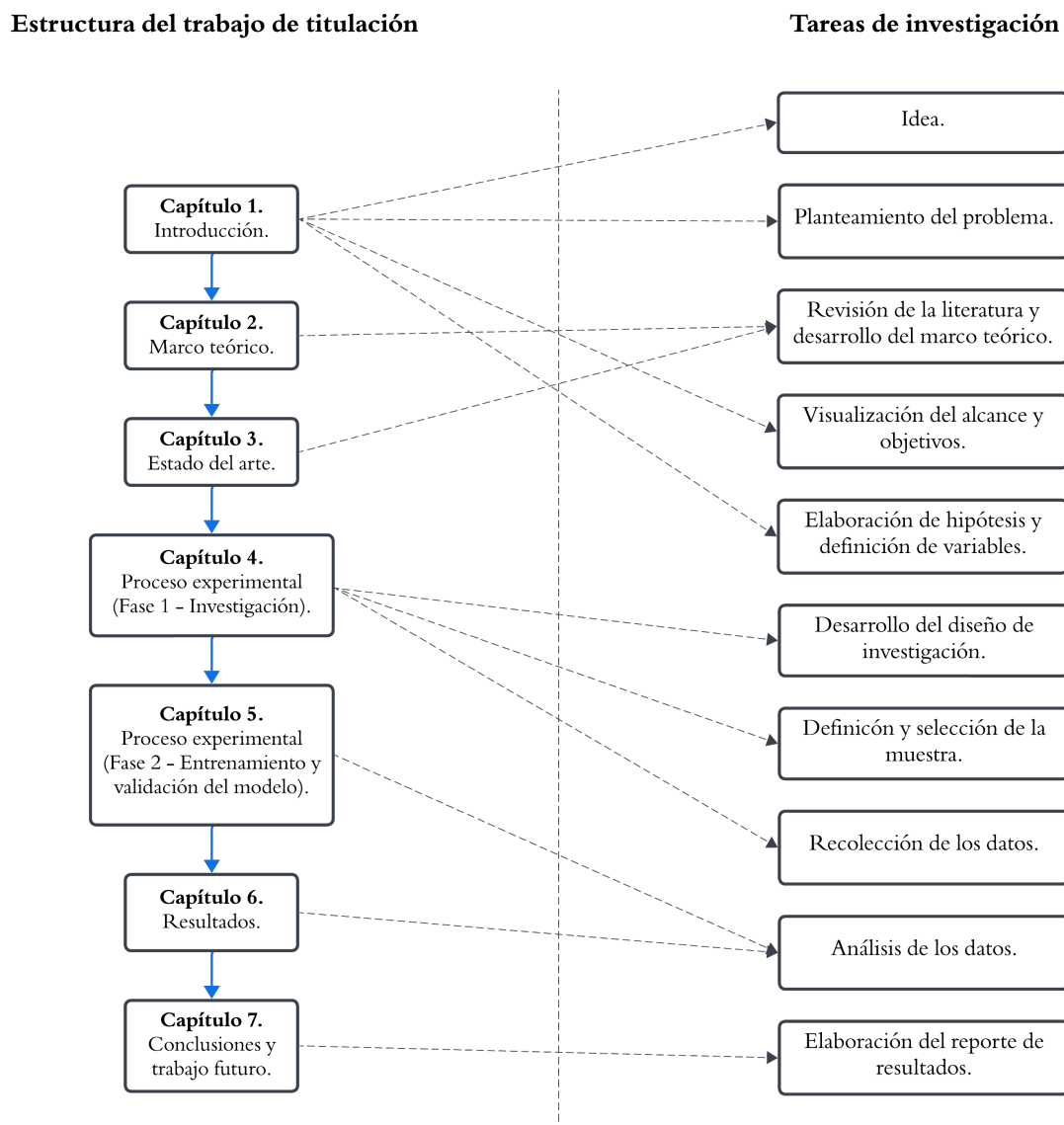


Figura 1.2: Estructura del trabajo de titulación. Fuente: Elaboración propia.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Interacción Humano-Computador (HCI)

La Interacción Humano Computador (HCI - Human Computer Interface) es un campo que ha experimentado un inmenso crecimiento y desarrollo en los últimos años, a medida que el uso de la tecnología se generaliza y se integra en nuestras vidas. La HCI se ocupa del diseño y el uso de la tecnología informática, centrándose en las interfaces entre personas y ordenadores. Abarca una amplia gama de áreas, como el diseño de la experiencia del usuario (UX - User Experience), la ingeniería de usabilidad, el diseño de la interfaz de usuario (UI - User Interface) y otros campos relacionados [2].

El principal objetivo de los investigadores en HCI es mejorar las interacciones entre usuarios y computadores, haciendo que los sistemas sean más usables y receptivos a las necesidades del usuario. Para lograrlo, se basan en varias teorías y principios que se han desarrollado para guiar el diseño de sistemas interactivos.

Entre las muchas teorías y principios que guían la investigación en HCI, la teoría de la carga cognitiva y la teoría de la usabilidad son dos marcos clave que han influido significativamente en este campo. La teoría de la carga cognitiva se ocupa de la capacidad de la memoria de trabajo del cerebro humano y de cómo afecta al aprendizaje y al rendimiento de las tareas. Sugiere que el diseño de una interfaz puede influir significativamente en la carga cognitiva o el esfuerzo mental del usuario. La teoría propone que el diseño de la información y la interfaz se ajuste a la estructura cognitiva humana [16].

En HCI, los diseñadores intentan minimizar la carga cognitiva innecesaria para mejorar la usabilidad y el rendimiento del usuario. Por ejemplo, una interfaz compleja con demasiada información puede abrumar al usuario y dificultar la realización de la tarea. En cambio, una interfaz bien diseñada que presente la información de forma clara y organizada puede reducir la carga cognitiva y mejorar el rendimiento del usuario.

La teoría de la usabilidad, por su parte, se ocupa de facilitar el uso de las interfaces. La usabilidad suele evaluarse en términos de facilidad de aprendizaje, eficiencia, memorización,

errores (cuántos errores cometen los usuarios, su gravedad y la facilidad con que pueden recuperarse de ellos) y satisfacción [2]. Las pruebas de usabilidad son una práctica habitual en la HCI, en la que los usuarios interactúan con el sistema y su rendimiento y comentarios se utilizan para mejorarlo.

Por otro lado, la teoría de la carga cognitiva y la teoría de la usabilidad son consideradas como base de la HCI. Estas guían el diseño de interfaces con el objetivo de ajustarse a los procesos cognitivos humanos y, por lo tanto, sean fáciles de usar. Al entender esto, se puede crear una tecnología más eficiente, eficaz y agradable. De igual forma, estas teorías son consideradas como base para el diseño de interfaces accesibles e inclusivas [2].

Además, la HCI no se limita al diseño de sistemas para computadores de sobremesa. Con el auge de los dispositivos móviles, la realidad virtual y la inteligencia artificial (IA), los diseñadores deben tener en cuenta los requisitos específicos de estas tecnologías. Por ejemplo, el diseño de una interfaz para un dispositivo móvil exige tener en cuenta el tamaño limitado de la pantalla, la entrada táctil y el contexto de movilidad del usuario. La llegada de la realidad virtual y la realidad aumentada plantea nuevos retos a la hora de diseñar interfaces inmersivas que no provoquen mareos. Del mismo modo, el diseño de interfaces para sistemas basados en IA exige comprender cómo interactúan los usuarios con estos sistemas y las implicaciones éticas de tales interacciones [2].

### **2.1.1. Modos de Interacción Humano-Computador**

En el contexto de la HCI, un modo se refiere a un único canal independiente de entrada/salida entre un computador y un ser humano [17]. Estos canales pueden diferir en función de la naturaleza sensorial (por ejemplo, visual frente a auditiva), o de otras diferencias significativas en el procesamiento [18].

Existen una variedad de modos considerados dentro de la HCI, el estudio [19] expresa que las principales a considerarse son:

- **Visual:** Se refiere a los sistemas de retroalimentación visual y a las interfaces gráficas de usuario (GUI). Se ocupa principalmente de cómo se representa y percibe visualmente la información [19].

- Táctil: Se refiere a interfaces táctiles, como pantallas y botones, y a la percepción de la respuesta háptica de los dispositivos [19].
- Voz: Implica la capacidad de hablar a los dispositivos, hacer que procesen una petición y actuar en consecuencia [19].
- Auditivo: Implica el uso de sensores que controlan algunos de los procesos físicos que tienen lugar en el cerebro y que se corresponden con determinadas formas de pensamiento [19].
- Espacial: Implica el uso de sensores de movimiento y dispositivos GPS. Permiten a los computadores comprender su entorno físico e interactuar con él [19].

Sin dejar de lado que existe una variedad de modos, los cuales no llegan a ser cubiertos por este trabajo.

#### **2.1.1.1. Dispositivos en la Interacción Humano-Computador**

Los dispositivos en la HCI son los componentes físicos o virtuales que los humanos utilizan para interactuar con los computadores. Sirven como medio a través del cual se implementan los modos de interacción [20]. Algunos tipos comunes de dispositivos utilizados en HCI:

- Dispositivos visuales: Incluyen monitores de computador, cascos de realidad virtual y proyectores. Proporcionan una interfaz visual entre la máquina y el usuario [20].
- Dispositivos de audio: Incluyen altavoces y auriculares. Se utilizan para los sistemas de reconocimiento y síntesis de voz [20].
- Dispositivos táctiles: Incluyen pantallas táctiles, teclados y ratones. Permiten a los usuarios interactuar con los computadores mediante el tacto [20].
- Dispositivos controlados por voz: Incluyen altavoces inteligentes como Amazon Echo y Google Home. Permiten a los usuarios interactuar con los computadores mediante comandos de voz [20].
- Dispositivos espaciales: Estos incluyen sensores de movimiento y dispositivos GPS. Permiten a los computadores comprender su entorno físico e interactuar con él [20].

Entre los dispositivos que van a ser usados a lo largo del proceso experimental se encuentran:

### 1. Ratón

El ratón de un computador es un dispositivo de entrada de hardware que se traduce en el movimiento de un puntero, llamado cursor, que controla el cursor en una interfaz gráfica de usuario (GUI). El ratón es el dispositivo señalador más utilizado [21] y se utiliza para realizar acciones como seleccionar, hacer doble clic, arrastrar, desplazarse, etc. [21]. El ratón también se utiliza en juegos. Para jugar se han introducido ratones especiales llamados *Gaming Mouses* que vienen con botones adicionales que se utilizan para los controles [21]. El ratón también se utiliza para desplazarse y navegar por las páginas web [21]. El ratón es una parte importante de la edición. Para arrastrar, seleccionar objetos, difuminar fondos, etc., el ratón desempeña un papel fundamental [21]. El ratón se ha vuelto tan omnipresente que ya forma parte de la interfaz de usuario de prácticamente todos los programas de computador [22].

### 2. Teclado

El teclado de un computador es un dispositivo de entrada de datos que se utiliza en todo tipo de computadores. Es la principal forma que tiene el usuario de un computador de introducir texto [23]. El teclado es responsable de la introducción de texto y se utiliza para escribir documentos, utilizar atajos de teclado y realizar otras muchas funciones [24]. La mayoría de los teclados incluyen teclas de escritura, numéricas, de función y de control [24]. La historia del teclado del computador moderno comienza con una herencia directa de la invención de la máquina de escribir. Fue Christopher Latham Sholes quien, en 1868, patentó la primera máquina de escribir moderna práctica [24]. La disposición de los teclados tiene su origen en las primeras máquinas de escribir [25]. Al escribir, el procesador del teclado analiza la matriz de teclas y determina qué caracteres debe enviar al computador. Mantiene estos caracteres en su memoria intermedia y, a continuación, envía los datos [26]. Muchos teclados se conectan al computador a través de un cable con un conector o por *bluetooth* [26].

Los teclados se utilizan para una gran variedad de tareas en un computador. Sirven para introducir texto, navegar por los menús, ejecutar comandos e incluso controlar el cursor en algunos entornos basados en texto [23]. Para introducir grandes cantidades de texto, suele ser preferible utilizar un teclado físico en lugar de un teclado simulado o un menú de selección de caracteres [27]. Existen varios tipos de teclados, como los teclados portátiles alámbricos e inalámbricos, los teclados QWERTY, los teclados virtuales, los teclados USB, los teclados para juegos, etc [28].

Cada tipo de teclado tiene su uso específico y sus ventajas, lo que los hace adecuados para distintas tareas y usuarios [28]. El teclado es una parte importante de la Interacción Humano-Computador (HCI). Permite una amplia gama de entradas textuales, lo que lo convierte en una herramienta estándar para la HCI [29]. Los tipos de dispositivos de entrada más adecuados dependen de los requisitos de la tarea concreta que deba realizar el computador [29]. El teclado es un componente esencial de casi todos los programas informáticos y se utiliza en casi todos los ámbitos en los que se emplean computadores [23].

### 3. Mando de videojuegos

Un mando de videojuegos, también llamado *gamepad*, es un tipo de dispositivo de entrada utilizado principalmente para jugar videojuegos [30]. Suele sujetarse con ambas manos y tiene varios botones que se pulsan con los pulgares [30]. Los *gamepads* son el principal dispositivo periférico utilizado en consolas de videojuegos, como las plataformas *Xbox*, *PlayStation* y *Nintendo* [31]. Algunos sistemas de juego portátiles tienen un *gamepad* integrado en el propio dispositivo de juego, como la *Nintendo Switch* [31]. Muchos *gamepads* también están hechos para funcionar con un ordenador, a menudo mediante una conexión USB (bus serie universal) [31].

Los mandos de juego se utilizan para jugar a una gran variedad de videojuegos, incluidos los de rol, disparos, deportes y otros [30]. Los mandos de videojuegos modernos suelen ser inalámbricos, mientras que la mayoría de los modelos anteriores se diseñaban con cables que los conectaban a los sistemas [30].

El *gamepad* tiene un impacto significativo en la experiencia de juego del jugador [32]. El dominio del sistema de control es una parte importante de la mayoría de los juegos [33]. Para disfrutar de una experiencia de juego agradable, es importante que los jugadores sientan que controlan la interfaz del juego y los controles asociados [33].

Existen varios tipos de *gamepads*, como los portátiles con cable e inalámbricos, los QWERTY, los virtuales, los USB, etc [34]. Cada tipo de *gamepad* tiene su uso específico y sus ventajas, lo que los hace adecuados para diferentes tareas y usuarios [34].

El *gamepad* es una parte importante de la interacción humano-computador debido a que permite una amplia gama de entradas textuales, lo que lo convierte en una herramienta estándar para la HCI [32]. Los tipos de dispositivos de entrada más adecuados dependen de los requisitos específicos de la tarea que deba realizar el computador [33]. El *gamepad* es un componente esencial de casi todos los juegos informáticos y no es muy usado en otros ámbitos que no sean los videojuegos [33].

#### 4. Seguidor de mirada

El seguidor de mirada, o también conocido como *eyetracker*, representa una innovación revolucionaria en el campo de la HCI, ya que proporciona un nivel de precisión acertado y un seguimiento no intrusivo de los movimientos oculares del usuario [35]. Esta tecnología se ha utilizado ampliamente en diversos campos, desde la investigación científica al diseño de interfaces y la accesibilidad, y se ha revelado como una herramienta fundamental para comprender los patrones de atención visual y mejorar la experiencia del usuario en las aplicaciones digitales [36].

Las aplicaciones de la tecnología *eyetracker* son amplias y diversas, y van desde la evaluación del diseño de interfaces a la investigación en psicología cognitiva, pasando por el desarrollo de tecnologías de asistencia para personas con discapacidad. Por ejemplo, en entornos de diseño de interfaces, *eyetracker* se utiliza para analizar cómo los usuarios exploran e interactúan con los elementos visuales de una aplicación o sitio web, lo que permite a los diseñadores optimizar la disposición y el diseño de la

interfaz para lograr una experiencia de usuario más eficaz y atractiva .

Para integrar la tecnología *eyetracker* en la HCI, hay que tener un profundo conocimiento de los procesos cognitivos y perceptivos del usuario [35], así como una cuidadosa consideración de los principios del diseño centrado en el usuario. Gracias a su capacidad para captar los movimientos oculares y el enfoque visual del usuario en tiempo real, esta tecnología permite obtener información continua que puede servir de base para tomar decisiones de diseño y mejorar la usabilidad de las aplicaciones y sistemas digitales.

## 5. Dispositivos de realidad virtual

Los dispositivos de realidad virtual han supuesto una importante transformación en la forma en que los seres humanos interactúan con los computadores, debido a que pueden proporcionar a los usuarios experiencias inmersivas que van más allá de las limitaciones de las interfaces digitales tradicionales [37]. Los dispositivos de realidad virtual, como auriculares autónomos y sistemas anclados, incorporan óptica avanzada, sensores de seguimiento del movimiento y tecnología de audio espacial para transportar a los usuarios a entornos generados por computadoras. Estos entornos ofrecen un realismo y una interactividad sin precedentes, lo que permite a los usuarios explorar, crear e interactuar con contenidos digitales de formas que antes eran imposibles. Mediante la integración de pantallas montadas en la cabeza (HMD) con controladores de movimiento, los usuarios pueden participar en interacciones naturales e intuitivas dentro de entornos virtuales, mejorando la presencia del usuario y el compromiso a través de diversas aplicaciones e industrias [38].

Las aplicaciones de los dispositivos de realidad virtual son diversas y abarcan los juegos, la educación, la sanidad y las simulaciones de formación [39]. En los juegos, los dispositivos de realidad virtual han transformado la experiencia de juego al colocar a los jugadores en el centro de mundos virtuales inmersivos, permitiéndoles vivir interacciones y experiencias que antes eran imposibles. En el ámbito de la medicina, las tecnologías de realidad virtual han facilitado la formación médica, la terapia y la educación de los pacientes. Ofrecen simulaciones realistas de procedimientos quirúrgicos

y entornos terapéuticos, lo que puede mejorar los resultados de los pacientes [39].

El diseño de interfaces y experiencias para dispositivos de realidad virtual exige que los diseñadores se enfoquen en la percepción, la corporeidad y la interacción del usuario en entornos virtuales. También deben optimizar el rendimiento y la mitigación del mareo, teniendo en cuenta al mismo tiempo la navegación espacial, la ergonomía y la comodidad del usuario [38]. Es fundamental conocer a fondo la experiencia del usuario y las mejores prácticas para diseñar experiencias virtuales inmersivas y atractivas.

## 6. Seguidor de manos

El seguidor de manos es un dispositivo que permite monitorear los movimientos de manos y dedos en un espacio tridimensional y transferirlos a la computadora. El dispositivo más utilizado es el *Leap Motion* que, utilizando una serie de cámaras y sensores infrarrojos, el controlador *Leap Motion* capta los gestos más sutiles con precisión, ofreciendo a los usuarios un nivel de control e inmersión sin precedentes [40].

El *Leap Motion* tiene diversas aplicaciones en distintos ámbitos, como la medicina, la educación y los juegos. En el sector médico, el dispositivo se ha utilizado con fines de rehabilitación, ayudando a pacientes con deficiencias neurológicas a realizar ejercicios terapéuticos con mayor exactitud y precisión [39]. Un estudio publicado en el *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [41] descubrió que el controlador *Leap Motion* era eficaz para mejorar la función motora de las extremidades superiores en pacientes con ictus.

En el campo de la educación, el *Leap Motion* se ha utilizado como herramienta de enseñanza en varias disciplinas, como la música, el arte y la ciencia. Por ejemplo, un estudio de investigación publicado en el *Journal of Educational Psychology* [42] descubrió que el uso del dispositivo en la enseñanza de la física aumentaba la participación de los estudiantes y mejoraba los resultados del aprendizaje.

En el sector de los videojuegos, se ha utilizado para mejorar las experiencias de juego al proporcionar controles más intuitivos e inmersivos [43]. Un ejemplo es el juego "Job Simulator", que utiliza el dispositivo para simular tareas del mundo real de forma

divertida y entretenida.

En el núcleo de su funcionalidad se encuentra su integración con los principios de la HCI, fomentando interacciones naturales e intuitivas entre las personas y las interfaces digitales [40]. Al traspasar las modalidades de entrada tradicionales, como teclados y ratones, el *Leap Motion* permite a los usuarios navegar por paisajes virtuales y manipular contenidos digitales mediante gestos intuitivos de la mano, donde las experiencias del usuario se definen por la fluidez, la capacidad de respuesta y la inmersividad.

## 7. Pantalla táctil

Las pantallas táctiles se han convertido en un método de entrada intuitivo en los sistemas modernos. Han cambiado significativamente la forma de la interacción humano-computador al permitir a los usuarios manipular directamente los contenidos digitales mediante gestos táctiles. Esta manipulación directa fomenta una experiencia de usuario natural, eliminando la necesidad de dispositivos intermediarios. Las pantallas táctiles capacitivas, en particular, han ganado protagonismo por su capacidad de respuesta y detección de gestos multitáctiles [44].

Uno de los efectos más significativos de las pantallas táctiles es que han aumentado el uso de la tecnología al eliminar la necesidad de dispositivos de entrada especializados [45]. A diferencia de los teclados o ratones tradicionales, que requieren habilidades aprendidas, las pantallas táctiles permiten interacciones intuitivas. Los usuarios de todas las edades y procedencias pueden interactuar sin esfuerzo con las aplicaciones, reduciendo así la brecha digital [44].

La integración perfecta de las funciones de entrada y salida en una única superficie ha mejorado la portabilidad considerablemente. La combinación de pantalla e interacción simplifica el diseño de los dispositivos y sistemas, permitiendo llevar capacidades informáticas a dispositivos de tamaño considerablemente reducido.

Las pantallas táctiles aprovechan gestos ya conocidos como deslizar y tocar. Estas interacciones naturales son fáciles de comprender entre los usuarios y generan una sensación de inmediatez y conexión. La ausencia de botones físicos fomenta una re-

lación más orgánica entre humanos y computadores [46].

Las pantallas táctiles permiten a los usuarios adaptar las interfaces, lo que mejora la usabilidad y refuerza la idea de que la tecnología está al servicio de las necesidades individuales. Estas pantallas táctiles se encuentran en una variedad de dispositivos, desde los teléfonos inteligentes a los cajeros automáticos, desde las exposiciones interactivas de los museos a las cajas de autoservicio. Su presencia ha alterado las normas sociales, ya que la gente espera interacciones táctiles [46].

## 2.2. Estados Afectivos

Los estados afectivos son un aspecto significativo de la psicología humana y desempeñan un papel crucial en nuestra percepción e interacción con el mundo. Se refieren a las experiencias emocionales que experimentan los individuos, que pueden ir desde la felicidad y la alegría hasta la tristeza y la desesperación [47].

La investigación en cognición social ha demostrado que nuestras propias experiencias emocionales son una importante fuente de información para comprender lo que sienten otras personas. Este fenómeno suele denominarse “egocentrismo emocional”. Por ejemplo, un estudio realizado por Trilla, Weigand y Dziobek [47] investigó si los individuos proyectan sus propios estados afectivos cuando interpretan las expresiones emocionales de los demás. Utilizaron un breve recuerdo autobiográfico y estímulos audiovisuales para inducir estados transitorios de felicidad, neutralidad y tristeza. Los resultados demostraron que los rostros tenían más probabilidades de ser juzgados como felices cuando los participantes declaraban estarlo, en comparación con cuando estaban tristes [47].

Además de influir en nuestra percepción de las emociones de los demás, los estados afectivos también contribuyen a los informes de rasgos de bienestar afectivo. Esto sugiere que nuestro estado emocional actual puede influir en cómo percibimos e informamos de nuestro bienestar emocional general [48].

El concepto de egocentrismo emocional es especialmente relevante en el contexto de las interacciones sociales. Al no tener acceso directo a la mente de los demás, tenemos que recurrir a fuentes indirectas de información para deducir cómo se sienten los demás. Por

ejemplo, podemos utilizar información sobre el contexto al que está expuesta la otra persona o leer sus expresiones emocionales [47]. Aunque estas pistas externas sobre el otro pueden ser medios valiosos para comprender las emociones, la investigación en cognición social ha demostrado que el propio estado afectivo también se utiliza para guiar los juicios sobre las experiencias emocionales de los demás. Es decir, las personas tienden a proyectar sus propias emociones cuando infieren lo que sienten los demás, un proceso conocido como egocentrismo emocional [47].

De esta manera se entiende que los estados afectivos no sólo son fundamentales para nuestras experiencias emocionales, sino que también desempeñan un papel fundamental en nuestras interacciones sociales y en la percepción de nosotros mismos. Comprender la dinámica de los estados afectivos puede aportar valiosos conocimientos sobre el comportamiento y el bienestar humanos [47].

De igual forma los estados afectivos también constituyen un aspecto vital dentro del ámbito de la HCI. En este contexto, comprender y reconocer los estados afectivos es fundamental, ya que tienen el potencial de influir significativamente en la forma en que los usuarios se relacionan con la tecnología. Reconocer y clasificar estas respuestas emocionales abre la puerta a un enfoque más personalizado y adaptativo del diseño de la interacción, que permite experiencias a medida que se ajustan al estado emocional del usuario [49].

### **2.2.1. Medición de Emociones**

Teorías de la emoción: Estas teorías pueden ayudar a entender cómo se experimentan y expresan las emociones. Algunas teorías relevantes pueden ser la teoría de James-Lange [50], que sugiere que nuestras emociones son respuestas a nuestras reacciones físicas, o la teoría de Schachter-Singer [51], que sugiere que nuestras emociones están determinadas por nuestras reacciones físicas y nuestra interpretación de esas reacciones.

#### **2.2.1.1. Maniquí de Autoevaluación (SAM)**

El Maniquí de Autoevaluación o “Self-Assessment Mankin (SAM)” es un cuestionario no verbal, orientado a la imagen, desarrollado para medir la respuesta emocional de un individuo. Está diseñado para medir tres características de una respuesta emocional que han sido

identificadas como centrales para la emoción en la investigación llevada a cabo por Lang [52]. Estas características son la valencia/placer de la respuesta (de positivo a negativo), la excitación percibida (de niveles altos a bajos) y las percepciones de dominio/control (de niveles bajos a altos) [52]. En específico, cada una de estas variables se define de la siguiente manera:

- **Dominancia:** Una puntuación alta en dominancia generalmente indica que se siente en control o que tiene una gran influencia sobre la situación o el estado emocional [53]. Por otro lado, una puntuación baja en dominancia puede indicar que se siente controlado o influido por la situación o el estado emocional.
- **Excitación:** Esta dimensión se refiere al nivel de excitación o *arousal*. Un *arousal* alto puede indicar un estado de alerta o excitación intensa, mientras que un *arousal* bajo puede indicar un estado de calma o relajación. Según la teoría de Yerkes-Dodson [54], existe un nivel óptimo de arousal para un buen rendimiento, y un arousal demasiado bajo o demasiado alto puede afectar negativamente al rendimiento en la tarea [55].
- **Valencia:** Esta dimensión se refiere a la positividad o negatividad de una emoción. Una valencia alta suele indicar una emoción positiva o agradable, mientras que una valencia baja indica una emoción negativa o desagradable [56].

El SAM es ampliamente utilizado por los científicos para determinar las reacciones emocionales de los participantes durante los experimentos de psicología debido a su naturaleza no verbal. Esto lo hace especialmente útil en situaciones en las que las respuestas verbales o escritas pueden resultar difíciles, como con niños o personas que no pueden comunicar correctamente estas respuestas emocionales [57]. El cuestionario SAM también es beneficioso en experiencias tecnológicas, donde puede medir la reacción afectiva de una persona al interactuar con un robot [57].

La perspectiva dimensional de la emoción sugiere que las emociones son respuestas a estímulos ambientales que varían a lo largo de dimensiones de rasgos o características clave. Dentro de esta perspectiva, la teoría y el trabajo empírico han convergido para sugerir al menos tres características básicas de una respuesta emocional: valencia/placer, excitación

y dominio/control. Se teoriza que estas dimensiones responden de forma algo independiente, lo que da lugar a dimensiones que pueden responder de forma diferencial a lo largo del tiempo a acontecimientos que provocan emociones [52].

En el contexto de la medición de la experiencia del usuario en entornos tecnológicos, los datos sobre las emociones pueden capturarse en tiempo real mientras los usuarios realizan tareas específicas dentro de una aplicación [58]. Este enfoque puede complementar los métodos tradicionales de experiencia de usuario, como los cuestionarios. Además, las actitudes implícitas deben medirse a la hora de evaluar la experiencia de usuario (UX), dado que no necesariamente somos conscientes de las emociones, sentimientos y constructos sociales que conforman nuestro comportamiento junto con creencias más conscientes [57].

El cuestionario SAM se derivó de la Escala Semántica Diferencial de Afecto [52], pero se modificó para que fuera no verbal y más eficaz, ya que reduce el número de juicios necesarios. También está pensado para ser utilizado en culturas no angloparlantes y en poblaciones menos avanzadas lingüísticamente, como los niños [52]. Esto convierte a SAM en una herramienta versátil para medir las respuestas emocionales en diversos contextos, incluidas las experiencias tecnológicas.

### **2.3. Aprendizaje de Máquina**

El aprendizaje de máquina, una subdisciplina de la inteligencia artificial, se centra en el desarrollo y la exploración de algoritmos estadísticos capaces de aprender de patrones de datos y extrapolar ideas para manejar escenarios no vistos, lo que permite a los sistemas ejecutar tareas de forma autónoma, sin instrucciones explícitas.

El aprendizaje de máquina se basa en una variedad de algoritmos que se pueden clasificar en supervisados, no supervisados, semi-supervisados y de refuerzo, cada uno con su enfoque para aprender a partir de los datos. Los algoritmos supervisados, como las máquinas de vectores de soporte (SVM) y los árboles de decisión, aprenden a partir de datos etiquetados para predecir resultados para datos no vistos. Los algoritmos no supervisados, como k-means y el análisis de componentes principales (PCA), descubren patrones y estructuras en los datos sin necesidad de etiquetas. Los algoritmos semi-supervisados combinan ambos

enfoques, utilizando datos etiquetados como no etiquetados para mejorar el rendimiento del aprendizaje. Por último, el aprendizaje por refuerzo se basa en la idea de recompensar o penalizar un agente de aprendizaje para maximizar algún tipo de recompensa acumulativa.

El origen del aprendizaje automático empieza a finales de la década de 1950, cuando Arthur Samuel, pionero de IBM, introdujo el término «aprendizaje automático» [59]. El trabajo de Arthur Samuel sobre un programa de juego de damas sentó las bases de los avances en este campo y marcó el inicio de los marcos formales de aprendizaje automático, abriendo el camino para que futuras generaciones continúen desarrollando nuevos algoritmos basados en estos principios y busquen nuevas maneras de manejar escenarios no vistos.

La combinación del aprendizaje automático con la interacción humano-computador (HCI) genera experiencias de usuario intuitivas y adaptables. Esta relación entre el aprendizaje automático y la HCI fomenta el desarrollo de interfaces de usuario predictivas, sistemas de recomendación de contenidos personalizados y mecanismos de entrada inteligentes. Al usar el aprendizaje automático, la HCI se centra en mejorar la participación del usuario, agilizar flujos de trabajo y tener nuevas formas para mejorar la interacción entre el ser humano y la tecnología [60].

### **2.3.1. Modelos de Regresión**

Los modelos de regresión son herramientas usadas en la investigación científica, ya que permiten analizar las relaciones entre variables. En su forma más simple, un modelo de regresión es una ecuación que describe una relación lineal entre dos o más variables [61].

Existen varios tipos de modelos de regresión, cada uno con sus características. Por ejemplo, la regresión logística se emplea cuando la variable dependiente es binaria, o la regresión lineal, que se utiliza cuando la variable dependiente es continua y se espera que tenga una relación lineal con las variables independientes.

Además, hay modelos de regresión más complejos, como los modelos de regresión de Cox y los modelos de supervivencia, por ejemplo, se utilizan para analizar el tiempo que transcurre hasta que se produce un suceso. La regresión de Poisson se emplea cuando la variable dependiente representa un recuento de sucesos [61].

Es fundamental tener en cuenta que los modelos de regresión se basan en supuestos. Por ejemplo, se asume que los errores son independientes y se distribuyen normalmente. El incumplimiento de estos supuestos puede ser la razón por la cual un modelo no funciona de la manera correcta, prediciendo valores que no son concordantes con los datos.

Los modelos analizados, que van desde las regresiones lineales y logísticas hasta metodologías más avanzadas como Random Forest y la regresión polinómica, se seleccionan debido a sus capacidades únicas para manejar datos complejos. Mientras que las regresiones lineales y logísticas sirven como herramientas básicas para analizar relaciones sencillas entre variables, Random Forest y la regresión polinómica dan paso para analizar relaciones mucho más complejas entre las variables, sobre todo cuando se cuenta con múltiples variables de salida [62].

Los modelos de regresión Random Forest aprovechan múltiples árboles de decisión para realizar predicciones, obteniendo de manera eficaz las distancias entre la simplicidad de los modelos lineales y la complejidad de las relaciones no lineales. Al igual que los modelos de regresión tradicionales, Random Forest puede manejar tanto variables de salida únicas como múltiples. Con esto en mente, se tiene el concepto de modelo Random Forest multi-salida, en el que la variable de predicción se convierte en un vector. Esto permite captar la interdependencia entre las variables de salida de una mejor manera [63].

Por otra parte, la regresión polinómica es una variación de la regresión lineal al dar paso a relaciones no lineales entre variables [63]. En escenarios con múltiples variables de salida, la regresión polinómica multivariante ofrece una forma para modelizar relaciones en las que intervienen múltiples variables. Estas relaciones suelen ser no lineales y con mucha dimensionalidad, lo que convierte a la regresión polinómica en una buena herramienta para captar patrones complejos en los datos.

#### **2.3.1.1. Selección de Características**

La selección de características es una técnica que reduce la dimensionalidad del espacio de características eliminando las irrelevantes y redundantes sin afectar la calidad de la toma de decisiones del modelo. En el campo del aprendizaje automático, una característica es una

medida que describe información relevante acerca de los datos. Seleccionar las características adecuadas es fundamental para la construcción de un modelo, ya que puede mejorar el rendimiento del modelo, reducir su complejidad y facilitar su análisis [64].

Un conjunto completo de características puede tener características repetitivas, irrelevantes, relevantes y muy relevantes. En muchos ámbitos de aplicación, las características no se conocen previamente o pueden llegar a tener partes muy complejas. A diferencia de otros métodos de reducción de la dimensionalidad, las técnicas de selección de características no cambian la interpretación de las características, sino que eligen un subconjunto de características [64].

En las últimas décadas, se han desarrollado varios algoritmos para identificar las características más significativas. Cada algoritmo tiene sus ventajas y desventajas, y es parte del trabajo del analista determinar cuál algoritmo es el más adecuado para una tarea específica [65].

Algunos algoritmos importantes para realizar la selección de características son Random Forest (RF) y el uso de la matriz de correlación.

La matriz de correlaciones es una herramienta que mide las relaciones lineales entre variables. Cada entrada de la matriz representa el coeficiente de correlación entre dos características, lo que proporciona una medida de la dependencia lineal entre ellas. Los coeficientes de correlación altos indican una fuerte relación lineal, lo que posiblemente se puede traducir a una posible redundancia [66].

Otro algoritmo es Random Forest (RF), que es especialmente usado cuando se trata de un gran número de variables. El RF permite medir la importancia de las características, lo que lo convierte en una herramienta para la selección de características. La importancia de una característica viene determinada por el aumento del error de predicción del modelo tras permutar la característica, en donde un aumento mayor indica una característica más importante. De esta manera, este algoritmo es muy usado cuando existe un gran número de características en las que al iterar las permutaciones se logra obtener las características más influyentes e importantes [67].

### 3. Revisión Literaria

#### 3.1. Marco Histórico

La evolución dinámica de la HCI ha sido impulsada por una constante búsqueda de mejoras en la relación entre humanos y tecnología. En la década de 1970, la HCI emergió como un campo de estudio interdisciplinario, inicialmente centrado en aspectos ergonómicos y usabilidad. La concepción de interfaces más intuitivas y eficientes comenzó a tomar forma, estableciendo las bases para la evolución futura de esta disciplina [68].

En paralelo, durante los años 80, el enfoque en la HCI se amplió para incluir consideraciones psicológicas y cognitivas en el diseño de interfaces. La comprensión de cómo los usuarios perciben, procesan la información y toman decisiones se convirtió en un componente fundamental de la HCI. Este enfoque psicológico contribuyó significativamente a la creación de interfaces más centradas en el usuario [69].

El hito de 1983 con la creación de la conferencia ACM SIGCHI [70] no solo consolidó a la HCI como un campo de estudio, sino que también propició un entorno propicio para la innovación y la colaboración. La comunidad científica y profesional se reunió para compartir investigaciones, descubrimientos y desafíos, lo que dio lugar a avances significativos en la comprensión de las complejidades de la interacción humano-computadora.

Hacia la década de 1990, la HCI experimentó una expansión sin precedentes. La aplicación de teorías psicológicas en el diseño de interfaces alcanzó nuevos niveles de sofisticación. La consideración de factores emocionales y motivacionales en la interacción del usuario se convirtió en un área clave de investigación, influyendo directamente en el diseño de experiencias más atractivas y significativas [68].

Simultáneamente, el surgimiento de la World Wide Web en la década de 1990 supuso un cambio paradigmático en la HCI [71]. La interacción a través de la web planteó nuevos desafíos y oportunidades, llevando a la comunidad de HCI a explorar soluciones innovadoras para interfaces basadas en la web, accesibilidad y diseño centrado en la información [72].

El cambio de milenio marcó un hito con la publicación de “The Elements of User Experience” por Jesse James Garrett en 2001. Este libro proporcionó un marco conceptual sólido que influyó significativamente en la práctica del diseño centrado en el usuario, enfatizando la importancia de comprender las capas subyacentes que componen la experiencia del usuario [73].

La convergencia de HCI con la inteligencia artificial (IA) durante la última década ha impulsado la capacidad de comprender y adaptarse a las emociones humanas. Las técnicas de aprendizaje profundo han permitido a la HCI avanzar en la clasificación y respuesta a las emociones de los usuarios, llevando la interacción hombre-máquina a un nivel más sofisticado [74] [75].

La introducción de tecnologías de asistentes virtuales impulsadas por IA en 2016, han redefinido las posibilidades de la HCI [76]. La capacidad de comprender no solo comandos sino también el contexto y las emociones del usuario ha transformado la forma en que interactuamos con la tecnología en nuestra vida cotidiana.

A partir de 2019, un renovado enfoque en la personalización y adaptación ha permeado la HCI, especialmente en el ámbito educativo [77]. Esta tendencia refleja la creciente conciencia de la importancia de ajustar la tecnología para satisfacer las necesidades individuales de los usuarios, especialmente en contextos educativos, donde la personalización puede marcar la diferencia en la experiencia de aprendizaje [78].

En resumen, la HCI ha evolucionado desde sus primeros días centrados en la usabilidad hasta convertirse en un campo interdisciplinario que aborda la complejidad de las interacciones humano-máquina en la era de la inteligencia artificial. Este desarrollo continuo ha sido impulsado por avances tecnológicos, teóricos y prácticos que han permitido una comprensión más profunda y una mejora constante de la experiencia del usuario.

### **3.2. Tendencias Actuales y Huecos de Conocimiento**

En los últimos años, el panorama de la Interacción Humano-Computador (HCI) ha sido testigo de un notable cambio de paradigma hacia el diseño centrado en el usuario [79], enfatizando la adaptación de las interfaces a las preferencias y necesidades individuales de

cada usuario [80]. Este enfoque representa un alejamiento del enfoque convencional de “talla única”, reconociendo la naturaleza diversa de los usuarios y sus distintas necesidades. El objetivo es crear interfaces que no solo cumplan con los requisitos funcionales, sino que también resuenen emocionalmente con los usuarios, aumentando así su satisfacción general [81].

Uno de los principales motores de la tendencia a la personalización en HCI es el rápido avance de las tecnologías de reconocimiento de emociones [82]. Los avances en aprendizaje automático y computación afectiva han facilitado una detección más precisa y matizada de los estados emocionales de los usuarios [83]. Los investigadores han explorado diversas modalidades, como las expresiones faciales, las señales fisiológicas y los indicios de comportamiento, para desarrollar sistemas sólidos de reconocimiento de emociones [84], fundamentales para crear interfaces emocionalmente inteligentes capaces de adaptarse a los estados emocionales de los usuarios en tiempo real [85].

Basándose en las capacidades de las tecnologías para el reconocimiento de emociones, las interfaces de usuario adaptativas se han convertido en un foco de investigación y desarrollo dentro de la HCI [86]. Estas interfaces ajustan dinámicamente sus estilos de presentación e interacción basándose en evaluaciones en tiempo real de los estados emocionales de los usuarios [87], desde cambios sutiles en esquemas de color hasta alteraciones más significativas en las modalidades de interacción, con el objetivo de proporcionar experiencias fluidas y emocionalmente resonantes para los usuarios en diversos contextos [88].

De cara al futuro, las tecnologías emergentes, como la realidad aumentada y la realidad virtual, prometen ampliar los límites de la personalización [37], ofreciendo oportunidades para crear interfaces inmersivas y emocionalmente inteligentes [89]. Sin embargo, a medida que estas tecnologías evolucionan, surge la necesidad de investigar y anticipar las posibles implicaciones éticas y de privacidad [90]. Por otra parte, el fomento de colaboraciones interdisciplinarias será crucial para obtener una comprensión global de los factores humanos que intervienen en la HCI personalizada [91].

En medio de los avances y las vías prometedoras, sigue habiendo importantes lagunas de conocimiento que merecen una atención especial por parte de la investigación. Es esencial

comprender los efectos a largo plazo de las interfaces adaptadas emocionalmente sobre el compromiso y el bienestar de los usuarios [92]. Además, el desarrollo de métricas de evaluación estandarizadas para la inteligencia emocional en la HCI plantea un reto que requiere esfuerzos concertados [93].

De igual manera, otra carencia se considera la comprensión detallada de la relación entre los estados afectivos de los estudiantes y sus preferencias por modos específicos de interacción en contextos educativos. A pesar de los avances logrados en la personalización, se necesita una investigación exhaustiva que profundice en cómo influyen los estados emocionales de los estudiantes en su receptividad a diversas modalidades de interacción en contextos educativos.

El panorama cambiante de la tecnología educativa subraya la importancia de abordar esta carencia específica [94]. A medida que las interfaces personalizadas se integran cada vez más en las plataformas educativas, crece la necesidad de comprender la dinámica matizada entre los estados afectivos de los estudiantes y sus preferencias por determinados modos de interacción [95]. La forma en que emociones como el compromiso, la frustración o la curiosidad influyen en la eficacia de las experiencias de aprendizaje personalizadas sigue siendo un área que requiere una exploración en profundidad [96].

Además, el desarrollo de métricas de evaluación estandarizadas para la inteligencia emocional en la HCI, como se ha mencionado anteriormente, debe ampliar su enfoque para abarcar contextos educativos [97]. Es crucial comprender cómo las interfaces adaptadas emocionalmente contribuyen no sólo al compromiso inmediato, sino también a los resultados educativos a largo plazo [98]. Esto implica investigar la interacción entre las respuestas afectivas de los estudiantes, sus trayectorias de aprendizaje y la eficacia general de las tecnologías educativas personalizadas [83].

A medida que avanza este campo, es fundamental diseñar interfaces educativas que no sólo se adapten a los estados emocionales individuales, sino que también mejoren la experiencia de aprendizaje [99]. En el futuro, la investigación debería centrarse en desentrañar las complejidades del nexo alumno-emoción-interacción, teniendo en cuenta factores como las distintas cargas cognitivas asociadas a los diferentes estados emocionales [100] y la posible

influencia de los contenidos educativos en las respuestas emocionales [101].

### 3.3. Jerarquía de Temas Actuales

La investigación de los estados afectivos y su análisis ha surgido como un área destacada de investigación, impulsada por el deseo de comprender el complejo panorama de las emociones humanas [102]. Los estados afectivos, que abarcan un espectro de emociones, son fundamentales para las experiencias e interacciones humanas [103]. Los investigadores han asumido el reto de medir y comprender estos estados emocionales, lo que ha llevado al desarrollo de diversas variables para la medición de las emociones. Este trabajo fundacional constituye la base de una exploración más exhaustiva y matizada de las respuestas emocionales [104].

En el contexto más amplio de la HCI, los investigadores profundizan en la intrincada relación entre los estados afectivos y los modos de interacción [105]. La HCI, como campo multidisciplinar, se centra en el diseño y la usabilidad de los sistemas informáticos, haciendo hincapié en la importancia de la experiencia del usuario [86]. Los modos de interacción, que abarcan gestos, comandos de voz e interfaces táctiles, desempeñan un papel fundamental en la configuración de las dimensiones emocionales de las interacciones humano-computador [106]. Reconocer la interacción entre los estados afectivos y los modos de interacción resulta esencial para diseñar interfaces que respondan a las necesidades y preferencias emocionales de los usuarios [86].

La integración de técnicas de aprendizaje automático en el ámbito de la computación afectiva supone un avance significativo en el análisis de los estados emocionales. Los algoritmos de aprendizaje automático facilitan la identificación y clasificación automatizadas de diversos estados afectivos, proporcionando un enfoque más objetivo y sistemático para comprender las emociones humanas. Esta intersección entre la computación afectiva y el aprendizaje automático sirve de catalizador para desarrollar modelos más sofisticados capaces de captar las complejidades de las respuestas emocionales [106].

Ampliando el alcance a los entornos educativos, los investigadores han centrado su atención en la aplicación del análisis afectivo a los estudiantes. Comprender los estados emocionales

de los estudiantes durante las actividades de aprendizaje encierra un inmenso potencial para mejorar los resultados educativos. Esta vía de investigación pretende descubrir los matices emocionales inherentes al proceso de aprendizaje, permitiendo el desarrollo de intervenciones que atiendan a las necesidades emocionales individuales. La integración de la informática afectiva en la educación se alinea con el objetivo más amplio de crear entornos de aprendizaje adaptativos y personalizados [107].

A medida que los investigadores profundizan en la computación afectiva, el desarrollo de modelos de clasificación emerge como un tema central. Estos modelos pretenden categorizar y diferenciar los distintos estados emocionales, proporcionando un marco sistemático para comprender la diversa gama de emociones humanas. La creación de modelos de clasificación sólidos es la piedra angular de futuros avances en computación afectiva, ya que permite realizar análisis más precisos y matizados de las respuestas emocionales [49].

Uno de los retos fundamentales de la informática afectiva consiste en determinar el modo óptimo de interacción en función del estado emocional del individuo. Este reto lleva a explorar estrategias para adaptar dinámicamente los modos de interacción. El objetivo es garantizar que las interfaces de usuario respondan en tiempo real a las fluctuaciones emocionales de los usuarios, creando un sistema interactivo más sensible y emocionalmente inteligente. Este énfasis en la adaptación dinámica pone de relieve la conexión integral entre la comprensión de los estados afectivos, el desarrollo de modelos de clasificación y la optimización de los modos de interacción para mejorar la experiencia del usuario [108].

#### 4. Proceso experimental (Fase 1 - Investigación)

El proceso experimental descrito en este capítulo se ajusta a la metodología propuesta por Genero Bocco [15], el cual presenta cinco actividades dentro de un proceso experimental: definición del alcance, planificación, operación, análisis e interpretación, presentación y difusión. Este enfoque facilita la exploración sistemática de los factores que influyen en las experiencias afectivas en la HCI. En este sentido, la primera fase del proceso experimental abarca la definición del alcance y la planificación, que es lo que se realiza en esta primera fase.

A lo largo de este capítulo se detallan los pasos iniciales para definir el alcance de la investigación, que incluyen la identificación de las variables relevantes, formulación de hipótesis, la selección de sujetos, la instrumentación y la validación, siguiendo así la metodología de investigación. Esto implica la elaboración y aplicación de la encuesta integral del perfil personal y tecnológico que se encuentra en la sección 4.2.6.1, así como la encuesta SAM (*Self-Assessment Mankin*) que se encuentra en la sección 4.2.6.2, junto a un aplicativo desarrollado. Estas herramientas permitirán obtener las características principales o más influyentes de una persona, que hacen que esta se sienta mejor usando distintos dispositivos de interacción.

##### 4.1. Definición del alcance

El objetivo de esta investigación es:

- Investigar las características demográficas, tecnológicas, de preferencias, expertise con la tecnología y afectivas de un estudiante universitario, que contribuyen a una experiencia afectiva positiva de acuerdo a un modo de interacción determinado aplicado a los estudiantes de la Universidad de Cuenca basado en encuestas e interacción con una herramienta de software diseñada para este objetivo.

## 4.2. Planificación

El propósito de la planificación es dar a conocer las diferentes fases que se llevan a cabo para realizar el experimento; de esta manera, se abarca desde la selección del contexto hasta la evaluación de la validez. Esto asegura una comprensión completa de todos los puntos necesarios para lograr completar el proceso experimental de la mejor manera.

### 4.2.1. Selección del contexto

La investigación es desarrollada dentro de un entorno académico en el que participan estudiantes universitarios y que es llevado a cabo en un entorno controlado fuera de línea. El estudio se centra en un “problema de juguete”, donde los estudiantes interactúan con diversos dispositivos tecnológicos a través de un juego diseñado a medida, en lugar de estar vinculados a proyectos del mundo real. El objetivo es obtener resultados específicos relevantes para el entorno académico, con el fin de mejorar la satisfacción de los usuarios mediante la identificación de modalidades de interacción óptimas basadas en perfiles individuales. Es necesario saber que, aunque los resultados pueden tener implicaciones más amplias, la generalización a entornos industriales o contextos profesionales requiere más investigación.

### 4.2.2. Formulación de hipótesis

A continuación, se deben generar las hipótesis que se pretenden probar.

1. **Hipótesis 1 (H1):** Los factores de los estudiantes universitarios influyen significativamente en sus experiencias afectivas (valencia, dominancia y excitación) cuando interactúan con diferentes dispositivos tecnológicos.
  - a) **H1.1:** Los factores demográficos influyen significativamente en sus experiencias afectivas.
  - b) **H1.2:** Los factores tecnológicos influyen significativamente en sus experiencias afectivas.
  - c) **H1.3:** Las preferencias personales influyen significativamente en sus experiencias afectivas.

- d) **H1.4:** El expertise con la tecnología influye significativamente en sus experiencias afectivas.
2. **Hipótesis 2 (H2):** Los estados afectivos de los usuarios durante la interacción con dispositivos tecnológicos varían significativamente según el dispositivo utilizado.
- a) **H2.1:** La valencia varía significativamente según el dispositivo utilizado.
- b) **H2.2:** La dominancia varía significativamente según el dispositivo utilizado.
- c) **H2.3:** La excitación varía significativamente según el dispositivo utilizado.
3. **Hipótesis 3 (H3):** Existen correlaciones relevantes entre las características de los usuarios y las métricas de rendimiento en el aplicativo al utilizar diferentes dispositivos de interacción.
- a) **H3.1:** Existen correlaciones relevantes al utilizar el ratón.
- b) **H3.2:** Existen correlaciones relevantes al utilizar el teclado.
- c) **H3.3:** Existen correlaciones relevantes al utilizar el gamepad.
- d) **H3.4:** Existen correlaciones relevantes al utilizar el eyetracker.
- e) **H3.5:** Existen correlaciones relevantes al utilizar el Leap Motion.
- f) **H3.6:** Existen correlaciones relevantes al utilizar la realidad virtual.
- g) **H3.7:** Existen correlaciones relevantes al utilizar la pantalla táctil.
4. **Hipótesis 4 (H4):** El modelo de regresión basado en aprendizaje automático puede predecir con una precisión mayor o igual al 85 % el estado afectivo de un usuario con un dispositivo de interacción determinado.
- a) **H4.1:** La precisión del modelo basado en información del usuario es mayor o igual al 85 %.
- b) **H4.2:** La precisión del modelo basado en métricas de rendimiento es mayor o igual al 85 %.

### 4.2.3. Selección de variables

A partir del objetivo y las hipótesis planteadas, es necesario definir una manera de medir el experimento, por lo que se plantean las siguientes variables divididas en 2 dimensiones, la primera del perfil personal y tecnológico, y la segunda de la dimensión afectiva. Estas se encuentran en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente.

| Dimensión del perfil personal y tecnológico |  |   |                                     |
|---|--|---|-------------------------------------|
| Variable                                    | Definición Conceptual  | Definición Operacional  | Tipo                                |
| Demográfica                                 | Son las características de una persona como edad, género, ubicación geográfica, etc. | Edad en años, género (masculino/femenino/otro), ubicación geográfica (urbana/rural/suburbana), etc.   | Cualitativa<br>Nominal              |
| Tecnológica                                 | Relacionada con el nivel de familiaridad y uso de la tecnología de la persona.       | Uso de dispositivos tecnológicos (computadora, teléfonos inteligentes, consola de videojuegos etc.), habilidades tecnológicas (principiante/avanzado), etc. | Cualitativa<br>Nominal y<br>Ordinal |
| Preferencias de uso tecnológico             | Preferencias personales en la elección y uso de dispositivos y tecnologías.          | Preferencia por dispositivos de interacción (ratón, teclado, pantalla táctil, etc.), preferencia por servicios en línea o aplicaciones móviles, etc.        | Cualitativa<br>Nominal y<br>Ordinal |
| Laboral                                     | Información sobre el ámbito laboral y su relación con la tecnología.                 | Sector laboral, teletrabajo, tipo de contrato, etc.   | Cualitativa<br>Nominal              |
| Expertise con dispositivos                  | La experiencia y uso de dispositivos específicos y herramientas tecnológicas         | Dispositivos de interacción usados (ratón, teclado, etc.), uso de dispositivos en actividades académicas, herramientas usadas etc.                          | Cualitativa<br>Nominal y<br>Ordinal |

Tabla 4.1: Operacionalización de las variables de perfil personal y tecnológico

| Dimensión del estado afectivo |   |   |              |
|-------------------------------|---|---|--------------|
| Variable                      | Definición Conceptual   | Definición Operacional  | Tipo         |
| Excitación                    | Estado de activación fisiológica y emocional del participante durante la interacción. | Evaluación de la experiencia en cuanto a la excitación (escala de Likert de 1 a 7).           | Cuantitativa |
| Valencia                      | Dimensiones positivas o negativas de la experiencia afectiva del participante.        | Evaluación de la experiencia emocional positiva o negativa mediante escala (escala de 1 a 7). | Cuantitativa |

|            |   |  |              |
|------------|---|--|--------------|
| Dominancia | Sentido de control o influencia percibida por el participante durante la interacción. | Evaluación de la percepción de control sobre la tarea (escala de 1 a 7). | Cuantitativa |
|------------|---|--|--------------|

Tabla 4.2: Operacionalización de las variables de estado afectivo

Estas variables se abordan en profundidad en la sección 4.2.6.1 correspondiente a la instrumentación, donde se puede conocer la escala de medición y el rango de valores que pueden tomar cada una de las variables.

#### 4.2.4. Selección de sujetos

El muestreo utilizado pertenece a las técnicas no probabilísticas, específicamente un muestreo a conveniencia. Esto se debe a la necesidad de acotar el alcance del experimento debido a factores como el tiempo, recursos y ubicación. El tiempo necesario para realizar las pruebas es extenso para cada participante, y hay limitaciones en cuanto a supervisores y equipamiento. Además, la ubicación geográfica donde se realiza el experimento, que es el campus Balzay de la Universidad de Cuenca, impide la participación de estudiantes de otras facultades debido a los costes de traslado y movilización de equipo. De esta manera, los sujetos seleccionados son aquellos que se encuentran cerca del campus y que cuentan con tiempo para realizar el experimento. A pesar de esto, se debe tratar de asegurar la mayor diversidad de la muestra, buscando una variabilidad en las carreras y semestres. Con todas estas complicaciones en mente y considerando que se realiza un muestreo a conveniencia, se pretende obtener un número de participantes cercano a los 60 ( $n=60$ ).

#### 4.2.5. Elección de diseño

A partir de la definición de la muestra, es necesario considerar la forma en la que se somete al cuasi-experimento a cada uno de los sujetos, en específico la forma tomada en cuenta es de tipo simple e intrasujetos (IAS), donde los sujetos reciben todos los tratamientos, que en este caso todos los participantes probarán todos los modos de interacción. Para esto fue necesario generar un protocolo que permita que los resultados obtenidos sean válidos, fiables y repetibles, este se encuentra en la sección 4.2.6.4.

#### **4.2.6. Instrumentación**

El objetivo de esta sección es destacar los medios para que el cuasi-experimento se realice de forma correcta, de manera que no se afecte el desarrollo ni la reproducibilidad del mismo. Con esto en mente, la instrumentación de nuestra investigación se compone de una encuesta de perfil personal y tecnológico, una encuesta para recolectar el estado afectivo luego de una experiencia, el aplicativo con el que se realiza la experiencia, y por último el protocolo a seguir.

##### **4.2.6.1. Encuesta integral del perfil personal y tecnológico**

A partir del objetivo planteado, en específico el fragmento donde se busca obtener los factores propios de una persona, es necesario obtener las características personales y tecnológicas de cada estudiante. Para esto fue necesario realizar una encuesta que permita obtener estos datos.

Se debe destacar que la literatura no ofrece un conjunto estándar de preguntas que respondan a las variables del perfil de una persona, esto debido a que muchas veces, este tipo de preguntas se suelen adaptar a las particularidades del problema de investigación así como a las características de la población objetivo. Además, de acuerdo a la naturaleza de nuestra investigación, se trata de encontrar aquellas preguntas que expliquen el estado afectivo de una persona dado un modo de interacción determinado.

Como punto de partida para el planteamiento de las preguntas, se encontró una encuesta validada en español y aplicada en un contexto latinoamericano que considera varias preguntas orientadas a la demografía y experiencia tecnológica de estudiantes universitarios [109]. A partir de esta encuesta se decidió tomar en cuenta aspectos como la edad, el sexo, el nivel educativo, la ocupación, la experiencia tecnológica y más factores que podrían influir en el estado afectivo y, por lo tanto, los resultados de nuestro estudio.

De esta manera, se obtuvo un conjunto de varias preguntas preliminares a partir de la encuesta validada junto con preguntas adicionales adaptadas hacia el contexto de la investigación. Es importante tomar en cuenta que las preguntas preliminares, a pesar de ser obtenidas a partir de una encuesta previa, debe ser validada nuevamente para garantizar

que las preguntas sean claras, precisas y miden lo que pretenden medir dentro de nuestro contexto. Esto ayuda a garantizar que los resultados sean válidos y fiables, y por lo tanto puedan utilizarse para tomar decisiones con conocimiento de causa o para investigaciones posteriores.

### Validación de la encuesta integral del perfil personal y tecnológico

Para validar la encuesta, es necesario contar con un pequeño grupo de estudiantes para obtener una muestra preliminar. A partir de esta muestra se calculará el *alfa de Cronbach*. Esta muestra se obtuvo a partir de la prueba piloto descrita en la sección 5.1.1, que permite a partir de las preguntas preliminares, identificar aquellas preguntas que no contribuyen a nuestra investigación o no abordan nuestras variables establecidas. De esta forma los resultados de cada una de las variables con su valor de *alfa de Cronbach* pueden ser observados en la Tabla 4.3:

| Variable                                    | Alfa de Cronbach |
|---|------------------|
| Variable demográfica                        | 0.715            |
| Variable tecnológica                        | 0.800            |
| Variable de preferencias de uso tecnológico | 0.612            |
| Variable laboral                            | 0.751            |
| Variable de expertise con dispositivos      | 0.861            |

Tabla 4.3: Valores de *alfa de Cronbach* por variable obtenida en la sección 5.1.1 de la prueba piloto.

Una vez finalizada la prueba piloto, las preguntas seleccionadas que se utilizarán en la encuesta final se encuentran en las tablas 4.4 a 4.9 y posteriormente se explica cada una de las variables y como son medidas.

| Preguntas Demográficas |                                    |   |
|------------------------|------------------------------------|---|
| N°                     | Pregunta                           | Opciones  |
| 1                      | Indique su rango de edad           | Menores de 17, Entre 18 y 20, Entre 21 y 23, Entre 24 y 26, Entre 27 y 29, Mayor de 30. |
| 2                      | ¿Cuál es su género?                | Masculino, Femenino, Otro.  |
| 3                      | ¿Es de nacionalidad ecuatoriana?   | Sí, No.   |
| 4                      | ¿Cuál es su ubicación geográfica?  | Urbano, Suburbano, Rural.   |
| 5                      | ¿Cuál es su etnia u origen étnico? | Blanco, Negro, Indígena, Mestizo, Otro.   |

- 6 Selecciona los idiomas que entiendes (aparte del español) Inglés, Francés, Portugués, Mandarín, Alemán, Italiano, Otro.

Tabla 4.4: Preguntas Demográficas del cuestionario.

| Preguntas Tecnológicas |   |  |
|------------------------|---|--|
| N°                     | Pregunta  | Opciones   |
| 7                      | ¿Cómo describiría sus habilidades tecnológicas?                             | Principiante, Intermedio, Avanzado, Experto.   |
| 8                      | ¿Cuánto tiempo lleva utilizando dispositivos tecnológicos?                  | Menos de 1 año, 1-3 años, 3-5 años, 5-7 años, Más de 7 años.   |
| 9                      | ¿Con qué propósito utiliza Internet?  | Trabajo, Entretenimiento, Compras, Redes sociales, Otro.   |
| 10                     | ¿Qué dispositivos utiliza para el entretenimiento en casa?                  | Televisor, Consola de videojuegos (PlayStation, Xbox, Nintendo Switch), Dispositivos de realidad aumentada (Meta Quest, Apple Vision Pro), Dispositivos de realidad virtual (HTC Vive, Oculus Rift), Tabletas o Smartphones, Computador, Otro. |
| 11                     | ¿En qué redes sociales tiene una cuenta?                                    | Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn, Otro.  |
| 12                     | ¿Utiliza dispositivos inteligentes en su hogar?                             | Sí, No.  |
| 13                     | ¿Utiliza asistentes virtuales (por ejemplo, Siri, Alexa, Google Assistant)? | Sí, No.  |

Tabla 4.5: Preguntas Tecnológicas del cuestionario.

| Preguntas de preferencia de uso tecnológico |  |  |
|---|--|--|
| N°  | Pregunta   | Opciones   |
| 14  | ¿Con qué frecuencia utiliza dispositivos tecnológicos?   | Todos los días, Varias veces por semana, Una vez por semana, Menos de una vez por semana.  |
| 15  | ¿Qué dispositivos tecnológicos utiliza con mayor frecuencia?   | Teléfono móvil, Tableta, Computadora portátil, Computadora de escritorio, Dispositivos de realidad virtual o aumentada, Consolas de videojuegos, Otro. |
| 16  | ¿Con qué frecuencia utiliza aplicaciones móviles? (incluido redes sociales, juegos, etc.)                          | Todos los días, Varias veces por semana, Una vez por semana, Menos de una vez por semana.  |
| 17  | ¿Con qué frecuencia utiliza servicios en línea (por ejemplo, banca en línea, compras en línea, reservas en línea)? | Todos los días, Varias veces por semana, Una vez por semana, Menos de una vez por semana.  |

- 18 ¿Qué tipo de conexión a Internet utiliza con mayor frecuencia? Wi-Fi, Datos móviles, Conexión por cable, Otro.

Tabla 4.6: Preguntas de preferencia de uso tecnológico del cuestionario.

| Preguntas Laborales |  |  |
|---------------------|--|--|
| N°                  | Pregunta   | Opciones   |
| 19                  | ¿Trabajas?   | Sí, No.  |
| 25                  | ¿En qué sector trabajas?   | Público, Privado.  |
| 26                  | ¿Qué tipo de contrato laboral tienes?  | Contrato indefinido, Contrato temporal, Freelance, Otro. |
| 27                  | ¿Realizas teletrabajo de forma regular?  | Sí, No.  |
| 28                  | ¿Participas en programas de formación continua relacionados con tu área laboral? | Sí, No.  |

Tabla 4.7: Preguntas Laborales del cuestionario.

| Expertise con dispositivos |  |  |
|----------------------------|--|--|
| N°                         | Pregunta   | Opciones   |
| 20                         | Señale cuál(es) de los siguientes dispositivos digitales ha usado (puede seleccionar más de una opción):                           | Celular inteligente / smartphone, Tablet, Computador de escritorio o portátil, Cámaras digitales, Dispositivos hápticos (Leap, Control de movimiento), Dispositivos visuales (Eye-tracker), Dispositivos de realidad virtual, Dispositivos de realidad aumentada, Gamepad (Dualshock, Joy-con, Xbox Controller, Wii Controller), Otro. |
| 21                         | ¿Cuál(es) de los siguientes dispositivos digitales utiliza para sus actividades académicas? (puede seleccionar más de una opción): | Celular inteligente / smartphone, Tablet, Computador de escritorio o portátil, Cámaras digitales, Dispositivos hápticos (Leap, Control de movimiento), Dispositivos visuales (Eye-tracker), Dispositivos de realidad virtual, Dispositivos de realidad aumentada, Otro.  |
| 22                         | ¿En cuál lugar suele conectarse a internet para realizar sus actividades académicas? (puede seleccionar más de una opción):        | En casa, En la universidad, En el trabajo, En cafés, restaurantes o sitios públicos, Otro.   |

Tabla 4.8: Preguntas sobre expertise con dispositivos del cuestionario.

| Expertise con dispositivos (continuación) |                                     |          |
|---|-------------------------------------|----------|
| N°  | Pregunta                            | Opciones |
| 23  | Señale las herramientas que utiliza |          |

---

|   |                    |
|---|--------------------|
| Blogs (Blogger, Wordpress o similar)  | Nunca, Una vez     |
| Audioblogs y Videoblogs   | al mes, Una vez    |
| Mensaje Instantáneo (Whatsapp, Telegram o similar)                            | por semana, Varias |
| Mashups (Scoop.it, pinterest o similar)                                       | veces por semana,  |
| Videoconferencia (Skype, hangouts o similar)                                  | Todos los días     |
| Wikis (Wikipedia o similar)   |                    |
| Plataformas LMS (Moodle, Blackboard o similar)                                |                    |
| Redes sociales (Twitter, Facebook, Instagram o similar)                       |                    |
| Redes sociales educativas (Edmodo, Scolartic o similar)                       |                    |
| Herramientas para publicar videos (YouTube o similar)                         |                    |
| Herramienta para publicar audios (Podcasts o similar)                         |                    |
| Herramientas para publicar presentaciones (Slideshare o similar)              |                    |
| Herramientas para publicar trabajos (Scrib o similar)                         |                    |
| Herramientas Google (Calendar, Documents o similar)                           |                    |
| Almacenamiento en la nube (Dropbox, Drive, icloud o similar)                  |                    |
| Herramientas para la edición de documentos de texto (Word o similar)          |                    |
| Herramientas para el procesamiento de datos (Excel o similar)                 |                    |
| Herramientas para preparación de presentaciones (Powerpoint, Prezi o similar) |                    |

---

Tabla 4.9: Preguntas sobre expertise con dispositivos del cuestionario (continuación).

A continuación se muestra cada una de las variables y cómo se mide.

■ **Variable demográfica:**

Una variable demográfica se refiere a las características de un individuo, como la edad, el sexo, la ubicación geográfica, etc. Estas variables suelen ser importantes ya que ayudan a comprender y analizar la composición de una población. En específico, la variable demográfica se compone de 6 preguntas que se encuentran en la Tabla 4.4.

La primera pregunta busca obtener el rango de edad de los encuestados. Se decidió que los grupos de edad a obtener sean de 17 años hasta 30 años con un intervalo de 3 años, esto debido a que la edad media de un estudiante de universidad se encuentra entre los 18 y 24. Posteriormente, se indaga sobre el género de los participantes, permitiendo seleccionar entre masculino, femenino u otro. Se continúa con la pregunta sobre la nacionalidad ecuatoriana, solicitando una respuesta de sí o no. Esta pregunta permite saber si existen personas extranjeras en la muestra, esto debido a que en el

contexto de la Universidad de Cuenca, la mayoría son ecuatorianos.

A continuación, se explora la ubicación geográfica de los participantes, donde pueden seleccionar entre las opciones de urbano, suburbano o rural. Así mismo, se aborda la etnia u origen étnico, ofreciendo opciones que incluyen blanco, negro, indígena, mestizo u otro, y por último, se obtiene información acerca de los idiomas que el participante entiende, dejando de lado el idioma español que, de acuerdo al contexto de la investigación, se asume es el nativo de la persona.

■ **Variable tecnológica:**

La variable tecnológica es diseñada para entender el nivel de familiaridad y uso de la tecnología que tienen los encuestados. Estas variables se componen de 7 preguntas y se pueden observar en la Tabla 4.5.

La primera pregunta busca conocer el nivel de habilidades tecnológicas que posee el encuestado, con opciones que van desde principiante hasta experto, permitiendo conocer el nivel de competencia tecnológica de cada encuestado. Luego, la segunda pregunta sobre el tiempo que la persona lleva utilizando dispositivos tecnológicos, con opciones que van desde menos de 1 año hasta más de 7 años, útil para evaluar la experiencia acumulada con la tecnología.

La tercera pregunta consulta sobre el propósito principal del uso de Internet, donde se incluyen opciones como trabajo, entretenimiento, compras, redes sociales y otros. La cuarta pregunta es acerca de los dispositivos utilizados para el entretenimiento en casa que permite identificar preferencias y hábitos en el hogar, luego la quinta pregunta es acerca de las redes sociales en las que los participantes tienen cuenta. Finalmente, la sexta y séptima pregunta buscan encontrar el uso de dispositivos inteligentes y asistentes virtuales en el hogar, con respuestas de sí o no. Estas permiten identificar el grado de adopción de tecnología en el entorno doméstico.

■ **Variable de preferencias y comportamientos tecnológicos:**

Esta variable explora las preferencias personales y patrones de uso de dispositivos tecnológicos, esta contiene 5 preguntas mostradas en la Tabla 4.6.

La primera pregunta busca hallar la frecuencia de uso de dispositivos tecnológicos, cuyas opciones van desde todos los días hasta menos de una vez por semana, permitiendo conocer el nivel de integración de la tecnología en la vida diaria. A continuación, la segunda pregunta es sobre los dispositivos utilizados con mayor frecuencia, como teléfonos móviles, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio, dispositivos de realidad virtual o aumentada. La tercera pregunta busca saber la frecuencia de uso de aplicaciones móviles, incluyendo redes sociales y juegos, contando con las mismas opciones que la primera pregunta. La cuarta pregunta acerca de la frecuencia de uso de servicios en línea, tales como banca en línea, compras en línea y reservas, buscando evaluar el nivel de dependencia de los servicios en línea. La quinta pregunta de esta categoría es acerca del tipo de conexión a Internet utilizado con mayor frecuencia, permitiendo identificar las preferencias y necesidades de conectividad de los estudiantes.

■ **Variable de experiencia con dispositivos:**

Esta variable contiene preguntas que miden la experiencia y uso de diversos dispositivos y herramientas tecnológicas, con preguntas ubicadas en las tablas 4.8 y 4.9.

Aquí se pregunta por los dispositivos tecnológicos utilizados por los encuestados, los dispositivos utilizados específicamente para actividades académicas, los lugares de conexión a Internet para estas actividades y las herramientas tecnológicas utilizadas. De esta forma se permite conocer el nivel de competencia y las preferencias tecnológicas de los encuestados en diferentes contextos.

■ **Variable laboral:**

En cuanto a las preguntas pertenecientes a la situación laboral de los encuestados y su relación con la tecnología, con 5 preguntas en la Tabla 4.7.

Las cinco preguntas permiten conocer si los encuestados trabajan, en qué sector, el tipo de contrato laboral, la regularidad del teletrabajo, y la participación en programas de formación continua. De esta forma se logra tener una visión del entorno laboral y el uso de la tecnología en el trabajo y la formación profesional.

#### 4.2.6.2. Preguntas del cuestionario SAM (Self-Assessment Mankin)

Para medir las respuestas emocionales de los participantes a los distintos modos de interacción, se decidió utilizar el cuestionario SAM (Self-Assessment Manikin), una herramienta bien establecida para evaluar los estados afectivos según las variables de valencia, excitación y dominancia. El cuestionario consta de una serie de preguntas, cada una de ellas se encuentra elaborada para captar aspectos de la experiencia emocional mostrados en la sección 2.2.1.1, donde se define qué es cada variable, y lo que indica, por lo que a continuación se muestra la adaptación del cuestionario creado por Lang [52] y se encuentran en la Tabla 4.10.

- **Variable de valencia:**

Según Lang, para medir la valencia de una persona luego de una experiencia, es necesario realizar 6 preguntas al sujeto de acuerdo a su estado emocional, estas preguntas recopilarán la información mediante una escala del 1 al 7.

La primera pregunta, ¿Qué tan feliz te sentiste durante esa experiencia?, permite evaluar el nivel de felicidad durante la interacción: 1 indica tristeza y 7 felicidad, luego la segunda pregunta ¿En una escala del 1 al 7, cuánto te complació esa experiencia?, los participantes evaluarán el grado de placer derivado de la experiencia, lo que les permitirá expresar hasta qué punto la interacción les resultó desagradable (1) o placentera (7). La tercera pregunta ¿En una escala del 1 al 7, cuánto te complació esa experiencia?, mide la satisfacción general desde 1 (que indica insatisfacción) a 7 (que indica satisfacción). La cuarta pregunta, ¿En qué medida experimentó melancolía o satisfacción durante esa experiencia?, mide el nivel de emociones encontradas, como tristeza o satisfacción, experimentado por el encuestado. La quinta pregunta, ¿Se sintió desesperado o esperanzado durante esa experiencia? mide el estado emocional del encuestado en cuanto a esperanza o desesperación. La sexta pregunta, ¿Se sintió aburrido o relajado durante esa experiencia?, mide el nivel de compromiso o relajación experimentado por el encuestado.

- **Variable de excitación:**

Para la variable de la excitación, son necesarias otras 6 preguntas, las cuales de igual manera presentan una escala del 1 al 7, por lo que la séptima pregunta, ¿Cómo de relajado o estimulado se sintió durante la experiencia?, indaga sobre el nivel de excitación experimentado por el encuestado, desde la relajación hasta la estimulación. A continuación, la octava pregunta, En una escala del 1 al 7, ¿Cómo de excitado se sintió durante la experiencia?, pide a los encuestados que valoren su nivel de excitación durante la interacción. La novena pregunta, ¿Sintió letargo o agitación durante esa experiencia?, capta si el encuestado se sintió letárgico o agitado. La décima pregunta, ¿Se sintió aburrido o nervioso durante la experiencia?, mide el nivel de aburrimiento o nerviosismo del encuestado. A continuación, la undécima pregunta, ¿Estaba más somnoliento o completamente despierto durante esa experiencia?, evalúa el nivel de alerta del encuestado. Por último, la duodécima pregunta, ¿Se sintió desactivado o activado durante esa experiencia?, permite conocer si el encuestado se sintió con energía o apagado.

■ **Variable de dominancia:**

Continuando con la variable de dominancia, otras 6 preguntas igualmente medidas por escalas del 1 al 7 fueron usadas. Aquí la decimotercera pregunta, ¿Se sintió en control de la situación durante esa experiencia o se sintió controlado?, mide el nivel de control percibido durante la interacción. A continuación, la decimocuarta pregunta, En una escala del 1 al 7, ¿hasta qué punto influyeron sus acciones durante esa experiencia?, pide a los encuestados que valoren el grado de su influencia durante la interacción. La decimoquinta pregunta, ¿Se sintió cuidado o a cargo de la situación durante esa experiencia?, permite comprender la percepción de responsabilidad o cuidado del encuestado durante la interacción. A continuación, la decimosexta pregunta, En una escala del 1 al 7, ¿Cómo de asombrado se sintió durante esa experiencia?, de igual forma mide el nivel de asombro experimentado por el encuestado. La decimoséptima pregunta, ¿Se sintió sumiso o más bien dominante durante esa experiencia?, permite comprender la percepción de la dinámica de poder por parte del encuestado. Por último, la decimoctava pregunta, ¿Se sintió guiado o autónomo durante esa expe-

riencia?, evalúa si el encuestado se sintió guiado o independiente en sus acciones.

Como se mencionó previamente, estas preguntas fueron elaboradas traduciéndolas al español desde [52]. La encuesta se debe ser administrada después de que cada usuario haya utilizado cada uno de los modos de interacción, lo que garantizará una exploración de las respuestas emocionales de los participantes en toda la gama de experiencias. Las preguntas se encuentran en la Tabla 4.10.

| <b>Cuestionario del maniquí de autoevaluación (SAM)</b> |   |
|---|---|
| <b>Valencia (<i>Valence</i>)</b>                        |   |
| 1   | ¿Qué tan feliz te sentiste durante esa experiencia?   |
| 2   | ¿En una escala del 1 al 7, cuánto te complació esa experiencia?   |
| 3   | ¿Qué tan satisfecho/a te sentiste durante esa experiencia?  |
| 4   | ¿En qué medida experimentaste melancolía o contentamiento durante esa experiencia?                          |
| 5   | ¿Te sentiste desesperado/a o esperanzado/a durante esa experiencia?   |
| 6   | ¿Qué tan aburrido/a o relajado/a te sentiste durante esa experiencia?                                       |
| <b>Excitación (<i>Arousal</i>)</b>                      |   |
| 7   | ¿Qué tan relajado/a o estimulado/a te sentiste durante esa experiencia?                                     |
| 8   | ¿En una escala del 1 al 7, cuán emocionado/a estabas durante esa experiencia?                               |
| 9   | ¿Experimentaste letargo o agitación durante esa experiencia?  |
| 10  | ¿Qué tan aburrido/a o nervioso/a te sentiste durante esa experiencia?                                       |
| 11  | ¿Estabas más somnoliento/a o completamente despierto/a durante esa experiencia?                             |
| 12  | ¿Te sentiste desactivado/a o activado/a durante esa experiencia?  |
| <b>Dominancia (<i>Dominance</i>)</b>                    |   |
| 13  | ¿Te sentiste en control de la situación durante esa experiencia o sentiste que estabas siendo controlado/a? |
| 14  | ¿En una escala del 1 al 7, qué tan influyentes fueron tus acciones durante esa experiencia?                 |
| 15  | ¿Experimentaste sentirte cuidado/a o a cargo de la situación durante esa experiencia?                       |
| 16  | ¿En una escala del 1 al 7, qué tan asombrado/a te sentiste durante esa experiencia?                         |
| 17  | ¿Te sentiste sumiso/a o más bien dominante durante esa experiencia?   |
| 18  | ¿Te sentiste guiado/a o autónomo/a durante esa experiencia?   |

Tabla 4.10: Preguntas del cuestionario SAM.

#### 4.2.6.3. Aplicativo

Como parte de la instrumentación, es necesaria la creación de un aplicativo que permita a los usuarios interactuar con el computador mediante varios modos de interacción. Se realizó un juego que, mediante los diferentes dispositivos de entrada, logra mantener una dificultad similar entre ellos. Para evitar una experiencia adaptada a cada dispositivo y evaluar el

uso de cada uno de los modos de interacción, este juego debe proporcionar una igualdad de condiciones entre todos los participantes y reflejar únicamente la percepción del usuario hacia los modos de interacción. Este aplicativo fue creado en React [110], que es una biblioteca JavaScript gratuita y de código abierto que permite crear interfaces de usuario basadas en componentes y mantenida por Meta. Algunas características del aplicativo son:

- **Objetivo:** La aplicación creada es un juego sencillo en el que se presenta al usuario una pantalla con varios emoticonos, como se puede ver en la Figura 4.1. El objetivo principal es seleccionar el emoticón que difiere del resto. El jugador tiene un tiempo límite de juego, y si la selección es correcta, la pantalla se vuelve verde, acompañada de un sonido que indica que la elección ha sido acertada. Por el contrario, una elección incorrecta da lugar a una pantalla roja acompañada de un sonido de error.



Figura 4.1: Pantalla de juego.

- **Sistema de puntuación:** El juego incorpora un mecanismo de puntuación. Las elecciones acertadas dan al jugador 2 puntos, mientras que los errores dan lugar a una

reducción de 1 punto. El objetivo principal es conseguir la máxima puntuación en el menor tiempo posible.

- **Tres fases:** El juego está estructurado en tres fases de dificultad progresiva. La etapa inicial muestra sólo 2 emoticonos (uno a la izquierda y otro a la derecha), seguida de una etapa con 4 emoticonos dispuestos en cruz y culminando en una etapa final con 8 emoticonos como se muestra en la Figura 4.1 (en cruz y diagonales).
- **Interacción uniforme en todos los dispositivos:** Una característica clave del juego es su diseño estrictamente creado para garantizar la uniformidad en la interacción del usuario a través de diversos dispositivos y modos de interacción. En concreto:
  1. La interacción con el ratón implica hacer clic en el botón con los distintos emoticonos.
  2. El uso del *gamepad* implica seleccionar un emoticón con el joystick izquierdo y confirmar la elección con el botón primario del *gamepad*.
  3. Los controles del teclado reflejan los del *gamepad*, con las teclas “WASD” para seleccionar emoticonos y “Enter” o “Espacio” para confirmar.
  4. El *eyetracker* permite seleccionar emoticonos con la mirada.
  5. El dispositivo de realidad virtual (*HTC Vive*) utiliza un mando para elegir el emoticón deseado, esto dentro de un entorno virtual.
  6. El *Leap Motion*, mediante el dedo índice o la palma de la mano, permite la selección de emoticón en la pantalla.
  7. La interacción con una pantalla táctil implica un simple toque en emoticón distinto.
- **Curva de aprendizaje:** La curva de aprendizaje del juego es sencilla, debido a que es fácil de comprender y adaptarse, dada su simplicidad y su enfoque estandarizado en todos los modos de interacción.
- **Detalles técnicos:**
  1. Entrada del usuario: El juego pide a los usuarios que introduzcan un identificador

de usuario (proporcionado previamente y controlado que se introduzca correctamente por el conductor del experimento) y seleccionen su dispositivo de interacción preferido al principio de cada sesión, esto con el objetivo de mapear sus respuestas en las encuestas.

2. Registro de datos: Al finalizar, el juego genera y descarga un archivo CSV con datos detallados sobre el juego. Esto incluye el tiempo entre cada clic, así como de las selecciones correctas e incorrectas que tuvo el usuario para su posterior análisis.

El código fuente del aplicativo se puede encontrar en [111].

#### **4.2.6.4. Protocolo Experimental**

Como se mencionó previamente, es necesario generar un protocolo para aplicar tanto las encuestas como las pruebas a los estudiantes. De esta manera, es necesario plantear los diferentes pasos o puntos clave para este protocolo, de manera que, con la ayuda de las pruebas pilotos a ser realizadas, permitan mejorar este protocolo y que se logre la replicación del proceso experimental en casos futuros.

En la siguiente sección se describe el protocolo formalizado para la selección y el mantenimiento del lugar de pruebas que se empleará en el procedimiento experimental que abarca las encuestas y pruebas. El cumplimiento de estos parámetros es imperativo para garantizar la fiabilidad, reproducibilidad y solidez de la investigación realizada.

##### **1. Preparación del cuasi-experimento**

- a) Materiales necesarios: lista detallada de todos los materiales y equipos necesarios.
- b) Documento de consentimiento informado, que permite el uso de los datos del sujeto para su análisis y presentación en este trabajo.

##### **2. Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición van a ser tres, que fueron detallados previamente como parte de la instrumentación del proceso experimental.

- a) Cuestionario integral del perfil personal y tecnológico: Como se puede ver en la sección 4.2.6.1, este es el cuestionario a utilizar, que contiene las preguntas individuales de la persona.
- b) Cuestionario SAM: Del mismo modo, en el apartado 4.2.6.2 se presenta el cuestionario del Maniquí de Autoevaluación (SAM), que permite medir las tres variables: dominancia, excitación y valencia.
- c) Aplicativo: Por último, el aplicativo desarrollado y descrito en el apartado 4.2.6.3, facilita el uso de diferentes dispositivos, creando así la experiencia a evaluar mediante el cuestionario SAM.

### 3. Lugar de ensayo y parámetros ambientales

#### a) Ubicación e infraestructura

- 1) Selección del lugar: El lugar designado para realizar las pruebas son las instalaciones de la Universidad de Cuenca, específicamente en el departamento de investigación del campus Balzay. El espacio designado debe permitir el aislamiento, minimizar las interrupciones externas y preservar la inviolabilidad del proceso de recogida de datos.
- 2) Requisitos de infraestructura: El lugar designado a cada participante debe disponer de una terminal de computador con una interfaz normalizada, incluida una pantalla de tamaño adecuado donde se despliegue el aplicativo. La infraestructura tecnológica, que incluye el aplicativo desplegado localmente en cada computador, deberá ser robusta y fiable para evitar cualquier impedimento técnico durante el proceso de prueba y la toma de datos.

#### b) Control del ruido y mitigación de molestias

- 1) Medidas de insonorización: El lugar donde se realicen las pruebas debe incorporar medidas de insonorización o estar situado en una zona con un ruido ambiente mínimo. El objetivo es crear un entorno propicio para que los participantes se concentren en sus tareas, mitigando así la posible influencia de

los estímulos externos en las respuestas de los participantes.

c) Confort y ergonomía

- 1) Disposición de los asientos: La disposición de los asientos debe dar prioridad a las consideraciones ergonómicas, garantizando la comodidad de los participantes y permitiendo la concentración en el cuasi-experimento.
- 2) Regulación de la temperatura: La temperatura ambiente deberá proporcionar una atmósfera propicia para tareas cognitivas prolongadas, garantizando la comodidad de los participantes.

d) Normalización de las terminales

- 1) Calibración del equipo: Se debe mantener condiciones de prueba estandarizadas en todos los puestos de los participantes, incluida la calibración de los diferentes computadores, para que puedan ejecutar el aplicativo de manera eficiente y sin interrupciones.

#### 4. Procedimiento paso a paso

En esta sección se describe el procedimiento paso a paso para la aplicación sistemática del cuasi-experimento, que abarca los modos de interacción de los participantes, la administración del cuestionario y la transición secuencial entre las diversas modalidades de interacción.

- a) Socialización del experimento y firma del documento de consentimiento: Al comienzo del experimento, cada uno de los participantes es invitado a realizar las pruebas y se le da una pequeña explicación acerca del experimento. Si el participante decide realizar el experimento, se toma el consentimiento del participante firmando el documento de aceptación encontrado en la Figura A.1, que contiene los términos del mismo.
- b) Aplicación del cuestionario integral del perfil personal y tecnológico: Luego de que el participante firmara el consentimiento, se inicia aplicando la encuesta integral del perfil personal y tecnológico correspondiente a sección 4.2.6.1, y a continua-

ción dando paso a la aplicación de las pruebas.

- c) Muestra del video tutorial del funcionamiento del juego: Previo a las pruebas, se muestra un vídeo explicativo en el que se describen la finalidad y las funciones del juego (No del uso de los dispositivos de interacción). Con ello se pretende garantizar que todos los participantes comiencen con un nivel de comprensión similar, creando así unas condiciones iniciales iguales y mitigando el riesgo de que algún participante tenga conocimientos previos o comprenda mejor la aplicación que los demás.

Este vídeo tutorial [112] tiene una duración de un minuto, y mediante audio y texto, se explica al participante el objetivo del juego, a medida que se va mostrando un ejemplo de su uso, haciéndolo sencillo de comprender.

- d) Número de identificación: Posteriormente, se le entrega un número a sujeto, este número es necesario debido a que se usa como identificador para cada una de las siguientes etapas. De esta manera, cada uno de los participantes ingresará el número identificador en cada una de las terminales y encuestas afectivas, teniendo una organización y una mejor forma de llevar los datos obtenidos.
- e) Orden de los terminales: Durante las pruebas existirán 7 diferentes terminales en las cuales se evalúa un dispositivo de interacción. De esta forma se debe empezar por los dispositivos que son más reconocidos y manipulados por el público general [113], por lo que se empieza por el primer terminal en el que se pone a prueba el teclado, luego la terminal de ratón y la terminal del gamepad, a continuación sigue el terminal con la pantalla táctil, la terminal que contiene el *eyetracker*, luego la terminal configurada con el dispositivo *Leap Motion*, y por último estará el terminal con el dispositivo de realidad virtual.

- f) Modos de interacción con los participantes

- 1) Introducción al modo: Se debe proporcionar a cada participante una breve introducción a cada uno de los modos de interacción designados. En específico:

- **Teclado:** Es un dispositivo periférico de entrada que permite introducir datos mediante la pulsación de teclas. En este caso, para el uso del aplicativo se deben usar las flechas de dirección o las teclas “WASD” que indican la selección hacia arriba, abajo, izquierda y derecha o dos teclas al mismo tiempo para las diagonales. Aquí se deberá mantener presionado la o las teclas para la selección y luego presionar la tecla “Enter”.
- **Ratón:** Este dispositivo permite interactuar con el aplicativo mediante un cursor en la pantalla. El participante debe mover el cursor y seleccionar los objetivos mediante un clic izquierdo.
- **Gamepad:** Este es un controlador de videojuegos que permite interactuar mediante botones, palancas y gatillos en diferentes juegos. En este caso, se debe usar la palanca izquierda para apuntar al objetivo que presente el aplicativo, y para seleccionarlo se debe mantener la palanca apuntando y presionar el botón primario en el *gamepad*.
- **Pantalla táctil:** Este dispositivo permite interactuar únicamente tocando la pantalla. Para usar el aplicativo, únicamente se debe dar un toque en cada uno de los objetivos que presente el aplicativo.
- **Eyetracker:** El *eyetracker* es un dispositivo que sigue y registra el movimiento de los ojos, lo que permite interactuar con él únicamente con la mirada. De esta manera, para interactuar con el dispositivo, se debe mirar al objetivo presentado por un tiempo de 0.5 segundos de manera fija, lo que hará que se registre la selección del mismo.
- **Leap motion:** El *Leap Motion* es un dispositivo que rastrea las manos y los dedos en un espacio tridimensional, permitiendo controlar aplicaciones con el uso de gestos sin la necesidad de tener un contacto físico con el computador. Con este dispositivo se debe ubicar la mano frente a donde se encuentre el objetivo, y sin la necesidad de tocar la pantalla del computador, realizar un movimiento de la mano hacia adelante en direc-

ción a la pantalla del computador. Este permite observar un puntero que indica el clic realizado en la pantalla.

- Realidad virtual: El dispositivo de realidad virtual permite interactuar en un espacio virtual con el aplicativo en una ventana flotante dentro de un entorno a elección. Para usar aplicativo se hará uso de los controles del dispositivo, el cual muestra un puntero en la pantalla de tal forma que simplemente se debe presionar el botón de clic mientras se esta puntando al objetivo para seleccionarlo.

- 2) Aplicación secuencial: El participante debe ser expuesto a cada modo de interacción en una secuencia predeterminada, de tal forma que sea coherente en todos los participantes y garantice una experiencia experimental normalizada.

g) Procedimiento de aplicación

- 1) Aplicación inicial: Tras la introducción a los modos de interacción, el participante será sometido a la aplicación inicial del experimento. Esto implica la interacción con la aplicación, utilizando el modo designado, y la realización de tareas en consonancia con los objetivos experimentales.
- 2) Cuestionario SAM: Una vez finalizada la interacción inicial, se pedirá a los participantes que respondan al cuestionario 4.10 del Maniquí de Autoevaluación. El objetivo de este instrumento es captar las experiencias subjetivas de los participantes y calibrar las respuestas afectivas al modo de interacción utilizado.
- 3) Iteraciones secuenciales: El procedimiento experimental progresará iterativamente a través de los modos de interacción restantes, cada uno seguido de la administración del cuestionario SAM.

- h) Transición entre modos: Las transiciones entre los modos de interacción serán realizadas por el facilitador del experimento. Se deben proporcionar instrucciones claras a los participantes para garantizar un cambio fluido de una modalidad a

otra, minimizando la confusión y manteniendo la coherencia experimental.

*i)* Adquisición y registro de datos

- 1) Adquisición de datos: A lo largo del experimento, se deben recopilar datos pertenecientes a las interacciones de los participantes, las respuestas al cuestionario SAM y cualquier observación pertinente.
- 2) De igual manera se obtienen los datos de rendimiento en el juego, en específico, la cantidad de correctas, incorrectas, y tiempos de interacción.

## 5. Mitigación de Errores

Es necesario tener en consideración diversos aspectos para mitigar los posibles errores durante el proceso de aplicación de la prueba. En primer lugar, es necesario calibrar correctamente cada uno de los terminales; en específico, se deben calibrar los dispositivos de interacción y las pantallas, minimizando así errores que puedan surgir en el tiempo de ejecución del cuasi-experimento. De igual forma, en todo momento se debe observar si algún terminal deja de funcionar, ya sea que se ha perdido la calibración o errores en el aplicativo, la red, etc. Debido a todos los posibles errores, los facilitadores que participen en la recolección de datos deben ser capacitados en el funcionamiento del aplicativo, así como la calibración y mantenimiento de cada terminal.

## 6. Evaluación de la validez

La evaluación de la validez de los datos recogidos es fundamental para poder garantizar la fiabilidad y credibilidad de los resultados de la investigación. La evaluación de la validez implica un examen de diversos aspectos del diseño experimental, los métodos de recogida de datos y los procedimientos de análisis. Un aspecto fundamental a tener en cuenta es la validez interna, que se refiere al grado en que el estudio mide con precisión lo que pretende medir. Esto implica controlar las posibles variables de confusión y garantizar que los procedimientos experimentales estén libres de sesgos que puedan comprometer la exactitud de los resultados.

- a) Diseño de las preguntas: En primer lugar, las preguntas de los cuestionarios y los

protocolos de evaluación son diseñados para captar las variables de perfil personal y tecnológico, así como las variables afectivas luego de usar el aplicativo. Este proceso está basado en una revisión de la bibliografía existente que permite fundamentar la selección de las medidas y metodologías adecuadas. Al basar nuestras herramientas de evaluación a las normas y marcos teóricos establecidos, se aumenta la validez de cada uno de los instrumentos.

- b) Validez interna: Por otro lado, para evaluar la validez interna del estudio, se aplican controles y procedimientos para minimizar las posibles fuentes de sesgo y las variables de confusión. Esto incluye estandarizar la administración de las encuestas y las pruebas, y además, garantizar la coherencia de los métodos de recolección de datos entre los participantes. Si se adhiere lo máximo posible al protocolo experimental planteado, se evita tener faltas a la validez interna y permite aumentar la fiabilidad de los resultados.
- c) Validez externa: Por último, para aumentar la validez externa de la investigación, es necesario buscar la posibilidad de generalizar los resultados a poblaciones y contextos más amplios. Para ello, se debe llevar a cabo un estudio en entornos que reflejen las condiciones del mundo real. Además, se deben documentar las características de la muestra y el contexto del estudio para facilitar las comparaciones con investigaciones similares realizadas en entornos diferentes. Al abordar sistemáticamente estas cuestiones de validez en la primera fase de la investigación, se pueden sentar unas bases sólidas para producir resultados de investigación significativos.

## **7. Consideraciones de seguridad e integridad de los datos**

- a) Medidas de protección de datos: Se deben aplicar medidas de seguridad para salvaguardar la información de los participantes y evitar accesos no autorizados. Los formularios de consentimiento de los participantes, de igual manera, deben ser almacenados de forma segura y se respetarán los protocolos de anonimización de datos durante la fase de análisis posterior.

## **5. Proceso experimental (Fase 2 - Creación del modelo de aprendizaje automático)**

Continuando con la investigación planteada en el capítulo anterior, este capítulo aborda la fase de operación, donde se describe la prueba piloto, que permite afinar el protocolo experimental, y proseguir con la realización del cuasi-experimento para la recolección, validación, limpieza y tratamiento de los datos. De esta manera, a lo largo de este capítulo se describe el proceso de recopilación y preprocesamiento de datos, que consiste en limpiar y organizar las respuestas de las encuestas y datos provenientes del aplicativo. De igual forma, se debe recalcar que el análisis de los resultados se encuentra en el capítulo posterior.

Además del proceso de recopilación y preprocesamiento de datos, se buscó darle un uso a estos datos, de manera que, dentro de la fase de operación, se decidió entrenar y validar un modelo de aprendizaje automático con los datos recopilados y limpios. El objetivo principal aquí es utilizar los datos recolectados de las encuestas de perfil personal y tecnológico, para crear un modelo que permita predecir las variables afectivas en función del dispositivo de interacción y las características individuales de la persona, todo esto mediante el uso de la metodología CRISP DM [114].

### **5.1. Operación**

El objetivo de esta sección es mostrar la ejecución del cuasi-experimento, para lo que fue necesario realizar pruebas piloto previo a la aplicación del experimento. De igual forma, a lo largo de la operación también se realiza el entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático, que permita usar los datos provenientes del proceso experimental para tratar de realizar predicciones del estado afectivo, tomando como base los datos demográficos y de la herramienta de software.

#### **5.1.1. Prueba piloto**

Una prueba piloto dentro de un proceso experimental es un ensayo preliminar utilizado con el objetivo de evaluar la viabilidad, tiempos, costes, riesgos y efectos adversos de un estudio. Por lo que permite identificar y resolver posibles problemas antes de la ejecución completa del cuasi-experimento. Para esta investigación se realizó una prueba piloto, en la que parti-

participaron 9 sujetos, para cumplir este objetivo y resolver posibles problemas que se presenten previos al momento de realizar la ejecución del cuasi-experimento.

#### **5.1.1.1. Viabilidad, tiempos y riesgos del experimento**

Aquí se determinó la duración media que tardaba una persona en completar el cuasi-experimento, el lugar y espacio necesario, lo que permitió comprobar la precisión del protocolo propuesto y facilitó la toma de las encuestas.

#### **5.1.1.2. Validación de la encuesta**

A partir del conjunto de preguntas preliminares pertenecientes al cuestionario de perfil personal y tecnológico, fue necesario validar este cuestionario mediante el *alfa de Cronbach*. A continuación, se muestra el análisis de los resultados de la validación de esta encuesta, obtenida a partir de los 9 sujetos con los que se realizó la prueba piloto:

##### **1. Variable demográfica:**

En la sección de preguntas demográficas, al excluir la pregunta de ubicación geográfica ¿Cuál es su estado civil?, se obtuvo un *alfa de Cronbach* de 0,715. Esta pregunta podría haber mejorado el valor de la métrica debido a que resultó redundante ya que todos los participantes presentaban la misma respuesta. De esta manera, la reducción de esta pregunta dejó al cuestionario con 6 preguntas que responden a la variable demográfica.

##### **2. Variable tecnológica:**

En cuanto a las preguntas tecnológicas, se calculó directamente un *alfa de Cronbach* de 0,8 con 7 preguntas. Este valor sugiere una fuerte consistencia en el cuestionario, lo que implica fiabilidad de la variable.

##### **3. Variable de preferencias de uso tecnológico:**

En las preguntas de preferencias de uso tecnológico se eliminó la pregunta ¿Con qué frecuencia utiliza consolas de videojuegos?, esto debido a que únicamente la consola de videojuegos no aportaba nada, obteniendo así un alfa de 0,612.

##### **4. Variable laboral:**

A continuación, se evaluó la experiencia de los sujetos que habían respondido que sí eran empleados y se obtuvo un alfa de 0,751. De igual forma, indica un alto grado de fiabilidad.

#### **5. Variable de expertise con dispositivos:**

Continuando con las preguntas de experticia con dispositivos, se obtuvo un alfa de 0,861. Este alto nivel de consistencia interna y fiabilidad de las preguntas indica que, al igual que los conjuntos de preguntas previos, responden a una misma variable.

De esta manera, al final se establecieron las 23 preguntas finales que se encuentran en la sección 4.2.6.1.

#### **5.1.2. Ejecución**

Luego de haber aplicado la prueba piloto y completar correctamente la validación para la encuesta de perfil personal y tecnológico, se ejecutó la prueba final a la población prevista. La prueba final contó con un total de 64 personas, con las que se aplicó el protocolo en su totalidad, así como todas las consideraciones planteadas.

##### **5.1.2.1. Desarrollo del cuasi-experimento**

La aplicación de la prueba final se dio con éxito debido al correcto seguimiento de los procedimientos planteados en el protocolo. Así también, se puede destacar que existió una diversidad considerable entre los sujetos que se sometieron a las diferentes pruebas.

El compromiso de los participantes, las condiciones del lugar del experimento y la coherencia del procedimiento se tomaron en cuenta durante el cuasi-experimento para reducir el sesgo y mantener un ambiente controlado. De igual manera, al finalizar el recorrido, se consultaron comentarios a los participantes, lo que ayudó a mejorar el tiempo del recorrido y la facilidad de aplicación del examen a futuros sujetos.

##### **5.1.3. Validación y limpieza de datos**

Una vez finalizada la aplicación del cuasi-experimento, se obtuvieron los siguientes artefactos:

- Consentimientos informados

- Respuestas a las encuestas de perfil personal y tecnológico.
- Respuestas a las encuestas SAM correspondientes a cada uno de los 7 dispositivos con los que se interactuó.
- Estadísticas de la sesión de juego de cada participante con cada dispositivo.

A partir de estos artefactos, se llevó a cabo la primera limpieza con los datos de los 64 participantes del cuasi-experimento. Para esto, se empezó con la creación de 3 conjuntos de datos, entre ellos para las respuestas de las encuestas SAM, las de perfil personal y tecnológico, y las estadísticas de juego.

La primera acción tomada para ambos conjuntos de datos fue verificar la existencia de datos ausentes, pero al ser tomadas todas las encuestas hacia todos los participantes mediante el protocolo, todas estaban completas.

De acuerdo con la naturaleza del cuestionario SAM, las preguntas están categorizadas, lo que significa que se forman grupos de 6 preguntas que responden a una variable específica. Después de esto, se obtuvo el promedio de cada una de las categorías. Debido a que las preguntas de esta encuesta estaban en una escala de 1 a 7, se realizó un escalamiento de 0 a 1. De esta manera, se generaron 3 columnas dentro del dataset SAM: 'arousal', 'dominance' y 'valence'.

Para finalizar, se obtuvo un conjunto de datos a partir de las 64 encuestas de perfil personal y tecnológico, y un conjunto de 448 datos pertenecientes a las encuestas SAM. La razón por la cual se obtuvieron 448 datos de la encuesta SAM es debido a que cada uno de los participantes respondió 7 veces, cada una de ellas correspondiente a un dispositivo de interacción diferente, lo que es proporcional al número de encuestas de perfil personal y tecnológico respondidas.

#### **5.1.4. Entrenamiento de los modelos de regresión**

Como se estableció al principio del capítulo, se realizó el entrenamiento de siete modelos de regresión a partir de los conjuntos de datos obtenidos de la ejecución del proceso experimental, uno para cada modo de interacción. El objetivo principal de la creación de estos

modelos de regresión es tratar de estimar las variables afectivas (valencia, dominancia y excitación) a partir de los datos de perfil personal y tecnológico de cada estudiante y las estadísticas del juego para cada modo de interacción. Esto tiene el potencial de mejorar la experiencia del usuario al personalizar la modalidad de interacción con base en las características individuales.

**5.1.4.1. Metodología usada para el entrenamiento de los modelos**

Para realizar el entrenamiento de los modelos de regresión, se siguió la metodología CRISP [114]. Esta metodología consta de 6 actividades: entendimiento del negocio, entendimiento de los datos, preparación de los datos, modelado, y despliegue. Por lo que para usar esta metodología se decidió integrarla dentro de los pasos del proceso experimental que se ha seguido hasta ahora. Con el objetivo de evitar confusiones con el uso de las dos metodologías, se creó el gráfico 5.1 donde se mapean las diferentes etapas de estas metodologías.

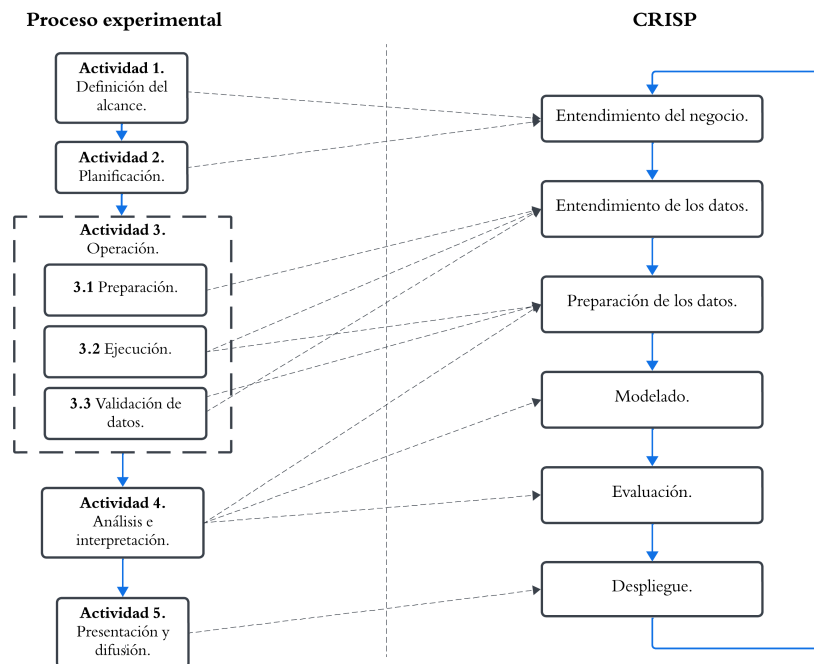


Figura 5.1: Estructura de las metodologías usadas. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en el gráfico 5.1, existen actividades dentro de la metodología CRISP tales como la del entendimiento del negocio o la preparación de los datos que son mapeadas

a actividades pasadas del proceso experimental. Esto se realiza de manera que estas ya están cumplidas al momento de realizar el modelado, la evaluación y el despliegue, que son etapas de la metodología CRISP, logrando así seguir ambas metodologías en un único proceso que combina ambas al momento de su desarrollo.

Posteriormente, durante la fase de preparación de datos para el entrenamiento del modelo, se realizó la eliminación de datos vacíos o nulos, procedimientos de normalización y, sobre todo, el proceso de selección de características. Mediante esta selección, se identificaron y mantuvieron los atributos más importantes y con mayor cantidad de información, lo que permite optimizar la capacidad predictiva del modelo.

#### **5.1.4.2. Selección de características**

La selección de características es una etapa que permite obtener los atributos más relevantes e influyentes para entrenar los modelos, mejorando así el rendimiento de los mismos al ingresar únicamente las características que poseen mayor información.

El primer paso para la selección de características implica realizar un análisis exploratorio. Este análisis crea una matriz de correlaciones usando el índice de correlación de Pearson que permite descubrir cómo las características del conjunto de datos se relacionan entre sí. Esto permite identificar correlaciones para cada dispositivo y mejorar la comprensión de los datos que se trabajarán en el futuro.

Luego de esta fase exploratoria, se lleva a cabo una evaluación de varias técnicas de selección de características. Las técnicas utilizadas fueron *PCA*, *K-Best* y *Random Forest*, estas permitieron determinar la capacidad de reducir el número de características referentes a cada dispositivo de interacción usado, así como también la capacidad de trabajar con varias variables de salida al mismo tiempo.

Entre las metodologías evaluadas, *Random Forest* fue la opción óptima para la selección de características. Esta técnica logró analizar las características utilizando varias métricas y, al ser de las mejores al analizar las mismas, resultó ser la mejor opción cuando se obtuvieron varias salidas.

Para el análisis, se realizó una división del conjunto de datos, de manera que para cada dis-

positivo se tengan 64 datos del perfil personal y tecnológico, sus métricas en el aplicativo, y sus variables afectivas. De esta manera se llevó a cabo un análisis mediante *Random Forest* en donde se tomaron los 20 atributos principales referente al conjunto de datos de cada dispositivo. Estos atributos se seleccionaron en función de la información de cada uno de sus atributos y su relevancia para las variables objetivas. Las características seleccionadas sirven de base para el desarrollo del modelo.

Además para la selección de características, se emplean técnicas de reducción de dimensionalidad tales como el análisis de componentes principales (PCA). Esta técnica realiza la reducción de la dimensionalidad del conjunto de datos al tiempo que retiene la máxima cantidad de varianza, simplificando así el proceso de entrenamiento sin perder precisión al momento de predecir. Cabe destacar que la decisión de emplear PCA con tres dimensiones está basada en diferentes pruebas que indican un mejor rendimiento en comparación con otras dimensionalidades. Estas pruebas se realizaron mediante un proceso comparativo, en donde se determinó que PCA con el uso de tres dimensiones capta la estructura de los datos de la mejor manera, optimizando así el rendimiento del modelo.

La métrica usada para determinar el número ideal de dimensiones para PCA fue la 'varianza explicada'. Se realizaron pruebas con dimensiones desde dos a siete, en donde el valor más alto para la métrica fue tres para cada modo de interacción. Cabe recalcar que se realizó en este rango de valores ya que a partir de la séptima dimensión, no se existía un cambio significativo en la métrica.

#### **5.1.4.3. Entrenamiento**

Una vez analizados los conjuntos de datos, que, para cada dispositivo, incluían las 20 características seleccionadas y los 3 componentes principales derivados del PCA, se continúa con la fase de entrenamiento de los modelos de regresión de cada dispositivo.

Para el entrenamiento se consideraron diversos modelos, como redes neuronales simples, *Random Forest* y regresión polinómica. Estos modelos se seleccionaron por la capacidad de tener múltiples variables de salida y su adaptabilidad a conjuntos de datos con un número relativamente bajo de datos.

A través de varias pruebas con diversas configuraciones de parámetros, los mejores modelos fueron la regresión polinómica y *Random Forest*, que lograron un mejor rendimiento en varios conjuntos de datos. Por esta razón, estos fueron los modelos escogidos para el entrenamiento final.

En el caso de la regresión polinómica, se creó un proceso que usa la expansión de características polinómicas, la normalización y la regresión lineal para facilitar el ajuste de los parámetros. Dentro de los parámetros clave hallados, se encuentran:

- Grado polinómico (`poly_degree`): Regula el grado de las características polinómicas generadas a partir del conjunto de datos original. Al probar valores entre 2 y 4, se buscó un punto medio entre la complejidad del modelo y la capacidad de captar las relaciones no lineales de los datos.
- Intercepción (`regressor_fit_intercept`): Determina si se incluye un término de intercepción en el modelo de regresión lineal. Mediante la evaluación de los parámetros Verdadero y Falso, se buscó la configuración óptima para modelar la estructura de los datos.

Asimismo, *Random Forest* pasó por un proceso de búsqueda de parámetros, entre ellos se abarcaron:

- Número de estimadores (`n_estimadores`): Define el número de árboles de decisión que se agregarán dentro del conjunto de bosques aleatorios. Se realizaron pruebas con valores entre 100 y 300.
- Profundidad máxima de los árboles (`max_depth`): Establece la profundidad máxima de los árboles de decisión individuales en el bosque. Se prueba con profundidades que van desde árboles poco profundos hasta crecimiento sin restricciones.
- Muestras mínimas para la división (`min_samples_split`) y Muestras mínimas por nodo de hoja (`min_samples_leaf`): Estos parámetros definen el número mínimo de muestras necesarias para dividir un nodo interno y el número mínimo de muestras necesarias para constituir un nodo hoja, respectivamente. Se prueba con valores entre 2 y 15, buscando alcanzar un equilibrio entre la generalización del modelo y la granularidad.

- Características máximas (`max_features`): Determina el número máximo de características a considerar cuando se busca la mejor división en cada nodo. Al evaluar «sqrt» y «log2», que representan la raíz cuadrada y el número logarítmico de características, respectivamente, la búsqueda pretendía optimizar la aleatoriedad y predictibilidad.

El proceso de obtención de parámetros se dio de manera iterativa y consistió en probar varias configuraciones de parámetros, guiándose por los resultados obtenidos de múltiples rondas de validación (*cross validation*). Gracias a esta exploración se identificaron los parámetros de los modelos de regresión polinómica y de *Random Forest*, en donde, luego de más de 10 rondas de pruebas y perfeccionamiento de los parámetros, se establecieron los mejores parámetros para los modelos de regresión polinómica y *Random Forest* que se pueden observar en la Tabla C.27. Así mismo, los resultados de cada uno de los modelos se puede observar junto con su análisis en el Capítulo 6.

## 6. Resultados

A lo largo de este capítulo se muestra la fase de análisis e interpretación del proceso experimental, los resultados del modelo de aprendizaje automático y las pruebas de hipótesis de la investigación. Los resultados de la investigación se analizan para identificar correlaciones, distribuciones y características clave. Además, se evalúa el rendimiento de los modelos de regresión, incluyendo métricas y áreas de mejora.

### 6.1. Análisis e interpretación

Se muestra a continuación un análisis perteneciente a la penúltima fase del proceso experimental que se ha venido siguiendo, utilizando los datos obtenidos en el capítulo anterior.

#### 6.1.1. Estadísticos descriptivos

La encuesta de perfil personal y tecnológico y la encuesta SAM son las dos encuestas que se realizaron como parte del proceso experimental y proporcionan información sobre las características de los participantes y sus respuestas emocionales a los diferentes dispositivos de entrada utilizados durante el cuasi-experimento. A continuación se observa el análisis de cada uno de estos.

##### 6.1.1.1. Análisis de distribuciones de las encuestas de perfil personal y tecnológico:

A continuación se muestra un análisis general de cada una de las variables dentro de la encuesta de perfil personal y tecnológico. Todas las gráficas de las distribuciones de las encuestas de perfil personal y tecnológico que se analizan, se pueden observar en la sección de Apéndices, más específicamente desde la Figura B.2 hasta la Figura B.27.

##### **Variable demográfica:**

Al observar la variable demográfica medida por la encuesta, se pueden observar varias tendencias notables. En primer lugar, todas las variables son de naturaleza categórica. La distribución por edades muestra una concentración predominante en el rango de los 21 y los 23 años de edad.

Por otro lado, la distribución por sexos se inclina hacia los hombres, con 50 participantes

masculinos y 14 femeninos. La tercera pregunta acerca de la nacionalidad se omitió debido a la homogeneidad de la muestra, compuesta únicamente por individuos ecuatorianos. En cuanto a la pregunta de su ubicación geográfica, la mayoría de los encuestados residen en zonas urbanas, aunque un contingente menor de 10 individuos especificó que residían en zonas rurales del total de 64 encuestados.

En cuanto a la pregunta acerca de la identidad étnica, el conjunto de datos incluye predominantemente individuos que se identifican como mestizos, con un único caso atípico donde se identifica como blanco. En cuanto a las habilidades lingüísticas del sujeto aparte del español, los datos indicaron que existe una fuerte prevalencia de la comprensión del inglés entre los 60 encuestados, con sólo una minoría que domina exclusivamente el español, y apenas 5 individuos que dominan otros idiomas.

#### **Variable tecnológica:**

En cuanto al análisis de la variable tecnológica, se pudo encontrar que la mayoría de sujetos se auto evalúan como intermedios o avanzados en cuanto a sus habilidades tecnológicas. De igual manera, con respecto al tiempo que lleva usando dispositivos tecnológicos, la mayoría de los encuestados han sido usuarios de la tecnología durante más de cinco años, lo que podría explicar que se auto perciban como intermedios o avanzados.

Por otro lado, en cuanto al propósito con el cual los estudiantes suelen usar el internet, se muestra que existe un uso significativo para el trabajo, el entretenimiento y las redes sociales, mientras que existe un uso moderado para las compras en línea y, por último, un uso notablemente bajo para fines educativos, siendo extraño ya que los encuestados fueron estudiantes.

A continuación, en la Figura B.9, se puede observar que los dispositivos preferidos para el entretenimiento en casa son las tabletas, los computadores y los televisores, mientras que los dispositivos específicos, como las consolas de juegos o los dispositivos de realidad aumentada, tienen un uso mínimo. En cuanto a las plataformas de redes sociales más populares entre los estudiantes, son Facebook, Twitter e Instagram, con un uso muy bajo de LinkedIn y TikTok. En cuanto a dispositivos inteligentes, se puede ver que existe una pro-

porción considerable del 70 % de los encuestados, mientras que aproximadamente la mitad de los estudiantes utiliza asistentes virtuales.

**Variable de preferencias:**

En cuanto a la pregunta acerca de la frecuencia de uso de dispositivos tecnológicos, se encontró una uniformidad en los encuestados ya que la mayoría respondía que todos los días. Además, se encontró que entre los dispositivos tecnológicos más usados por los estudiantes predominan los teléfonos móviles y el computador portátil, mientras que las tabletas y los computadores de sobremesa son menos usados.

Por otro lado, la frecuencia de uso de aplicaciones móviles también mostró una uniformidad en cuanto al uso diario. Del mismo modo, el uso de servicios en línea mostró una distribución uniforme, siendo usada todos los días por los estudiantes. Por último, con la pregunta del tipo de conexión a internet que se usa con mayor frecuencia, se encontró que el WiFi es el más usado por todos los sujetos.

**Variable de trabajo:**

Los resultados para esta variable mostraron que el 21 % de los estudiantes encuestados trabaja. La pregunta acerca del sector de empleo donde el estudiante trabaja, mostró que todos participan en el sector privado, con sólo un encuestado afiliado al sector público. En cuanto al tipo de contrato, se observa que se distribuye de manera uniforme, siendo los contratos por temporales los menos comunes. Se encontró también que, aproximadamente la mitad de los estudiantes empleados trabajan a distancia. Por último, cabe destacar que 9 de los 14 encuestados empleados no participan en el desarrollo profesional continuo dentro de sus respectivos campos, mientras que el resto sí lo hace.

**Variable de expertise con dispositivos:**

El análisis de la variable de expertise con los dispositivos indica patrones esperados, específicamente se puede ver que en cuanto a los dispositivos habituales por los sujetos, existe el uso de dispositivos como tabletas, computadores y cámaras, en contraposición a un mínimo uso de dispositivos especializados como la realidad virtual o la tecnología háptica. Además, se pudo observar que los teléfonos móviles y los computadores aparecen como herramien-

tas omnipresentes en las actividades académicas, mientras que otros dispositivos, como las cámaras o las tabletas, presentan índices de uso mucho más bajos. El lugar en el que suelen conectarse a internet los estudiantes es más pronunciado en entornos universitarios, con una participación mínima en lugares como el trabajo o cafeterías.

En cuanto a las tendencias más destacadas dentro de las herramientas de software específicas, se encuentran el uso poco frecuente de blogs y mashups, el uso constante de servicios de mensajería y una distribución equilibrada del uso de herramientas de videoconferencias y wikis. Por otro lado, las plataformas educativas y las redes sociales presentan altos índices de uso, mientras que las herramientas para la publicación de audio son menos usadas. Se puede ver también que las herramientas de vídeo, presentación y edición de documentos tienen un nivel de uso medio-alto, mientras que las herramientas de procesamiento de datos presentan un uso regular. De igual forma, se ve que el almacenamiento en la nube, las herramientas de Google y las herramientas de edición colaborativa de documentos se utilizan bastante, mientras que el uso de las herramientas de presentación presenta una distribución un poco más equilibrada.

#### **6.1.1.2. Análisis de distribuciones de las variables afectivas de la encuesta SAM:**

Para el análisis de las distribuciones de la encuesta SAM, es necesario distinguir cada uno de los dispositivos usados a lo largo del cuasi-experimento, ya que se puede observar el efecto emocional que genera cada dispositivo en los estudiantes. A continuación se muestra cada uno de los dispositivos y su análisis de distribución respecto a las variables de dominancia, excitación y valencia.

##### **Modo de interacción: Ratón**

La valencia obtenida por los encuestados frente a la entrada del ratón muestra una distribución uniforme, lo que indica que los usuarios experimentaron una gama de emociones positivas, negativas y neutras. En cuanto a los niveles de excitación, estos se aproximan a una distribución normal, lo que puede indicar que los participantes no se sintieron excesivamente excitados o relajados durante la interacción con el ratón. Por último, las puntuaciones de dominio referentes al ratón van de moderadas a altas, lo que puede indicar una sensación

de control entre la mayoría de los participantes. Esto se puede ver en la Figura 6.1

Distribuciones de la encuesta SAM - Ratón

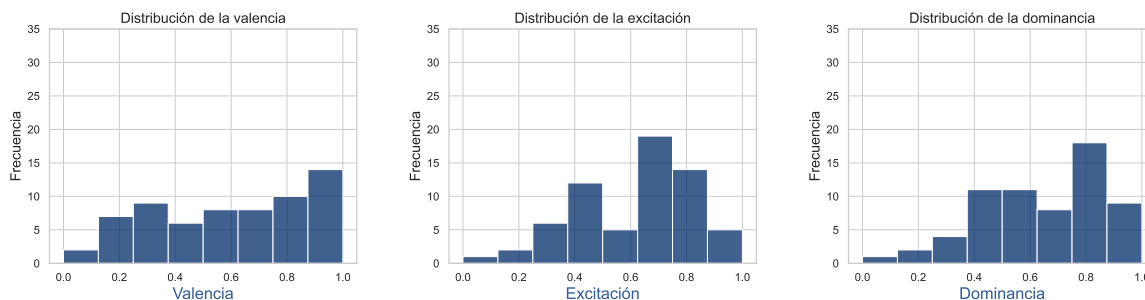


Figura 6.1: Distribución de las variables afectivas con el uso del ratón.

**Modo de interacción: Teclado**

De acuerdo con la Figura 6.2, la valencia con el uso del teclado tiende a concentrarse de media a alta, lo que puede sugerir respuestas emocionales positivas al jugar. En cuanto a los niveles de excitación, estos oscilan entre medio y altos, que en comparación con el uso del ratón, se atribuyen posiblemente a una mejor comprensión del juego. Los índices de dominancia se encuentran mayormente en torno al punto medio, lo que sugiere un nivel de control ligeramente menor en comparación con la entrada del ratón.

Distribuciones de la encuesta SAM - Teclado

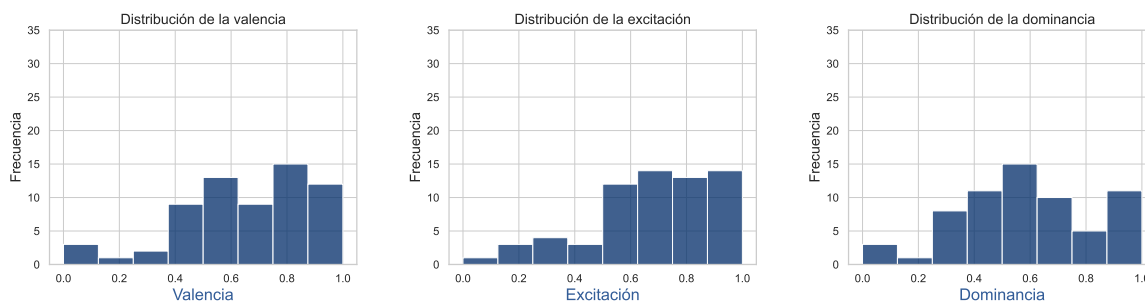


Figura 6.2: Distribución de las variables afectivas con el uso del teclado.

**Modo de interacción: Gamepad**

La valencia asociada al uso del gamepad a lo largo del cuasi-experimento es predominantemente positiva. Mientras que la excitación y la dominancia muestran distribuciones unifor-

mes, lo que indica experiencias diferentes y variadas entre los participantes. Esto se puede observar en la Figura 6.3

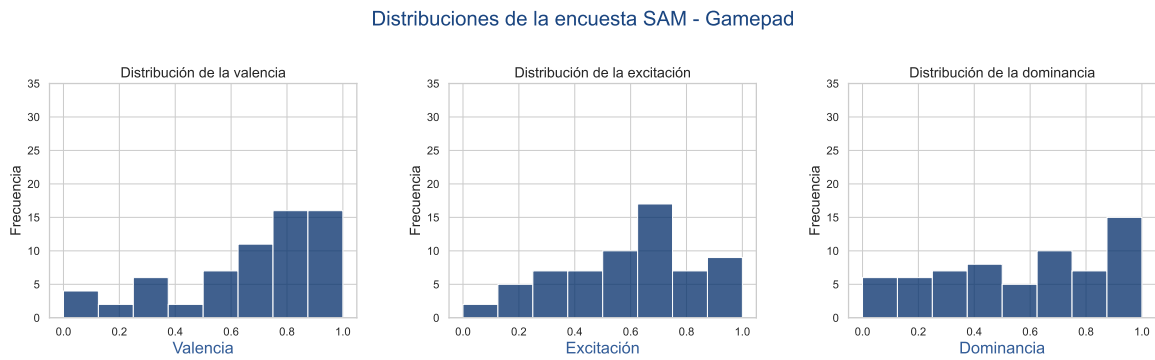


Figura 6.3: Distribución de las variables afectivas con el uso del gamepad.

**Modo de interacción: Táctil**

Como se puede ver en la Figura 6.4, la entrada táctil se destaca por sus altos índices de valencia y dominancia, lo que indica respuestas emocionales positivas y una fuerte sensación de control. Esto puede atribuirse a la familiaridad que tienen los sujetos con los dispositivos de pantalla táctil, lo que contribuye a una mayor comodidad a lo largo de la interacción.

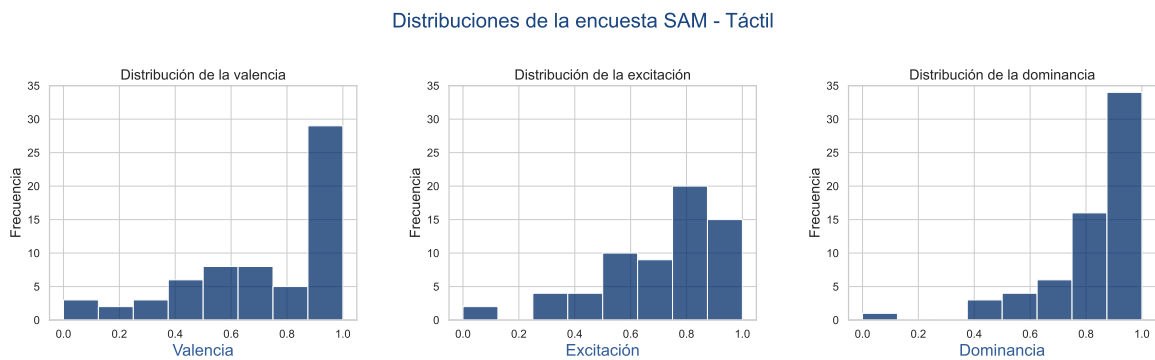


Figura 6.4: Distribución de las variables afectivas con el uso de dispositivo táctil.

**Modo de interacción: Eyetracker**

La valencia asociada al uso del *eyetracker* muestra un cambio pronunciado hacia las emociones positivas, lo que indica un mayor disfrute con respecto al teclado y el ratón. De igual forma, los niveles de excitación son notablemente más altos, lo que indica una mayor exci-

tación en comparación con otros dispositivos, mientras que muy pocos participantes experimentan emociones de calma. Las puntuaciones de dominancia logran reflejar una experiencia dividida, esto se debe a que una gran cantidad de estudiantes se sentían con mucho más control sobre este dispositivo de acuerdo al valor obtenido mediante las encuestas. Este control percibido por los participantes es contradictorio, siendo que dentro del cuasi-experimento, este fue el más difícil de controlar para algunas personas. Esto se visualiza en la Figura 6.5

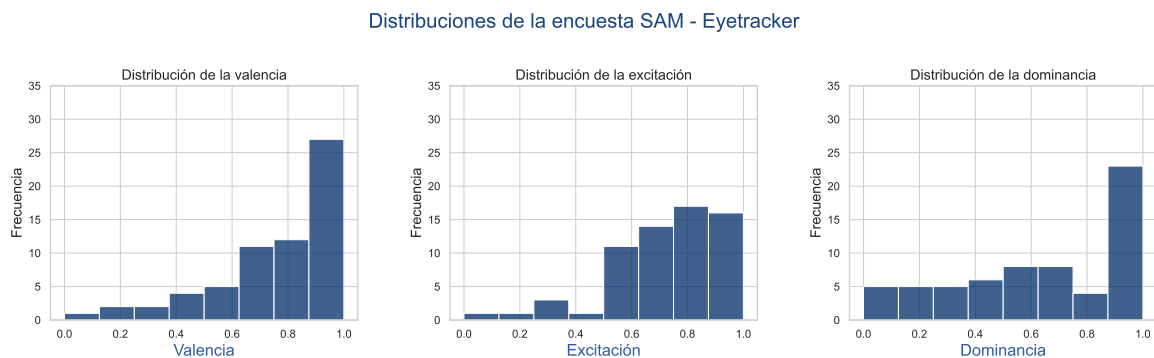


Figura 6.5: Distribución de las variables afectivas con el uso del *eyetracker*.

### **Modo de interacción: *Leap Motion***

Como se ve en la Figura 6.6, la variable de valencia experimentada con el dispositivo *Leap Motion* se inclina hacia las emociones positivas. Por otro lado, los niveles de excitación y dominancia destacan que tienden a valores medios en ambos casos, lo que sugiere que algunos usuarios se sintieron menos en control en comparación con otros dispositivos, probablemente se puede deber a la usabilidad limitada que presenta este dispositivo.

Distribuciones de la encuesta SAM - Leap Motion

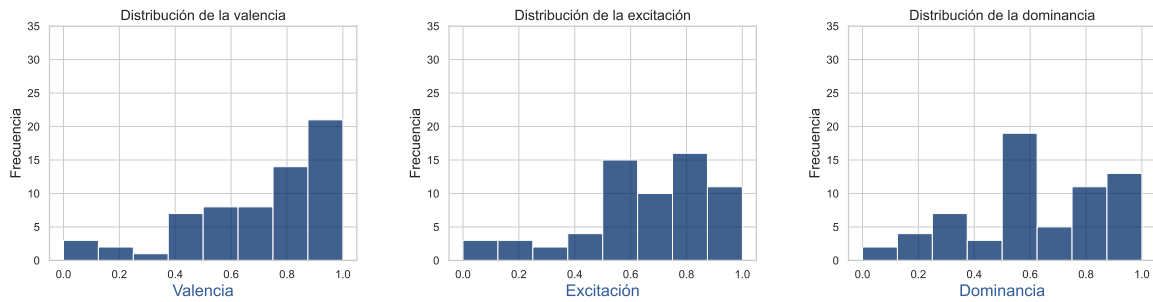


Figura 6.6: Distribución de las variables afectivas con el uso del *Leap Motion*.

**Modo de interacción: Realidad virtual**

Por último, los participantes afirmaron sentirse muy felices y en control durante la interacción con el dispositivo de realidad virtual. Por otro lado, como se puede observar en la Figura 6.7, los niveles de excitación son medios, similares a los de otros dispositivos.

Distribuciones de la encuesta SAM - Realidad virtual

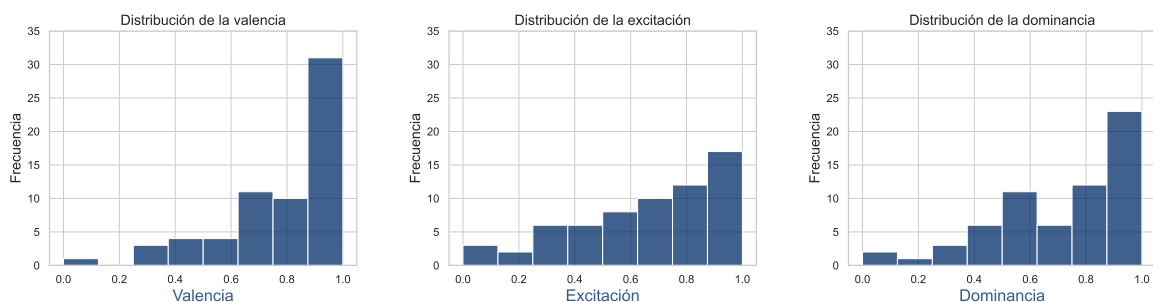


Figura 6.7: Distribución de las variables afectivas con el uso de realidad virtual.

En general, los dispositivos táctiles, de seguimiento ocular y de realidad virtual, que son los menos usados por los estudiantes, provocaron los niveles más altos de felicidad, con un notable predominio de la realidad virtual. Mientras que los dispositivos como el ratón, el teclado, y el *gamepad* tuvieron resultados mucho más cercanos a la media. Es importante destacar que el dispositivo *Leap Motion* no logró alcanzar índices de dominancia comparables a los de otros dispositivos. Es necesario destacar que algunos participantes experimentaron un bajo nivel de control tanto con el *gamepad* como con el *eyetracker*, aunque estos resultados eran poco frecuentes.

### 6.1.1.3. Correlaciones destacables

A lo largo del proceso experimental, donde el estudiante participaba en el juego a través de los distintos dispositivos, surgieron varias correlaciones (representadas como 'r') significativas, entre las que se pueden destacar las siguientes:

#### **Correlaciones entre las características de perfil personal y tecnológico:**

A continuación, se muestran las correlaciones entre las variables de perfil personal y tecnológico, esto debido a que se pretende encontrar relaciones destacables entre cómo las características de las personas hacen que se relacione con su uso y experiencia con la tecnología.

**Correlación entre el tipo de trabajo y el uso de herramientas:** Estas son las correlaciones más altas que se lograron encontrar, en específico, se encontró que el tipo de trabajo tiene una correlación muy alta con respecto al uso de herramientas específicas: wikis ( $r=0.76$ ), hojas de cálculo ( $r=0.75$ ), videoconferencia ( $r=0.76$ ), software para presentaciones ( $r=0.75$ ), así como con dispositivos como computadores de escritorio ( $r=0.86$ ), indican que los estudiantes que trabajan tienden a utilizar herramientas y dispositivos que se ajustan a sus requisitos profesionales, posiblemente debido a la naturaleza de su trabajo o a los requisitos de software de su puesto.

**Correlaciones triviales:** Se esperan correlaciones que indiquen que la experiencia o el uso de determinados dispositivos se corresponda con la preferencia por esos dispositivos (por ejemplo, tabletas, dispositivos de realidad virtual, consolas). Del mismo modo, las correlaciones entre la finalidad del uso de Internet y las herramientas utilizadas (por ejemplo, plataformas de medios sociales) reflejan las preferencias y hábitos de los usuarios.

**Correlación entre experiencia tecnológica y preferencia de dispositivos:** La correlación que sugiere que las personas con más experiencia en el uso de dispositivos tecnológicos ( $r=0.57$ ) tienden a preferir los computadores a otros dispositivos implica un sesgo de familiaridad. Quienes llevan más tiempo expuestos a la tecnología pueden encontrar los computadores más cómodos y eficientes para sus tareas.

**Correlación entre el uso de asistentes virtuales y las compras en línea:** La correlación

entre el uso de asistentes virtuales y las compras en línea ( $r=0.55$ ) indica un patrón de comportamiento en el que las personas que se sienten cómodas con los asistentes virtuales son más propensas a utilizarlos para diversas tareas, incluidas las compras en línea.

**Edad y uso de Facebook:** La correlación entre los grupos de edad y el uso de Facebook ( $r=0.62$ ) puede reflejar diferencias generacionales en las preferencias de las redes sociales. Por ejemplo, los participantes más jóvenes (entre 18 y 20 años) podrían ser menos propensos a usar Facebook que los estudiantes universitarios de más edad, posiblemente debido a los cambios en las tendencias de las plataformas de redes sociales.

**Correlación entre la posesión de dispositivos inteligentes y el uso de asistentes virtuales:** La correlación que sugiere que las personas que poseen dispositivos inteligentes son más propensas a utilizar asistentes virtuales ( $r=0.54$ ) pone de relieve una sinergia tecnológica. Los propietarios de dispositivos inteligentes podrían estar más acostumbrados a aprovechar las soluciones tecnológicas para diversas tareas, incluido el uso de asistentes virtuales.

**Género y experiencia tecnológica:** La correlación entre el género y el tiempo que lleva usando dispositivos tecnológicos ( $r=0.45$ ) puede sugerir diferencias basadas en el género, en la adopción de tecnología o en los hábitos de uso. Un análisis más detallado podría explorar los factores sociales o culturales que influyen en estos patrones.

**Edad y competencias tecnológicas:** La correlación entre edad y habilidades tecnológicas ( $r=0.43$ ) refleja un escenario donde los individuos desarrollan y perfeccionan sus competencias tecnológicas a lo largo del tiempo. A medida que los estudiantes avanzan en su trayectoria académica, pueden adquirir nuevas habilidades y adaptarse a las tecnologías emergentes.

**Ubicación geográfica y preferencia de dispositivos:** La correlación entre la ubicación geográfica (urbana, suburbana, rural) y el uso de tabletas ( $r=0.4$ ) sugiere preferencias contextuales influidas por el estilo de vida o el acceso a la tecnología. Los habitantes de las ciudades, por ejemplo, podrían preferir las tabletas por su portabilidad y comodidad en zonas densamente pobladas.

### **Correlaciones entre las características de perfil personal y tecnológico, los datos de juego y su estado afectivo:**

También es importante analizar las correlaciones entre las características de una persona con las de su rendimiento en el juego, y cómo este afecta a su estado afectivo. Cabe recalcar que este análisis se realizó por separado para cada dispositivo.

### **Métricas de rendimiento y tiempo de interacción:**

En todos los dispositivos, existe una fuerte correlación negativa entre el tiempo dedicado a interactuar con el juego y el número de respuestas correctas. Esto sugiere que a medida que disminuye el tiempo de interacción, lo que indica una mayor rapidez en el juego, el estudiante tiende a lograr una mayor precisión en las respuestas a los estímulos del juego. Los coeficientes de correlación, superiores a 0,87 en todos los dispositivos, ponen de relieve la solidez de esta relación.

En particular, con dispositivos como el teclado y el ratón, los tiempos de interacción más largos se correlacionan con un menor número de respuestas incorrectas ( $r > 0.56$ ). Esto implica que una mayor duración de la interacción puede conducir a una selección de objetivos más cautelosa y precisa dentro del entorno del juego.

### **Interrelación de estados afectivos:**

Una observación interesante es la interconexión constante entre los estados afectivos, incluida la valencia (agrado), la excitación (nivel de activación) y la dominancia (sensación de control), en todos los dispositivos. Los estados positivos en una dimensión tienden a coincidir con los estados positivos en otras, lo que indica una experiencia afectiva cohesiva durante el juego. Por ejemplo, cuando un jugador experimenta una valencia positiva, es probable que también manifieste una mayor dominación y excitación, y viceversa. Esto es respaldado por unos coeficientes de correlación que van desde 0.41 hasta 0.7 entre todos los dispositivos.

### **Correlaciones específicas de los dispositivos:**

**Ratón:** El uso de dispositivos usando como método de entrada el ratón, en particular el

computador, se correlaciona significativamente con varias métricas de rendimiento, con las respuestas correctas e incorrectas ( $r=0.49$  y  $r=-0.56$  respectivamente), así como el tiempo de interacción ( $r=-0.56$ ). Esto sugiere que la elección del dispositivo influye en el rendimiento del juego.

Curiosamente, los niveles de excitación se correlacionan con el uso de internet con fines de entretenimiento ( $r=0.44$ ). Esto implica que el entorno en línea puede influir en la excitación emocional del jugador durante el juego.

**Teclado:** La obtención de un mayor número de respuestas correctas en el uso del teclado ( $r=0.54$ ) está relacionado con la destreza en el uso de un *gamepad*. Esto indica que la familiaridad con determinados dispositivos de entrada puede mejorar el rendimiento en el juego. Existen correlaciones positivas entre el número de respuestas correctas y tanto la valencia como la dominancia ( $r=0.49$  y  $r=0.48$  respectivamente). Esto sugiere que el éxito en el juego se asocia con experiencias afectivas positivas, incluyendo sentimientos de placer y control. Las diferencias de género influyen en la relación entre respuestas correctas ( $r=0.47$ ), tiempo de interacción ( $r=-0.43$ ) y su rendimiento con el teclado, lo que indica posibles comportamientos y preferencias de juego específicos de cada sexo. Además, el juego con consola se correlaciona positivamente tanto con las respuestas correctas como con la dominancia ( $r=0.31$ ), lo que sugiere que las experiencias de juego con consola pueden aumentar los sentimientos de control y la satisfacción general con el rendimiento.

**Pantalla táctil:** Existe una correlación notable ( $r=0.74$ ) entre tener una cuenta de TikTok y lograr un mayor número de respuestas correctas al utilizar dispositivos táctiles. Esto sugiere una posible relación entre la participación en las redes sociales y el dominio de los juegos. La experiencia en realidad aumentada se correlaciona con un mayor número de respuestas incorrectas ( $r=0.57$ ), mientras que la experiencia en realidad virtual se correlaciona con un mayor número de respuestas correctas ( $r=0.51$ ). Esto implica que la familiaridad con tecnologías específicas puede influir de forma diferente en el rendimiento de los juegos. El género también influye en el tiempo de interacción con dispositivos táctiles ( $r=-0.37$ ), lo que indica patrones específicos de género en la interacción con pantallas táctiles durante el juego.

**Eyetracker:** Se observan correlaciones positivas entre las respuestas correctas, la reduc-

ción del tiempo de interacción y la mejora de la valencia y la dominancia ( $r=0.66$  y  $r=0.55$  respectivamente). Esto sugiere que la eficacia del juego y las experiencias afectivas positivas están interconectadas. La disminución del tiempo de interacción se correlaciona con mayores niveles de excitación ( $r=-0.5$ ), lo que indica que un ritmo de juego más rápido puede provocar una mayor excitación emocional.

**Leap Motion:** El uso de dispositivos de realidad aumentada se correlaciona con un aumento de las respuestas incorrectas al utilizar *Leap Motion* ( $r=0.7$ ). Esto sugiere que ciertas interacciones del dispositivo, en particular en contextos de realidad aumentada, pueden plantear retos para un juego preciso. Los tiempos de interacción más largos se asocian con una menor experiencia en el uso de dispositivos ( $r=-0.4$ ), lo que indica una posible curva de aprendizaje en la interacción con dispositivos.

**Realidad virtual:** Los tiempos de interacción más largos se correlacionan con una mayor pericia en el uso de dispositivos visuales ( $r=0.62$ ), lo que indica un posible efecto de aprendizaje con el uso prolongado de dispositivos. La destreza en el uso de un gamepad se correlaciona con un mayor número de respuestas correctas ( $r=0.44$ ), lo que sugiere que la familiaridad con dispositivos de entrada específicos mejora el rendimiento en el juego. La experiencia previa con la realidad virtual influye positivamente en la dominancia ( $r=0.44$ ), lo que indica que la exposición previa a entornos de realidad virtual puede aumentar la sensación de control e inmersión. La preferencia por dispositivos hápticos se correlaciona con un mayor número de respuestas incorrectas ( $r=0.36$ ), lo que sugiere que ciertas preferencias de dispositivos pueden afectar negativamente a la precisión del juego.

**Gamepad:** El aumento de las respuestas correctas está relacionado con el uso frecuente de consolas de videojuegos ( $r=0.41$ ). Esto sugiere que una amplia experiencia con juegos de consola mejora la competencia general en el juego.

Estos resultados aportan información acerca de la compleja relación entre el uso de los distintos dispositivos, el rendimiento con el aplicativo creado, los estados afectivos y las variables de perfil personal y tecnológico. Futuras investigaciones podrían explorar las relaciones causales y las implicaciones prácticas para el diseño de juegos y la optimización de la experiencia del usuario, teniendo en cuenta las distintas interacciones identificadas en

este análisis.

### 6.1.2. Selección de las variables con mayor información

La selección de variables con mayor información es lo que ayuda a responder a la hipótesis 1, en específico las variables de perfil personal y tecnológico que hacen que un estudiante tenga una mejor respuesta afectiva frente a un dispositivo en específico.

Para realizar esta selección de variables, se llevó a cabo a partir de las correlaciones más altas encontradas en relación con las variables afectivas. Se eligieron las veinte correlaciones más altas, lo que permitió que las variables identificadas expliquen las respuestas afectivas. Esto permite identificar los factores principales que explican cómo los individuos reaccionan afectivamente a los diversos modos de interacción.

Este proceso se realizó para cada uno de los siete dispositivos presentados, en donde por cada método se obtuvieron las veinte correlaciones más importantes de acuerdo con los valores obtenidos usando *Random Forest* como se explico previamente. Una vez seleccionadas las características más importantes para cada método de interacción, se realizó una comparación entre estos conjuntos obtenidos y se combinaron, generando una única lista de veinte características que incluyan las más importantes y que más se repiten a lo largo de los diferentes dispositivos.

Las características específicas obtenidas se muestran en la Tabla 6.1.

| Características con mayor información respecto a las variables afectivas |   |
|--|---|
| Variable   | Características   |
| Variables demográficas   | Género de la persona  |
| Variables tecnológicas   | La persona utiliza internet para entretenimiento                              |
|  | Qué tan hábil es la persona en relación a la tecnología                       |
|  | La persona utiliza internet para el trabajo                                   |
|  | La persona utiliza la tableta para el entretenimiento en casa                 |
|  | La persona utiliza una consola de videojuegos para el entretenimiento en casa |
|  | La persona tiene una cuenta en Twitter  |
|  | La persona tiene una cuenta en Instagram                                      |
|  | La persona posee dispositivos inteligentes en su hogar.                       |

|   |  |
|---|--|
| Variables de preferencia de uso tecnológico | La persona utiliza el teléfono móvil con mayor frecuencia frente a otros dispositivos<br>La frecuencia con la que una persona usa servicios en línea   |
| Variables de expertise de la tecnología     | La persona tiene conocimiento del uso de un dispositivo de realidad virtual<br>La persona utiliza la tableta para sus actividades académicas<br>La persona suele conectarse en cafés para realizar sus actividades académicas<br>La persona utiliza redes sociales educativas (Edmodo, Scolartic o similar)<br>La persona utiliza herramientas para publicar presentaciones (Slideshare o similar)<br>La persona utiliza herramientas de Google (Calendar, Documents o similar)<br>La persona utiliza herramientas para la edición de documentos de texto (Word o similar) |
| Variables obtenidas del juego               | La cantidad de veces que el sujeto tuvo un clic correcto durante el juego<br>El tiempo de interacción que tuvo la persona entre cada clic dentro del juego   |

Tabla 6.1: Características con mayor información respecto a las variables afectivas respecto al uso de distintos dispositivos.

La interpretación de estos resultados podría señalar varios aspectos, como por ejemplo: la dinámica de género puede ejercer una influencia a lo largo de las respuestas afectivas a los dispositivos, derivada potencialmente de preferencias divergentes o patrones de utilización entre géneros. Además, factores como la utilización de internet con fines de ocio o de trabajo podrían influir profundamente en la forma en que las personas se relacionan con los distintos dispositivos tecnológicos y responden emocionalmente a ellos.

### 6.1.3. Modelos entrenados

A partir del entrenamiento de los modelos de regresión, se realizaron las siguientes observaciones.

*Random Forest* fue mejor sistemáticamente en comparación con la regresión polinómica en todos los dispositivos de interacción probados, esto se puede comprobar en las tablas de resultados tanto de *Random Forest* 6.2 y de regresión polinómica 6.3. Esto indica que las relaciones entre los datos son mejor captadas por *Random Forest*, esto se puede explicar debido a las relaciones no lineales y permite tener un mejor rendimiento al momento de llevar a cabo la

regresión.

Las métricas usadas para comparar los modelos realizados son:

- **MSE (Error cuadrático medio):** Mide el promedio de los errores cuadrados entre los valores predichos y los valores reales, penalizando más los errores grandes.
- **RMSE (Raíz del error cuadrático medio):** Es la raíz cuadrada del MSE, lo que la hace estar en la misma escala que las variables originales.
- **MAE (Error absoluto medio):** Calcula el promedio de los errores absolutos entre los valores predichos y los valores reales, siendo menos sensible a errores grandes comparado con el MSE.
- **R<sup>2</sup> (Coeficiente de determinación):** Indica la proporción de la variabilidad de los datos que es explicada por el modelo, con valores entre 0 y 1, donde 1 indica un ajuste perfecto.

| Dispositivo      | Características | MSE   | RMSE  | MAE   | R <sup>2</sup> |
|------------------|-----------------|-------|-------|-------|----------------|
| Gamepad          | Sin PCA         | 0.094 | 0.307 | 0.271 | -0.099         |
|                  | PCA             | 0.087 | 0.296 | 0.250 | -0.039         |
| Leap Motion      | Sin PCA         | 0.045 | 0.212 | 0.172 | -0.025         |
|                  | PCA             | 0.050 | 0.223 | 0.176 | -0.129         |
| Ratón            | Sin PCA         | 0.068 | 0.261 | 0.223 | -0.192         |
|                  | PCA             | 0.068 | 0.260 | 0.217 | -0.160         |
| Teclado          | Sin PCA         | 0.071 | 0.266 | 0.207 | -0.002         |
|                  | PCA             | 0.070 | 0.265 | 0.209 | -0.024         |
| Pantalla táctil  | Sin PCA         | 0.072 | 0.268 | 0.225 | -0.072         |
|                  | PCA             | 0.068 | 0.262 | 0.210 | -0.028         |
| Eyetracker       | Sin PCA         | 0.037 | 0.192 | 0.156 | 0.284          |
|                  | PCA             | 0.042 | 0.205 | 0.163 | 0.120          |
| Realidad virtual | Sin PCA         | 0.047 | 0.218 | 0.192 | 0.084          |
|                  | PCA             | 0.044 | 0.209 | 0.185 | 0.160          |

Tabla 6.2: Métricas de rendimiento por dispositivo usando *Random Forest*.

| Dispositivo        | Características | MSE   | RMSE  | MAE   | R <sup>2</sup> |
|--------------------|-----------------|-------|-------|-------|----------------|
| <i>Gamepad</i>     | Sin PCA         | 0.210 | 0.458 | 0.392 | -1.599         |
|                    | PCA             | 0.093 | 0.305 | 0.244 | -0.128         |
| <i>Leap Motion</i> | Sin PCA         | 0.060 | 0.245 | 0.179 | -0.371         |
|                    | PCA             | 0.079 | 0.281 | 0.224 | -0.783         |
| Ratón              | Sin PCA         | 0.127 | 0.357 | 0.289 | -1.585         |
|                    | PCA             | 0.071 | 0.266 | 0.219 | -0.268         |
| Teclado            | Sin PCA         | 0.187 | 0.433 | 0.313 | -1.577         |
|                    | PCA             | 0.082 | 0.286 | 0.205 | -0.146         |
| Pantalla táctil    | Sin PCA         | 0.153 | 0.391 | 0.307 | -1.666         |
|                    | PCA             | 0.248 | 0.498 | 0.336 | -3.428         |
| <i>EyeTracker</i>  | Sin PCA         | 0.148 | 0.384 | 0.300 | -2.758         |
|                    | PCA             | 0.054 | 0.232 | 0.193 | -0.238         |
| Realidad virtual   | Sin PCA         | 0.083 | 0.289 | 0.231 | -0.589         |
|                    | PCA             | 0.077 | 0.278 | 0.199 | -0.487         |

Tabla 6.3: Métricas de rendimiento por dispositivo usando regresión polinómica.

En segundo lugar, el uso de PCA no mejoró el rendimiento del modelo. Aunque hubo casos en los que PCA dio lugar a métricas con valores ligeramente mejores, esta mejora no fue constante en todos los dispositivos, esto se puede observar en la Tabla 6.4 en donde se realiza una comparación de los resultados obtenidos tanto usando como sin usar PCA en los dispositivos *gamepad* y pantalla táctil.

| Dispositivo     | PCA     | Modelo               | MSE    | R <sup>2</sup> |
|-----------------|---------|----------------------|--------|----------------|
| <i>Gamepad</i>  | Sin PCA | Random Forest        | 0.0942 | -0.0990        |
|                 | Con PCA | Random Forest        | 0.0874 | -0.0392        |
| Pantalla táctil | Sin PCA | Regresión Polinómica | 0.1525 | -1.6662        |
|                 | Con PCA | Regresión Polinómica | 0.2482 | -3.4279        |

Tabla 6.4: Impacto de PCA en el Rendimiento de los Modelos.

En tercer lugar, las características originales, sin la aplicación de PCA, tendieron a dar mejores resultados en la mayoría de los dispositivos como se puede observar en la Tabla 6.5.

Esto indica que la información captada por el conjunto de características original daba mayor información que lo captado por PCA. Sin embargo, cabe señalar que, en algunos casos, PCA tuvo mejores valores de error y  $R^2$ , lo que puede indicar que esta técnica sí podría ser aplicado con ciertos métodos. Esto debido a que en algunos dispositivos sí logró generar las relaciones con los datos presentados.

| Dispositivo        | Modelo               | MSE    | $R^2$   |
|--------------------|----------------------|--------|---------|
| <i>Gamepad</i>     | Regresión Polinómica | 0.2099 | -1.5992 |
|                    | Bosques Aleatorios   | 0.0942 | -0.0990 |
| <i>Leap Motion</i> | Regresión Polinómica | 0.0598 | -0.3707 |
|                    | Bosques Aleatorios   | 0.0449 | -0.0249 |

Tabla 6.5: Comparación de Modelos sin PCA.

Es posible decir que, en la mayoría de los casos, fue difícil lograr un rendimiento relativamente bueno de acuerdo a sus métricas. Esto se puede deber a una complejidad mayor entre las características de perfil personal y las variables afectivas a predecir, y también por la cantidad limitada de datos al momento de entrenar. En consecuencia, se necesitarían otros modelos que permitan lograr comprender la complejidad entre estas características y que, por la falta de datos, no se logran cubrir en esta investigación.

El modelo con mejores métricas que se obtuvo fue para el dispositivo *eyetracker* como se puede observar en la Tabla 6.6. Este modelo fue entrenado sin aplicar PCA y alcanzó un MSE de 0,037, un RMSE de 0,192, un MAE de 0,156, un  $R^2$  de 0,284 y un MAPE de 0,304.

| Métrica | Valor |
|---------|-------|
| MSE     | 0.037 |
| RMSE    | 0.192 |
| MAE     | 0.156 |
| $R^2$   | 0.284 |
| MAPE    | 0.304 |

Tabla 6.6: Métricas de rendimiento del dispositivo *eyetracker* sin PCA.

Los resultados completos de todos los modelos entrenados y sus diferentes métricas se puede observar en anexos, mas específicamente en la Tabla C.27

#### 6.1.4. Prueba de hipótesis

A continuación se realiza la prueba de las hipótesis planteadas en la sección 4.2.2. Esto se realiza tomando en cuenta los resultados de este capítulo, con el objetivo de determinar si existe la evidencia suficiente para aceptar o rechazar cada una de estas hipótesis.

##### Resultado de la hipótesis 1 (H1)

*Aceptada.* El análisis estadístico de la sección 6.1.1.3 mostró que existen correlaciones significativas entre factores como la edad, el género, y las habilidades tecnológicas de los estudiantes con sus experiencias afectivas durante la interacción con distintos dispositivos. Cabe recalcar que no en todas las variables se tuvo correlaciones, por lo que únicamente las variables de la Tabla 6.1 son aquellas que explican de mejor manera los estados afectivos durante las experiencias.

##### Resultado de la hipótesis 2 (H2)

*Aceptada.* Existen diferencias significativas en los estados afectivos de acuerdo al dispositivo utilizado. Por ejemplo, el uso de dispositivos como la realidad virtual y la pantalla táctil se asociaron con niveles más altos de excitación y dominancia, mientras que el uso de un ratón y teclado mostró una valencia más neutra.

##### Resultado de la hipótesis 3 (H3)

*Aceptada.* Se encontraron correlaciones significativas entre características de los usuarios, tales como su expertise con la tecnología o su experiencia con ciertos dispositivos, y las métricas de rendimiento. Por ejemplo, usuarios con mayor habilidad tecnológica mostraron un mejor rendimiento con dispositivos avanzados como el *eyetracker* y *Leap Motion*.

##### Resultado de la hipótesis 4 (H4)

*Rechazada.* No se logró crear un modelo capaz de predecir con precisión los valores de dominancia, valencia y excitación de los usuarios al interactuar con los dispositivos. Los resultados del modelo de regresión no alcanzaron un nivel de precisión aceptable, específicamente, el modelo mostró una precisión inferior al 60 % en la predicción de los estados afectivos, lo cual está por debajo del umbral mínimo esperado para considerarse útil en apli-

caciones prácticas. Por ejemplo, las predicciones de valencia fueron correctas solo en un 55 % de los casos, mientras que las predicciones de dominancia y excitación fueron aún menos precisas, con una precisión del 50 % y 52 % respectivamente.

Estos resultados podrían indicar que la cantidad relativamente pequeña de datos disponibles, junto con una variabilidad insuficiente entre los mismos, no permitió al modelo capturar de manera adecuada la complejidad de los estados afectivos de los usuarios. Se recolectaron datos de 64 sujetos, lo cual es un tamaño de muestra limitado para entrenar modelos de aprendizaje automático. Además, la homogeneidad de la muestra, compuesta mayoritariamente por estudiantes universitarios en un rango de edad estrecho y con una distribución de género desequilibrada (50 hombres y 14 mujeres), pudo contribuir a la falta de variabilidad en los datos. Esta falta de diversidad en las características de los participantes y sus respuestas afectivas resultó en un conjunto de datos que no refleja adecuadamente las diferencias individuales y contextuales necesarias para construir un modelo predictivo preciso.

## **6.2. Presentación y difusión**

De acuerdo al proceso experimental, la presentación y difusión consiste en comunicar los resultados y hallazgos más importantes del cuasi-experimento y haciendo una síntesis de los resultados obtenidos.

Se identificaron varias correlaciones significativas entre las variables de la encuesta de perfil personal y tecnológico. Entre las más importantes se encuentra que características de la persona, como la experiencia previa con dispositivos como lo es la realidad virtual, mostró una influencia positiva en la dominancia, indicando que la exposición a estos entornos puede aumentar la sensación de control e inmersión en futuras interacciones. De igual forma, los dispositivos táctiles y de realidad virtual que son menos usados habitualmente por los estudiantes, generaron los niveles más altos de felicidad y control. Sin embargo, se observó que una mayor preferencia por dispositivos hápticos se encuentra correlacionada con un mayor número de respuestas incorrectas, lo que indica que ciertos dispositivos pueden afectar negativamente la precisión del usuario al momento de usarlo.

Por otro lado, el uso frecuente de consolas de videojuegos se asoció con un aumento en las respuestas correctas con dispositivos como el *gamepad* o la realidad virtual, lo que implica que la experiencia con estos juegos mejora la capacidad de los usuarios de usar dispositivos relacionados con mayor facilidad.

Por otro lado, el análisis de los modelos de regresión entrenados indicó que no se logró una precisión adecuada en la predicción de los estados afectivos de dominancia, valencia y excitación. Los modelos mostraron una precisión inferior al 60 %, con la valencia siendo correcta solo en un 55 % de los casos y la dominancia y excitación aún menos precisas. Esta baja precisión se piensa que es debido a la limitada cantidad y variabilidad de los datos disponibles. La muestra, compuesta mayoritariamente por estudiantes universitarios con una distribución de características desigual, no reflejó adecuadamente las diferencias individuales necesarias para construir un modelo predictivo con mayor precisión, lo que resalta nuevamente la necesidad de ampliar y diversificar la recopilación de datos en futuros estudios.

Es importante notar que las variables de perfil personal y tecnológico que contienen mayor información pueden servir como parte de una futura investigación más a profundidad que permita encontrar modos de interacción óptimos y personalizados para mejorar la satisfacción del usuario.

## 7. Conclusiones y trabajo futuro

### 7.1. Conclusiones

En este trabajo se pudo generar una base de datos de 64 personas, estuvo compuestas por las diferentes variables que se observan en la tabla 4.2.6.1, de las cuales se identificaron las variables mas importantes que fueron las que se observan en la tabla 6.1, luego se probaron varios modelos y el mejor fue *Random Forest* con las métricas y resultados observados en 6.2, lo que permite llegar a las conclusiones siguientes:

Al finalizar el proceso experimental, se ha cumplido con el objetivo de identificar las variables que influyen en los estados afectivos de los usuarios durante la interacción con los dispositivos probados. Específicamente, se identificó que las variables que mas influyen en el estado emocional de una persona fueron las observadas en la tabla 6.1. El análisis de estos factores destaca la manera en que los usuarios responden afectivamente al interactuar con cada uno de los dispositivos. Factores como la experiencia previa con dispositivos como puede ser el *gamepad*, frecuencia, ámbitos y propósitos de su uso, así como la eficiencia al utilizar los dispositivos, han logrado explicar en cierta medida la valencia, excitación y dominancia de los estudiantes.

De este modo, las variables mencionadas, influyen directamente en factores como la efectividad, preferencia, percepción y estado afectivo de una persona frente al uso de un dispositivo de interacción. Este hallazgo, podría ser extendido a un contexto mas amplio, incluyendo otros dispositivos de interacción disponibles en el mercado.

Así mismo, lograr estados afectivos positivos en un usuario durante el uso de dispositivos tecnológicos depende de identificar correctamente el modo de interacción. El reconocer correctamente se basa en conocer las variables adecuadas del entorno, permitiendo así modificar los estados emocionales, reducir el estrés y mejorar la eficiencia; en entornos académicos o laborales, estos estados afectivos positivos contribuyen a un mejor rendimiento.

Esta importancia, en entornos de estudio o trabajo, no solo podría incrementar la motivación, eficiencia y el compromiso del estudiante en el proceso de aprendizaje, sino también podría

reducir factores negativos tales como el estrés, asociado únicamente al modo de interacción, y que no permiten el desarrollo fluido del ambiente de trabajo. Al sentirse más cómodo y seguro, el estudiante tiene la capacidad de ser más productivo en entornos tecnológicos y lograr mejores resultados.

Tomando en cuenta el modelo de regresión entrenado, se abre la posibilidad de desarrollo de sistemas personalizados, que permitan predecir los estados emocionales y mejorar la experiencia del usuario al utilizar distintos dispositivos tecnológicos. Al aplicar un modelo como el desarrollado, no solo permitiría identificar qué dispositivos y modos de interacción son los más adecuados para determinados perfiles demográficos, sino que también facilitan la adaptación dinámica de las interfaces de usuario para maximizar la satisfacción y el rendimiento de acuerdo a las características integrales de una persona.

Una limitación del estudio, es la limitada cantidad y variabilidad de datos. Esta limitación dificultó la exploración de modelos más complejos que podrían haber proporcionado predicciones aún más precisas y detalladas. Futuras investigaciones con muestras más amplias y diversas podrían subsanar esta limitación, proporcionando una base de datos más sólida y permitiendo el desarrollo de modelos de aprendizaje automático más complejos y precisos.

En resumen, se puede destacar la comprensión de las características de una persona que influyen en el estado afectivo de una persona para un modo de interacción, de modo que se trate de optimizar para que este sea el más positivo. Y se destaca lo que contribuye a la búsqueda de la interacción humano-computadora (HCI) para mejorar la experiencia del usuario con las computadoras. De igual forma, se plantea la posibilidad de que pueda desarrollar sistemas más personalizados y empáticos que se adapten a las necesidades emocionales de los usuarios en función de sus características individuales.

## **7.2. Trabajo Futuro**

Varios campos de la interacción humano-computadora (HCI) pueden verse afectados por esta investigación. La adaptación de las experiencias tecnológicas a las preferencias y características demográficas de una persona puede aumentar significativamente la usabilidad y la aceptación de las nuevas tecnologías. Esto puede ser útil en entornos educativos y

laborales donde la productividad y la satisfacción del usuario son esenciales.

De igual forma, a pesar de que el presente estudio se centró en un contexto estudiantil, las preguntas de la encuesta de perfil personal y tecnológico se diseñaron específicamente para obtener las características más relevantes de esta población. Tal como se ha demostrado en el capítulo de resultados, es posible determinar un método de interacción basado en las características integrales de una persona, lo cual abre la puerta a adaptaciones y aplicaciones más amplias en diversos ámbitos al modificar las preguntas para la obtención de datos de las personas.

Aunque el estudio ha aportado en la influencia de los factores demográficos en las experiencias afectivas con distintos dispositivos tecnológicos, cabe señalar algunas limitaciones. Dado que el tamaño de la muestra es relativamente pequeño, puede afectar a la generalizabilidad de los resultados, por lo que en futuras investigaciones deberían considerar muestras más amplias y diversas para validar y ampliar estos hallazgos. En específico, a corto plazo, se puede recomendar que, de acuerdo a la última rendición de cuentas perteneciente a la Universidad de Cuenca del 2022 [14], existían quince mil trescientos quince (15.315) estudiantes, por lo que para un trabajo futuro se puede obtener una muestra mayor en relación al número total de estudiantes, incrementando así el nivel de confianza y reduciendo el margen de error en la investigación.

En cuanto al modelo creado, es recomendable explorar una variedad de modelos adicionales en el futuro. Esto incluye desde modelos simples hasta redes neuronales profundas, ya que estos modelos tienen el potencial de generar regresiones más confiables y adaptables a diferentes contextos, especialmente cuando se dispone de una mayor cantidad de datos. La aplicación de estos modelos más avanzados permitirá mejorar la precisión y la adaptabilidad de las predicciones, logrando entrenar así un modelo que logre predecir los valores de valencia, dominancia y excitación de una persona frente a un método de interacción.

Por último, sería beneficioso explorar otros factores que pueden influir en la experiencia afectiva del usuario, como las diferencias culturales, diferentes tipos de interfaces, otros dispositivos no explorados, o hasta los mismos dispositivos pero con diferentes materiales o formas de interactuar. También puede ser importante investigar cómo interactúan estos

factores entre sí y cómo influyen en la experiencia del usuario a lo largo del tiempo o en diferentes etapas emocionales del usuario.

### Referencias

- [1] R. Sampieri, C. Collado, P. Lucio, S. Valencia, y C. Torres, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill, 2014. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.ec/books?id=SJR2zgEACAAJ>
- [2] T. Issa y P. Isaias, *Usability and Human Computer Interaction (HCI)*. London: Springer London, 2015, pp. 19–36. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6753-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6753-2_2)
- [3] M. Obrist, E. Gatti, E. Maggioni, C. T. Vi, y C. Velasco, “Multisensory experiences in hci,” *IEEE MultiMedia*, vol. 24, num. 2, pp. 9–13, 2017.
- [4] T. Pietrzak y M. Wanderley, “Haptic and audio interaction design,” *J Multimodal User Interfaces*, vol. 14, pp. 231–233, 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s12193-020-00344-w>
- [5] R. D. Gordon Graell, “Interacción humano-computador y sus aportes en el desarrollo de la informática aplicada a la educación,” *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 15, num. 2, pp. 110–119, 2023. [En línea]. Disponible: <https://dx.doi.org/10.30878/ces.v27n3a11>
- [6] D. O. Lawrence y M. Ashleigh, “Impact of human-computer interaction (hci) on users in higher educational system: Southampton university as a case study,” *International Journal of Management Technology*, vol. 6, num. 3, pp. 1–12, September 2019. [En línea]. Disponible: <https://eprints.soton.ac.uk/436645/>
- [7] A. Pinilla, R. M. Tamayo, y J. Neira, “How do induced affective states bias emotional contagion to faces? a three-dimensional model,” *Frontiers in Psychology*, vol. 11, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.00097>
- [8] A. P. Association, “Affect,” 2023, accessed: 2023-12-06. [En línea]. Disponible: <https://dictionary.apa.org/affect>

- [9] C.-H. Lin y K. J. Schmidt, "User preference and performance with three different input devices: Keyboard, mouse, or touchscreen," *Educational Technology*, vol. 33, num. 7, pp. 56–59, 1993.
- [10] M. Algarni, F. Saeed, T. Al-Hadhrami, F. Ghabban, y M. Al-Sarem, "Deep learning-based approach for emotion recognition using electroencephalography (eeg) signals using bi-directional long short-term memory (bi-lstm)," *Sensors*, vol. 22, num. 8, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/8/2976>
- [11] L. Paez, "Boletín bibliométrico - autores usta," 2020.
- [12] S. Saldarriaga, J. López-Lezama, y N. Muñoz-Galeano, "Enseñando el planeamiento de la expansión de redes de transmisión usando el software gams," 2020.
- [13] C. Rodríguez, "Efecto de la aspersion aérea de cultivos de hoja de coca en el trabajo infantil, la asistencia a la escuela y el rezago escolar en Colombia, 2008-2012," 2020.
- [14] U. de Cuenca. (2023) Informe de gestión 2022. Consultado el 21 de Febrero de 2024. [En línea]. Disponible: [https://www2.ucuenca.edu.ec/images/2023/06/Informe\\_Gestion\\_2022\\_compressed.pdf](https://www2.ucuenca.edu.ec/images/2023/06/Informe_Gestion_2022_compressed.pdf)
- [15] M. F. Genero Bocco, J. A. Cruz-Lemus, y M. G. Piattini Velthuis, *Métodos de investigación en ingeniería del software*. Grupo Editorial RA-MA, 2014.
- [16] N. Sevchenko, T. Appel, M. Ninaus, K. Moeller, y P. Gerjets, "Theory-based approach for assessing cognitive load during time-critical resource-managing human-computer interactions: an eye-tracking study," *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 17, num. 1, pp. 1–19, 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s12193-022-00398-y>
- [17] F. Karray, M. Alemzadeh, J. Saleh, y M. N. Arab, "Human-computer interaction: Overview on state of the art," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 1, pp. 137–159, 01 2008.
- [18] J. Y. Koh, R. Salakhutdinov, y D. Fried, "Grounding language models to images for multimodal inputs and outputs," 2023.

- [19] Sep 2023. [En línea]. Disponible: <https://in.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-human-computer-interaction>
- [20] W. Bainbridge, *Berkshire Encyclopedia of Human-computer Interaction*, ser. Berkshire Encyclopedia of Human-computer Interaction. Berkshire Publishing Group, 2004, num. v. 1. [En línea]. Disponible: [https://books.google.com.ec/books?id=568u\\_k1R4IUC](https://books.google.com.ec/books?id=568u_k1R4IUC)
- [21] “What is a mouse in computer?” GeeksforGeeks, 12 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-a-mouse-in-computer/>
- [22] C. Hope, “What is a computer mouse?” Computerhope.com, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.computerhope.com/jargon/m/mouse.htm>
- [23] “Keyboard definition,” Techterms.com, 2019. [En línea]. Disponible: <https://techterms.com/definition/keyboard>
- [24] <https://www.facebook.com/thoughtcodotcom>, “Why your computer keyboard has a qwerty layout,” ThoughtCo, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.thoughtco.com/history-of-the-computer-keyboard-1991402>
- [25] C. M. University, “Human computer interaction breakout session,” [www.cs.cmu.edu](http://www.cs.cmu.edu). [En línea]. Disponible: <https://www.cs.cmu.edu/~wearable/boeing/hci.html>
- [26] “Types of keyboards | different types of computer keyboards,” EDUCBA, 05 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.educba.com/types-of-keyboards/>
- [27] “Lecture 5 human-computer interaction,” [users.monash.edu](http://users.monash.edu). [En línea]. Disponible: <https://users.monash.edu/~cema/courses/FIT3084/lectureNotes/lect5.html>
- [28] J. Tyson y T. V. Wilson, “How computer keyboards work,” HowStuffWorks, 11 2000. [En línea]. Disponible: <https://computer.howstuffworks.com/keyboard5.htm>
- [29] A. Mpitziopoulos, “Computer history: From the antikythera mechanism to the modern era,” Toms Hardware, 03 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.tomshardware.com/reviews/history-of-computers,4518-37.html>

- [30] M. Rouse, "What is a gamepad? - definition from techopedia," Feb 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.techopedia.com/definition/7363/gamepad>
- [31] Jan 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.computerhope.com/jargon/g/gamepad.htm>
- [32] M. Brown, A. Kehoe, J. Kirakowski, y I. Pitt, *Beyond the Gamepad: HCI and Game Controller Design and Evaluation*. London: Springer London, 2010, pp. 209–219. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-1-84882-963-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-963-3_12)
- [33] —, *Beyond the Gamepad: HCI and Game Controller Design and Evaluation*. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 263–285. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15985-0\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15985-0_12)
- [34] D. H. Ahl, "Blisters and frustration." [En línea]. Disponible: <https://www.atarimagazines.com/cva/v1n1/joysticks.php>
- [35] P. Majaranta y A. Bulling, *Eye Tracking and Eye-Based Human–Computer Interaction*. London: Springer London, 2014, pp. 39–65. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6392-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6392-3_3)
- [36] R. Soret, P. Charras, C. Hurter, y V. Peysakhovich, "Attentional orienting in front and rear spaces in a virtual reality discrimination task," *Vision*, vol. 6, num. 1, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2411-5150/6/1/3>
- [37] L. S. . Applications, "Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies," 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomp.2020.562679/full>
- [38] Y. Yang, L. Zhong, S. Li, y A. Yu, "Research on the perceived quality of virtual reality headsets in human–computer interaction," *Sensors*, vol. 23, num. 15, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/15/6824>
- [39] J. Mehrholz, M. Pohl, J. Kugler, y B. Elsner, "Effect of a virtual reality and augmented reality training on the perception of neurorehabilitation patients: A randomized contro-

- lled trial,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 16, num. 1, pp. 1–14, 2019.
- [40] T. A. Travaglini, P. J. Swaney, K. D. Weaver, y R. J. Webster III, “Initial experiments with the leap motion as a user interface in robotic endonasal surgery,” in *Robotics and Mechatronics*, S. Zegloul, M. A. Laribi, y J.-P. Gazeau, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 171–179.
- [41] E. A. Keshner, “Virtual reality and physical rehabilitation: a new toy or a new research and rehabilitation tool?” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2004. [En línea]. Disponible: <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-1-8#citeas>
- [42] Y. Daineko, M. Ipalakova, D. Tsoy, Z. Baurzhan, y Y. Yelgondy, “Using virtual reality technology for studying physics,” in *Digital Transformation and Global Society*, D. A. Alexandrov, A. V. Boukhanovsky, A. V. Chugunov, Y. Kabanov, O. Koltsova, y I. Musabirov, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 483–492.
- [43] J. Pirker, M. Pojer, A. Holzinger, y C. Gütl, “Gesture-based interactions in video games with the leap motion controller,” in *Human-Computer Interaction. User Interface Design, Development and Multimodality*, M. Kurosu, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 620–633.
- [44] A. Bongiovanni, A. De Luca, L. Gava, L. Grassi, M. Lagomarsino, M. Lapolla, A. Marino, P. Roncagliolo, S. Macciò, A. Carfi, y F. Mastrogiovanni, “Gestural and touchscreen interaction for human-robot collaboration: A comparative study,” in *Intelligent Autonomous Systems 17*, I. Petrovic, E. Menegatti, y I. Marković, Eds. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 122–138.
- [45] A. Taherian Kalati y M. S. Kim, “What is the effect of touchscreen technology on young children’s learning?: A systematic review,” *Education and Information Technologies*, vol. 27, num. 5, pp. 6893–6911, 06 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10816-5>

- [46] R. K. Hippler, D. S. Klopfer, L. M. Leventhal, G. M. Poor, B. A. Klein, y S. D. Jaffee, "More than speed? an empirical study of touchscreens and body awareness on an object manipulation task," in *Human-Computer Interaction. Interaction Techniques and Environments*, J. A. Jacko, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 33–42.
- [47] I. Trilla, A. Weigand, y I. Dziobek, "Affective states influence emotion perception: evidence for emotional egocentricity," *Psychological Research*, vol. 85, num. 3, pp. 1005–1015, April 1 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01314-3>
- [48] A. Brose, U. Lindenberger, y F. Schmiedek, "Affective states contribute to trait reports of affective well-being," *Emotion*, vol. 13, num. 5, pp. 940–948, 2013. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1037/a0032401>
- [49] Y. Wang, W. Song, W. Tao, A. Liotta, D. Yang, X. Li, S. Gao, Y. Sun, W. Ge, W. Zhang, y W. Zhang, "A systematic review on affective computing: Emotion models, databases, and recent advances," 2022. [En línea]. Disponible: <https://arxiv.org/abs/2203.06935>
- [50] J. LeDoux, *El cerebro emocional*. Ariel, 1999.
- [51] P. Fischer, *Stanley Schachter/Jerome Singer: Cognitive, Social, and Physiological Determinants of Emotional State*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022, pp. 493–498. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-3-658-37869-1\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-658-37869-1_52)
- [52] T.-M. Bynion y M. T. Feldner, *Self-Assessment Manikin*. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 1–3. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28099-8\\_77-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28099-8_77-1)
- [53] S. Tamorri, *Neurociencias y deporte: Psicología deportiva. Procesos mentales del atleta*. Barcelona: Editorial Paidotribo, 2004.
- [54] R. M. Yerkes y J. D. Dodson, "The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation," *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, vol. 18, num. 5,

- pp. 459–482, 1908. [En línea]. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cne.920180503>
- [55] J. Vallejo Ruiloba, *Introducción a la psicopatología y la psiquiatría*, 8ésima ed. Barcelona: Elsevier España, 2015.
- [56] J. Nuñez Alonso y J. Martín-Albo Lucas, *Psicología de la competición*. Sevilla: Wanceulen Editorial, 2017.
- [57] Y. Chen, F. You, J. Wang, y R. Schroeter, “Measuring user experience in situ: Use emotion data to assess user experience,” in *Advances in Usability and User Experience*, T. Ahram y C. Falcão, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 547–558.
- [58] R. Actis-Grosso, R. Capellini, F. Ghedin, y F. Tassistro, “Implicit measures as a useful tool for evaluating user experience,” in *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Methods and User Experience*, M. Antona y C. Stephanidis, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 3–20.
- [59] A. L. Samuel, “Some studies in machine learning using the game of checkers,” *IBM Journal of Research and Development*, vol. 3, num. 3, pp. 210–229, 1959.
- [60] A. Thieme, D. Belgrave, y G. Doherty, “Machine learning in mental health: A systematic review of the hci literature to support the development of effective and implementable ml systems,” *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 27, num. 5, aug 2020. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1145/3398069>
- [61] C. Wallisch, P. Bach, L. Hafermann, N. Klein, W. Sauerbrei, E. W. Steyerberg, G. Heinze, G. Rauch, y on behalf of topic group 2 of the STRATOS initiative, “Review of guidance papers on regression modeling in statistical series of medical journals,” *PLOS ONE*, vol. 17, num. 1, pp. 1–20, 01 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262918>
- [62] L. Fahrmeir, T. Kneib, S. Lang, y B. D. Marx, *Regression Models*. Berlin,

Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021, pp. 23–84. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-63882-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63882-8_2)

- [63] L. Schmid, A. Gerharz, A. Groll, y M. Pauly, “Machine learning for multi-output regression: When should a holistic multivariate approach be preferred over separate univariate ones?” 2022.
- [64] D. Theng y K. K. Bhoyar, “Feature selection techniques for machine learning: a survey of more than two decades of research,” *Knowledge and Information Systems*, vol. 66, num. 3, pp. 1575–1637, March 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s10115-023-02010-5>
- [65] K. Tadist, S. Najah, N. S. Nikolov, F. Mrabti, y A. Zahi, “Feature selection methods and genomic big data: a systematic review,” *Journal of Big Data*, vol. 6, num. 1, p. 79, August 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0241-0>
- [66] A. Atmakuru, G. Di Fatta, G. Nicosia, y A. Badii, “Improved filter-based feature selection using correlation and clustering techniques,” in *Machine Learning, Optimization, and Data Science*, G. Nicosia, V. Ojha, E. La Malfa, G. La Malfa, P. M. Pardalos, y R. Umeton, Eds. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 379–389.
- [67] R. Iranzad y X. Liu, “A review of random forest-based feature selection methods for data science education and applications,” *International Journal of Data Science and Analytics*, February 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00509-w>
- [68] L. Balcombe y D. De Leo, “Human-computer interaction in digital mental health,” *Informatics*, vol. 9, num. 1, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2227-9709/9/1/14>
- [69] V. Hinze-Hoare, “The review and analysis of human computer interaction (hci) principles,” 2007.
- [70] N. Kumar, J. A. Adams, B. Buxton, L. Candy, P. Cesar, L. Clark, B. R. Cowan, A. Dey, P. O. T. Dugas, E. Edmonds, M. A. Goodrich, M. Green, J. Grudin, Y. Kitamura,

- J. Konstan, C. Latulipe, M. Lee, T. Malone, R. Mandryk, P. Markopoulos, M. Muller, L. Nacke, Y. Nakano, M. Obrist, M. Porcheron, A. Sarcevic, J. Schöning, S. Scott, B. Sharif, F. Steinicke, S. Stumpf, E. Tse, y V. Vinayagamoorthy, "A chronology of sigchi conferences: 1983 to 2022," *Interactions*, vol. 29, num. 6, p. 34–41, nov 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1145/3568732>
- [71] InformIT, "The evolution of human-computer interaction," 2001. [En línea]. Disponible: <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=24103>
- [72] CERN, "A short history of the web," 2021. [En línea]. Disponible: <https://home.cern/science/computing/birth-web/short-history-web>
- [73] J. Garrett, *The Elements of User Experience: User-Centered Design for the Web and Beyond*, ser. Voices That Matter. Pearson Education, 2010. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.ec/books?id=9QC6r5OzCpUC>
- [74] S. Panda y S. T. Roy, "Reflections on emerging hci-ai research," *AI & SOCIETY*, vol. 39, num. 1, pp. 407–409, Feb. 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01409-y>
- [75] W. Xu, M. J. Dainoff, L. Ge, y Z. Gao, "Transitioning to human interaction with ai systems: New challenges and opportunities for hci professionals to enable human-centered ai," 2023.
- [76] Z. Lv, F. Poiesi, Q. Dong, J. Lloret, y H. Song, "Deep learning for intelligent human and computer interaction," *Applied Sciences*, vol. 12, num. 22, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/22/11457>
- [77] L. Tetzlaff, F. Schmiedek, y G. Brod, "Developing personalized education: A dynamic framework," *Educational Psychology Review*, vol. 33, num. 3, pp. 863–882, Sep. 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09570-w>
- [78] H. Peng, S. Ma, y J. M. Spector, "Personalized adaptive learning: an emerging pedagogical approach enabled by a smart learning environment," *Smart Learning*

*Environments*, vol. 6, num. 1, p. 9, Sep. 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0089-y>

- [79] W. Xu, “User centered design (vi): Human factors approaches for intelligent human-computer interaction,” 2022.
- [80] Y. Cho, H. J. Park, y H. Lim, “Research in user-centered design 2009 to 2018: A systematic keyword network analysis,” in *HCI International 2020 - Posters*. Springer, 2020, pp. 11–18. [En línea]. Disponible: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50726-8\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50726-8_2)
- [81] A. M. Mithun, A. M. Mithun, y W. M. S. Yafooz, “Extended user centered design (ucd) process in the aspect of human computer interaction,” in *2018 International Conference on Smart Computing and Electronic Enterprise (ICSCEE)*, 2018, pp. 1–6.
- [82] C. Laboratory, “Emotionally intelligent interfaces,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.cl.cam.ac.uk/research/rainbow/emotions/>
- [83] Frontiers, “Bridging the gap between machine learning and affective computing,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/research-topics/19201/bridging-the-gap-between-machine-learning-and-affective-computing>
- [84] IEEE, “Emotion recognition with facial expressions and physiological signals,” in *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 2017. [En línea]. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8285365>
- [85] H. C. Jaehyun Nam, “A new terrain in hci: Emotion recognition interface using biometric data for an immersive vr experience,” *arXiv preprint arXiv:1912.01177*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://arxiv.org/abs/1912.01177>
- [86] Springer, “Adaptive user interfaces,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/user-interface-design-adaptation>

- [87] A. D. Library, “Expressive interfaces: Physically manifesting emotional data in real-time,” in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021. [En línea]. Disponible: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-42280-5\\_26#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-42280-5_26#citeas)
- [88] T. . F. Online, “Designing for diversity in user interface adaptation,” *International Journal of Human–Computer Interaction*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10270-021-00909-7>
- [89] U. Collective, “Decoding the future: The evolution of intelligent interfaces,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://uxdesign.cc/decoding-the-future-the-evolution-of-intelligent-interfaces-ec696ccc62cc>
- [90] IEEE, “Ethical and compliance challenges of data privacy,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://shorturl.at/Sb3Hg>
- [91] F. in Computer Science, “A systematic review of personalized collaborative systems,” 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.light-am.com/en/article/doi/10.1038/s41377-021-00658-8>
- [92] PsycNET, “Personality and coping: Individual differences in responses to emotion,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3581754.3584162>
- [93] A. Liapis, N. Karousos, C. Katsanos, y M. Xenos, “Evaluating user’s emotional experience in hci: The physiobs approach,” in *Human-Computer Interaction. Advanced Interaction Modalities and Techniques*, M. Kurosu, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 758–767.
- [94] Y. University, “How technology is changing the education landscape,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.timeshighereducation.com/campus/emotions-and-learning-what-role-do-emotions-play-how-and-why-students-learn>
- [95] eLearning Industry, “Ai for personalized education,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://elearningindustry.com/how-ai-is-personalizing-education-for-every-student>

- [96] T. H. Education, “What role do emotions play in learning?” 2023. [En línea]. Disponible: <https://campuspress.yale.edu/wave/how-technology-is-changing-the-education-landscape/>
- [97] MDPI, “Investigating latent interactions between students’ affective cognition and learning performance: Meta-analysis of affective and cognitive factors,” 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2022.789397/full>
- [98] Springer, “Emotionally intelligent students are more engaged and successful: examining the role of emotional intelligence in higher education,” 2020. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10212-019-00458-0>
- [99] SpringerLink, “Academic emotions and student engagement,” 2012. [En línea]. Disponible: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-2018-7\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-2018-7_12)
- [100] —, “Four ways of considering emotion in cognitive load theory,” 2019. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-019-09473-5>
- [101] Edutopia, “Using students’ emotional responses to texts to boost literacy,” 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.edutopia.org/article/using-students-emotional-responses-texts-boost-literacy>
- [102] Y. Wang, “Affective state analysis during online learning based on learning behavior data,” *Technology, Knowledge and Learning*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10758-022-09597-8>
- [103] P. J. O’Connor, A. Hill, M. Kaya, y B. Martin, “The measurement of emotional intelligence: A critical review of the literature and recommendations for researchers and practitioners,” *Frontiers in Psychology*, vol. 10, 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01116>
- [104] Y. A. Sekhavat, M. J. Sisi, y S. Roohi, “Affective interaction: Using emotions as a user interface in games,” *Multimedia Tools and Applications*, 2021. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-020-10006-4>

- [105] A. of Human-Computer Interaction, "User experience," 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.hci.org.uk/user-experience>
- [106] M. Chanchal y B. Vinoth Kumar, *Progress in Multimodal Affective Computing: From Machine Learning to Deep Learning*. Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 127–150. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20541-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20541-5_6)
- [107] S. K. Gupta, T. S. Ashwin, y R. M. R. Guddeti, "Students' affective content analysis in smart classroom environment using deep learning techniques," *Multimedia Tools and Applications*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-019-7651-z>
- [108] A. V. Samsonovich, Z. Liu, y T. T. Liu, "On the possibility of regulation of human emotions via multimodal social interaction with an embodied agent controlled by ebica-based emotional interaction model," in *Artificial General Intelligence*, B. Goertzel, M. Iklé, A. Potapov, y D. Ponomaryov, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 374–383.
- [109] J. Ramírez, F. González, y A. López, "Desarrollo de un instrumento de recolección de datos para la evaluación del nivel de alfabetización digital de estudiantes universitarios," *Revista de Iniciación Científica*, vol. 5, num. 2, pp. 59–71, Mar 2020.
- [110] M. O. Source, "React," <https://react.dev>, Meta Open Source, official Website of React. [En línea]. Disponible: <https://react.dev>
- [111] S. Berrezueta, Jose Maria y Lituma, "Código fuente del aplicativo," 2024, accedido: 22-jun-2024. [En línea]. Disponible: [https://drive.google.com/file/d/1i6\\_kQICvMBqASQ9eCMIBCJ1mLEXgN52v/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1i6_kQICvMBqASQ9eCMIBCJ1mLEXgN52v/view?usp=sharing)
- [112] —, "Tutorial del aplicativo," 2024, accedido: 22-jun-2024. [En línea]. Disponible: <https://drive.google.com/file/d/16sAPdFA9EZNHE3hwhfV8HzTenZVIZw397/view?usp=sharing>
- [113] R. D. Gordon Graell, "Interacción humano-computador y sus aportes en el desarrollo de la informática aplicada a la educación," *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 15,

pp. 110 – 119, 04 2023. [En línea]. Disponible: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202023000200110&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202023000200110&nrm=iso)

[114] J. Pallant, “Getting to know ibm spss,” *SPSS Survival Manual*, p. 15–24, Jul 2020.

## 8. Anexos

### A. Consentimiento Informado



#### Consentimiento Informado

Apreciado participante

Nuestros nombres son JOSÉ MARÍA BERREZUETA DOMÍNGUEZ y SANTIAGO JOSÉ LITUMA WEBSTER y somos estudiantes de grado de la Universidad de Cuenca en la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación. Como parte de nuestros estudios, estamos desarrollando un trabajo de titulación llamado **“Modelo de clasificación de emociones para la selección del mejor modo de interacción en estudiantes universitarios, basado en encuestas y en la aplicación y uso de dispositivos tecnológicos”**.

Si usted acepta participar, le pedimos que llene una serie de encuestas y participe dentro de un test planteado para medir las capacidades de los usuarios frente a diferentes métodos de interacción.

Su participación en esta investigación no tiene ninguna recompensa material o económica y usted es libre de no participar o de retirarse cuando lo desee. Sus aportes a esta investigación se usarán exclusivamente para este proyecto y se archivarán de manera segura. Si usted lo autoriza, sus datos serán recolectados mediante las encuestas en las cuales, no se guardará ninguna información personal. Nuestro trabajo de grado quedará a disposición del público en la biblioteca de la Universidad.

Estoy muy agradecido de que me haya permitido explicar este proyecto. Si lo desea puede contactarnos en los siguientes correos electrónicos: [jose.berrezueta@ucuenca.edu.ec](mailto:jose.berrezueta@ucuenca.edu.ec) y [santiago.litumaw@ucuenca.edu.ec](mailto:santiago.litumaw@ucuenca.edu.ec). También puede contactar al tutor de la tesis al correo [paul.cardenasd@ucuenca.edu.ec](mailto:paul.cardenasd@ucuenca.edu.ec).

Gracias,

Firma de participante

Nombre de participante:

Cédula del participante:

Fecha:

Figura A.1: Consentimiento Informado.

## B. Gráficas de distribución

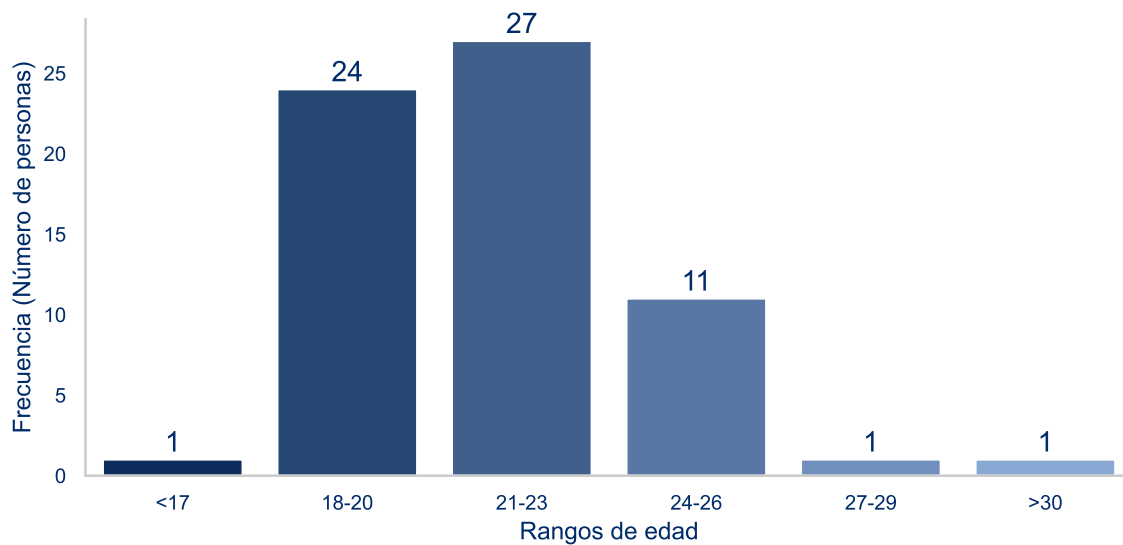


Figura B.2: Distribución de la edad de los encuestados.

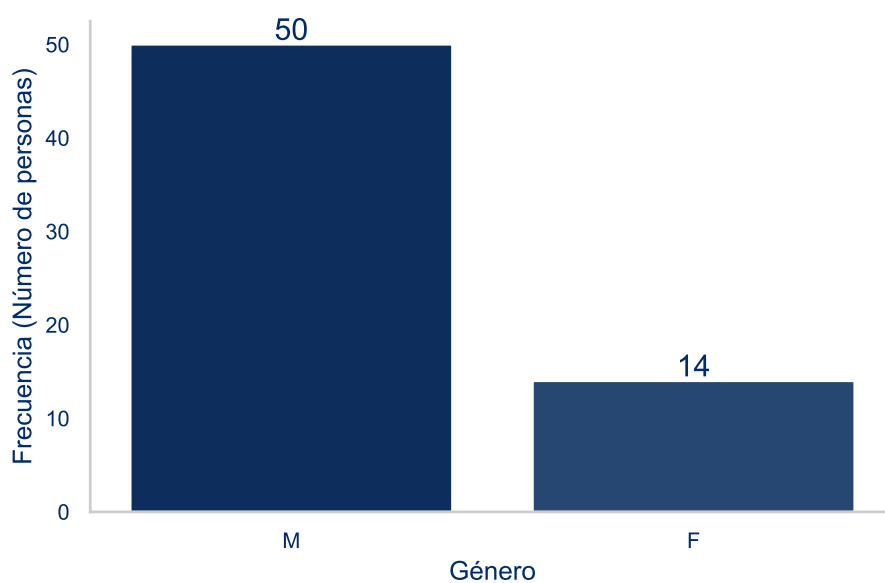


Figura B.3: Distribución del género (M es masculino, y F es femenino) de los encuestados.

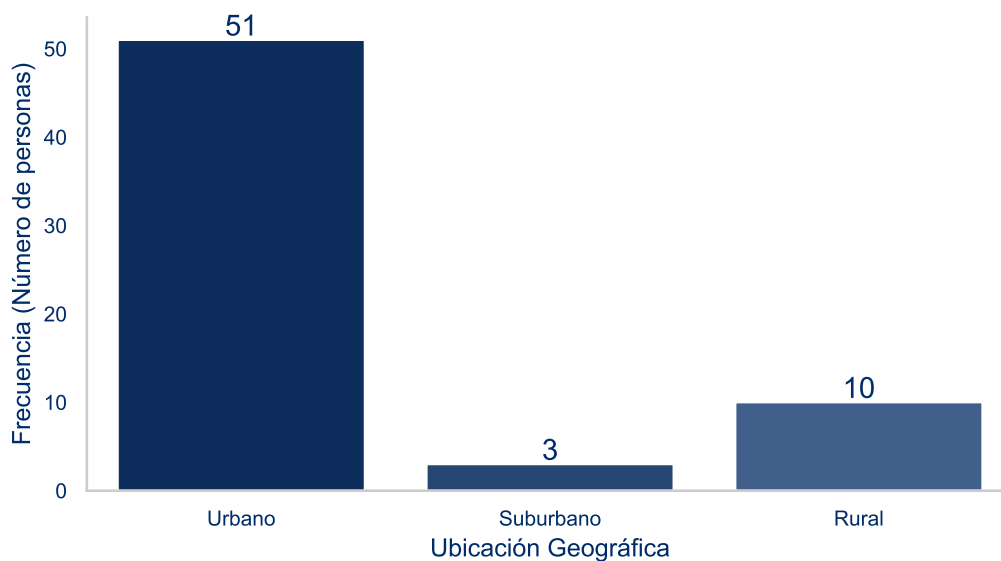


Figura B.4: Distribución de la ubicación geográfica en la que se ubican los encuestados.

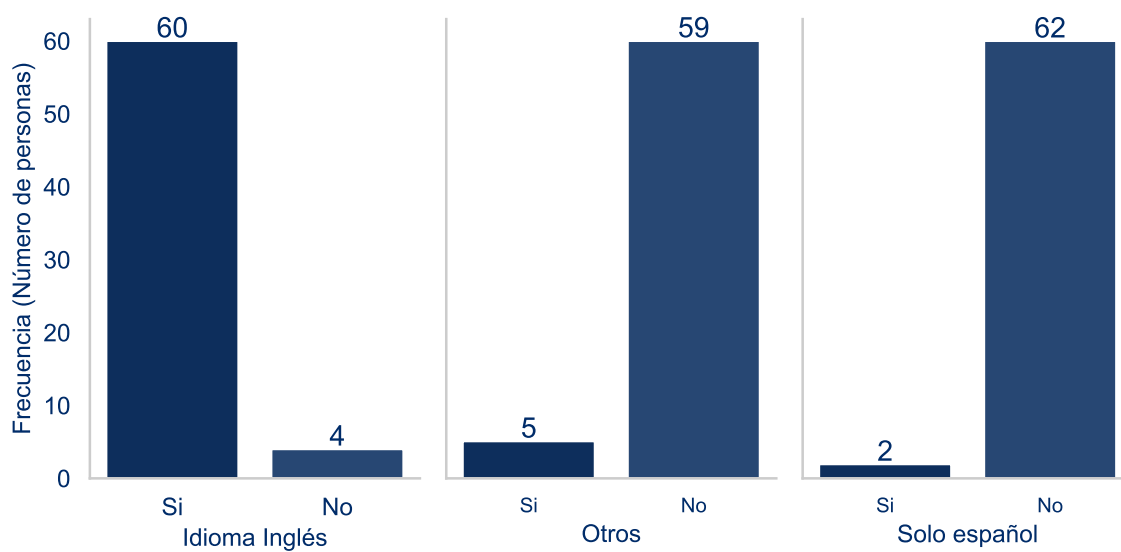


Figura B.5: Distribución de los idiomas entendidos por los encuestados.

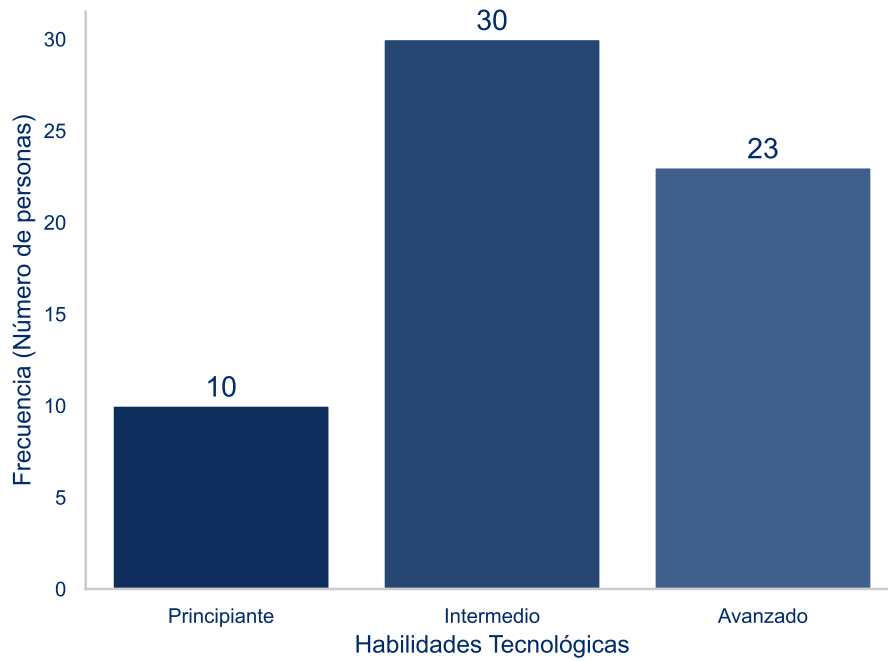


Figura B.6: Distribución de las habilidades tecnológicas que consideran que tienen los encuestados.

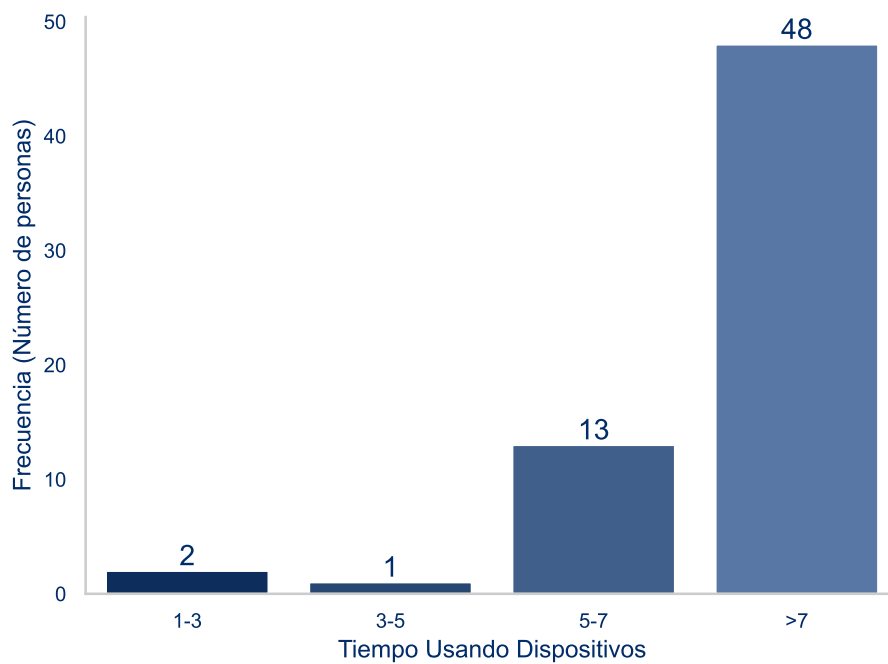


Figura B.7: Distribución de tiempo que llevan usando dispositivos tecnológicos los encuestados.

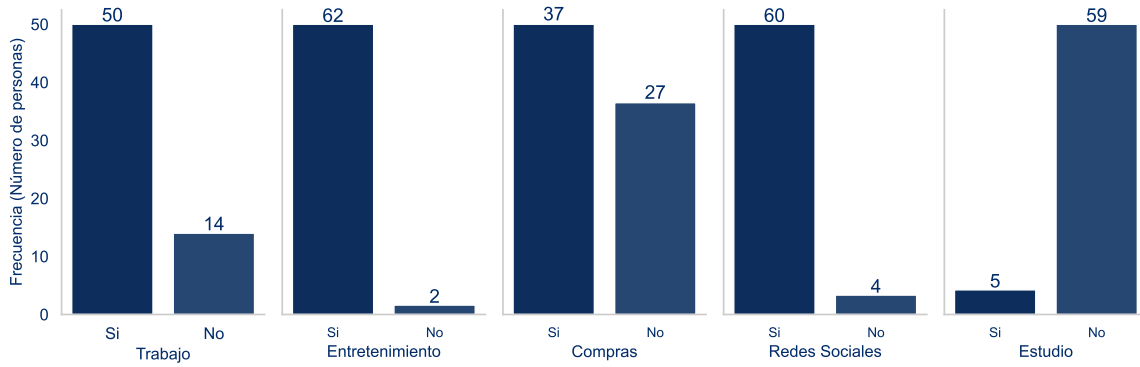


Figura B.8: Distribución de la razón de uso de internet de los encuestados.

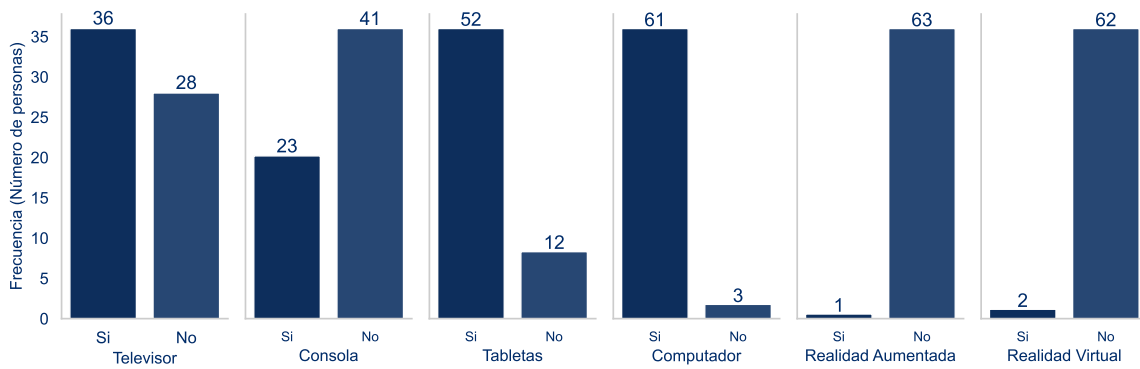


Figura B.9: Distribución de dispositivos de entretenimiento que poseen los encuestados.

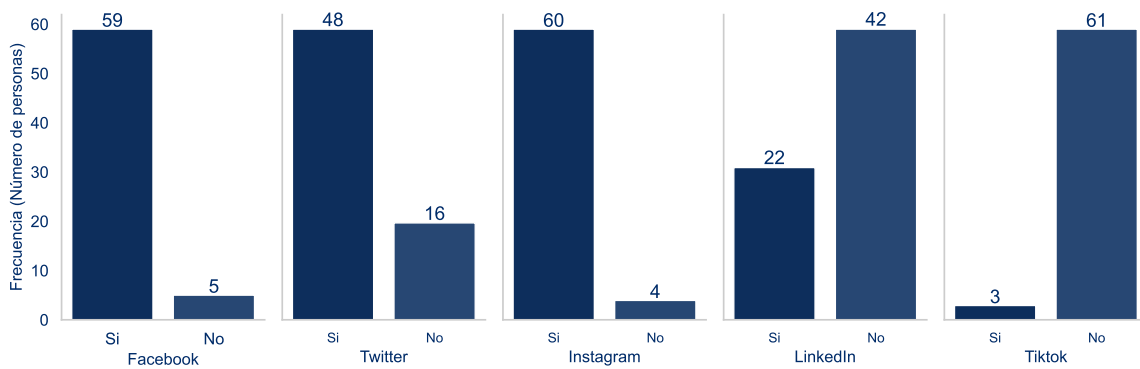


Figura B.10: Distribución de las redes sociales en las que poseen una cuenta los encuestados.

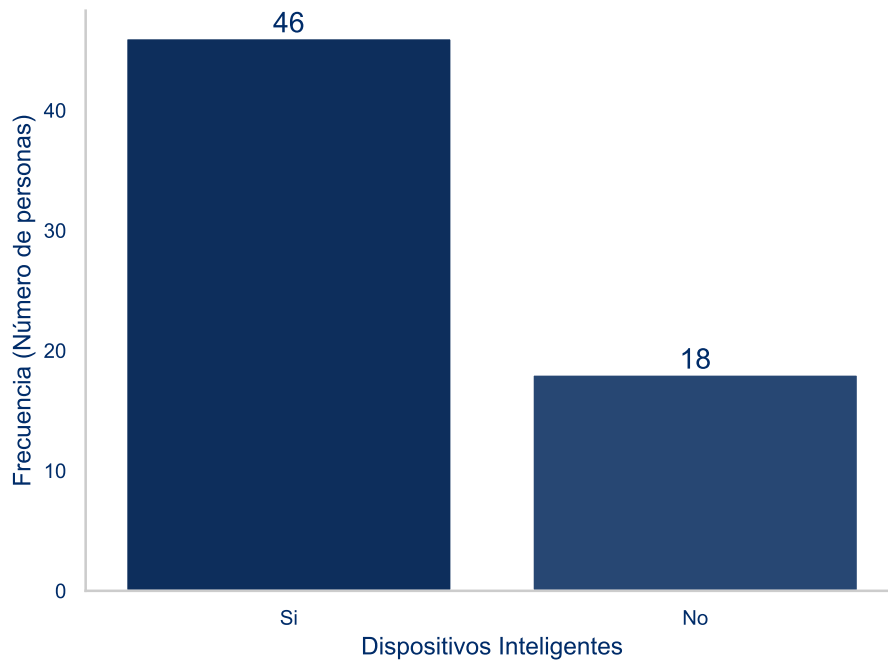


Figura B.11: Distribución de uso de dispositivos inteligentes por los encuestados.

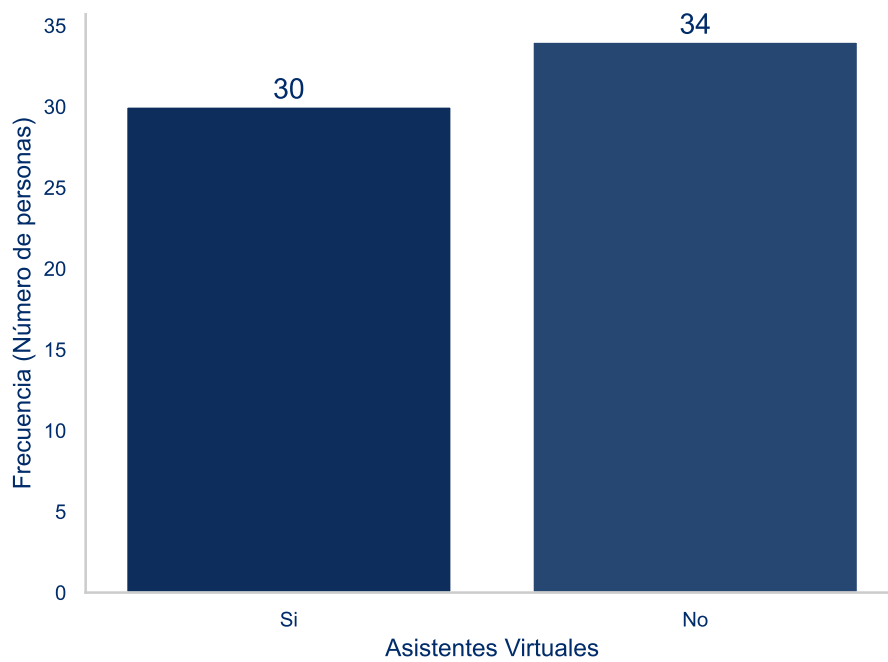


Figura B.12: Distribución del uso de asistentes virtuales por los encuestados.

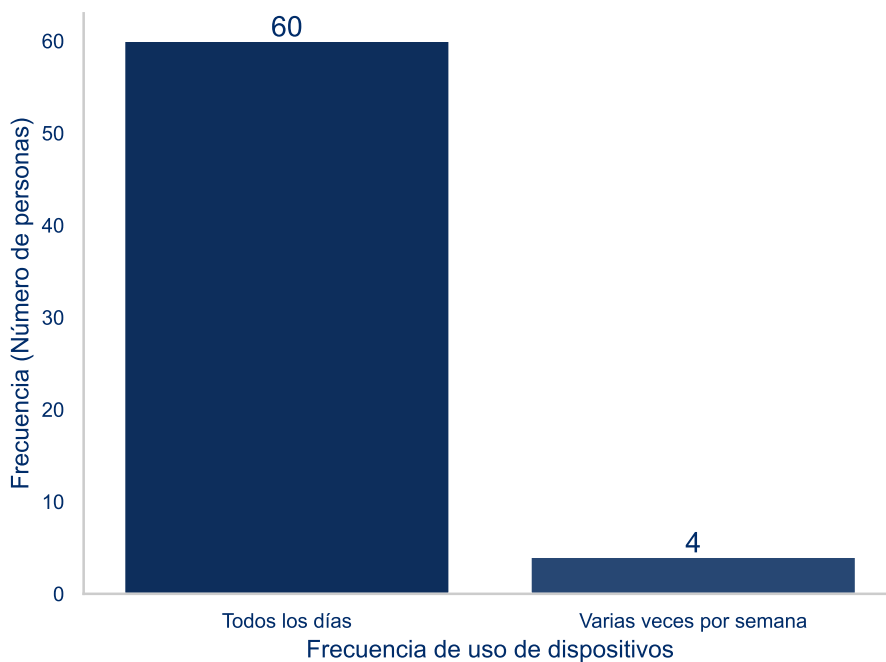


Figura B.13: Distribución de la frecuencia de uso de dispositivos tecnológicos por los encuestados.

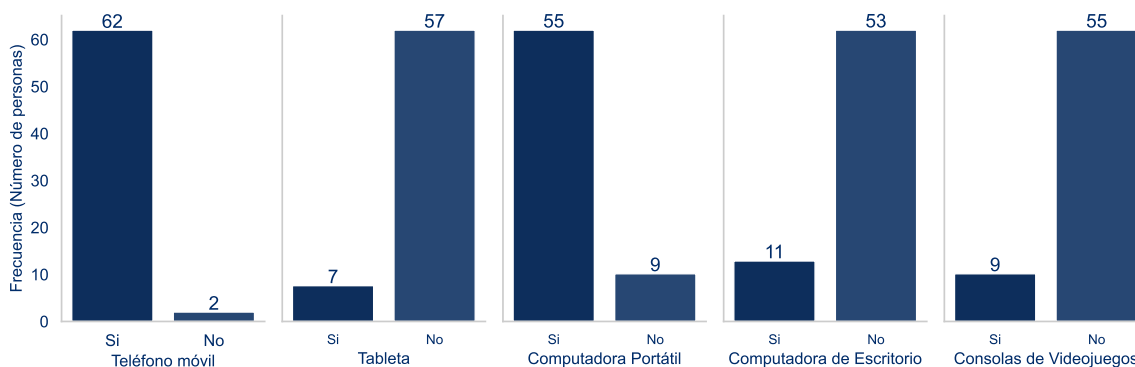


Figura B.14: Distribución de los dispositivos que usa con más frecuencia por parte de los encuestados.

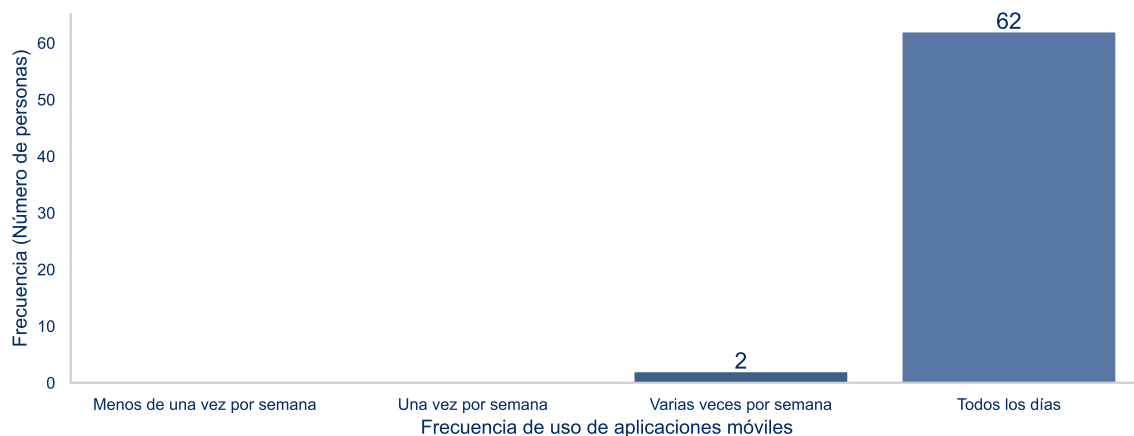


Figura B.15: Distribución de la frecuencia de uso de aplicaciones móviles por parte de los encuestados.

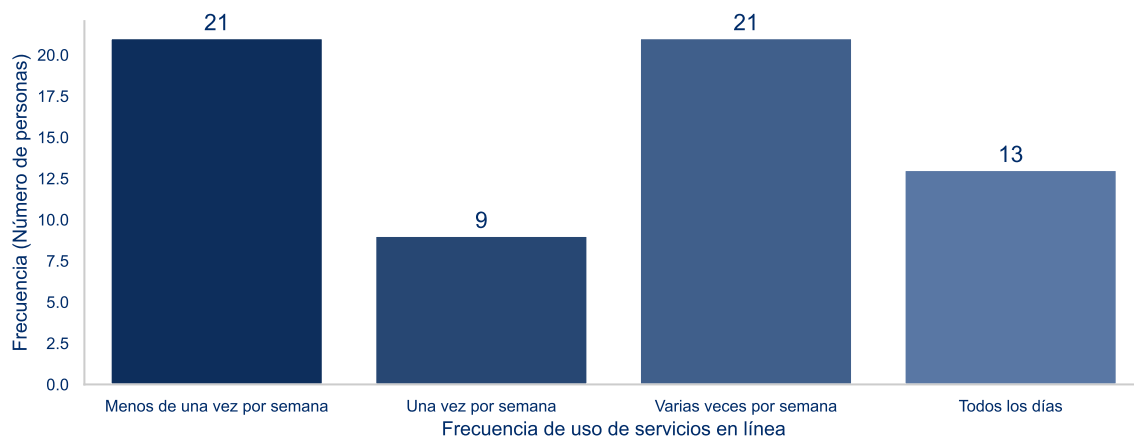


Figura B.16: Distribución de la frecuencia de uso de servicios en línea por parte de los encuestados.

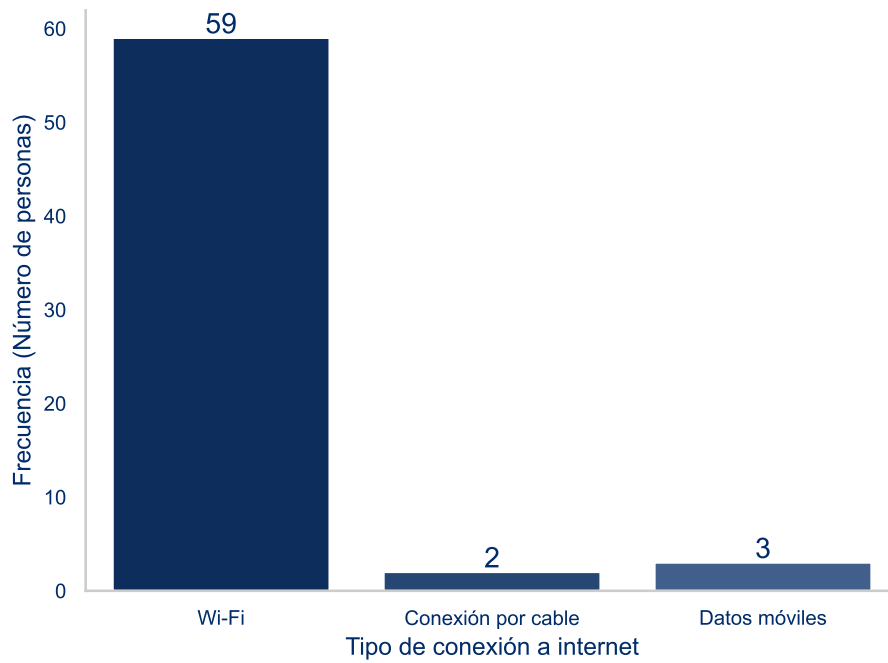


Figura B.17: Distribución del principal tipo de conexión a internet que poseen los encuestados.

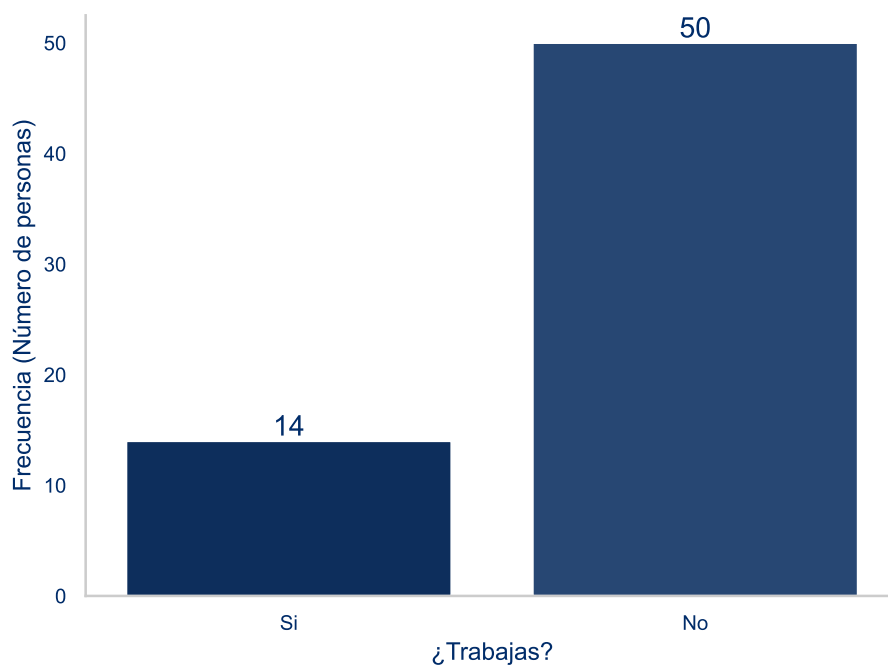


Figura B.18: Distribución de la situación laboral de los encuestados.

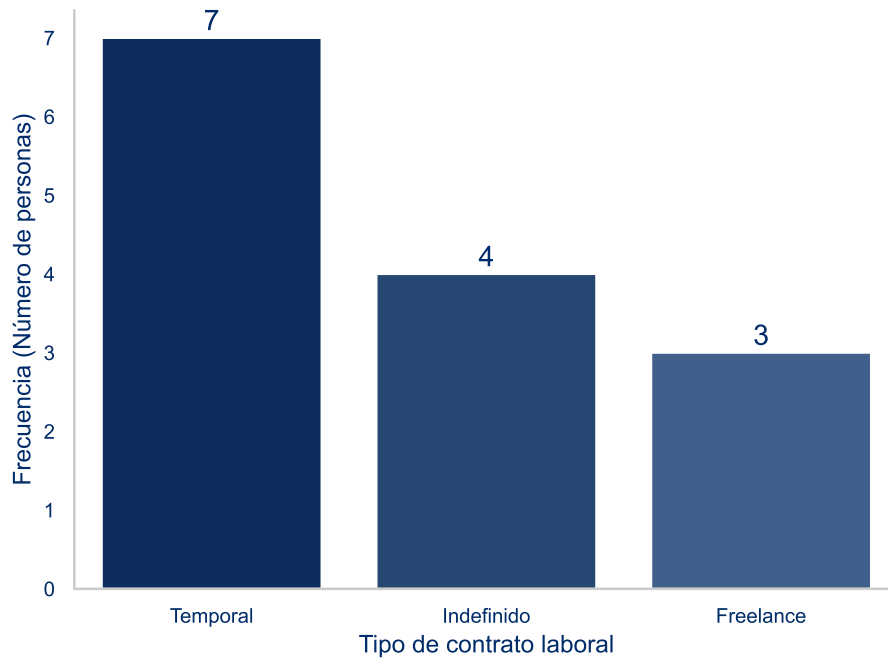


Figura B.19: Distribución del tipo de contrato laboral que tienen los encuestados.

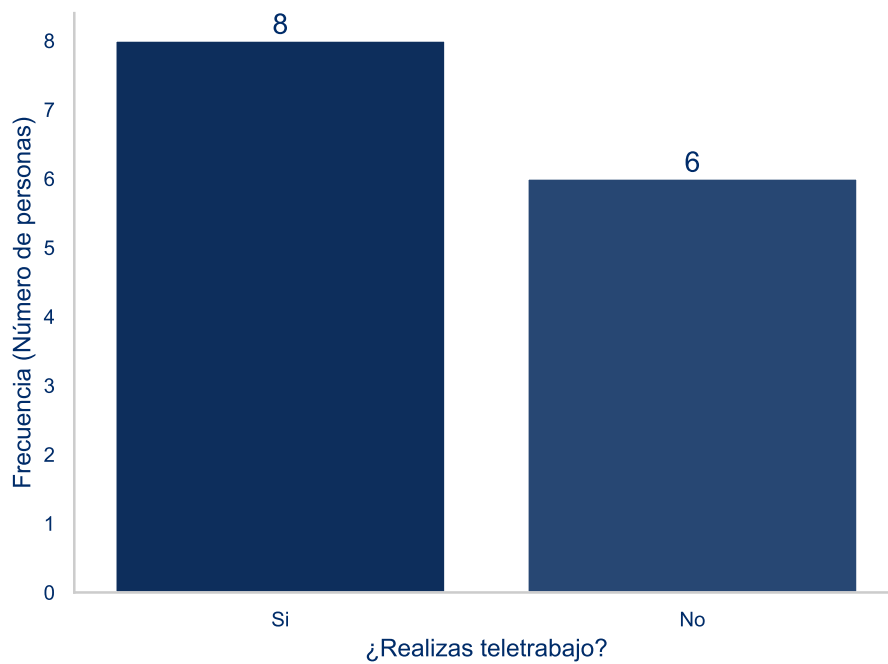


Figura B.20: Distribución de los encuestados que realizan teletrabajo.

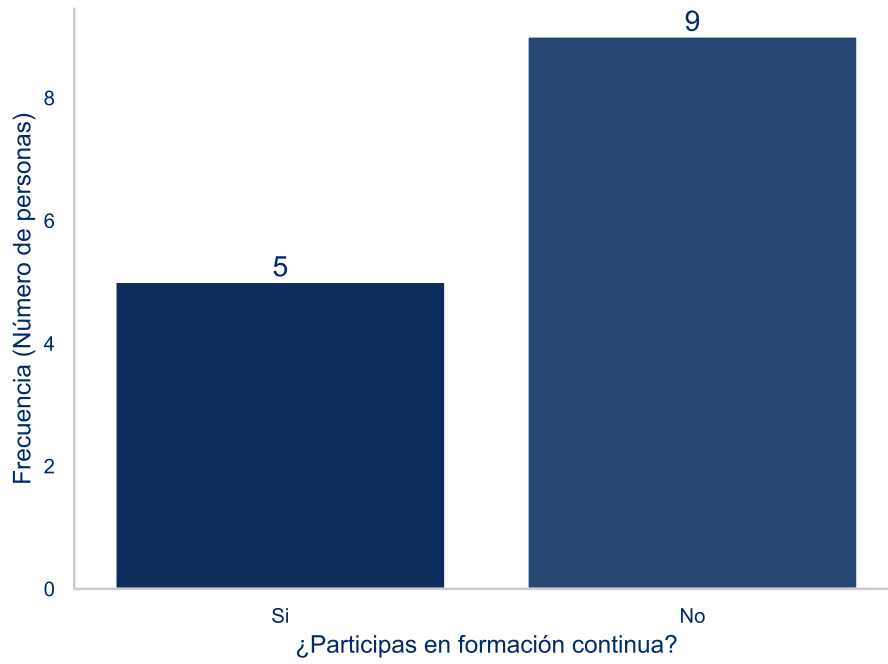


Figura B.21: Distribución de los encuestados que realizan formación continua.

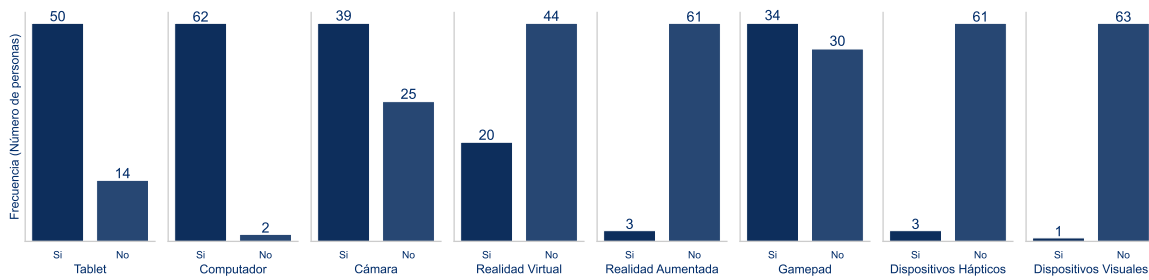


Figura B.22: Distribución de dispositivos digitales que poseen los encuestados.

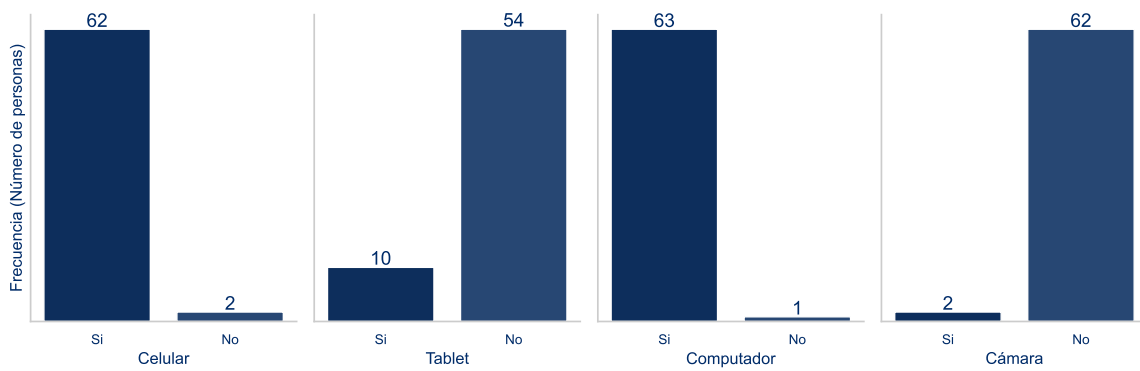


Figura B.23: Distribución de dispositivos para propósitos académicos que usan los encuestados.

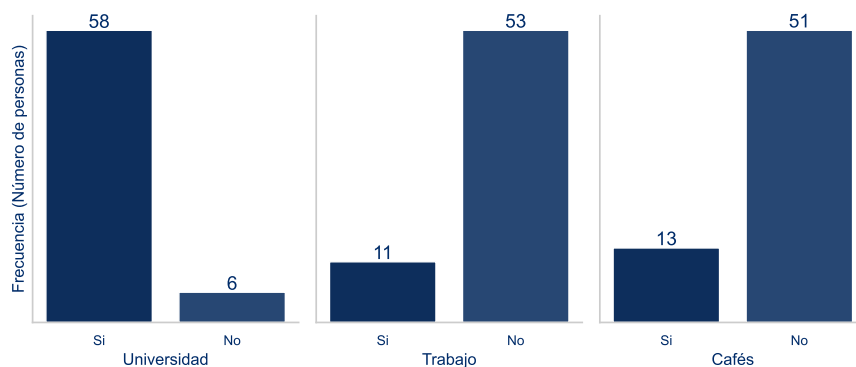


Figura B.24: Distribución de los lugares en los que los encuestados usan conexión a internet.

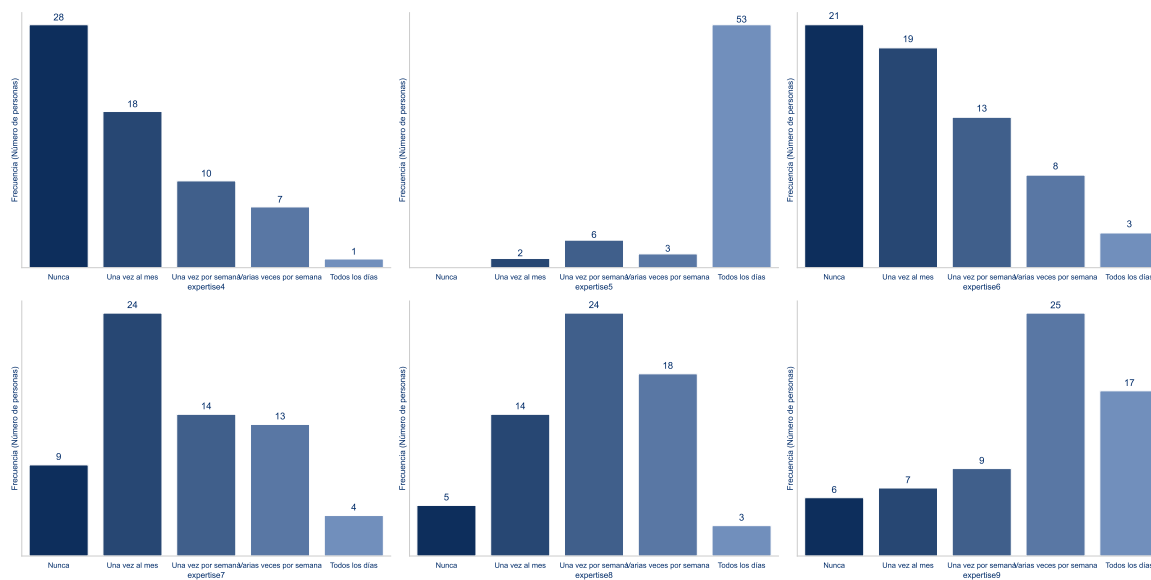


Figura B.25: Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 1).

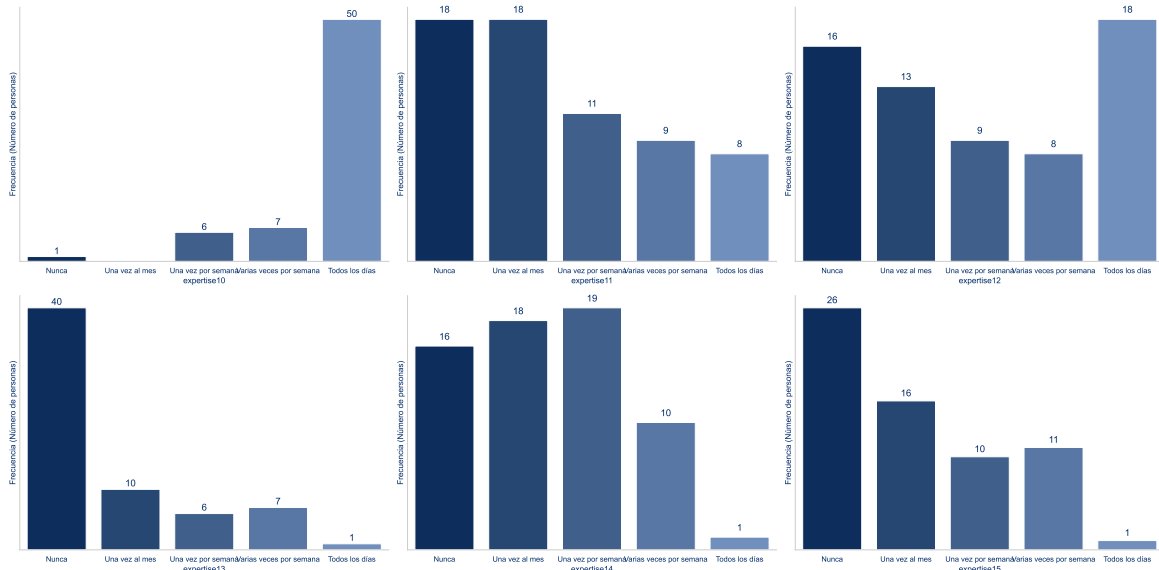


Figura B.26: Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 2).

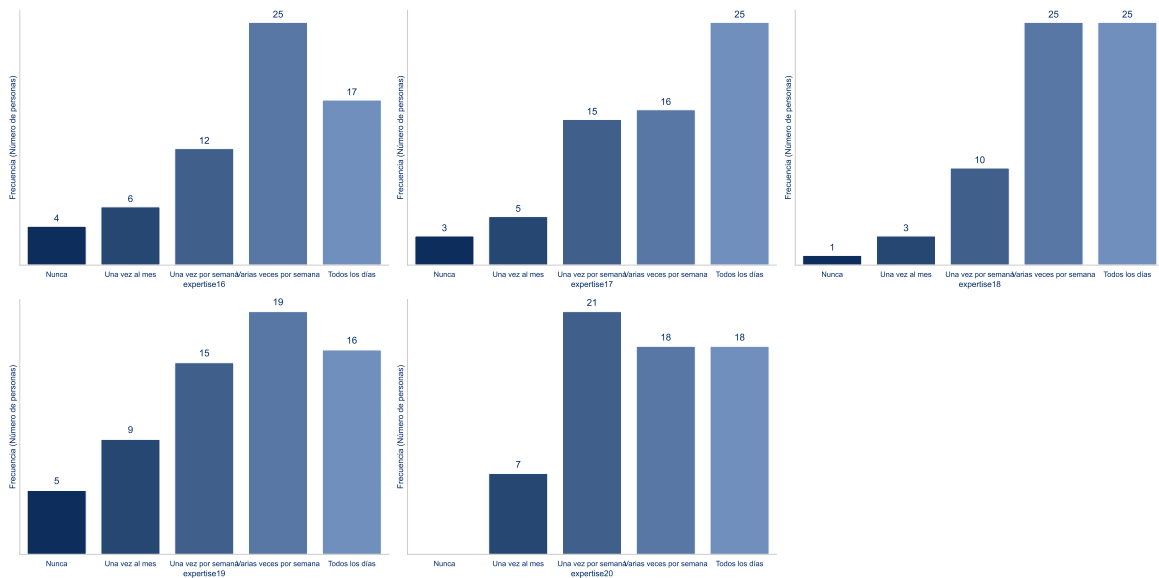


Figura B.27: Distribución de las herramientas que usan los encuestados (Parte 3).

**C. Tablas de resultados de los modelos entrenados**

| Dispositivo     | Modelo                     | Parámetros  |
|-----------------|----------------------------|---|
| Gamepad         | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
| Leap Motion     | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
| Ratón           | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
| Teclado         | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
| Pantalla táctil | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
| Eyetracker      | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                 | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                 | <i>Random Forest (PCA)</i> | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |

*Continúa en la siguiente página*

| Dispositivo      | Modelo                     | Parámetros  |
|------------------|----------------------------|---|
| Realidad virtual | Regresión Polinómica       | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                  | <i>Random Forest</i>       | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |
|                  | Regresión Polinómica (PCA) | poly__degree: 2, regressor__fit_intercept: True   |
|                  | <i>Random Forest</i> (PCA) | max_depth: None, max_features: sqrt, min_samples_leaf: 8, min_samples_split: 5, n_estimators: 100 |

Tabla C.27: Parámetros de los mejores modelos entrenados.

| Dispositivo        | Modelo                     | MSE   | RMSE  | MAE   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado | MAPE      | MedAE | EVS    |
|--------------------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------|-------------------------|-----------|-------|--------|
| <i>Gamepad</i>     | Regresión Polinómica       | 0.209 | 0.458 | 0.392 | -1.599         | 4.898                   | 1.256e+13 | 0.352 | -1.592 |
|                    | <i>Random Forest</i>       | 0.094 | 0.306 | 0.271 | -0.099         | 2.648                   | 6.986e+13 | 0.249 | -0.078 |
|                    | Regresión Polinómica (PCA) | 0.092 | 0.304 | 0.244 | -0.128         | -0.503                  | 6.838e+13 | 0.235 | -0.085 |
|                    | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.087 | 0.295 | 0.249 | -0.039         | -0.385                  | 7.047e+13 | 0.241 | 0.004  |
| <i>Leap Motion</i> | Regresión Polinómica       | 0.059 | 0.244 | 0.179 | -0.370         | 3.056                   | 0.394     | 0.150 | -0.251 |
|                    | <i>Random Forest</i>       | 0.044 | 0.212 | 0.171 | -0.024         | 2.537                   | 0.336     | 0.132 | 0.005  |
|                    | Regresión Polinómica (PCA) | 0.079 | 0.281 | 0.224 | -0.782         | -1.377                  | 0.448     | 0.189 | -0.764 |
|                    | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.049 | 0.222 | 0.176 | -0.129         | -0.505                  | 0.358     | 0.143 | -0.096 |
| Ratón              | Regresión Polinómica       | 0.127 | 0.357 | 0.289 | -1.585         | 4.877                   | 4.818e+13 | 0.236 | -1.449 |
|                    | <i>Random Forest</i>       | 0.067 | 0.260 | 0.222 | -0.192         | 2.788                   | 7.645e+13 | 0.221 | -0.071 |

Continúa en la siguiente página

| Dispositivo       | Modelo                     | MSE   | RMSE  | MAE   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado | MAPE      | MedAE | EVS    |
|-------------------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------|-------------------------|-----------|-------|--------|
|                   | Regresión Polinómica (PCA) | 0.070 | 0.265 | 0.219 | -0.268         | -0.691                  | 8.771e+13 | 0.200 | -0.072 |
|                   | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.067 | 0.260 | 0.217 | -0.159         | -0.546                  | 7.582e+13 | 0.236 | -0.037 |
| Teclado           | Regresión Polinómica       | 0.187 | 0.432 | 0.312 | -1.576         | 4.864                   | 1.623e+14 | 0.254 | -1.256 |
|                   | <i>Random Forest</i>       | 0.070 | 0.265 | 0.207 | -0.002         | 2.503                   | 8.254e+13 | 0.181 | 0.025  |
|                   | Regresión Polinómica (PCA) | 0.081 | 0.285 | 0.204 | -0.146         | -0.528                  | 8.229e+13 | 0.170 | -0.137 |
|                   | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.070 | 0.265 | 0.209 | -0.023         | -0.365                  | 7.538e+13 | 0.198 | 0.003  |
| Pantalla táctil   | Regresión Polinómica       | 0.152 | 0.390 | 0.307 | -1.666         | 4.999                   | 8.654e+13 | 0.276 | -1.573 |
|                   | <i>Random Forest</i>       | 0.071 | 0.267 | 0.225 | -0.072         | 2.608                   | 7.598e+13 | 0.201 | -0.048 |
|                   | Regresión Polinómica (PCA) | 0.248 | 0.498 | 0.336 | -3.427         | -4.903                  | 1.542e+14 | 0.185 | -3.244 |
|                   | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.068 | 0.261 | 0.209 | -0.028         | -0.370                  | 8.039e+13 | 0.202 | -0.009 |
| <i>Eyetracker</i> | Regresión Polinómica       | 0.147 | 0.384 | 0.299 | -2.757         | 6.636                   | 0.541     | 0.242 | -2.672 |
|                   | <i>Random Forest</i>       | 0.037 | 0.192 | 0.156 | 0.284          | 2.074                   | 0.304     | 0.152 | 0.329  |
|                   | Regresión Polinómica (PCA) | 0.053 | 0.231 | 0.192 | -0.238         | -0.651                  | 0.312     | 0.185 | -0.194 |
|                   | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.042 | 0.205 | 0.163 | 0.120          | -0.172                  | 0.302     | 0.145 | 0.180  |
| Realidad virtual  | Regresión Polinómica       | 0.083 | 0.288 | 0.231 | -0.588         | 3.383                   | 0.428     | 0.217 | -0.293 |
|                   | <i>Random Forest</i>       | 0.047 | 0.217 | 0.192 | 0.084          | 2.373                   | 0.357     | 0.187 | 0.095  |

Continúa en la siguiente página

| Dispositivo | Modelo                     | MSE   | RMSE  | MAE   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> ajustado | MAPE  | MedAE | EVS    |
|-------------|----------------------------|-------|-------|-------|----------------|-------------------------|-------|-------|--------|
|             | Regresión Polinómica (PCA) | 0.077 | 0.278 | 0.199 | -0.487         | -0.982                  | 0.389 | 0.177 | -0.417 |
|             | <i>Random Forest</i> (PCA) | 0.043 | 0.209 | 0.185 | 0.159          | -0.120                  | 0.345 | 0.189 | 0.164  |

Tabla C.27: Comparación de los resultados de los modelos entrenados.