



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
Sistema de Estudios de Posgrado
Maestría en Administración de Tecnología de la
Información

**Evaluación de la Experiencia de Usuario de
Simuladores de Realidad Virtual de Aviación**

Rodrigo Alemán Barahona

Heredia, Costa Rica, diciembre, 2024

DECLARACIÓN JURADA DE RESPETO AL DERECHO DE AUTOR

6 de diciembre del año 2024

Universidad Nacional

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Escuela de Informática

Posgrado en Gestión de la Tecnología de Información y Comunicación (ProGesTIC)

<p style="text-align: center;">FORMULARIO DE DEPÓSITO LEGAL, AUTORIZACIÓN DE USO DE DERECHOS PATRIMONIALES DE AUTOR E INCORPORACIÓN A REPOSITARIOS INSTITUCIONALES DE INFORMACIÓN DE ACCESO PÚBLICO</p>
--

La persona abajo firmante, en condición de estudiante de la maestría

Rodrigo Alemán Barahona

y autor del Trabajo final de graduación titulado:

Evaluación de la Experiencia de Usuario de Simuladores de Realidad Virtual de Aviación

para optar al grado académico de Máster en:

Maestría en Administración de Tecnología de la Información. Énfasis Administración de
Proyectos

de conformidad con lo establecido en el documento de “Lineamientos generales para la realización del trabajo final de graduación” y demás normativa universitaria relacionada con estos trabajos de graduación, DECLARO BAJO FE DE JURAMENTO conociendo la responsabilidad civil, penal o administrativa en que podría incurrir al no decir la verdad, lo siguiente:

El documento, producto, obra audiovisual, software, resultado del trabajo final de graduación referido anteriormente es original, inédito y ha cumplido con todo el proceso de aprobación académico que confiere el grado académico postulado con esta obra.

1. El trabajo final de graduación referido anteriormente constituye una producción intelectual propia de la persona abajo firmante y a esta fecha no ha sido divulgado a terceros(as) de forma pública, por ningún medio de difusión impreso o digital.
2. Autorizo el depósito de un ejemplar en formato impreso y otro en formato digital (entregado en soporte de disco compacto), en la colección de trabajos finales de graduación del ProGesTIC de la Universidad Nacional, así como la realización de copias electrónicas adicionales para fines exclusivos de seguridad y conservación de la información.
3. En caso de que el trabajo final de graduación haya sido elaborado como obra en colaboración - *bien se trate de obras en las que los autores(as) tienen el mismo grado de participación o aquellas en las que existe una persona autora principal y una o varias personas autoras secundarias*-, todos(as) ellos(as) han contribuido intelectualmente en la elaboración del documento y en este acto, libero de responsabilidad a las autoridades del posgrado y al personal administrativos que custodian la colección del ProGesTIC, en relación con el reconocimiento que se realiza respecto de los niveles de participación asignados por el propio autor del TFG.
4. En caso de que el trabajo final de graduación haya sido elaborado como obras en colaboración (conforme a lo dispuesto en el punto 4), el autor abajo firmante designa a como encargado(a) de recibir comunicaciones y representar con autoridad suficiente a los suscritos, en condición de agente autorizado(a) de los demás autores(as).
5. Reconozco que la colección de trabajos finales del ProGesTIC no emite criterios ni valoraciones académicas sobre lo planteado en el producto final del trabajo de graduación y autorizo a esta dependencia para que proceda a poner a disposición del público la obra en mención, a través de los espacios físicos o virtuales que se posea, así como a través del Repositorio Institucional; a partir del cual los usuarios de dichas plataformas puedan acceder al documento y hacer uso de este en el marco de los fines académicos, no lucrativos y de respeto a la integridad del contenido del mismo así como la mención del autor o poseedor de sus derechos.

6. Manifiesto que todos los datos de citas dentro de texto y sus respectivas referencias bibliográficas, así como las tablas y figuras (ilustraciones, fotografías, dibujos, mapas, esquemas u otros) tienen la fuente y el crédito debidamente identificados y se han respetado los derechos de autor.
7. Autorizo la licencia gratuita no exclusiva de los derechos patrimoniales de autor para reproducir, traducir, distribuir y poner a disposición pública en formato electrónico, el documento depositado, para fines académicos, no lucrativos y por plazo indefinido en favor de la Universidad Nacional, que incluye además los siguientes actos:
 - a. La publicación y reproducción íntegra de la obra o parte de esta, tanto por medios impresos como electrónicos, incluyendo Internet y cualquier otra tecnología conocida o por conocer.
 - b. La traducción a cualquier idioma o dialecto de la obra o parte de esta.
 - c. La adaptación de la obra a formatos de lectura, sonido, voz y cualquier otra representación o mecanismo técnico disponible, que posibilite su acceso para personas no videntes parcial o totalmente, o con alguna otra forma de capacidades especiales que le impida su acceso a la lectura convencional del TFG.
 - d. La distribución y puesta a disposición de la obra al público, de tal forma que el público pueda tener acceso a ella desde el momento y lugar que cada quien elija, a través de los mecanismos físicos o electrónicos de que disponga.
 - e. Cualquier otra forma de utilización, proceso o sistema conocido o por conocerse que se relacione con las actividades y fines académicos a los cuales se vincula la maestría, la colección de trabajos finales del ProGesTIC, la Escuela de Informática y la Universidad Nacional.
8. Reconozco que la colección de trabajos del ProGesTIC manifiesta actuar con diligencia para evitar la existencia en su sitio web de contenidos ilícitos y en caso de que tenga conocimiento efectivo de la existencia de infracciones a los derechos de propiedad intelectual, se reserva el derecho de proceder a bloquear el acceso

durante el trámite del debido proceso para comprobar el incumplimiento y en caso de verificarse la falta, retirar definitivamente el acceso al TFG depositado.

9. Acepto que la publicación y puesta a disposición del público del trabajo final de graduación, así como la presente autorización de uso de la obra, se regirá por la normativa institucional de la Universidad Nacional y la legislación de la República de Costa Rica. Adicionalmente, en caso de cualquier eventual diferencia de criterio o disputa futura, acepto que esta se dirimirá de acuerdo con los mecanismos de Resolución Alternativa de Conflictos y la Jurisdicción Costarricense.

Autor(a) Rodrigo Alemán Barahona

Firma: 

Fecha de entrega: 6 de diciembre de 2024

Correo: rodrigo.aleman.barahona@est.una.ac.cr

Índice General

Dedicatoria	9
Resumen ejecutivo.....	10
CAPÍTULO I. EI PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA	12
1.1. Título del tema de investigación.....	13
1.2. Antecedentes	13
1.3. Justificación	13
1.4. Problema.....	14
1.5. Objetivo General	15
1.6. Objetivos Específicos.....	15
1.7. Metas por alcanzar	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Realidad virtual	18
2.1.1. Antecedentes históricos de la realidad virtual.....	18
2.1.2. Definición de conceptos.....	21
2.1.3. Usos de la realidad virtual.....	22
2.1.4. Ventajas de la realidad virtual.....	25
2.1.5. Desventajas de la realidad virtual	25
2.1.6. Retos actuales de la realidad virtual	26
2.1.7. El futuro de la realidad virtual	27
2.2. Simuladores de realidad virtual.....	28
2.2.1. Antecedentes históricos de los simuladores de realidad virtual.....	28
2.2.2. Definición de conceptos.....	29
2.2.3. Usos de los simuladores de realidad virtual.....	29
2.2.4. Ventajas de los simuladores de realidad virtual.....	29
2.2.5. Desventajas de los simuladores de realidad virtual	30
2.2.6. Retos actuales de los simuladores de realidad virtual	30
2.2.7. El futuro de los simuladores de realidad virtual	31
2.3. Simuladores de realidad virtual en aviación.....	31
2.3.1. Antecedentes históricos de los simuladores de realidad virtual en aviación.....	32
2.3.2. Tipos de simuladores de realidad virtual en aviación	32
2.3.3. Ventajas de los simuladores de realidad virtual en aviación.....	33

2.3.4. Desventajas de los simuladores de realidad virtual en aviación	34
2.3.5. Usos actuales de los simuladores de realidad virtual en aviación	35
2.4. Experiencia de usuario (UX) de simuladores de realidad virtual.....	36
2.4.1. Características de la UX de este tipo de herramientas	37
2.4.2. Experiencias en la evaluación de la UX en simuladores de realidad virtual .	39
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	43
3.1. Tipo de investigación	44
3.1.1. Revisión Sistemática de Literatura (SRL)	44
3.1.2. Encuesta.....	45
3.1.3. Cuestionario de Evaluación con Heurísticas.....	46
3.1.4 Artículo Científico.....	48
3.2. Diseño.....	50
3.2.1. Evaluación con Heurísticas.....	50
3.2.2. Encuesta.....	52
3.3. Métodos de análisis de datos.....	53
3.4. Software y Hardware	54
CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	58
4.1. Revisión Sistemática de Literatura.....	59
4.2. Cuestionario.....	60
4.2.1. Datos demográficos.....	60
4.2.2. Encuesta de percepción de estado de este tipo de tecnología.....	60
4.2.3. Evaluación de experiencia de usuario	62
4.3. Artículo Científico.....	63
CAPÍTULO V. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	64
5.1. Resumen de experiencia de Usuario.....	65
5.2. Análisis Chi Cuadrado por tipo de usuario	69
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO.....	70
6.1. Costos iniciales	71
6.1.1. Software.....	71
6.1.2 Hardware	71
6.2. Costos operativos	72
6.3. Resumen total de costos	73
6.4. Beneficios	73
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75

7.1. Conclusiones	76
7.2. Recomendaciones	77
7.3. Limitaciones	77
CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS RETROSPECTIVO	79
Referencias bibliográficas	82
Anexos	91
Anexo 1: Encuesta de percepción de estado de los simuladores de realidad virtual	91
Anexo 2: Cuestionario de Evaluación con Heurísticas.....	94
Anexo 3: Resumen de respuestas de la encuesta de percepción de estado de los simuladores de realidad virtual	103
Anexo 4: Resumen de las respuestas del Cuestionario de Evaluación con Heurísticas	109
Anexo 5: Artículo Científico.....	120

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo final de graduación a toda mi familia. Principalmente a mi madre que me estuvo apoyando de principio a fin, en los momentos difíciles hasta en los momentos más gratos. Gracias por enseñarme a ser resiliente y nunca rendirme.

Gracias a mis padres he logrado ser el profesional que hoy soy y a proponerme retos cada vez mayores. Han sido mi motor para nunca rendirme en las adversidades y poder afrontar las adversidades que se presentan en el camino sin perder la cabeza en el intento.

A mis hermanos que estuvieron ahí dándome ánimos y motivando para lograr la culminación de este trabajo final de graduación. También quiero que esto sirva de inspiración para que ellos nunca se den por vencido en las metas y retos que se propongan.

Resumen ejecutivo

La evolución de la tecnología de simuladores ha evolucionado en los últimos años desde la aparición del primer simulador de vuelos. Y aunque los simuladores de vuelo tradicionales han impactado positivamente, siguen existiendo limitaciones en temas de costos operativos, dependencia de los instructores y además de volverse predictivo. En respuesta a esto, recientemente los productos de formación de pilotos por medio de la realidad virtual tienen el propósito de abordar estas deficiencias.

Es en este contexto donde la experiencia de usuario será vital para determinar si los pilotos de aviación podrán hacer todo tipo de maniobra por medio de gafas de realidad virtual, o si bien, se encontrará con limitantes físicas o de software que le impida hacerlo y su desempeño no sea el adecuado. Dicho esto, resultó de interés explorar la experiencia de usuarios de simuladores realidad virtual para saber cómo influyen los factores de diseño y usabilidad con la percepción y satisfacción de los usuarios relacionados.

Es por lo que el propósito de esta investigación fue recopilar la experiencia de usuario de simuladores de realidad virtual mediante una evaluación de heurísticas. Para darle sustento a esto fue necesario hacer una revisión sistemática de literatura, la cual se usaron 98 repartidas entre libros, artículos científicos, tesis y blogs de internet principalmente. Para recopilar la experiencia se hizo una encuesta de explorar la situación actual de los simuladores, y un cuestionario con las 10 heurísticas de Nielsen respecto a la experiencia de usuario usando la escala de Likert. Ambos instrumentos fueron aplicados en el mismo cuestionario a todos los participantes, que en cuyo caso fueron 10. Estos participantes se dividieron en 3 categorías: piloto privado, estudiantes de aviación y usuarios de realidad virtual.

Para aplicar el experimento se requirió de montar en una silla los componentes físicos como la computadora donde se ejecutaba el software del simulador, las superficies de control y aceleración, pedales de dirección y las gafas de realidad virtual que se colocaba en cada participante para la realización de tareas de taxeo, despegue y aterrizaje. Luego de las tareas se le aplicaba ambos instrumentos a cada participante y a los resultados

obtenidos se le aplicaron herramientas de análisis estadístico y de esta manera determinar que ninguna heurística estuvo sesgada por el tipo de perfil del experimento, además de un alfa de Cronbach para determinar la validez del instrumento.

A los resultados se le aplicó elementos de estadística descriptiva como promedios, tablas y gráficos para mostrar los resultados de manera clara, donde permitió recopilar la experiencia de usuario y concluir que mayormente cada heurística de experiencia de usuario tuvo una respuesta muy positiva, donde la heurística de flexibilidad del se vio ligeramente con una puntuación negativa para el perfil de Piloto. Además, esta investigación permitió descubrir algunas recomendaciones e incluso enfrentó limitaciones de tiempo, recursos y capacidades del equipo.

CAPÍTULO I. EI PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA

1.1. Título del tema de investigación

Evaluación de la Experiencia de Usuario de Simuladores de Realidad Virtual de Aviación.

1.2. Antecedentes

La evolución de la tecnología de simuladores ha evolucionado en los últimos años desde la aparición del primer simulador de vuelos; el **Link Trainer** o **Blue Box**. Este simulador fue creado en 1929 por Edwin Albert Link en Binghampton, Nueva York (Gil, 2021).

Con el transcurrir del tiempo, aparecen tecnologías como la realidad virtual, que en esencia es la simulación interactiva generada por computadoras. Esta ha venido creciendo como herramienta educativa y de formación (Laker, 2023).

En el campo de la aviación y en comparación a los simuladores tradicionales, los simuladores de realidad virtual ofrecen una serie de beneficios como la reducción de costos, eficacia y eficiencia.

Alguna de sus aplicaciones de este tipo de tecnología se ha aplicado al entretenimiento y hasta en la formación en diferentes disciplinas. Cada vez son más comunes el uso de simuladores de realidad virtual para pilotos y otras ramas de la aviación.

Algunos estudios previos han arrojado luz sobre la experiencia de usuario de simuladores de realidad virtual con algunas deficiencias y retos a mejorar.

1.3. Justificación

En los últimos años se ha intensificado el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual de manera inmersiva y abarcando diferentes áreas del conocimiento. La realidad virtual es una tecnología que tiene características específicas como la interactividad en tiempo real, permitiendo al usuario experimentar en el entorno virtual 3D y da la sensación al usuario el estar inmerso en una realidad paralela. Para que esto sea posible se debe contar con unas gafas de realidad virtual o HDC los cuales utilizan los canales sensoriales del usuario especialmente la vista y el oído (Segura & Osorio, 2021).

Según la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) con la aplicación de simuladores se ofrece entrenamiento de vuelo más seguro, ahorro de combustible, reduce el uso de aeronaves para entrenamiento, evita efectos ambientales adversos y reduce el costo de entrenamiento (DGAC, 2019). Además, (Marron et al., 2024) aboga a que este tipo de capacitaciones son más efectivas y brinda la posibilidad de capacitar un gran número de pilotos.

Y aunque los simuladores de vuelo tradicionales han impactado positivamente, siguen existiendo limitaciones en temas de costos operativos, dependencia de los instructores y además de volverse predictivo (Lekea et al., 2021; Marron et al., 2024). En respuesta a esto, recientemente los productos de formación de pilotos por medio de la realidad virtual tienen el propósito de abordar estas deficiencias (Marron et al., 2024).

Y es en este contexto donde la experiencia de usuario será vital para determinar si los pilotos de aviación podrán hacer todo tipo de maniobra por medio de gafas de realidad virtual, o si bien, se encontrará con limitantes físicas o de software que le impida hacerlo y su desempeño no sea el adecuado.

En síntesis, comprender los aspectos de este tipo de evaluación de experiencia de usuario es de relevante importancia para optimizar el diseño y la implementación de simuladores de realidad virtual en la aviación, garantizando así una manera más efectiva y segura para los pilotos, así como una integración exitosa de la tecnología en la práctica aeronáutica.

1.4. Problema

A medida que los simuladores de realidad virtual se integran cada vez en la sociedad, siendo estos cada vez más accesibles por la población, y siendo usados desde el ámbito de entretenimiento, turismo, arte y hasta en formación, surge la necesidad de comprender en profundidad cómo la experiencia de usuario afecta la eficacia y la aceptación de estos sistemas en el contexto de la aviación. Es en este contexto resulta de interés explorar la experiencia de usuarios de simuladores realidad virtual para saber

cómo influyen los factores de diseño y usabilidad con la percepción y satisfacción de los usuarios relacionados.

1.5. Objetivo General

Explorar la experiencia de usuario que tienen los simuladores de realidad virtual de Aviación por medio de un experimento de evaluación de la experiencia de usuario.

1.6. Objetivos Específicos

1. Revisar referentes teóricos para obtener conocimiento necesario y dar soporte teórico a la investigación por realizar mediante una revisión sistemática de literatura.
2. Investigar la percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual en Costa Rica por medio de una encuesta a usuarios de este tipo de herramientas.
3. Diseñar un experimento de laboratorio para identificar la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación.
4. Desarrollar el experimento de laboratorio para recolectar datos sobre la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación.
5. Documentar la experiencia de usuario de los simuladores de realidad virtual de aviación por medio de un artículo científico a ser eventualmente enviado a publicación en un medio científico.

1.7. Metas por alcanzar

Objetivos	Metas
1. Revisar referentes teóricos para obtener conocimiento necesario y dar soporte teórico a la investigación por realizar	Documento que detalle los insumos teóricos iniciales para iniciar la investigación.

mediante una revisión sistemática de literatura.	
2. Investigar la percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual en Costa Rica por medio de una encuesta a usuarios de este tipo de herramientas.	Documento que detalle percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual en Costa Rica por medio de una encuesta a usuarios de este tipo de herramientas.
3. Diseñar un experimento de laboratorio para identificar la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación.	Documento que describa el experimento de laboratorio a realizar que identifique la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación.
4. Desarrollar el experimento de laboratorio para recolectar datos sobre la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación.	Documento con los datos sobre la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación obtenidos del experimento de laboratorio.
5. Documentar la experiencia de usuario de los simuladores de realidad virtual de aviación por medio de un artículo científico a ser eventualmente enviado a publicación en un medio científico.	Artículo científico.

Tabla 1. Metas por alcanzar por objetivo

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los diversos elementos teóricos que permitieron estructurar los principales conceptos y experiencias previas a ser utilizados en la investigación. Estos se estructuran en cuatro subapartados, a saber: realidad virtual, simuladores de realidad virtual, simuladores de realidad virtual en entornos de aviación y experiencia de usuario de simuladores de realidad virtual, siendo este último apartado un punto de partida para iniciar la recolección de campo de este proyecto.

2.1. Realidad virtual

2.1.1. Antecedentes históricos de la realidad virtual

En la década de 1946 se anunciaba en el diario New York Times el lanzamiento de la primera computadora digital llamada ENICA creada en la Universidad de Pensilvania. Aunque ya había antecesores, esta tenía una velocidad electrónica sin precedentes y además era programable. Está cimentó las bases de las computadoras posteriores (Haigh, 2022).

Una década más tarde de la creación de la primera computadora digital, ya se realizaban los primeros esfuerzos hacia la realidad virtual, principalmente en el campo de la simulación por computadoras y la visualización de datos. Según (Kortyak et al., 2020) los primeros pasos de tecnología de realidad virtual fueron hecho en 1957 cuando un prototipo funcional llamado Sensorama fue publicado.

Por otra parte, se considera a Ivan Sutherland el "padre de la gráfica por computadora" ya que Sutherland desarrolló el primer sistema de Realidad Virtual que se colocaba sobre la cabeza (HMD) que él llamo "The Sword of Damocles" como se puede apreciar en la figura 1. Este dispositivo era capaz de mostrar información visual al usuario en tres dimensiones superpuestas a la realidad física mediante el seguimiento de la posición de la cabeza (Stanley & Saskatchewan, 2023).



Figura 1. The Sword of Damocles de Ivan Sutherland (Stanley & Saskatchewan, 2023).

Tiempo después, en la década de 1970, la investigación y el desarrollo en el campo de la realidad virtual se intensificaron. Se exploraron conceptos como la interacción humano-computadora (HCI), la inmersión sensorial y la simulación de entornos tridimensionales. Investigadores como Myron Krueger contribuyeron con sistemas interactivos que permitían a los usuarios interactuar con entornos virtuales. Él creó un sistema de realidad artificial al que llamó "Videoplace", donde los usuarios interactuaban con el espacio sin tener que usar gafas de realidad virtual, valiéndose de la visión estereoscópica (Cabrera, 2020).

Sin embargo, la década de 1980 marcó un punto de inflexión para la realidad virtual con el desarrollo de tecnologías más avanzadas y la aplicación práctica en diferentes sectores. Investigadores como Jaron Lanier junto con T. Zimmerman introdujeron el término "realidad virtual" y exploraron aplicaciones en campos como el entretenimiento, la medicina y la educación (Cevallos et al., 2023). Además, (Cevallos et al., 2023) menciona que a mediados de los años 80 Jaron Lanier, junto a su socio T. Zimmerman, fabricaron comercialmente las reconocidas gafas de "realidad virtual". Esto permitió abrir

un escenario visual innovador al brindar experiencias visuales únicas que anunciaban la inminente era tecnológica, que hoy está en boga gracias a los distintos dispositivos tecnológicos que permiten la construcción de experiencias visuales en múltiples plataformas y escenarios digitales interactivos.

Posteriormente, a inicios de la década de 1990, SEGA anunció el SEGA VR para videojuegos arcade y su consola Mega Drive. Esta utilizaba pantalla LCD en el visor, auriculares estéreo y sensores de desplazamiento que reaccionaban a los movimientos de cabeza del usuario. Ese mismo año, la empresa Virtuality desarrolló el primer sistema de realidad virtual producido en masa y conectado en línea. Posteriormente en 1992 se crea CAVE, un sistema de visualización científica combinada con realidad virtual, pero este proyectaba imágenes estereoscópicas en las paredes de una habitación en lugar de utilizar un HMD. La realidad aumentada se logró a través de un HMD transparente que superponía objetos tridimensionales virtuales a objetos reales (Sánchez et al., 2019).

Mas adelante, en 2012, se estableció el Proyecto Oculus como el primero en desarrollar experiencias de realidad virtual con unos requisitos mínimos que garantizaban una inmersión suficientemente buena para simular una realidad artificial al usuario. Este fue un hito histórico, pues a partir de entonces se comenzó a entender que la realidad virtual era posible, sin embargo esta demandaba de condiciones muy exigentes para la tecnología de ese entonces (Sánchez et al., 2019). Tiempo después, en 2016, se publicaría su versión comercial, y según (Sánchez et al., 2019) esta empresa fabricó los primeros visores con capacidad real de presentar una realidad artificial con una suficiente inmersión. Seguidamente, en ese mismo año se sumaban otros proyectos como el HTC y Sony PSVR. Y en 2017, WMR (Windows Mixed Reality) lanzó otros visores comerciales de realidad virtual; lo que ampliaría la oferta comercial de realidad virtual para el usuario común.

Finalmente, en 2023 Apple lanzó su producto “Apple Vision Pro”, unas gafas ligeras de realidad virtual que fusiona el contenido digital con el mundo físico de manera muy avanzada. Esta cuenta con su propio sistema operativo que permite a los usuarios

interactuar en ese mundo virtual como si realmente estuviese físicamente ahí (Apple, 2023).

2.1.2. Definición de conceptos

En esta sección se presentan diversos términos que se emplean en el presente estudio, el concepto de realidad virtual se va haciendo más cotidiano en la sociedad actual, sin embargo, es algo complejo por definir y la finalidad es que se pueda comprender mejor cada concepto, partiendo con las siguientes definiciones.

Realidad virtual (VR): Según la Real Academia Española (2023), la realidad virtual se define como una representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real. Además, Nazira et al. (2020), menciona que la realidad virtual se relaciona con un entorno simulado por computadora que busca causar la sensación de estar presente en otro lugar mental o físicamente.

Realidad aumentada: Es una tecnología que superpone información digital, como imágenes, sonidos y otros datos sensoriales, en el mundo real. A diferencia de la realidad virtual, la realidad aumentada no crea un entorno completamente nuevo, sino que añade elementos virtuales al entorno existente según Britannica (2024).

Realidad Mixta: Es una combinación de la realidad virtual y la realidad aumentada. En la realidad mixta, los objetos del mundo real y los objetos virtuales coexisten e interactúan en tiempo real, ofreciendo una experiencia más integrada y fluida (Qian et al., 2023).

Inmersión: Consiste en el “sumergimiento estético a través de estimular los sentidos del espectador con imágenes, sonidos u otros estímulos sensoriales” (Barbera, 2022) con el objetivo que el usuario sienta que se encuentra dentro de la realidad percibida (Kubicki, 2023). Según Marotta et al. (2020), un sistema inmersivo permite al usuario sentirse dentro del mundo virtual que está explorando, mediante el uso de diferentes dispositivos como pueden ser guantes, trajes especiales, visores o cascos. Generalmente esta inmersión es ideal para aplicaciones de entrenamiento y entretenimiento.

Simulación: Según Merriam Webster (2024), lo define como la representación imitativa del funcionamiento de un sistema o proceso por medio del funcionamiento de otro.

Interactividad: Se entiende como el grado de interacción posible con elementos del entorno virtual tridimensional. En estas realidades puede haber interacción social con elementos que sería otras personas o avatares (Kubicki, 2023).

Interacción Humano Computadora (HCI): Se puede entender como el intercambio de diversos datos que al ejecutar una acción se obtiene un resultado mediante el uso de interfaces y su usabilidad. Es así que, a partir de la tecnología se presentan nuevas líneas de comunicación con las personas que interactúan con ello, y de acuerdo a como esté estructurado un producto y la capacidad de uso van a determinar su éxito o fracaso (Alcívar et al., 2023).

2.1.3. Usos de la realidad virtual

Con el desarrollo de la tecnología y el mejoramiento de la realidad virtual, esta se utiliza cada vez más en diferentes contextos tal como se mencionará continuación.

Entretenimiento: En lo que concierne al entretenimiento, la realidad virtual ha revolucionado la industria de los **videojuegos**, al ofrecer experiencias profundamente inmersivas, donde pueden interactuar con el entorno del juego en tres dimensiones, mejorando el realismo y el compromiso. A su vez, estudios han demostrado que la sensación de estar presentes y la inmersión en los juegos de VR aumentan de forma significativa el compromiso del jugador y el sentir de que lo disfrutan (Álvarez, 2024; Ding & Li, 2022).

También, el **cine** de realidad virtual, demuestra ser una herramienta poderosa para la creación de experiencias inmersivas profundas y emocionales con respecto a la narración, lo que permite a los espectadores examinar las historias de una manera totalmente nueva (Bonilla & Fajardo, 2020), además de sentir que están dentro de la película (Kubicki, 2023), logrando experimentar en primera persona el mundo digital en el que nada más al mover la cabeza se abarca todo el campo de visión (Jurado, 2020).

Por cierto, otro sector, como los **parques temáticos**, han integrado la RV para crear atracciones más emocionantes y envolventes, combinando elementos físicos con entornos virtuales que ofrecen a los usuarios experiencias únicas gracias a que mezclan lo real con lo virtual, en donde los personajes y objetos animados cruzan la frontera digital, interactuando con el mundo real como si formaran parte de él (Imascono Art, 2024). Además, de acuerdo con Rodríguez (2023) este sector utiliza diversas características, herramientas y técnicas para tener impacto en el comportamiento del consumidor, los parques temáticos pueden ofrecer experiencias únicas y personalizadas a los visitantes por medio de tecnología VR, ya que proporcionan opciones de entretenimiento y actividades para diferentes grupos de edad.

Arquitectura: A propósito de los proyectos arquitectónicos, la realidad virtual está transformando la manera en que se diseñan y se presentan los mismos, esta tecnología permite una visualización inmersiva y detallada de los espacios, maquetas y planos creados en modelos tridimensionales, lo cual facilita la comprensión de las dimensiones y características de un diseño antes de su construcción física. Además, según Patti (2019), la VR en el área de **arquitectura**, sirve para tener una visión más clara de las ideas que expresan los constructores, arquitectos y clientes, ya que ofrece una experiencia interactiva que puede reducir errores y optimizar el proceso de diseño, como también realizar ajustes en tiempo real basados en la retroalimentación inmediata.

Asimismo, en la **inmobiliaria**, la realidad virtual permite llevar a los clientes a vivir toda una experiencia dentro de estos espacios ya que simulan cómo sería vivir allí sin necesidad de estar haber comprado el bien, logrando crear una imagen de pertenencia y una conexión emocional con el comprador al facilitarle la experiencia (Figueroa, 2020).

Entrenamiento y Formación: En cuanto al campo del entrenamiento, como la aviación y aeronáutica, la VR se utiliza en el desarrollo de simuladores con las especificaciones de los nuevos aviones para pilotos no experimentados. Por ejemplo, en la NASA hacen simulacros de evacuación y de situaciones de riesgo dentro de las aeronaves con el fin de prevenir accidentes y saber cómo reaccionar en caso de una urgencia en el espacio (Patti, 2019).

Por otra parte, la **educación** está incorporando nuevas herramientas que innovan la forma de enseñar a los estudiantes. Además, la búsqueda de información era algo tediosa, pero gracias a estas aplicaciones de realidad virtual cuenta con tutores virtuales encargados en guiar a los estudiantes como si se tratara de un asistente en clase, de esta manera comprendan rápidamente las actividades realizadas durante las clases (Anacona et al., 2019).

De hecho, en **la medicina** la realidad virtual permite a los profesionales de la salud practicar procedimientos médicos complejos, como el caso de las cirugías, donde la práctica repetida puede mejorar las habilidades y la confianza del cirujano (Testa, 2023).

Más aún, vale la pena destacar el uso dentro de la **psicología** ya que ha ayudado a entender el comportamiento de muchos pacientes y a poder predecir las reacciones contra ciertas situaciones a las que son expuestos (Patti, 2019).

Arte y cultura: En lo que concierne al sector cultural, la RV está transformando la manera en que los museos y galerías presentan sus colecciones y obras de arte, entre ellas las **exposiciones virtuales** que permiten a los visitantes explorar obras de arte y artefactos históricos desde cualquier parte del mundo, haciendo que la cultura y el arte sean más accesibles. Por ejemplo, experimentar visitas virtuales a lugares o templos antiguos que por alguna razón no están disponibles al usuario ya sea porque ya no existen o se encuentran en restauración (Patti, 2019).

Además, el 7 de marzo de 2018 se evidenció su relevancia, cuando se celebró la primera Jornada de Transformación Digital de Museos y Patrimonio Cultural en el Museo Arqueológico Nacional, siendo este el primer museo de Madrid en ofrecer visitas con de realidad virtual (Herranz de la Casa et al., 2019).

Turismo: De igual forma, el sector turismo no queda exento de esta tecnología disruptiva. Por ejemplo “Teotihuacan 3D” es una aplicación que expone gran parte de la ciudad reconstruida en 3D, con información básica incitando a los usuarios a utilizar esta aplicación antes de visitar la **zona arqueológica** (Monterrubio & Rosas, 2019).

Incluso, otro caso representativo de este uso se encuentra en New York City, Mao Island (China) y Australia, ya que se han innovado para que estos lugares sean visitados y admirados por los usuarios de RV. Cada una ofrece atractivos distintivos de su lugar similarmente a como la van encontrar en su versión original real, como lo son la estatua de la libertad, el Central Park, la muralla china y finalmente las playas con una basta atmósfera paradisiaca en Australia (Monterrubio & Rosas, 2019).

2.1.4. Ventajas de la realidad virtual

La realidad virtual ofrece múltiples ventajas a los usuarios indiferentemente del área en el que sea usada, a continuación, se contemplan los siguientes.

Seguridad: Respecto al uso de los simuladores de realidad virtual, se pueden preparar entornos óptimos para realizar actividades que en la vida real serían peligrosas y podrían exponer a las personas a sufrir daños graves, sin embargo, en estos casos, con la implementación de RV en caso de falla o peligro la persona estaría completamente segura y podría volver a realizar la actividad. Esto permite una práctica exhaustiva y el desarrollo de habilidades en un entorno seguro y controlado (Testa, 2023).

Crea interés: De hecho, no importa la edad que tengan, a los usuarios siempre les encantará sentarse y mirar algo en lugar de leerlo. En efecto, la tecnología de RV es bastante interesante, ya que puede crear experiencias increíbles que nunca podrían ser “vivas” en la vida real, siendo esto un motivador para aprender con el uso de esta tecnología (Gaitán, 2020).

Elimina la barrera del idioma: Muchas veces el idioma suele ser un gran problema en lo que respecta a alguna actividad o aprendizaje de algo nuevo. Pues bien, con la realidad virtual, todos los idiomas posibles se pueden implementar dentro del software. Por lo tanto, el lenguaje ya no representará una barrera si se quiere incursionar en un tema nuevo (Gaitán, 2020).

2.1.5. Desventajas de la realidad virtual

No obstante, la realidad virtual también presenta varias desventajas, por consiguiente, pueden afectar negativamente la experiencia del usuario o causar efectos secundarios, entre ellas, se recopilan las siguientes.

Deteriora las conexiones humanas: Aunque la realidad virtual puede ser un gran activo para la mayoría de los campos de actividad existentes, también puede ser una gran desventaja. Por ejemplo, la RV es bastante diferente; es solamente el usuario y el software. Por ende, esto podría dañar las relaciones y la comunicación humana en general (Gaitán, 2020).

Problemas de funcionalidad: Igualmente que, con cualquier software programado, la realidad virtual no queda exenta de estos escenarios y se puede dar en cualquier campo de uso (Gaitán, 2020).

Adicción: Hay altas posibilidades de que los usuarios se vuelvan adictos al mundo virtual. Similarmente con lo que ya se ha visto con el caso de los videojuegos y las experiencias fuertes como las drogas por tomar un ejemplo (Gaitán, 2020).

Altos precios: La tecnología en general suele ser muy costosa y cuando se trata de tecnología avanzada lo es aún más. Entonces, para empezar en este mundo se debe invertir, por otra parte, las personas de pocos ingresos no tendrán esas mismas oportunidades generando así una brecha de desigualdad (Gaitán, 2020).

2.1.6. Retos actuales de la realidad virtual

A propósito, la realidad virtual requiere de un hardware especial para que sus contenidos sean reproducidos a detalle. Las gafas de realidad virtual son parte elemental de estas experiencias, pues permiten integrar la visión y los movimientos corporales del usuario en el espacio virtual que se reproduce, dando la sensación de pertenecer al espacio virtual. Ahora bien, la realidad virtual no es una sola tecnología, sino que es un conjunto de ellas. Por consiguiente, el elemento común de todas estas tecnologías, como se ha indicado, es la experiencia inmersiva del usuario que consume este tipo de información y la necesidad de utilizar software y hardware para acceder a esta información,

habitualmente unas gafas especiales y en muchos casos acompañadas de otros dispositivos como los mandos en las manos (Repiso et al., 2022).

En consecuencia, es debido a este hardware en específico que sigue habiendo retos que superar, como los **costos elevados** tanto del hardware como de software que componen el uso de la realidad virtual como gafas, computadoras potentes, contratación de empresa de desarrollo de estas aplicaciones (Neira-Trovar et al., 2021).

Por cierto, en la parte de la **accesibilidad**, en un estudio de Segura & Osorio (2021) los usuarios con discapacidad visual y auditiva mostraron altos niveles de aceptación y satisfacción por su inclusión en el proceso de desarrollo de la aplicación y cumplieron sus expectativas en cuanto a las experiencias sensoriales que fueron proporcionadas. Sin embargo, se espera que el software evolucione en el tiempo con los nuevos requerimientos del usuario, herramientas de desarrollo y hardware especializado que soporte la Realidad Virtual Inmersiva Accesible.

2.1.7. El futuro de la realidad virtual

En una apuesta por el futuro, según Rodríguez et al. (2021) la realidad virtual reforzaría los siguientes aspectos:

- Multifuncionalidad, ya que se pueden realizar múltiples tareas a la vez.
- Flexibilidad, porque el aprendizaje se adapta cada vez más a las necesidades de cada uno.
- Inmediatez, para poder encontrar lo que se necesita de manera instantánea.
- Accesibilidad, ya que conforme se avanza en tecnología, surgen herramientas de uso gratuitas o de bajo costo.

Asimismo, Erazo & Sulbarán (2022) estipulan que, parte del futuro son los desafíos, entre ellos, establecer estándares y protocolos para el entorno virtual que definan reglas precisas, tomando en cuenta el ámbito ético-moral, social y político referente a los siguientes puntos:

- Nuevos horizontes, porque el avance de esta se puede considerar que es indetenible.

- Seguridad de los datos, en cuanto a la recopilación de información personal y protección de la privacidad.
- Restricción de aplicaciones que puedan representar un alto riesgo para los usuarios.
- Mejoras en la tecnología, para que la demanda de hardware que sustenta la tecnología no impulse el uso de agentes contaminantes que al final afecten la calidad de vida de la humanidad.
- Interacción social más natural, que favorezca a los usuarios en controlar temas como el acoso o abuso en línea, adicción al crimen y confusión entre la verdadera realidad respecto a la realidad virtual.

2.2. Simuladores de realidad virtual

2.2.1. Antecedentes históricos de los simuladores de realidad virtual

Los simuladores de realidad virtual poseen como origen a la segunda guerra mundial, ante una petición de los Estados Unidos de Norteamérica al Instituto de Tecnología de Massachusetts, hacían solicitud de construir un simulador de vuelos que les permitiera a la marina poder entrenar en tierra. Esto impulsó el nacimiento a la realidad virtual. También, se menciona que tiempo después, surgieron las primeras impresiones en realidad virtual mediante la idea de Iván Sutherland que en el año 1965 propuso realizar el sistema “The Ultimate Display”, permitiendo ver televisión de forma dual y estereoscópica; haciendo sentir al usuario la experiencia de estar dentro de la televisora, a pesar de las limitantes o inexistencia de la posibilidad de responder a los movimientos de la cabeza por parte del terminal para obtener nuevas perspectivas, en comparación con la época actual (Machuca et al., 2024).

Además, se puede decir que desde hace unas décadas atrás, se han implementado simuladores basados en nuevas tecnologías con la finalidad de proveer experiencias de aprendizaje, que contribuyan en el campo de la educación, como lo describe en su estudio León (2021) afirmando que en los últimos años, se han desarrollado simuladores

virtuales contribuyendo al desarrollo de habilidades cognitivas y motoras. A su vez, menciona que las simulaciones proporcionadas por la RV crean sensaciones y habilidades táctiles en los profesionales.

2.2.2. Definición de conceptos

En esta sección se explican diversos términos utilizados en el presente estudio sobre simulaciones de realidad virtual.

Simuladores de realidad virtual: Es un proceso que intenta recrear situaciones de la vida real, por medio del modelado matemático, físico y gráfico, en un programa de ordenador. Encima, las simulaciones se desarrollan para llevar a cabo estudios sobre algún fenómeno, recreando situaciones en las que un usuario participa activamente y cuyo objetivo es la formación en algún ámbito concreto de la vida real (Riera, 2023).

Simulador de vuelo: Es un medio electrónico que realiza simulaciones del comportamiento de una aeronave en un escenario similar al real. Asimismo, cuando un piloto se encuentra en las diferentes fases como son el aterrizaje, fase de crucero, ascenso, descenso y despegue, se puede simular de tal manera que el piloto se prepare al enfrentarse con condiciones en la vida real al mando de una aeronave (Baquero & León, 2022).

2.2.3. Usos de los simuladores de realidad virtual

Los simuladores de realidad virtual tienen una amplia gama de usos en diversos sectores, llevando la interactividad a nuevos niveles.

Con la evolución de las tecnologías adaptativas en el campo de la RV, las áreas de aplicación de los simuladores para entrenamiento basados en RV también están aumentando y destacando en el área de la medicina, la educación, el comercio, la industria militar (Véliz et al., 2021) y en simulación de vuelos (Baquero & León, 2022).

2.2.4. Ventajas de los simuladores de realidad virtual

Los simuladores de realidad virtual ofrecen numerosas ventajas, que fomentan la creatividad e innovación al proporcionar un entorno flexible y controlado para experimentar y desarrollar nuevas ideas, destacando las siguientes.

1. Mejora de habilidades mediante entrenamiento y corrección de errores (Felgueres et al., 2022).
2. Seguridad manteniendo la integridad física del usuario (S. González & Mendoza, 2023).
3. Mejora la experiencia de aprendizaje permitiendo al usuario practicar una gran variedad de situaciones para lograr desarrollar una mayor gama de habilidades (S. González & Mendoza, 2023).

2.2.5. Desventajas de los simuladores de realidad virtual

Los simuladores de realidad virtual presentan varias desventajas que limitan la adopción y el uso generalizado de esta tecnología, como las siguientes.

1. Efectos secundarios ya que los usuarios pueden sentir mareos al utilizar la realidad virtual, así como desorientación o incomodidad visual. (Vargas et al., 2024).
2. Desigualdad debido a que, si no cuentan con dispositivos tecnológicos, es difícil participar en la sesión por parte igualitaria (Córdova, 2021).

2.2.6. Retos actuales de los simuladores de realidad virtual

Los simuladores de realidad virtual enfrentan desafíos significativos en la actualidad, incluyendo la parte de apertura a nuevas tecnologías, por lo que se detalla a continuación.

Limitaciones financieras: En el contexto financiero, la aplicación de la RV en simulaciones educativas está ganando impulso. Algunas universidades han

implementado proyectos piloto que utilizan la realidad virtual como herramienta de enseñanza. Sin embargo, la adopción generalizada de la realidad virtual sigue siendo un reto, debido a limitaciones financieras y de infraestructura. (Borja et al., 2024).

Dependencia de infraestructura, interoperabilidad: Crear estándares para que diferentes sistemas y dispositivos de RV sean compatibles entre sí, además de su respectiva correlación, son parte de los retos. En ese sentido, si se fabrican y comercializan dispositivos aptos para las tecnologías de RV, en consecuencia, estos dispositivos deberían contar con mejoras como reducción en peso para mejor ergonomía, así como la eliminación del cableado para no reducir la movilidad del usuario (Muñiz & Rodas, 2022).

2.2.7. El futuro de los simuladores de realidad virtual

El futuro de los simuladores de realidad virtual promete avances significativos en la inmersión total y la interactividad, mejorando la personalización y la experiencia del usuario con tecnologías emergentes.

En efecto, la realidad virtual está integrada en nuestro presente y, en los próximos años protagonizará avances que configurarán el futuro. En otras palabras, así como puede ser utilizada para loables acciones de educación, ciencia, medicina, etc. También puede ser utilizada para especialización en el campo de bombas nucleares, sexo virtual, planificación de devastación y otros (Marotta, Montes de Oca, et al., 2020).

Por otra parte, en usos de ciencia ficción, se podrán generar reproducciones muy fieles de formas de vida, compuestas de materia sólida creada a través de replicadores basados en tecnología de teletransportación y manipulados por rayos tractores de alta precisión, así, el resultado es una figura extremadamente realista que tiene un comportamiento muy similar a un ser vivo, cuyo límite es únicamente el del software de gestión. En ese sentido, este sueño de ciencia ficción es el objetivo que se ha buscado en los últimos años en el campo de la realidad virtual (Semeraro, 2023).

2.3. Simuladores de realidad virtual en aviación

2.3.1. Antecedentes históricos de los simuladores de realidad virtual en aviación

En 1929 Edwin Link crea el primer simulador comercial para aprendizaje de vuelo. Este se llamó Link Trainer y consistía en una cabina de dos módulos, uno enfocado en realizar todas las maniobras de vuelo y el otro para monitorear las maniobras de los controles que simulaban a un avión comercial (Gil, 2021; Marí-Altozano & Sedeño, 2024).

Años más tarde, a estos simuladores de vuelo llegaría un avance de interés y fueron las plataformas de movimiento, resultando la configuración propuesta por Stewart en 1965 la más exitosa, que consistía en un sistema de actuadores paralelos que permitía mover la cabina del simulador con 6 grados de libertad, en un rango acotado, con el fin de proveer estímulos creíbles a la propiocepción del usuario, según las aceleraciones lineales y velocidades de giro del vehículo tripulado. Por consiguiente, esta solución resultó luego extendida para dar soporte al movimiento de simuladores de todo tipo de vehículos (Maraggi, 2020).

Actualmente, la inclusión de estas plataformas es lo que diferencia “simuladores de vuelo completos” de “entrenadores de vuelo”, según estándares internacionales. En efecto, hay diversos simuladores avanzados, desde proyectos libres de código abierto como FlightGear, hasta productos bajo licenciamiento de alto rendimiento como el Microsoft Flight Simulator, X-Plane de Laminar Research, DCS World de Eagle Dynamics y P3D de Lockheed Martin. Todos estos simuladores, ofrecen la posibilidad de desarrollar extensiones a través de interfaces para el agregado de dispositivos de entrada-salida, captura de datos de telemetría de vuelo e integración con herramientas de terceros, como por ejemplo, programas de control de misión, nuevos aviones y terrenos con mayor detalle (Maraggi, 2020).

2.3.2. Tipos de simuladores de realidad virtual en aviación

Según National Archives (2024), en relación con los simuladores, explica que éstos comprenden una clasificación, dependiendo de su capacidad para representar la cabina de un avión real, así como también la representación más aproximada a las condiciones de un vuelo real tanto dentro como fuera de cabina. Según la Administración Federal de

Aviación (FAA), los simuladores de vuelo se dividen en tres categorías: simuladores de vuelo (FS), dispositivos de entrenamiento de vuelo (FTD o FSTD) y dispositivos de formación de la aviación.

Simuladores de vuelo completo (FFS): Estos son los simuladores más avanzados, ya que incluyen movimiento y capacidad visual, sin necesidad de volar un avión real. Los FFS están validados para asegurar la aerodinámica, características de vuelo y pilotaje de una aeronave específica. Además, los niveles de clasificación van de A a D, siendo D el más alto (National Archives, 2024).

Dispositivos de entrenamiento de vuelo (FTD): Los FTD, o Dispositivos de Entrenamiento de Simulación (FSTD), están diseñados para representar la configuración de una aeronave específica. Pueden tener cabinas cerradas y visualización, y aunque no siempre incluyen movimiento, son lo suficientemente sofisticadas para la capacitación y certificación. Estos dispositivos se encuentran en centros de enseñanza y universidades, y se usan ampliamente para entrenar en nuevas tecnologías (National Archives, 2024).

2.3.3. Ventajas de los simuladores de realidad virtual en aviación

Los simuladores de realidad virtual en la aviación ofrecen numerosas ventajas, aportando a la seguridad, reducción de costos operativos y mejorando la efectividad del aprendizaje de los pilotos, según se menciona a continuación.

Mejora en la seguridad: Los simuladores de realidad virtual permiten a los pilotos entrenar en un entorno seguro y controlado, donde pueden experimentar una amplia gama de situaciones de emergencia y condiciones climáticas adversas sin los riesgos asociados con el vuelo real. Esto mejora la capacidad de respuesta de los pilotos ante situaciones críticas, además, logra mejorar las competencias teóricas, ganar experticia y aumentar la seguridad operacional de las aeronaves salvaguardando la vida de la tripulación. Además, se puede extender la metodología a las diferentes escuelas de aviación, logrando metas de cobertura y concientización del factor humano como

elemento primordial para evitar accidentes aéreos, especialmente las de fallas mecánicas y maniobras de alto riesgo (Díaz et al., 2021).

Impacto ambiental y reducción de costos: Los costos de combustible, mantenimiento de aeronaves y riesgos asociados se reducen considerablemente, permitiendo a las aerolíneas y a las escuelas de aviación ahorrar recursos financieros. También, se logran mejorar indicadores como el económico (disminuir el consumo de combustibles fósiles de las aeronaves en etapa de vuelo), ambiental (disminuir los impactos ambientales al cambio climático por consumo de combustibles) y social (capacitación de instructores y estudiantes) (Díaz et al., 2021).

Personalización y flexibilidad: Los entrenadores pueden diseñar escenarios específicos y ajustar los niveles de dificultad para abordar las áreas de mejora individuales. Además, los simuladores pueden ser utilizados en cualquier momento y lugar, ofreciendo una mayor flexibilidad en el programa de entrenamiento (Díaz et al., 2021).

2.3.4. Desventajas de los simuladores de realidad virtual en aviación

Al respecto, los simuladores de realidad virtual en la aviación presentan ciertas desventajas, algunas limitaciones en la replicación de la realidad física pueden impedir una experiencia completamente realista, así como interrupciones pueden afectar usuario como se menciona a continuación.

Limitaciones: Aunque los simuladores de realidad virtual pueden replicar muchos aspectos del vuelo real, aún existen limitaciones en la reproducción de ciertas sensaciones físicas, como la inercia y todas las experiencias del entorno de vuelo. Estas limitaciones pueden afectar la experiencia del usuario al no simular completamente las condiciones físicas reales del vuelo, ya que los simuladores de aeronaves recrean ambientes de vuelo, los cuales son diseñados a partir de aeronaves que repiten acciones como los sonidos, movimientos, controles de vuelo y reacciones de factores externos (turbulencia, vientos, tormentas, nubosidades entre otros). Por ello la sincronización entre los elementos físicos y virtuales debido a diversos factores como lo es la propia

fisionomía de los usuarios que están interactuando con el simulador y la misma distribución en el espacio de los elementos físicos puede influir en estas limitaciones (Sanabria & Guzman, 2021).

Fallos del sistema: En cuanto a la dependencia de la tecnología avanzada, significa que cualquier fallo en el hardware o el software del simulador puede interrumpir la experiencia de usuario. Además, los simuladores requieren mantenimiento regular y actualizaciones para asegurar que sigan siendo efectivos y estén alineados con los estándares actuales de la aviación (Garavito, 2023).

Costo inicial alto: Aunque a largo plazo los simuladores de realidad virtual pueden reducir los costos de entrenamiento, la inversión inicial en el desarrollo e implementación de estos sistemas es considerablemente alta. Esto incluye el costo del hardware especializado, el software de simulación, y la infraestructura necesaria para soportar la tecnología. Asimismo, el problema del aprendizaje sobre pilotaje o entendimiento de una cabina de una aeronave se hace altamente evidente en diferentes instituciones, escuelas o universidades que no tiene los recursos suficientes para tener presente y en forma física cabinas o complementos de avión para entendimiento de estos (Sanabria & Guzman, 2021).

2.3.5. Usos actuales de los simuladores de realidad virtual en aviación

Los simuladores de realidad virtual en la aviación tienen múltiples usos actuales, siendo el entrenamiento de pilotos uno de los más destacados. Estos simuladores permiten a los pilotos practicar maniobras y evaluar las cabinas de las aeronaves, a continuación, se detallan los principales.

Entretenimiento: Muchos usuarios de RV son entusiastas en el mundo de la aviación. Entonces gracias a videojuegos como X-Plane o Microsoft Flight Simulator pueden recrear escenarios y entender mediante misiones cómo funciona una aeronave sin tener conocimientos específicos del campo de la aviación.

Entrenamiento de pilotos: Los simuladores de realidad virtual son ampliamente utilizados para el entrenamiento de pilotos, permitiendo a los aprendices practicar

maniobras de vuelo, procedimientos de emergencia y navegación en un entorno seguro y controlado. Asimismo, este tipo de entrenamiento es esencial para desarrollar habilidades sin los riesgos asociados con el vuelo real, además, preparan a los pilotos militares para escenarios actuales y futuros, mejorando el nivel de entrenamiento y capacitación, enfrentando situaciones tan reales como las que se presentan cuando se está en un vuelo real, evitando exponer al riesgo tanto a los pilotos militares como a las aeronaves (Fuerza Aérea Colombiana, 2024).

Además, es de resaltar que en el hemisferio americano, solamente los Estados Unidos y la Fuerza Aeroespacial Colombiana, cuenta con equipos como estos de realidad virtual aumentada, los cuales reducen drásticamente los costos de entrenamiento y aumentan la proeficiencia y el nivel de entrenamiento de nuestros pilotos militares”, expresa el señor Mayor General Carlos Fernando Silva Rueda, Segundo Comandante y Jefe de Estado Mayor FAC (Fuerza Aérea Colombiana, 2024).

Entrenamiento de tripulación en cabina: Además de entrenar pilotos, se utilizan para entrenar a la tripulación de cabina en procedimientos de seguridad y servicio al cliente. Asimismo, estos simuladores permiten recrear situaciones de emergencia, como evacuaciones y manejo de pasajeros difíciles, proporcionando una formación integral y práctica para la tripulación de cabina. Por otra parte, la comunicación y colaboración efectiva entre los miembros de la tripulación son fundamentales para vuelos seguros (Faster Capital, 2024).

Mantenimiento y reparación de Aeronaves: La RV también se ha utilizado para mejorar el mantenimiento y la reparación de aeronaves, ya que los técnicos de mantenimiento pueden acceder a manuales e información en tiempo real mientras trabajan en una aeronave, lo que les permite realizar tareas de manera más eficiente y precisa. Además, la realidad virtual puede utilizarse para proporcionar capacitación adicional a los técnicos, lo que garantiza que estén actualizados con las últimas técnicas y procedimientos de mantenimiento (Sandu, 2023).

2.4. Experiencia de usuario (UX) de simuladores de realidad virtual

La experiencia de usuario (UX por sus términos en inglés User eXperience) puede considerarse como el proceso que lleva a cabo el usuario cuando interactúa con un producto (Balcameda et al., 2019).

Asimismo, según el estudio de (Vega et al., 2021) se define a la Experiencia de Usuario como "Las percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso y / o uso anticipado de un producto, sistema o servicio".

2.4.1. Características de la UX de este tipo de herramientas

A propósito, cuando se piensa en UX, lo más probable es asociarlo a un diseño para pantallas de ordenadores y teléfonos móviles, es decir, espacios bidimensionales en los que basta con deslizar el dedo o hacer clic para realizar el trabajo. Pero, con las nuevas tecnologías, esta es solo una de las muchas posibilidades.

Sin ir más lejos, también existe el diseño de UX para la RV, una experiencia tridimensional totalmente inmersiva en la que se pueden experimentar cosas como la vista, el sonido, el tacto y la profundidad. No obstante, en el pasado esto era solo un sueño, hoy en día hay empresas que trabajan en aplicaciones de RV tanto para las masas como por ejemplo los video juegos, como para intereses más específicos, como su aplicación en aviación y hasta en medicina.

Por otra parte, al diseñar para realidad virtual, se aplica el mismo objetivo que es brindar una experiencia de usuario agradable y fluida. Sin embargo, crear estas experiencias requiere algunos enfoques y consideraciones nuevos debido que al diseñar para realidad virtual, hay varias heurísticas que los diseñadores de UX deben tener en cuenta, y según (Dalangin, 2021) & (Vinney, 2023) estas consideraciones incluyen:

- **Honestidad:** A los usuarios siempre se les permite la libertad de elección, seguridad, identidad y privacidad y no tienen ninguna preocupación por la coerción o el engaño.

- **Inclusividad:** Las experiencias de realidad virtual deben estar diseñadas para todos, pero no para un solo usuario en mente. En cambio, la realidad virtual debe variar en función de la complejidad física del usuario.
- **Seguridad virtual y física:** La experiencia de realidad virtual está diseñada para garantizar la seguridad de todos, incluidos el usuario que interactúa con la realidad virtual, cualquier persona que esté cerca pero que no interactúe con la realidad virtual y el entorno circundante. Incluso, evitar la sobreexposición a la realidad virtual, que puede afectar negativamente a la seguridad física del usuario.
- **Comprensión:** Los usuarios necesitan recibir una guía útil en una realidad virtual que les ayude a comprender la idea general de este nuevo entorno. Al mismo tiempo, necesitan sentir que tienen el control, así que asegúrese de no explicarles demasiado y de que las instrucciones sean fácilmente accesibles.
- **Interactividad:** Los usuarios no son observadores pasivos en la realidad virtual. Deben poder interactuar con el entorno moviéndolo y dándole forma.

Seguir estas heurísticas le asegurará estar en el espacio mental adecuado para diseñar para la realidad virtual y al mismo tiempo mantener las mejores prácticas de UX.

A continuación, se define algunas técnicas y metodologías para hacer evaluación de experiencias de usuario.

- **Evaluación Heurística:** Es un método utilizado para buscar y evaluar problemas de usabilidad en el diseño de las interfaces de usuario, mediante un grupo pequeño de evaluadores expertos que examinan las interfaces y utilizando los principios reconocidos de la ingeniería de la usabilidad (las heurísticas) categorizan y valoran los problemas descubiertos (Martínez et al., 2022).
- **Principios de Nielsen:** Son principios generales para el diseño de interfaces de usuario, también llamadas “heurísticas” debido a su naturaleza como reglas de oro, en lugar de directrices específicas de usabilidad (Martínez et al., 2022) que se enumeran a continuación:

1. Visibilidad del estado del sistema.
2. Correspondencia entre el sistema y el mundo real.
3. Control y libertad para el usuario.
4. Consistencia y estándares.
5. Prevención de errores.
6. Reconocer más que recordar.
7. Facilidad y eficiencia de uso.
8. Un diseño estético y minimalista.
9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores.
10. Ayuda y documentación.

2.4.2. Experiencias en la evaluación de la UX en simuladores de realidad virtual

En esta sección se recolectaron experiencias de usuarios de simuladores de realidad virtual aplicados en aviación como se muestra a continuación.

1. Estudio por (Laker, C. 2023).

El procedimiento consistió en hacer un vuelo virtual usando aplicación TakeFlight Interactive, con HDM HP Reverb GS, joystick y pedales Logitech, volando un C172R simulado, practicando la maniobra de fallo de motor 20 veces y al último día se le aplicaron encuestas SUS, GEQ y GUESS.

Los participantes estuvieron compuestos por 30 cadetes de la Universidad Purdue con poca o ninguna experiencia de vuelo, con edades entre 16 y 26 años, 56,67% hombres y 43,33% mujeres. El grupo experimental formado por 16 participantes, divididos con edades entre 16 y 26 años, y 14 participantes entre 17 y 20 años.

Las técnicas utilizadas fueron las siguientes:

- Escala Likert.
- Escala de Usabilidad del Sistema (SUS).

- Cuestionarios de Experiencia de Juego (GEQ).
- Cuestionario de Satisfacción de la Experiencia del Usuario del Juego (GUESS)

Los datos se analizaron mediante una prueba T, Distribución de Poisson, ANOVA y una prueba de Shapiro, dando como resultado:

- Una tabla con los resultados de la Satisfacción del usuario del sistema (SUS).
- Una tabla con los resultados de los 2 Cuestionario de experiencia de juego (GEQ) por cada módulo.
- Una tabla con la Escala de satisfacción con la experiencia del usuario del juego (GUESS).

2. Estudio por (Dymora et al., 2021)

Consistió en que cada participante portando las gafas de realidad virtual perciba estar en el interior de la cabina de manera virtual. El objetivo de la formación fue el procedimiento previo a la salida. Cada uno de ellos practicó el procedimiento una vez, usando gafas HTC Vive durante una sesión de un máximo de 5 minutos de duración. Luego se pidió a los participantes que completaran una encuesta que constaba de 8 preguntas.

Los participantes estuvieron compuestos por 17 participantes de edades entre 21 y 23 años, siendo todos hombres y una sola mujer. Todos sin experiencias dentro de una cabina de un avión simulado.

La técnica empleada consistió en una encuesta de 8 preguntas, enfocadas en:

- Demografía de los participantes.
- Satisfacción de Experiencia al manipular los mandos.
- Recomendación sobre usar un kit de realidad virtual para aprender con él.

A los datos se le aplicó un análisis exploratorio de muestras independientes.

3. Estudio por (Lawrynczyk, A. 2018)

Los participantes completaron un cuestionario demográfico sobre su experiencia de vuelo, exposición a videojuegos (tanto de realidad virtual como de otra índole) y su estado de bienestar (p. ej., cansancio, náuseas, mareos, etc.).

Se ató la Epática E4 a la muñeca de los participantes y estos procedieron al simulador de Cessna 172, donde se les equipó con el interruptor de pulgar, los auriculares y el

micrófono. A los participantes se les enseñó a “volar” el simulador Cessna 172 usando solo el yugo, los flaps y el acelerador. Para simplificar la tarea, los timones se configuraron en "automático" y los participantes no los utilizaron. Todos los participantes completaron tres circuitos de práctica del escenario de vuelo utilizando la condición de gráficos BADS, mientras eran entrenados por un instructor de vuelo sentado en el asiento del copiloto.

Los 41 participantes tenían edades entre 12 y 32 años, con una edad media de 31.32. De ellos 2 eran pilotos y otro con cierta experiencia volando. 38 sin ninguna experiencia y 18 de ellos indicaron que juegan video juegos una vez a la semana.

La técnica de recolección de datos consistió en un cuestionario que analizan el mareo y otras métricas de usabilidad de la realidad virtual.

Los datos obtenidos consistieron en:

- El cuestionario demográfico completo de experiencia de vuelo, exposición a videojuegos y estado de bienestar.
- Una tabla con de UX y de carga cognitiva que explica la medida, media, SD, valor P y el factor de Bayer.

Se le hizo un análisis mediante las herramientas:

- Pruebas t de muestras pareadas (frecuentes y bayesianas).
- Pruebas t de muestras independientes.
- Pruebas bayesianas con un previo de Cauchy no informativo de 0,707.

4. Estudio por (McCoy-Fisher et al., 2019)

En este estudio se incluyeron tres VRPTT diferentes y un MRVS. El sistema VRPTT consistía en una pantalla montada en la cabeza HTC conectada a una computadora de escritorio, una vista de 360° de la cabina con pantallas multifuncionales. Los componentes de hardware adicionales incluían un Thrustmaster Warthog Hands on Throttle and Stick y pedales de timón, MFD, botones, interruptores y diales de cabina virtual mediante gestos manuales capturados mediante un dispositivo de seguimiento manual Leap Motion, montado en la parte frontal del HMD. Los usuarios se sentaron en un asiento de cabina de simulación de vuelo de Volair Sim. Estos fueron desarrollados para apoyar la formación, maniobras básicas de combate, formación táctica, bajo nivel

(navegación operativa) y calificación de portaaviones. Estos VRPTT se entregaron y evaluaron en NAS Kingsville.

Los participantes (966 en total) incluyeron 958 estudiantes de Aviación Naval (SNA), 6 entre pilotos instructores (IP), oficiales de entrenamiento de pilotos (PTO) y pilotos recién incorporados y un cirujano de vuelo. Los SNA estaban en el plan de estudios de Primaria o a punto de comenzar (PTN T6B VRPTT) o estaban en el programa de estudios Intermediate Jet o Advanced Strike (T45C VRPTT y MRVS).

Algunas de las técnicas empleadas para la recolección de datos fueron la escala Likert, cuestionario sobre la estética de los dispositivos, cuestionario de enfermedad del simulador y cuestionario de propiedad virtual de las extremidades.

Entre los datos obtenidos se mencionan:

- Una tabla de correlaciones entre escalas de confianza general en la automatización y la confianza en los sistemas VR.
- Matriz de capacidades del sistema XR.
- Los análisis TIMS se realizaron como una evaluación simultánea de los tres sistemas VRPTT diferentes y el MRVS.
- Los datos TIMS incluían calificaciones de ítems, puntuaciones de archivos de ítems de maniobra (MIF, que corresponden al límite para una calificación aprobatoria) y varios tipos de datos de conteo. No se incluyó la calificación general de los SNA, el Navy Standard Score (NSS).
- Tablas con puntuaciones medias de realismo, usabilidad y escalas de confianza en la automatización.

Se aplicaron diversas herramientas de análisis de datos, entre ellos un ANOVA unidireccional, la prueba Q de Cochran, pruebas post hoc de McNemar, la prueba de Friedman y la Prueba de Chi Cuadrado.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se abordará el marco metodológico del proyecto. En el mismo, se expone el tipo de la investigación, los sujetos y fuentes de información, el instrumento, diseño, el tipo de datos necesarios para el logro de los objetivos del proyecto, las diferentes técnicas empleadas para la recolección de información, tales como la revisión de literatura, la encuesta, el cuestionario de evaluación con heurísticas y finalmente cómo se presentará la información en un artículo científico.

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado contiene elementos cualitativos y cuantitativos, por lo tanto, se realizó un trabajo de revisión, análisis, recopilación de información relevante e interpretación de diferentes fuentes bibliográficas de alta calidad para comprender la utilización de diversos tipos de técnicas, como, encuesta y evaluación mediante heurísticas, con la finalidad de darle sustento a la investigación.

3.1.1. Revisión Sistemática de Literatura (SRL)

Un estudio lo define como un método que permite interpretar y evaluar el contenido de toda aquella investigación que esté a nuestro alcance y que sea de índole relevante para un evento de interés, una pregunta de investigación o un tema en concreto (A. González & Sosa, 2021) entonces, se entiende como SRL la identificación, evaluación e interpretación de datos respecto a un campo de investigación dentro de un periodo de tiempo (Tapia, 2020).

De igual forma, se usan para realizar un análisis a profundidad, que se puede entender de la siguiente forma, ordenado en tres etapas: en primer lugar, la exploración inicial o etapa de diseño, habiendo definido el área de estudio se realizan consultas en distintas fuentes bibliográficas para entender de forma general el tema de interés, definir el objetivo y formular la pregunta de investigación; en segundo lugar, protocolo de revisión que consiste en definir las palabras claves, las bases de datos a utilizar y la recopilación de los estudios de investigación que cumplan con los criterios acordados; y por último, reporte y divulgación de los resultados, que consiste en análisis e interpretación global de los resultados obtenidos, para determinar las fortalezas y debilidades de la investigación (Sabogal & Rojas-Berrio, 2020).

Por otro lado, se mencionan las principales **ventajas**:

- Se obtiene una visión general de conceptos relacionados con la temática a investigar (Valle et al., 2022).
- Se dispone de una gran cantidad de información relevante para analizar (A. González & Sosa, 2021).
- Se compara continuamente contenidos con fuentes bibliografías anteriores (Sabogal & Rojas-Berrio, 2020).
- Metodología explícita y sistemática para un uso más eficaz del tiempo (Aguilera et al., 2021).

También, según Aguilera-Eguía et al. (2021) se identifican las siguientes **desventajas**:

- La búsqueda bibliográfica puede ser exhaustiva y consumir mucho tiempo.
- Estará limitada por la cantidad y calidad de los estudios incluidos.
- Riesgo de encontrar información desactualizada.

A su vez, la revisión sistemática de literatura se va a utilizar para determinar los referentes teóricos que sustentan este trabajo final de graduación.

3.1.2. Encuesta

Es un método de investigación usado para la recolección de datos de una muestra determinada de personas. Su objetivo es extraer información de interés a partir de un set de preguntas específicas que posteriormente permite tomar decisiones importantes basadas en las opiniones y comportamientos de las personas en cuestión (da Silva, 2022).

Según (Trustmary, 2024), entre las **ventajas** de este tipo de instrumento se encuentran:

- No se necesitan personas preparadas recolectar datos.
- El cuestionario puede ser enviado por correo u otro medio multimedia.
- Al no estar coaccionando con el entrevistador, hay mayor libertad de expresión y meditación para responder sin exigirse un tiempo limita de respuesta.

- Son prácticos y económicos si se hacen de manera online. Además de que los resultados se obtienen muy rápidamente y listos para ser procesados.

Por otro lado, algunas de las **desventajas** que (Trustmary, 2024) menciona, se tiene que:

- Puede que las respuestas no sean precisas y se vean afectadas por el estado de ánimo de las personas.
- Implica tener cierto nivel de comprensión y expresión para responder acorde a lo preguntado. Ya que todos los encuetados no necesariamente interpreten las preguntas de la misma manera.
- Puede haber falta de sinceridad por motivos varios como protección a la privacidad y desinterés.

En esta investigación la encuesta se utilizó para recolectar datos de la percepción de los simuladores de aviación de realidad virtual en Costa Rica. El público meta fueron pilotos, estudiantes de aviación y usuarios de realidad virtual. Además, se hizo uso de la escala de Likert, preguntas de selección múltiple y de respuesta abierta.

Por su parte, la **escala de Likert** es una escala de valor y de estimación que se utilizan para determinar la percepción de alguna variable cualitativa que por su naturaleza denota algún orden sobre algún tópico en específico, utilizada en estudios sociales, investigaciones y encuestas, permitiendo determinar el nivel de acuerdo o desacuerdo de evaluadores (Canto de Gante et al., 2020).

3.1.3. Cuestionario de Evaluación con Heurísticas

Es un método de evaluación de la usabilidad de un producto, que mediante un grupo de evaluadores con cierta experiencia evalúan la calidad de una interfaz aplicando los 10 principios de Nielsen, definiendo qué es lo que desean evaluar en cada uno de ellos (Bonales, 2022); lo que permite obtener la percepción de los usuarios sobre su facilidad de uso y eficacia (Castillo, 2020).

En ese sentido, se usan generalmente para detectar errores de usabilidad previos a la realización de los test de usuario, además de durante desarrollo de un proyecto para localizar y corregir a bajo costo los errores que se hayan encontrado (Bonales, 2022).

Por lo tanto, al usarse un método de inspección, los problemas de usabilidad los detectan los especialistas en usabilidad, en cambio, al utilizar métodos de prueba, estos problemas se identifican a través de observaciones del usuario antes de que se esté utilizando el producto final (Castillo, 2020).

Sin ir más lejos, se identifican las siguientes **ventajas**:

- Método rápido y económico, ya que los recursos necesitados en comparación a otros métodos es menor (Castillo, 2020).
- Se puede aplicar en cualquier fase del proyecto (Castillo, 2020).
- Fácilmente se puede combinar con otras metodologías, por ejemplo, un Test de Usuario (Bonales, 2022).

Por el contrario, también existen algunas **desventajas**, entre ellas:

- Se necesitan de expertos con experiencia previa o con cierto conocimiento sobre la temática (Castillo, 2020).
- Muchos de los errores que se identifiquen pueden ser falsos positivos por defectos metodológicos (Castillo, 2020).
- Entre más expertos, se necesita más tiempo para recopilar información y generar conclusiones (Bonales, 2022).

La evaluación de heurísticas para esta investigación será incluida en el mismo cuestionario justo con la encuesta. En ella, se recolectará datos relacionados a la experiencia de los evaluadores utilizando simuladores de realidad virtual para aviación. Su propósito es identificar los principales aspectos relacionados a los simuladores de realidad virtual en aviación percibidos por el evaluador luego de hacer uso de un simulador de esta índole brindado por el investigador. Para este instrumento se formularon 3 preguntas con la escala de Likert para cada una de las 10 heurísticas de Nielsen.

3.1.4 Artículo Científico

En lo que concierne a un artículo científico, se define como un informe escrito y publicado que describe los resultados originales de una investigación y constituye el medio comunicativo por excelencia de la comunidad científica, así pues, se dan a conocer resultados experimentales o bien, nuevos conocimientos (Zaldívar, 2021).

Por otra parte, Cevallos (2015) menciona que es un reporte escrito, según la norma de una revista especializada, mediante el cual, el autor comunica o hace visible los resultados parciales o totales de su investigación y los pone al servicio de la comunidad científica.

Por otra parte, los objetivos de un artículo científico como documento académico son diversos y pueden variar ligeramente según diferentes fuentes, pero en general, se pueden resumir en los siguientes puntos clave identificados por (Zaldívar, 2021) y (Cevallos, 2015):

- **Difusión de Resultados:** Difundir los resultados de una investigación de manera clara, precisa, concisa y fidedigna, permitiendo su comprensión y replicación por parte de la comunidad científica.
- **Compartir y Contrastar:** Compartir los resultados con la comunidad científica para su contrastación y discusión, incorporándolos al conocimiento humano y promoviendo el desarrollo de nuevas investigaciones.
- **Comunicar el Proceso y Resultados:** Comunicar tanto el proceso como los resultados de las investigaciones, incluyendo ideas y debates de forma precisa y clara.
- **Colaborar en el Desarrollo de la Ciencia:** Contribuir al desarrollo de la ciencia al divulgar los avances y hallazgos.
- **Obtener Apoyos Económicos:** Conseguir financiamiento adicional para continuar con el desarrollo de investigaciones.

Por cierto, algunas **ventajas** identificadas son las siguientes:

- **Difusión del conocimiento:** Permite divulgar los resultados de una investigación de manera clara y precisa, contribuyendo al desarrollo de la ciencia y al enriquecimiento del saber humano (Cevallos, 2015).
- **Desarrollo profesional:** Publicar artículos científicos aumenta el reconocimiento y credibilidad del autor en la comunidad científica, facilitando el acceso a financiamiento y colaboraciones futuras (Zaldívar, 2021).
- **Rigor y claridad en la comunicación:** La exigencia de precisión, claridad y brevedad en la redacción científica mejora las habilidades comunicativas del investigador, lo cual es beneficioso para transmitir ideas de manera efectiva y comprensible (Zaldívar, 2021).
- **Análisis exhaustivo:** Pueden ofrecer un análisis más profundo y exhaustivo de fenómenos específicos, mejorando la comprensión de los mismos (Cevallos, 2015).

Por otro lado, también existen **desventajas**:

- **Complejidad y tiempo:** La redacción de un artículo científico es un proceso largo y meticuloso que requiere múltiples revisiones y correcciones, lo cual puede ser exigente en términos de tiempo y esfuerzo (Zaldívar, 2021).
- **Alta tasa de rechazo:** La competencia por publicar en revistas de alto impacto es alta, y los artículos son frecuentemente rechazados por falta de originalidad, relevancia, o incumplimiento de normas editoriales (Zaldívar, 2021).
- **Necesidad de cumplir estrictas normas:** Las normas editoriales y de citación pueden ser complicadas y variadas, lo cual puede generar dificultades y errores en la elaboración y presentación de los manuscritos, afectando la posibilidad de aceptación para publicación (Zaldívar, 2021).
- **Validación empírica:** A menudo, necesitan validación empírica adicional para confirmar las teorías propuestas (Cevallos, 2015).

Esta técnica permitirá mostrar los resultados obtenidos en esta investigación consolidado en un artículo científico que estará disponible a todo público.

3.2. Diseño

La recolección de datos por medio de encuesta y evaluación con heurísticas se aplicaron a los mismo 10 integrantes por razones de conveniencia. Además, en el mismo cuestionario se encontrarán ambas secciones que serán llenadas una vez se le apliquen las tareas a cada participante.

3.2.1. Evaluación con Heurísticas

3.2.1.1. Participantes

Se hace una selección cuidadosa de los participantes ya que el presente estudio usa una evaluación heurística al basarse en investigaciones, además, permite mediante un grupo pequeño de evaluadores expertos examinar las experiencias de usuario utilizando los principios de Nielsen, llamadas también las heurísticas (Martínez et al., 2022). De este modo, tomando en cuenta, que los evaluadores deben de tener experiencia previa en usabilidad y el en sector a aplicarse, recomiendan que se usen 10 evaluadores como máximo. Siguiendo el método anterior, se puede decir que la evaluación heurística va a depender de las experiencias y conocimientos de los evaluadores, pero también, puede ayudar a resaltar posibles problemas de usabilidad de forma rápida y económica en contraste con otros métodos que involucran usuarios reales (Wong, 2024).

Estos evaluadores son personas que tienen experiencia en el área de la aviación o de realidad virtual. Para ello solo se tomará en cuenta el perfil de personas que anteriormente ya hayan tomado clases de aviación y hayan volado mínimo alguna vez, siendo ellos estudiantes de aviación, pilotos privados como instructores de aviación. Además, se consideró como otro perfil de estos evaluadores a personas que tenga experiencia en el campo de la realidad virtual, es decir, que ya hayan experimentado con aplicaciones de realidad virtual.

3.2.1.2. Instrumento

El instrumento para aplicar esta evaluación de experiencia con heurísticas es un cuestionario compuesto de 30 preguntas distribuido entre las 10 heurísticas de Nielsen descritas en el capítulo anterior, que capturó las impresiones que tuvo cada evaluador inmediatamente después de completado la serie de ejercicios establecidos mediante el software y hardware establecidos.

La creación de este cuestionario se logró usando el soporte de la inteligencia artificial, ChatGPT versión 3.5 para ser más exacto, con la siguiente entrada (prompt):

“Elabore un instrumento de recolección de datos tipo encuesta usando la escala de Likert y con un total 5 preguntas por cada Heurística de Nielsen para una investigación de la Experiencia de Usuario en simuladores de realidad virtual en aviación donde el software a usar es Microsoft Flight Simulator”

Luego se contrastó la salida generada contra otros cuestionarios de estudios similares y se depuró el cuestionario de Heurísticas hasta solo tener 30 preguntas acordes a esta investigación.

Seguidamente se realizó un piloto para determinar la validez de la totalidad del cuestionario y encontrar puntos de mejor. De hecho, esto permitió reorganizar las secciones para que el cuestionario fuera tomado de manera más fluida y darle mayor claridad a cada sección de esta.

3.2.1.3. Procedimiento

El paso siguiente consistió en contactar a los potenciales evaluadores para conocer su disponibilidad y su disposición para participar en esta evaluación. Para ello se contactó de manera directa a estudiantes de aviación que están en la etapa práctica de horas de vuelo con el avión, como también pilotos privados, instructores. Y se consideraron usuarios de realidad virtual sin experiencia previa en el ámbito de la aviación.

Para aplicar la prueba, se desplazó hasta la ubicación de cada evaluador, y se instaló todo el equipo necesario para que el evaluador primeramente se ambiente con el

hardware y software antes de iniciar con los procedimientos a evaluar. Estos procedimientos consistieron en realizar **taxeo** por la pista indicada, un par de despegues y aterrizajes, y un vuelo solo en el escenario de entrenamiento del simulador Microsoft Flight Simulator 2020. Para la prueba final, se le solicitó a cada evaluador hacer un despegue de la pista del aeropuerto Juan Santa María y aterrizar en el aeropuerto Tobías Bolaños siguiendo las indicaciones de la torre de control. Estos escenarios ya estaban previamente mapeados virtualmente en el simulador. Además, se solicitó realizar estas pruebas condiciones meteorológicas óptimas para no perjudicar la experiencia del usuario, llámese con horario diurno, condiciones no ventosas y despejados de nubosidad y tormentas.

Una vez terminaron los procedimientos indicados, se le solicitó al evaluador completar el cuestionario que incluía una parte demográfica, la encuesta y la evaluación con heurísticas.

3.2.1.4. Datos

Los datos se almacenaron en una hoja de cálculo online conforme cada respuesta de la encuesta era introducida. Seguidamente se depuraron respuestas abiertas como opiniones similares y cantidad de años de experiencia en la tecnología.

Además, se realizó un análisis mediante el Alfa de Cronbach para determinar la validez de la encuesta, la cual arrojó un alfa de un 0.91 lo cual se considera excelente.

3.2.2. Encuesta

3.2.2.1. Participantes

Estos son los mismo 10 participantes que participaron en la evaluación con Heurísticas, debido a temas de conveniencia.

3.2.2.2. Instrumento

En cuanto al instrumento consta de 10 preguntas para capturar la percepción del estado de uso de los simuladores de aviación de realidad virtual en Costa Rica. Entre ellas se encuentran 5 preguntas usando la escala de Likert. Dos preguntas de selección múltiple.

Dos preguntas de selección única y cierra con una pregunta abierta para capturar recomendaciones y sugerencias para incursionar en este tipo de tecnologías.

Para la realización de la encuesta se apoyó en encuestas aplicadas en la literatura consultada de estudios similares y también en la inteligencia artificial con ChatGPT versión 3.5 introduciendo con el siguiente prompt:

“Realice una encuesta de 10 preguntas para obtener la percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual en Costa Rica a usuarios de este tipo de herramientas”

Luego se depuró la salida y se adjuntó en la primera parte del cuestionario junto a las heurísticas previamente mencionadas.

3.2.2.3. Procedimiento

La encuesta se adjuntó al inicio del único cuestionario utilizado junto con la evaluación de heurísticas. Esto por temas por facilidad. Una vez cada encuestado terminaba los ejercicios solicitados en el simulador, se le solicitó que completaran la encuesta y que se tomaban su tiempo para contestarla.

Este cuestionario se puede encontrar en el apartado de Anexos 2.

3.2.2.4. Datos

En cuanto a los datos fueron almacenados en una hoja de cálculo en Google Drive. Se hizo una copia para depurarlos y luego hacer respectivo análisis.

A estos datos se le realizaron análisis descriptivos y prueba de chi cuadrado por cada heurística donde el valor p para cada tipo de evaluador fue mayor a la significancia .05 infiriendo que el resultado obtenido por cada heurística es independiente al tipo de evaluador. Estos detalles se encuentran en el capítulo 5.

3.3. Métodos de análisis de datos

En esta investigación se emplearon diferentes elementos de estadística descriptiva con el fin de mostrar los datos de una manera simple para su facilidad de interpretación tales como la media, tablas y representación gráfica por medio de diagramas circulares y de barras.

Además, se usaron dos métodos para medir la confiabilidad de los instrumentos y para determinar la existencia de una relación entre las variables, a como se muestra a continuación respectivamente.

Alfa de Cronbach: Es una medida estadística que permite evaluar la confiabilidad de los cuestionarios, es decir, mide que tan consistentes y relacionadas entre sí son las preguntas en una escala de medición llamado coeficiente alfa (Ortega, 2022).

Prueba Chi Cuadrado: Es una prueba de hipótesis utilizada para variables categóricas con escala de medida nominal u ordinal. Esta prueba verifica si las frecuencias que se dan en la muestra difieren significativamente de las frecuencias que cabría esperar mediante un valor p . Por lo tanto, se utiliza para verificar si existe una relación entre dos variables categóricas (DATATab, 2024).

3.4. Software y Hardware

El software seleccionado para esta evaluación fue Microsoft Flight Simulator 2020 debido a su integración con tecnologías de realidad virtual y el soporte que ofrece a la comunidad. Además, cuenta con la aeronave Cessna 172 Skyhawk la cual es ampliamente utilizada por los estudiantes de aviación. La versión de este software es la 1.37.19.0 instalada el 8 de Julio de 2024.

Se utilizó SteamVR versión 2.7.4 para poder transmitir de manera óptima mediante streaming del contenido del simulador a las gafas de realidad virtual mediante un cable tipo C interconectando ambos dispositivos: ordenador y gafas.

Por último, se utilizó Meta Horizon versión 279.0 en un dispositivo móvil para poder castear el contenido de las gafas, poder ver en tiempo real lo que el evaluador está percibiendo. De esta manera se pudo grabar y tomar capturas para documentar el proceso de evaluación de la experiencia de usuario.

Por otro lado, el equipo físico que se utilizó fueron unas gafas de realidad virtual de la marca Meta Quest versión 3 de 512 GB. Estas gafas cuentan con dos controladores. Un procesador Snapdragon XR2, dos cámaras frontales para realidad mixta, altavoces

integrados con sonido estéreo y espacial 3D, DRAM e 8GB, ajuste de profundidad entre otras características. (Ver figura 4).

Además, el software del simulador se ejecutó en una laptop marca XPG Xenia con un procesado i7-1265H de la 12va generación, 16GM DDR5 4800 de memoria RAM y una tarjeta de video NVIDIA GeForce RTX 4070 8GB, un sistema operativo Microsoft Windows 11. Estos requerimientos son los mínimos adecuados para poder ejecutar la aplicación de manera óptima.

Además, se adquirió unos controles de vuelo que simulan la cabina de un avión. El panel de interruptores y yugo de controles de vuelo de marca Alpha de Honeycomb, el cual es un sistema de simulación de vuelo avanzado disponible en el mercado. El yugo tiene una rotación de completa y realista de 180° y un eje de acero sólido con cojinetes de bolas lineales dobles que brindan un control suave. (Ver figura 2 y 3).

En esta misma línea se usó unos controladores de superficie para la aceleración, control de mezcla de la marca Bravo de Honeycomb. Este panel es un sistema de cabina todo en uno, que cuenta con una configuración de aceleración configurable, desde aviones monomotor hasta aviones comerciales de cuatro motores. Y cuenta con múltiples componentes de cabina, incluidos el piloto automático, el panel de anuncios, la palanca de cambios y flaps, así como una rueda de ajuste. De esta manera se garantiza la experiencia de simulación de vuelo más versátil posible. (Ver figura 2 y 3).

El último componente que se utilizó fue los pedales para mover el timón de dirección y taxear en pista. Este componente es de la marca ProPedals los cuales ofrecen un control del timón y frenos de punta diferenciales realista para simuladores de vuelo.

Todos estos componentes físicos se montaron en una silla plegable para darle mayor inmersión al usuario que se pueden apreciar en la figura 2. Y en la figura 5 se puede ver un evaluador realizando las tareas solicitadas.



Figura 2. Vista lateral del simulador utilizado, que incluye laptop, gafas, yugo, panel de aceleración y pedales instalados en una silla plegable.



Figura 3. Vista frontal del simulador utilizado, que incluye laptop, yugo y panel de aceleración.



Figura 4. Vista frontal y de atrás de las gafas Meta Quest 3 y sus componentes.



Figura 5. Estudiante de aviación realizando el experimento.

CAPÍTULO IV. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En esta sección se presenta el diagnóstico y análisis obtenidos al aplicar las 3 técnicas utilizadas en esta investigación (revisión sistemática de literatura, cuestionario con la encuesta y la evaluación con heurísticas, y el artículo científico). Estas técnicas permitieron explorar la experiencia de usuario que tienen los simuladores de realidad virtual de aviación.

4.1. Revisión Sistemática de Literatura

Se realizó una revisión de la literatura con el fin de crear un marco teórico que permitiera presentar los conceptos claves acerca del estudio realizado. El marco teórico íntegro fue presentado en el Capítulo II. En esta sección se muestra una síntesis de los resultados obtenidos de esa revisión de literatura.

Para esta investigación se utilizaron fuentes bibliográficas de alta calidad, en total 88 referencias bibliográficas. Antes de continuar, se debe aclarar que, desde el punto de vista de tipo de referencias bibliográficas, existen dos tipos. Las referencias de fuentes primarias y las de secundarias. Según Coll, (2024) las primarias contienen información que no ha sido alterada, interpretada o analizada por otros autores, sino que son del propio autor. En otras palabras, información que se mantiene intacta desde su elaboración. Ejemplos típicos de este tipo de elementos de literatura de fuente primaria son las tesis, actas de congresos, proyectos de investigación, publicaciones oficiales, monografías, artículos de revistas y conferencias.

Por otro lado, las referencias secundarias son aquellas que recogen o reportan fuentes primarias. Además, contiene la información ampliada de los resultados que expone la fuente primaria. En otras palabras, se trata de aquel contenido que se ha ido generando a partir de una fuente primaria. Puede ser un análisis, una valoración, una traducción o algún contenido que nos relacione con la fuente primaria (Coll, 2021). Ejemplos de este tipo de fuentes son los libros, sitios de internet que relatan investigaciones de otras personas, etc.

Hecha esta aclaración, se debe indicar que en este trabajo de investigación el 63.64% (56) fueron fuentes primarias y el 36.36% (32) fuentes secundarias. El medio de

publicación utilizado fue, de revistas un 37.5% (33), tesis en un 26.14% (23), referencias de libros un 4.55% (4), blogs de internet un 21.59% (19) mientras que otros tipos de literatura en un 10.23% (9). El análisis de la antigüedad de estas referencias bibliográficas indica que la mayoría de las fuentes consultadas tienen una antigüedad menor a 5 años 96.6% (85), mientras que solo el 3.4% (3) fueron inferiores al año 2019, pero se incluyen en este trabajo por la relevancia que aún aportan al tema en investigación.

4.2. Cuestionario

En un único cuestionario se incluyó el instrumento de la encuesta que permitió capturar la percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual en Costa Rica, y la sección de la evaluación de heurísticas para obtener los datos del experimento de laboratorio sobre la experiencia de usuario que brindan los simuladores de realidad virtual de aviación. Adicionalmente se le agregó una sección de demografía para poder establecer un marco de referencia de las cualidades de los participantes. El cuestionario fue aplicado a 10 participantes (las respuestas completas se pueden encontrar en el Anexo 4).

4.2.1. Datos demográficos

El 100% (10) de los encuestados son de género masculino entre edades de los 23 a los 48 años, con una media de 29,6 años. Además, el 60% (6) reportaron ser estudiantes de aviación, un 20% (2) pilotos privados, otro 20% (2) usuarios de realidad virtual, y tan solo el 10% (1) menciona haber usado este tipo de tecnología por al menos un año, los demás mencionaron haberla usado por menos de un año.

4.2.2. Encuesta de percepción de estado de este tipo de tecnología

El 50% (5) mencionó que ha usado simuladores de realidad virtual previamente, y de ellos un 85,7% lo utiliza rara vez mientras que un 14,3% mencionó usarlo mensualmente.

Por otra parte, en su mayoría ha sido utilizada para entretenimiento con un 75%, un 50% con simulaciones educativos y un 25% para formación laboral.

Los participantes se mostraron muy satisfechos con su experiencia en este tipo de simuladores, para un 90% (9) muy de acuerdo y un 10% (1) estando de acuerdo.

Los encuestados consideran en un 80% (8) estar muy de acuerdo con que la realidad virtual en simuladores de vuelo tiene un impacto positivo en la educación y el entrenamiento de profesionales en aviación en Costa Rica.

Además, como se muestra en el gráfico 1, un 60% (6) está muy de acuerdo en invertir en un simulador de realidad virtual para uso personal y un 30% (3) solo de acuerdo. Y esto se ve reflejado ya que un 100% (80% (8) muy de acuerdo y 20% (2) de acuerdo) concuerda en que este tipo de herramienta ayuda a los estudiantes de aviación a mejorar sus habilidades de vuelo.

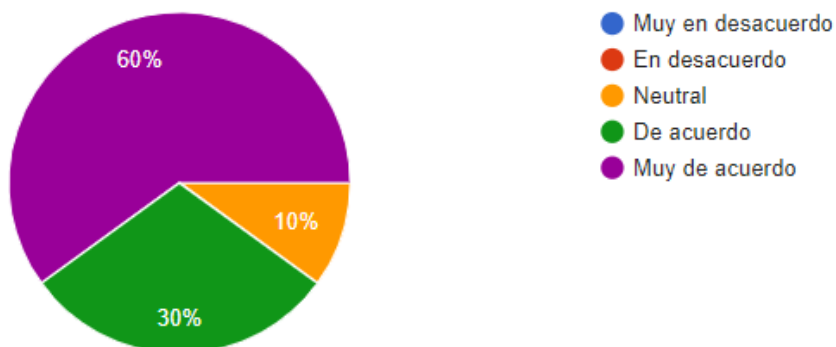


Gráfico 1. Anuencia para invertir en un simulador de aviación de RV para uso personal.

Aunque hay una tendencia muy positiva hacia este tipo de tecnología lo cierto es que el 90% (9) opina que una de las mayores limitaciones es su alto costo. Un 50% (5) opina que además hay cierto grado de desconocimiento y un 20% (2) menciona que existen limitaciones en infraestructura para ser usadas en Costa Rica, a como se muestra en el gráfico 2.

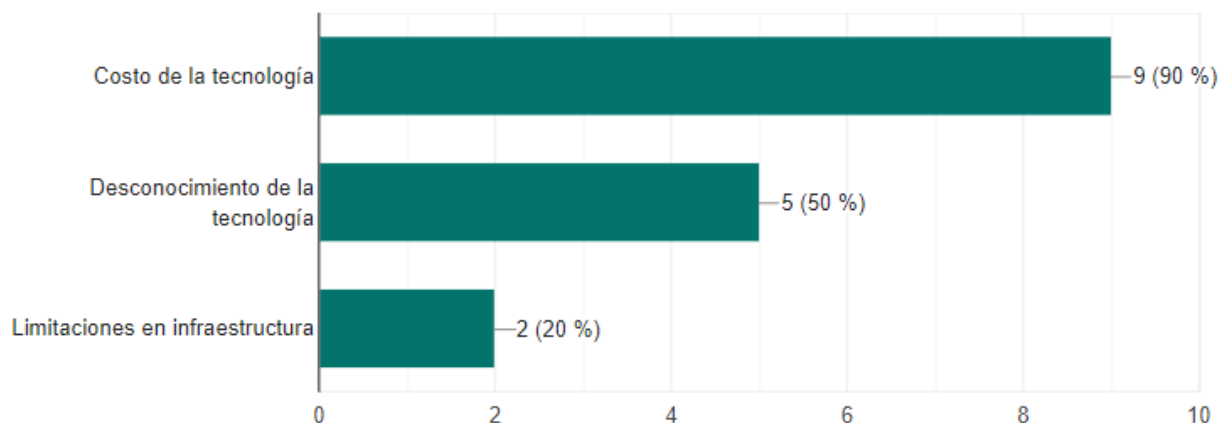


Gráfico 2. Percepción de limitaciones actuales del uso de la RV en Costa Rica.

Finalmente, de manera abierta, se recolectaron sugerencias y recomendaciones que podría ayudar a mejorar e incursionar el uso de simuladores de aviación con realidad virtual en el país. Entre ellas se menciona:

- Hacer que sean más populares y ofrecerlos más al mercado
- Es una tecnología que sería de gran ayuda su aplicación, claro sería necesario que las personas tengan conocimiento sobre esta, y sacarle el mayor provecho a la tecnología.
- Costo más accesible, tiempo, plan piloto para probarlo en escuelas.
- Tratar de implementar listas de chequeo reales al juego.
- Que sean más accesibles y tengan soporte en español.
- Ofrecer sesiones demostrativas en las escuelas de aviación o a aquellos que tienen interés en este campo para que conozcan de la tecnología y tengan una experiencia con ella.

4.2.3. Evaluación de experiencia de usuario

Los detalles de los resultados obtenidos se encuentran en el capítulo 5.

4.3. Artículo Científico

Luego de finalizar este trabajo final de graduación, toda la información se sintetizó en un artículo científico. El artículo está redactado en Inglés siguiendo los lineamientos encontrados en el capítulo 8: “*Writing and Publishing a Research Paper*” de (Mackenzie, 2013).

Al seguir este capítulo como guía, el artículo quedó estructurado de la siguiente manera:

1. El **título** de la investigación que identifica el área temática del trabajo y, al mismo tiempo, delimita el alcance de este.
2. Un **resumen** de lo que será presentado, este es corto y conciso, lo cual le da al lector una noción de si es relevante y si vale la pena leerlo.
3. **Palabras claves** para identificar el tema y el alcance del trabajo. Además, brinda una referencia rápida del contenido, facilitando la búsqueda de literatura relacionada, así como las búsquedas del trabajo en otras fuentes.
4. Una **introducción** que da al lector el contexto de la investigación, el estado del arte y el problema a resolver.
5. El **Método**, que le muestra al lector cómo se diseñó y se llevó a cabo el experimento de manera clara y predecible. Incluye los participantes, instrumentos, procedimiento y diseño.
6. Los **resultados y discusión** obtenidos luego de aplicar el método. Además de una comparación con otros estudios similares.
7. Las **conclusiones**, la cual resume lo que se hizo, hallazgos importantes, identificación de temas para ser investigados. Y un reconocimiento a las personas que ayudaron a llevar a cabo este trabajo final de graduación.
8. Las **referencias** de solo las fuentes citadas en este artículo, y con el formato establecido esta guía.

El formato y presentación de este artículo también está basado en este mismo capítulo 8 de (Mackenzie, 2013). De aquí se tomó la forma de citar y referenciar fuentes, las ayudas visuales como gráficos, tablas y figuras, y la escritura eficaz y sencilla.

El artículo completo se encuentra en la sección de Anexos C.

CAPÍTULO V. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se detalla la solución al problema planteado, que, en cuyo caso sería la recopilación de experiencias de usuarios de realidad virtual en simuladores de aviación y su respectivo análisis.

5.1. Resumen de experiencia de Usuario.

En la tabla 1 se puede encontrar un resumen obtenido de aplicar el cuestionario de evaluación de heurísticas a los 10 evaluadores por cada una de las 10 heurísticas de Nielsen y considerando la escala de Likert.

Para mostrar los resultados de las tablas 1 y 2 se realizó una media de los resultados de las preguntas por cada heurística.

Heurística	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Muy de acuerdo
Visibilidad del estado del sistema	0%	0%	0%	20%	80%
Concordancia entre el sistema y el mundo real	0%	0%	5%	30%	65%
Control y libertad del usuario	0%	0%	13%	37%	50%
Consistencia y estándares	0%	0%	0%	37%	63%
Prevención de errores	0%	0%	7%	23%	70%
Reconocimiento en lugar de recuerdo	0%	3%	17%	40%	40%
Flexibilidad y eficiencia de uso	0%	13%	13%	27%	47%
Estética y diseño minimalista	0%	0%	3%	40%	57%
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	0%	0%	13%	33%	53%
Ayuda y documentación	0%	0%	5%	25%	70%

Tabla 1. Promedio de percepción de evaluadores por heurística.

En la tabla 2 se observa el mismo resumen, pero para el tipo de usuario Piloto. La razón de incluir solamente este detalle es debido que este perfil mostró mayor variabilidad respecto a los otros usuarios.

Heurística	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Muy de acuerdo
Visibilidad del estado del sistema	0%	0%	0%	0%	100%
Concordancia entre el sistema y el mundo real	0%	0%	0%	13%	88%
Control y libertad del usuario	0%	0%	0%	33%	67%
Consistencia y estándares	0%	0%	0%	17%	83%
Prevención de errores	0%	0%	33%	0%	67%
Reconocimiento en lugar de recuerdo	0%	0%	50%	33%	17%
Flexibilidad y eficiencia de uso	0%	50%	17%	33%	0%
Estética y diseño minimalista	0%	0%	17%	50%	33%
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	0%	0%	17%	33%	50%
Ayuda y documentación	0%	0%	0%	25%	75%

Tabla 2. Promedio de percepción de evaluadores por heurística por tipo de perfil de Piloto.

1. Visibilidad del estado del sistema: Los evaluadores indicaron estar muy de acuerdo con un 80% (8) y solo 20% (2) de acuerdo respecto a que la visibilidad del estado del simulador es claro y entendible tanto visualmente como auditivamente, tal y como se muestra en la tabla 1. Estos resultados son congruentes con estudios previos, por ejemplo, en el estudio de (McCoy-Fisher et al., 2019) menciona que el simulador empleado en ese estudio recibió comentarios positivos en términos de realismo de la cabina y el entorno virtual.

- 2. Concordancia entre el sistema y el mundo real:** En la Tabla 1 se aprecia que el simulador muestra una concordancia con el mundo real. Un 65% de los participantes indicaron estar muy de acuerdo y un 30% solo estar de acuerdo. Los resultados recolectados para esta heurística concuerdan con el estudio de (McCoy-Fisher et al., 2019) donde indica que la aviónica generalmente era precisa. Además, en el estudio de (Lawrynczyk, 2018), menciona que los participantes calificaron la escena visual en el simulador de realidad virtual en términos de su nitidez y realismo.

- 3. Control y libertad del usuario:** Los participantes mostraron en un 50% estar muy de acuerdo y un 37% solo de acuerdo ante esta premisa. Esto contrasta con otro estudio donde a pesar que ninguno de ambos estudios brindaba seguimiento de la mano, los participantes del estudio de McCoy-Fisher et al. (2019) mencionaron tener dificultades con los controles que perjudicaron realizar ciertas funciones dentro de la cabina.

- 4. Consistencia y estándares:** Los resultados obtenidos para esta sección fue muy positiva. Un 63% estando muy de acuerdo y el restante 37% estando solamente de acuerdo. Estos resultados concuerdan con uno de los estudios recopilados por Ross & Gilbery (2023), donde mencionan que los entornos de VR con alta fidelidad representativa brindan una mayor conciencia de la situación, lo que sugiere que el diseño vívido facilita la continuidad en la presencia al mejorar el realismo y la credibilidad de la experiencia.

- 5. Prevención de errores:** De igual manera, como se muestra en la tabla 1, los participantes indicaron en un 70% estar muy de acuerdo y un 23% de acuerdo con que el simulador ayuda a la prevención de errores.

- 6. Reconocimiento en lugar de recuerdo:** Aunque un 80% opinó de manera positiva sobre esta premisa, cabe recalcar que un 17% se mantuvo neutral. Es destacable que la percepción fue positiva a pesar que igual al estudio de Lawrynczyk (2018), donde

los participantes tuvieron que alcanzar los controladores de vuelo a ciegas, dado que las gafas de RV tenía limitantes de seguimiento de las manos.

7. Flexibilidad y eficiencia de uso: Aunque se observa en la Tabla 1 que un 74% sostiene estar de acuerdo ante esta premisa, es de interés mostrar que un 50% de los pilotos privados en este estudio opinó estar en desacuerdo con la flexibilidad y eficiencia de uso que ofrece el simulador, siendo esta heurística con la menor valoración obtenida como se muestra en la Tabla 2. Esto pudo deberse dado que este perfil de evaluador tiene mayor tiempo y experiencia en contacto con aeronaves, pueden que notaron ciertos detalles y que podrían esperar mayores exigencias en cuanto a configuración y ubicación de los controles e instrumentos para una mayor eficiencia de uso. Otro punto pudo deberse a las limitaciones de tiempo, dado que esta recopilación de experiencias de usuario solo se enfocó en un único modelo de avión y no se configuró para otras aeronaves. Por ejemplo, Cross et al. (2021) menciona que, mientras que un entorno virtual se puede reconfigurar fácilmente para representar una variedad de aeronaves diferentes simplemente cambiando la base de datos del modelo de cabina y la mecánica de vuelo adjunta. Adicionalmente todo el sistema se puede montar sobre una base móvil para aumentar el nivel de inmersión.

8. Estética y diseño minimalista: Los evaluadores concordaron que el simulador cumple con estética y diseño minimalista en un 97% como indica la Tabla 1. Estos resultados concuerda con uno de los resultados del estudio de Cross et al. (2021), donde menciona que respecto a la usabilidad, los estudiantes generalmente consideraron que la realidad virtual era simple y relativamente fácil de configurar y poner en marcha sin necesidad de mucha orientación.

9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores: En la Tabla 1 se observa que los participantes indicaron en un 53% estar muy de acuerdo y un 33% estar solo de acuerdo ante esta heurística. Estos resultados obtenidos en esta heurística concuerdan con lo reportado en el estudio de McCoy-Fisher et al. (2019), donde indica que debido a la cabina realista y al entorno virtual, los estudiantes

informaron que el dispositivo fue útil para construir una imagen visual, prepararse para eventos futuros y realizar tareas de remediación.

10. Ayuda y documentación: Un 70% indicó estar muy de acuerdo respecto a la ayuda y documentación que ofrece el simulador como se aprecia en la tabla 1.

5.2. Análisis Chi Cuadrado por tipo de usuario

Después de hacer análisis de los resultados obtenidos de las heurísticas, se le aplicó una prueba de estadística descriptiva Chi Cuadrado a cada heurística como muestra la tabla 3.

La prueba Chi Cuadrado de independencia fue aplicado para examinar la relación entre los diferentes tipos de evaluadores (Piloto privado, Estudiante de Aviación y Usuario de RV) con cada Heurística. Como el p valor para cada una dio mayor a la significancia .05 se infiere que el resultado obtenido por cada heurística es independiente al tipo de evaluador.

Heurística	p valor
Visibilidad del estado del sistema	0.990
Concordancia entre el sistema y el mundo real	0.997
Control y libertad del usuario	0.997
Consistencia y estándares	0.964
Prevención de errores	0.863
Reconocimiento en lugar de recuerdo	0.868
Flexibilidad y eficiencia de uso	0.747
Estética y diseño minimalista	0.987
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	0.999
Ayuda y documentación	0.906

Tabla 3. p valor de Chi Cuadrado por heurística.

CAPÍTULO VI. ANÁLISIS FINANCIERO

En este apartado se mostrará el análisis financiero requerido para la recolección de información de esta investigación, partiendo del hecho de que hubo que invertir en todo el equipo físico, software, traslado hasta cada uno de los participantes y el tiempo requerido.

6.1. Costos iniciales

Los costos desplegados a continuación se tomaron de los sitios oficiales de cada proveedor, o bien, si el proveedor no contaba con un sitio web de venta del artículo, se apoyó en los precios que mostraba Amazon a la fecha de noviembre del 2024. En las tablas 4 y 5 se muestran el costo de cada componente de Software y hardware respectivamente que se necesitó para la ejecución del experimento de laboratorio.

6.1.1. Software

Aplicación	Costo
Microsoft Flight Simulator: 40th Anniversary Deluxe Edition	\$89.99
SteamVR 2.7.4	\$0
Meta Horizon 279.0	\$0

Tabla 4. Costo del software del simulador MSFS 2020.

6.1.2 Hardware

Artículo	Costo
Laptop XpG Xenia	\$1912
Meta Quest 3 512GB	\$499.99
Honeycomb Alpha Flight Yoke	\$299.99
Honeycomb Bravo Throttle Quadrant	\$299.99
Ch Products ProPedals	\$256.70
Silla plegable Next Level Racing	\$299.99

Tabla 5. Costo de cada componente físico empleado en la investigación.

6.2. Costos operativos

Incluso, hubo que realizar muchas pruebas en el simulador para buscar cual eran los escenarios óptimos y las tareas adecuadas para poder evaluar las 30 heurísticas. Además de configurarlo en condiciones óptimas de clima, hora del día y configurar los controles del cuadrante de dirección (yugo) y el cuadrante de aceleración para que fuera minimalista y lo mayor apegado a la aeronave en cuestión. Adicionalmente, se seleccionó la aeronave que mostrara una configuración simplista y que todos los instrumentos de navegación estuviesen siempre visibles. En este caso se optó por la aeronave Cessna 172 Skyhawk.

Aunado a esto, se invirtió tiempo en configurar todos los componentes físicos en la silla plegable para que fuera lo más ergonómico y realista a la cabina del avión para que el evaluador no percibiera estar fuera de lugar. Incluso se destinó tiempo en la configuración de las gafas de realidad virtual para que se conectara de manera cableada con el software del simulador requirió de tiempo para configurarla. Se investigó cuales eran los valores óptimos para que la transmisión de datos fuera la ideal. Realizar todo este trabajo previo se necesitaron un aproximado de 20 horas.

Durante la puesta en marcha de la prueba para los 10 evaluadores se estimó un aproximado de 15 minutos ensamblando los componentes, 20 minutos explicando las tareas que se debían realizar, 15 minutos familiarizándose con el simulador, aproximadamente 40 minutos en realizar las 4 tareas asignadas, y otros 15 minutos desarmando el simulador. Todo esto para un subtotal de 1.75 horas por cada evaluador y 17.5 horas en totalidad.

Se tomó como referencia el salario 2024 mínimo reportado por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, donde a un profesional de grado académico Bachiller gana ₡638.299,51; siendo el equivalente a \$7.98 por hora a precio de 500 colones por hora y una jornada de 40 horas semanales. Atribuyendo ese monto al costo del investigador, y

aclarado que el investigador requirió de 37.5 horas, por consiguiente, en total se invirtió \$299.25 en configuración y aplicación de las pruebas.

Cabe recalcar que cada evaluador no estaba físicamente en la misma locación uno del otro, incluso hubo que desplazarse hasta lugares como Puntarenas, Upala, Guatuso, Naranjo, Alajuela y San José. Por cada uno de los desplazamientos se estima una duración media de 4 horas. Además, los viáticos necesitados en alimentación y combustible se tiene un costo total aproximado de \$300.

6.3. Resumen total de costos

En la tabla 6 se muestra el total de costos que requirió realizar esta investigación desglosado por los componentes requeridos de hardware, software, horas del investigador y los viáticos.

Descripción	Costo
Software	\$89.99
Hardware	\$3,658.65
Costo investigador	\$299.25
Viáticos	\$300
TOTAL	\$4,347.89

Tabla 6. Costo total invertido en la investigación.

6.4. Beneficios

En los incisos anteriores se detalló todos los costos requeridos para realizar esta investigación, lo cual es beneficioso para ser un referente si algún profesional decide realizar alguna investigación en un tema similar a este. Además de este beneficio, a continuación se enlistan algunos otros beneficios que podría ser de particular interés para posibles inversionistas, postulantes o estudiantes de aviación:

1. Otro investigador que considere realizar una investigación similar tendrá noción de los gastos incurridos.
2. Cobrar por derechos de autor como dueño del modelo que combina la tecnología de RV con el software del simulador y los diferentes periféricos.
3. Crear un laboratorio que certifique usuarios que hayan tomado una cierta cantidad de horas o hayan completado un plan.
4. Tanto estudiante y escuelas de aviación de Costa Rica el modelo completo que incluye todos los componentes físicos configurado al software de elección de la escuela.
 - a. Ayuda como apoyo a la teoría.
 - b. Hace que las horas con el avión sean más efectivas mediante la práctica maniobras específicas y comunicación con la torre de control.
 - c. Ayuda al futuro a confirmar si realmente quiere invertir para ser un piloto.
 - d. Las escuelas podrían cobrar por su uso, (incluso que hay escuelas de aviación en CR que lo hacen, pero sin el componente de RV).
5. Beneficios para empresas proveedores de hardware y software, a saber:
 - a. Microsoft con la venta del simulador.
 - b. Facebook con la venta del Meta Quest.
 - c. Honey Comb con la venta de los controladores de superficie.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Para la culminación de este trabajo, se exploró literatura de referentes teóricos para darle sustento al trabajo, además se basó en otros estudios similares para comparar y contrarrestar los resultados obtenidos de esta recopilación de experiencia de usuarios de simulador realidad virtual en aviación. A continuación, se detalla las conclusiones más relevantes encontradas.

1. Realizar la recopilación y revisión de literatura da sustento a la investigación que está por realizarse. Por ello es esencial indagar en una gran cantidad de fuentes confiables, y descartar las fuentes que no aportan valor al trabajo.
2. Por otra parte, diseñar un experimento de laboratorio para recolectar la información establecida en los objetivos requiere la combinación de muchos factores, entre ellos una base sólida de referentes teóricos, una clara metodología a emplear. La creación de los instrumentos a emplear. Y como en este caso se necesitaba de equipo físico como de un software, se necesitó validar que este estuviera configurado de acorde a lo que se pretendía medir.
3. Para la recolección de la experiencia de usuario se necesitó tener el diseño del experimento listo, para ello se creó un cuestionario con las 10 heurísticas de Nielsen junto con la escala de Likert, se empleó tecnologías de inteligencia artificial y se debda depuración y validación con otros cuestionarios de estudios similares. Una vez validados se desplazó hasta donde cada participante para que realizaran las tareas en el simulador, y en seguida se le aplicó la encuesta junto al cuestionario.
4. Además, el análisis con el alfa de Cronbach ayudó a determinar la validez del cuestionario, y la aplicación de un chi cuadrado a cada heurística ayudó a comprobar que no había correlación entre la percepción de cada heurística con ningún tipo de evaluador.
5. Finalmente, la creación del artículo científico consistió en sintetizar los aspectos más relevantes obtenidos en este trabajo.

7.2. Recomendaciones

En esta sección se detallan las recomendaciones finales después de aplicar todas las técnicas previstas y detalles encontrados durante la realización de este trabajo, como se enlista a continuación.

1. Para investigaciones similares se recomienda aplicar pruebas de análisis de datos para encontrar validez de instrumento como fue el caso de esta investigación con el alfa de Cronbach o el Chi Cuadrado para correlación de variables. Aunque existen muchas otras más con propósitos diferentes.
2. En la heurística de flexibilidad, como se muestra en el Capítulo V, se vio mayormente con una puntuación negativa para el perfil de Piloto, lo cual da cabida a proponer una recomendación a los fabricantes de este tipo de Software para incluir pilotos profesionales en cada una de las etapas de usabilidad y experiencia de usuario, donde su larga experiencia a estar expuesto en aeronaves reales le puede brindar una retroalimentación más fiel a lo que un usuario esperaría de un simulador de Aviación.

7.3. Limitaciones

La realización de este trabajo se enfrentó a varias limitaciones, que además se le encontró una solución a como se menciona a continuación.

1. Por cuestiones de tiempo este trabajo involucró un poco cantidad de participantes, pero para cumplir los criterios de una investigación de esta índole. Sin embargo, se logró cumplir con el tamaño de la muestra adecuado para una evaluación de heurísticas como lo indica Nielsen, y que además se estipuló en el Capítulo III.
2. Por el mismo factor tiempo y recursos se necesitó hacer esta mezcla de participantes (Usuarios de RV, Pilotos y Estudiantes de Aviación), donde con mayor tiempo se hubiera podido incluir más pilotos e incluso instructores de aviación. También se hubiese podido realizar un set mayor de tareas para abarcar más las capacidades y funcionalidades del simulador, e incluso explorar otro

software de simuladores de RV para obtener una experiencia de usuario más robusta.

3. Una limitante que presentaba el equipo era que esta versión del software del simulador era incompatible con el seguimiento de las manos, por lo cual al inicio los participantes tuvieron que familiarizarse con llegar a los controles como el del acelerador, flaps y yugo físico sin poder ver las manos en el dispositivo de RV. Esto es algo que también se encontró en otros estudios, pero en ninguno perjudicó la realización de las tareas establecidas ni la experiencia de usuario. Se espera que conforme la tecnología avanza, se vayan resolviendo estos detalles para versiones futuras.
4. Otra limitación debido a temas de tiempo y alcance del trabajo se dejó de lado las implicaciones negativas o efectos secundarios que pudo generar el uso prolongado de las gafas de RV en este estudio. Por ejemplo, se pudo capturar la experiencia del usuario en cuestión de mareo, o desorientación, cansancio visual. Además, también por el enfoque de la maestría se evitó indagar en temas del beneficio real que podría presentar este tipo de herramientas para el entrenamiento de pilotos trasladando el conocimiento adquirido en el simulador a experiencia de vuelo real. Ambos temas podrían ser de interés para explorar en futuros trabajos de investigación.

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS RETROSPECTIVO

En este último capítulo se encuentra el análisis de lo que significó para mí la realización de este trabajo final de graduación y las percepciones que puedo expresar a lo largo del mismo.

El llevar a cabo un trabajo final de graduación representó un gran compromiso y mucha determinación. Además, de la puesta en práctica de las habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de la maestría.

Para la culminación de este trabajo, se exploró literatura de referentes teóricos para darle sustento al trabajo, además se basó en otros estudios similares para comparar y contrarrestar los resultados obtenidos de esta recopilación de experiencia de usuarios de simulador realidad virtual en aviación. Esta recopilación y revisión de literatura fue una tarea compleja, más que había una ventana de tiempo limitada y mucha literatura disponible que se descartaba ya que no aportaba valor a la investigación.

Por otra parte, diseñar un experimento de laboratorio acorde a lo establecido no fue tarea fácil. En primera instancia se necesitó costear el equipo físico y el software de simulación. Investigar como acoplarlos de manera óptima para obtener el mayor rendimiento. Esto requirió de muchas horas invertidas, validaciones, pilotaje con datos de pruebas para verificar su validez y simplicidad. Además, como investigador necesité empaparme de conocimientos teóricos y prácticos de aviación y asesorarme con un profesional para poder diseñar las tareas de la manera más oportuna, y que éstas fueran óptimas para las heurísticas de experiencia de usuario y percepción del estado de la situación del uso de simuladores de realidad virtual.

Para la etapa de recolección de experiencias de usuarios se contactó a los evaluadores para establecer la ventana de tiempo para la puesta en marcha. Esta última etapa fue la más complicada, dado que se requirió ir hasta el lugar de habitación de cada evaluador, lo cual incurrió en bastante tiempo y recurso. Esto debido a que no todos vivían en lugares cercanos, ni tampoco tenían disponibilidad similar. Estos participantes se encontraron ubicados en provincias tales como Alajuela, Heredia, San José y Puntarenas.

A sí mismo, la creación del artículo científico resultó en un reto, ya que consistió en sintetizar los aspectos más relevantes obtenidos en este trabajo. Fue una ardua tarea que requirió poner en práctica muchos conocimientos para poder decir lo principal en un texto corto, simple y entendible.

Sin duda, la culminación de este trabajo fue un reto, ya que necesitó de poner juntos la totalidad de cada uno de estos puntos mencionados, y esto sumado al tener que administrar el tiempo, recursos, acomodar ideas, descartar ideas que podrían parecer buenas pero que no se alejaban de los objetivos, y demás aspectos que surgieron durante el camino. Pero de algo estoy seguro, y es que sin la guía del profesor tutor, el resultado es este trabajo no hubiese sido el mismo. Su enseñanza y asesoramiento fue fundamental.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, R., Fuentes, H., & Lopez-Soto, P. (2021, septiembre 20). *Consideraciones sobre las ventajas y desventajas de una revisión sistemática en menos de 500 palabras*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112021000400876
- Alcívar, A., Bastidas, D., Toctaguano, S., & Mora, A. (2023). *Interacción Humano-Computador en el Metaverso Educativo*. <https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/487/645>
- Alvarez, A. (2024, junio 17). *Evolución de los Juegos Interactivos: De los Tableros a la Realidad Virtual* [Post]. <https://www.creaxid.com.mx/blog/evolucion-de-los-juegos-interactivos-de-los-tableros-a-la-realidad-virtual/>
- Anacona, Millán, E., & Gómez, C. (2019, junio). Aplicación de los metaversos y la realidad virtual en la enseñanza. *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, no. 25, pp. 59-67. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-83672019000100059&script=sci_arttext
- Apple. (2023, junio 5). Presentamos Apple Vision Pro: La primera computadora espacial de Apple. *Newsroom*. <https://www.apple.com/la/newsroom/2023/06/introducing-apple-vision-pro>
- Balcameda, I., Salgado, C., Peralta, M., Sanchez, A., Fernandez, M., Magaquian, J., & Fuentes, N. (2019). *Experiencia de Usuario en Plataforma virtual de Aprendizaje*. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77104/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baquero, L., & León, C. (2022). *Integración e implementación de realidad virtual para un Simulador de entrenamiento de vuelo de uso libre* [Fundación Universitaria los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/60d8f807-7549-470a-a8d2-c87531f54831/content>
- Barbera, V. (2022). *Estudio de Lenguaje Audiovisual en los Filmes de Realidad Virtual: Videos de 360° Narrativos de Ficción*. Universidad Rey Juan Carlos.
- Bonales, M. (2022, noviembre 13). Evaluación de la Usabilidad. *Universitat Oberta de Catalunya*. <https://221-m4-353-01.folio.uoc.edu/2022/11/13/evaluacion-heuristica-2/>

- Bonilla, D., & Fajardo, H. (2020). *El cine sin encuadre: Propuesta de Escala de Implicación Narrativa en Realidad Virtual*.
- Borja, L., Borja, L., León, J., & Bustamante, C. (2024, mayo 26). *Aplicación de realidad virtual para simulaciones educativas en estudiantes de tercer nivel*. <https://www.revistainvecom.org/index.php/invecom/article/view/3278/483>
- Britannica. (2024). *Augmented reality*. <https://www.britannica.com/technology/augmented-reality>
- Cabrera, R. (2020). *Rumbos atrevidos, pero necesarios: Conversaciones entre innovación, arte y creatividad*. GKA Ediciones.
- Canto de Gante, Á., Sosa, W., Bautista, J., Escobar, J., & Santillán, A. (2020). *Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social*. 12. https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Fernandez-45/publication/361533522_Escala_de_Likert_Una_alternativa_para_elaborar_e_interpretar_un_instrumento_de_percepcion_social/links/62b736d0d49f803365b96810/Escala-de-Likert-Una-alternativa-para-elaborar-e-interpretar-un-instrumento-de-percepcion-social.pdf
- Castillo, G. (2020). *Métodos de Evaluación de la Usabilidad en Aplicaciones Móviles* [Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6785/Castillo%20Aguirre%20Gladys.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cevallos, G. (2015). *Manual de Redacción Científica, el Artículo Científico*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2015/1499/index.htm>
- Cevallos, G., Jácome, L., Alcívar, A., Sánchez, D., Arias, M., Teopanta, V., García, E., Valladares, C., Baque, T., Barba, K., Estrella, D., Cerna, M., Cpardeñas, J., Yáñez, J., & Baldeón, P. (2023). *Mi primer semillero de Investigación, los avances de la sociedad 5.0: Retos y prospectiva*. <https://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/154>
- Coll, F. (2021, marzo 1). Fuente secundaria. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/fuente-secundaria.html>
- Coll, F. (2024, marzo 1). Fuente primaria. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/fuente-primaria.html>

- Córdova, J. (2021, marzo). *La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional*. 19. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-65862021000100223&script=sci_arttext
- Cross, J., Boag-Hodgson, C., Ryley, T., Mavin, T., & Potter, L. (2021). Using Extended Reality in Flight Simulators: A Literature Review. *IEEE Transactions*.
- da Silva, D. (2022, junio 7). *¿Cómo se elabora una encuesta de satisfacción? El paso a paso que no conocías*. <https://www.zendesk.com.mx/blog/como-elabora-encuesta/>
- Dalangin, M. (2021, noviembre 15). Applying UX in VR (Virtual Reality). *UserPeek*. <https://userpeek.com/blog/applying-ux-in-vr-virtual-reality/>
- DATATab. (2024). *Prueba Chi-cuadrado*. <https://datatab.es/tutorial/chi-square-test>
- DGAC. (2019, marzo). *Uso de dispositivos de simulación de vuelo para entrenamiento de pilotos por parte de operadores y/u organizaciones de formación aprobadas*. https://www.dgac.go.cr/wp-content/uploads/2019/03/CA03_19-OPS-USO-DISPOSITIVOS-SIMULACION.pdf
- Díaz, J., González, E., Pérez, J., Medina, R., & Rangel, A. (2021, agosto). *Complemento al simulador de vuelo del helicóptero Bell 206, para las prácticas en la formación de pilotos de la ESAVI*. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq* vol.17 núm.34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372020000200113&script=sci_arttext
- Ding, X., & Li, Z. (2022, noviembre 17). *A review of the application of virtual reality technology in higher education based on Web of Science literature data as an example*. *Volume* 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2022.1048816/full>
- Dymora, P., Kowal, B., Mazurek, M., & Śliwa, R. (2021). *The effects of Virtual Reality technology application in the aircraft pilot training process* [Rzeszów University of Technology]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1024/1/012099/pdf>
- Erazo, J., & Sulbarán, P. (2022, mayo 24). *Metaverso: Más allá de la realidad inmersiva*. <https://convite.cenditel.gob.ve/publicaciones/revistaclic/article/view/1132/57>
- Faster Capital. (2024, abril 13). *Tecnología de simulación de vuelo Aprovechando la tecnología de simulación de vuelo para el éxito empresarial*. <https://fastercapital.com/es/contenido/Tecnologia-de-simulacion-de-vuelo->

Aprovechando-la-tecnologia-de-simulacion-de-vuelo-para-el-exito-empresarial.html

- Felgueres, A., Padilla, M., Correa, M., Correa, C., García, L., & Barroso, J. (2022, marzo 9). *Papel de los videojuegos en la adquisición de destrezas en histerectomía total laparoscópica en simulador de realidad virtual*. <https://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2022/bc222c.pdf>
- Figueroa, T. (2020). *Impacto de la realidad virtual aplicada al rubro inmobiliario*. Universidad de Belgramo.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2024, febrero 28). *Simuladores de realidad virtual aumentada llegan para entrenar a los pilotos militares de su Fuerza Aeroespacial Colombiana*. <https://www.fac.mil.co/es/noticias/simuladores-de-realidad-virtual-aumentada-llegan-para-entrenar-los-pilotos-militares-de-su>
- Gaitán, A. (2020). *Aplicación de la RV (Realidad Virtual) como un Recurso Educativo en el Aula de Clases*. Universidad Técnica de Pereira.
- Garavito, J. (2023). *Control y Automatización de una Plataforma para Simulación de Vuelo* [Universidad de Los Andes]. https://drive.google.com/file/d/11cb_t1wd_Tr3Bm3nxs3wGPSPKscOcRPw/view
- Gil, I. (2021, marzo 6). "Link" o "Blue Box", el primer simulador de vuelo. *Transponder 1200*. <https://www.transponder1200.com/link-o-blue-box-el-primer-simulador-de-vuelo/>
- González, A., & Sosa, M. (2021). *Aspectos pedagógicos, tecnológicos y de interacción social del aprendizaje móvil: Revisión Sistemática de Literatura*. <https://revistas.um.es/educatio/article/view/469271/301911>
- González, S., & Mendoza, J. (2023). *Safety Driving: Plan de Negocios para crear una Escuela de choferes con Simuladores de Realidad Virtual* [UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA]. <https://repositorio.uarm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1f03255b-8409-4e1b-803e-90c8499eb11a/content>
- Haigh, T. (2022, febrero 1). *A new history of modern computing*. <https://cacm.acm.org/opinion/becoming-universal/>
- Herranz de la Casa, J., Caerlos, R., & Sidorenko, P. (2019). *La realidad virtual y el vídeo 360° en la comunicación empresarial e institucional*. *Revista de Comunicación*

vol.18 núm.2. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1684-09332019000200009&script=sci_arttext&tlng=pt

Imascono Art. (2024). Tendencias tecnológicas en los parques de atracciones: Realidad Virtual. *imascono.com*. <https://imascono.com/parques-atracciones-realidad-virtual/>

Jurado, M. (2020). *Festivales de cine especializados en realidad virtual en España*. *SpheraPublica*, 1(20),59-77. <https://sphera.ucam.edu/index.php/sphera-01/article/view/381/14141454>

Kortyak, Y., Bolohova, N., & Liashova, A. (2020, abril 23). *Analysis of the current status of additional reality technologies. 2020: COMPUTER AND INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES*.

Kubicki, J. (2023). *Narrativa audiovisual den el cine de realdiad virtual*. https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/18685/1/TFGUEX_2023_Kubicki_Sanchez.pdf

Laker, C. (2023). *The Pedagogical Effectiveness of Virtual Reality on Abinitio Flight Students*. Purdue University West Lafayette.

Lawrynczyk, A. (2018). *EXPLORING VIRTUAL REALITY FLIGHT TRAINING AS A VIABLE ALTERNATIVE TO TRADITIONAL SIMULATOR FLIGHT TRAINING*. CARLETON UNIVERSITY.

Lekea, I., Stamatelos, D., & Raptis, P. (2021). Learning how to escape the unthinkable with virtual reality: The case of pilots' training on emergency procedures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1024.

León, C. (2021). *Realidad Virtual y Aumentada en Odontología: Revisión de Literatura* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3dfc5225-dfa7-43a1-b937-fee9415f4464/content>

Machuca, F., Lepez, O., & Canova, C. (2024). *Influencia de la Realidad virtual y aumentada en la salud mental* [Universidad Autónoma de Chile, Santiago, Chile]. <https://gr.saludcyt.ar/index.php/gr/article/view/25/51>

Mackenzie, S. (2013). *Human-Computer Interaction*. Elsevier Inc.

- Maraggi, S. (2020, octubre). *Realidad virtual y realidad aumentada: Aplicación al entrenamiento en escenarios de alto riesgo*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115883>
- Marí-Altozano, M., & Sedeño, A. (2024, enero 29). *Immersive audiovisual art: Background and future lines*. <https://www.revistas-fonseca.com/index.php/2172-9077/article/view/643/616>
- Marotta, F., Addati, G., & Montes de Oca, J. (2020). *Simulaciones con realidad inmersiva, semi inmersiva y no inmersiva*. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/238365/1/740.pdf>
- Marotta, F., Montes de Oca, J., & Addati, G. (2020). *SIMULACIONES CON REALIDAD INMERSIVA, SEMI INMERSIVA Y NO INMERSIVA [UNIVERSIDAD DEL CEMA]*. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/238365/1/740.pdf>
- Marron, T., Dungan, N., Mac-Namee, B., & O'Hagan, A. (2024). Virtual Reality & Pilot Training: Existing Technologies, Challenges & Opportunities. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, Volume 33 Number 1*. <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1980&context=jaaer>
- Martínez, P., Vergara, J., Pino, J., & Ibañez, I. (2022). *Evaluación Heurística de Usabilidad en Plataforma Educativa [Universidad Veracruzana]*. <https://terc.mx/index.php/terc/article/view/232/215>
- McCoy-Fisher, C., Mishler, A., Bush, D., Severe-Valsaint, G., Natali, L. M., & Riner, B. (2019, septiembre 30). *Student Naval Aviation Extended Reality Device Capability Evaluation*. <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1103227.pdf>
- Merriam Webster. (2024). *Simulation*. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/simulation>
- Monterrubio, J., & Rosas, M. (2019). *Turismo virtual y experiencia turística: El caso de la zona de monumentos arqueológicos de Teotihuacán [Universidad Autónoma del Estado de México]*. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105039/Turismo%20virtual%20y%20experiencia%20tur%3%adstica.%20Tesis%20completa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Muñiz, J., & Rodas, Á. (2022). *Estudio de Viabilidad de la Aplicación de la Realidad Virtual y Aumentada al Mantenimiento Aeronáutico [UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA]*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185091/Muniz%20-%20Estudio%20de%20Viabilidad%20de%20la%20Aplicacion%20de%20la%20R>

alidad%20Virtual%20y%20Aumentada%20al%20Mantenimient....pdf?sequence=1&isAllowed=y

National Archives. (2024, junio 18). *Code of Federal Regulations: A point in time a CFR system*. Pub. L. 111-216, 124 Stat. 2348. <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-D/part-60>

Nazira, N., Shahrizal, M., & Yusra, A. (2020, febrero 11). *A Review of Gamification in Virtual Reality (VR) Sport*.

Neira-Trovar, L., Salisbury, E., & Flores, J. (2021, abril). *Realidad Virtual En La Enseñanza Técnica Médica, Un Panorama General*. [http://www.spentamexico.org/v16-n1/A15.16\(1\)1-17.pdf](http://www.spentamexico.org/v16-n1/A15.16(1)1-17.pdf)

Ortega, C. (2022, mayo 2). *Alfa de Cronbach: Qué es y cuál es su importancia*. <https://www.questionpro.com/blog/es/alfa-de-cronbach/>

Patti, E. (2019). *Realidad virtual para el recorrido del patrimonio arquitectónico de la calle Jaén* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/27804/T-3607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Qian, W., Mollis, A., & Kerawala, S. (2023, enero 24). *What is mixed reality?* <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>

Real Academia Española. (2023). *Realidad Virtual*. <https://dle.rae.es/realidad?m=form#CfxhrOR>

Repiso, R., Sidorenko, P., & McGowan, N. (2022, diciembre 1). La realidad virtual en bibliotecas: Estrategias de inclusión de una tecnología emergente. *Infor vol.27 no.2*. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-13782022000200030&script=sci_arttext

Riera, J. (2023). *Mejoras basadas en heurísticas para la percepción de estímulos de movimiento en simuladores de realidad virtual y realidad aumentada* [Universidad de Valencia]. <https://roderic.uv.es/rest/api/core/bitstreams/f1a5373a-151b-4d0b-ab98-623596521c6a/content>

Rodríguez, G., Jiménez, J., & Maris, S. (2021). *Videojuegos, gamificación y realidad virtual: De las consolas al aula y vuelta*. Universidad Nacional de Mar del Plata. <https://www.historiayvideojuegos.com/wp-content/uploads/2021/11/Videojuegos-gamificacion-y-realidad-virtual-de-las-consolas-al-aula-y-vuelta-1.pdf>

- Rodríguez, P. (2023). *Calidad, satisfacción y TIC como determinantes de la decisión de revisita en los parques temáticos en España* [Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/148286/2022-23-RODRIGUEZ_REYES_P%28161%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ross, G., & Gilbery, A. (2023, septiembre 11). Extended reality (xR) flight simulators as an adjunct to traditional flight training methods: A scoping review. *CEAS Aeronautical Journal*, Volume 14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-023-00688-5>
- Sabogal, L., & Rojas-Berrio, S. (2020, junio). *Evolución del marketing experiencial: Una aproximación teórica a su definición—Revisión Sistemática de Literatura*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032020000100094&script=sci_arttext
- Sanabria, M., & Guzman, F. (2021). *Desarrollo de un Prototipo de Realidad Mixta para el Protocolo de Despegue en el Simulador de Vuelo en Progreso* [Universidad de San Buenaventura]. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/173436.pdf>
- Sánchez, R., Novillo, M., Arigita, A., Costa, Ó., Barrientos, A., & Pericacho, F. (2019, marzo 31). Carencias y limitaciones que afectan al asentamiento de la realidad virtual como tecnología de referencia en la sociedad actual. *Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015*. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n10/19401011.html>
- Sandu, E. (2023, julio). La Realidad Virtual en la Aviación. *Blog, realidad virtual*. <https://metaverso.pro/blog/la-realidad-virtual-en-la-aviacion/>
- Segura, M., & Osorio, R. (2021, diciembre). *Usability in Accessible and Inclusive Multi-Scenario Immersive Virtual Reality Applications: Case Study*.
- Semeraro, F. (2023, marzo). *Realidad virtual: El futuro es presente*. <https://simzine.news/es/tech-en/realidad-virtual-el-futuro-es-presente/>
- Stanley, P., & Saskatchewan, R. (2023). *Sword Fighting in Virtual Reality: Where are we and how do we make it real* [University of Regina]. <https://instrepo-prod7.cc.uregina.ca/server/api/core/bitstreams/b5cac66d-55a6-42d4-873b-d0382a2eaebe/content>
- Tapia, C. (2020, febrero 28). *Tipologías de uso educativo de las Tecnologías de la Información y Comunicación: Una revisión sistemática de la literatura*. <https://www.edutec.es/revista/index.php/edutec-e/article/view/1489/735>

- Testa, G. (2023, diciembre 18). Immersive Learning: Exploring the World of Medical VR Training. *UbiSim*. <https://www.ubisimvr.com/blog/medical-vr-training>
- Trustmary. (2024, junio 26). *Encuestas Online. Ventajas y desventajas en 2022*. <https://trustmary.com/es/encuestas/ventajas-y-desventajas-de-la-encuesta-online/>
- Valle, A., Manrique, L., & Revilla, D. (2022). *La Investigación Descriptiva con Enfoque Cualitativo en Educación* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/184559/GU%20INVESTIGACION%20DESCRIPTIVA%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vargas, C., Alvia, M., Oviedo, R., & Genovesi, G. (2024, abril 23). *Metamorfosis educativa en la formación de enfermeras: La realidad virtual llegó para quedarse*. <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/243/429>
- Vega, M., Gaetan, G., & Martin, A. (2021). *Guías de experiencia de usuario para aplicaciones de turismo cultural basadas en realidad aumentada*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral.
- Véliz, A., Correa, O., & Kugurakova, V. (2021, junio 1). *Aprendizaje adaptativo basado en Simuladores de Realidad Virtual*. 15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2227-18992021000200138&script=sci_arttext
- Vinney, C. (2023, junio 20). UX Design for VR (Virtual Reality): Creating Immersive User Experiences. *UX Design Institute*. <https://www.uxdesigninstitute.com/blog/ux-for-vr/>
- Wong, E. (2024, febrero 21). *Heuristic Evaluation: How to Conduct a Heuristic Evaluation*. <https://www.interaction-design.org/literature/article/heuristic-evaluation-how-to-conduct-a-heuristic-evaluation>
- Zaldívar, R. (2021). *Algunas consideraciones sobre la redacción del artículo científico* [Universidad de Ciencias Informáticas]. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-30422021000100037&script=sci_arttext&tlng=en#B12

Anexos

Anexo 1: Encuesta de percepción de estado de los simuladores de realidad virtual

SECCIÓN 1: Demografía

Estimado participante, en esta sección recolectaremos datos relacionados con las características de los participantes. Le rogamos nos brinde esta información que solamente tiene el propósito de "perflar" a las personas que participan en esta encuesta. ¡Gracias!

1. Género *

Femenino

Masculino

Prefiero no decirlo

2. Edad *

Tu respuesta _____

3. Tipo de Usuario *

Usuario de Realidad Virtual

Estudiante de Aviación

Piloto Privado/Comercial

Instructor de Aviación

4. En caso que aplique: Indique los años que lleva utilizando simuladores de realidad virtual de aviación

Tu respuesta _____

SECCIÓN 2: Percepción del estado del uso de los simuladores de vuelo de realidad virtual en Costa Rica

Estimado participante, en esta sección recolectaremos datos relacionados con su percepción sobre el uso de la tecnología de realidad virtual en simuladores de aviación. Le rogamos nos brinde esta información que solamente tiene el propósito de identificar los principales elementos percibidos sobre esta tecnología en Costa Rica. ¡Gracias!

5. ¿Ha utilizado simuladores de realidad virtual previamente? *

- Sí
- No

6. Si respondió "Sí" a la pregunta anterior, ¿con qué frecuencia utiliza simuladores de realidad virtual?

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente
- Rara vez
- Nunca

7. ¿Para qué propósitos ha utilizado la realidad virtual? (Seleccione todas las que apliquen)

- Entretenimiento (juegos, películas)
- Educación (simulaciones educativas)
- Formación profesional (entrenamiento laboral)
- Terapia o salud
- Otro: _____

8. Mi experiencia utilizando simuladores de realidad virtual para aviación ha sido satisfactoria. Con respecto a esta afirmación estoy: *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

9. La realidad virtual en simuladores de vuelo tiene un impacto positivo en la educación y el entrenamiento de profesionales en aviación en Costa Rica. Con respecto a esta afirmación estoy: *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

10. Estoy dispuesto a invertir en un simulador de realidad virtual para aviación para mi uso personal. Con respecto a esta afirmación estoy: *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

11. Los simuladores de realidad virtual para aviación pueden ayudar a los estudiantes de aviación a mejorar sus habilidades de vuelo. Con respecto a esta afirmación estoy: *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

12. ¿Cuáles cree que son las limitaciones actuales del uso de la realidad virtual en su país? (Seleccione todas las que apliquen) *

- Costo de la tecnología
- Desconocimiento de la tecnología
- Limitaciones en infraestructura
- Otro: _____

13. ¿Qué recomendaciones o sugerencias tiene para mejorar o incursionar el uso de simuladores de realidad virtual en aviación en Costa Rica?

Tu respuesta _____

Anexo 2: Cuestionario de Evaluación con Heurísticas

14. Visibilidad del estado del sistema

14.1. Considero que los cambios en el estado del simulador (por ejemplo, altímetro, velocímetro, horizonte artificial) son claramente indicados. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

14.2. Encuentro que los indicadores visuales en el simulador (paneles, instrumentos) son fáciles de interpretar y entender. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

14.3. Pienso que la retroalimentación auditiva (sonidos de vuelo, alertas) es útil y adecuada. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

15. Concordancia entre el sistema y el mundo real

15.1. Encuentro que las representaciones visuales del simulador (cabina, instrumentos) son realistas. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

15.2. Considero que las acciones requeridas en el simulador coinciden con procedimientos reales de aviación. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

15.3. Opino que los escenarios y condiciones simuladas reflejan con precisión las situaciones reales de vuelo. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

15.4. Considero que la vista desde el interior de la cabina es lo suficientemente clara como para permitir la realización de las tareas del escenario. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

16. Control y libertad del usuario

16.1. Afirmo que puedo revertir fácilmente mis acciones si cometo un error en el simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

16.2. Considero que el simulador ofrece opciones claras para corregir errores durante las tareas. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

16.3. Pienso que tengo suficiente control sobre las diferentes configuraciones y opciones del simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

17. Consistencia y estándares

17.1. Considero que los controles y funciones del simulador son consistentes a lo largo de toda la experiencia. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

17.2. Pienso que el uso de colores y símbolos es uniforme y predecible dentro del simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

17.3. Considero que las acciones y resultados en el simulador son previsibles y consistentes. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

18. Prevención de errores

18.1. Creo que las instrucciones del simulador ayudan a minimizar la probabilidad de cometer errores. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

18.2. Considero que el diseño del simulador está pensado para prevenir errores antes de que ocurran. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

18.3. Encuentro que los mensajes de alerta mostrados en el simulador son eficaces para evitar errores críticos durante la simulación. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

19. Reconocimiento en lugar de recuerdo

19.1. Estimo que la información necesaria siempre está visible cuando la necesito en el simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

19.2. Considero que las opciones y comandos relevantes son fácilmente accesibles en la interfaz del simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

19.3. Creo que identificar funciones y controles en el simulador es sencillo y no requiere memorizar. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

20. Flexibilidad y eficiencia de uso

20.1. Pienso que la interfaz del simulador se adapta bien tanto a usuarios novatos como a expertos. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

20.2. Considero que es fácil cambiar configuraciones para personalizar mi experiencia en el simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

20.3. Considero que todos los controles e indicadores de la cabina estaban en la ubicación correcta. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

21. Estética y diseño minimalista

21.1. Considero que la interfaz del simulador no tiene elementos innecesarios que distraigan. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

21.2. Opino que las pantallas del simulador presentan la información de manera clara y concisa. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

21.3. Considero que cada elemento de la interfaz tiene un propósito claro y contribuye a la tarea principal (despegue, aterrizaje). *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

22. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores

22.1. Considero que los mensajes de error del simulador son claros y fáciles de interpretar. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

22.2. Pienso que es sencillo recuperarse de errores y continuar con la simulación * en Microsoft Flight Simulator.

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

22.3. Afirmo que no tuve que inclinarme para leer los indicadores de la cabina dentro del simulador. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

23. Ayuda y documentación

23.1. Considero que la ayuda integrada en el simulador es fácilmente accesible y útil. *

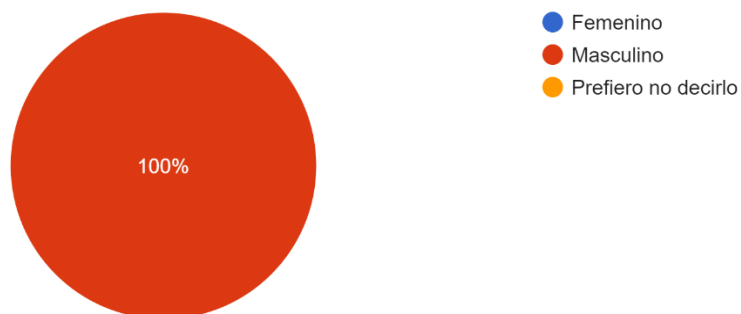
- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

23.2. Opino que la información de ayuda está bien organizada y es fácil de buscar. *

- Muy en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Muy de acuerdo

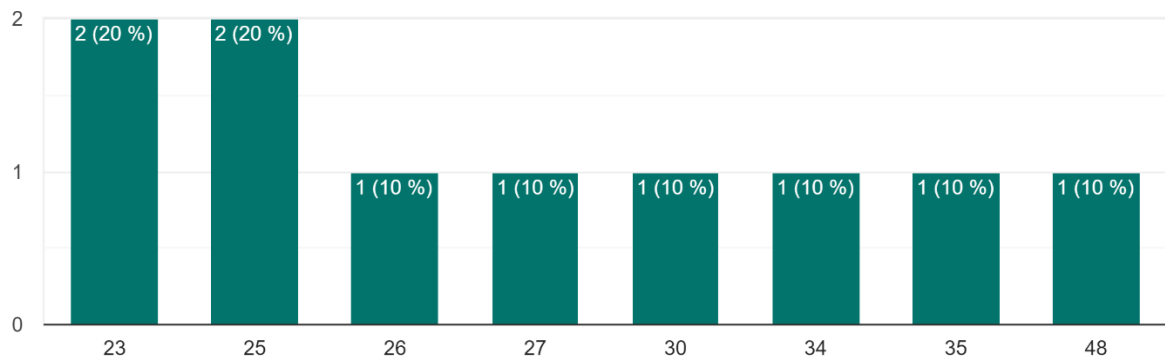
Anexo 3: Resumen de respuestas de la encuesta de percepción de estado de los simuladores de realidad virtual

1. Género
10 respuestas



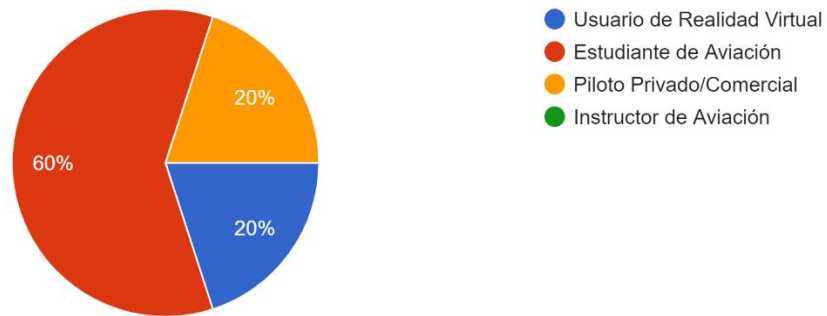
2. Edad

10 respuestas



3. Tipo de Usuario

10 respuestas



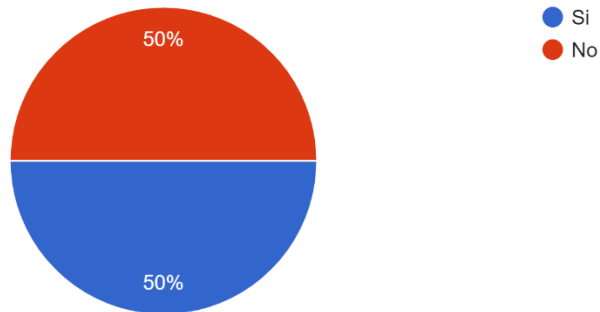
4. En caso que aplique: Indique los años que lleva utilizando simuladores de realidad virtual de aviación

6 respuestas



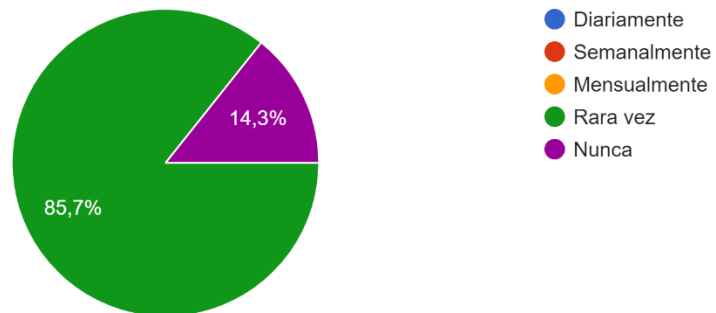
5. ¿Ha utilizado simuladores de realidad virtual previamente?

10 respuestas



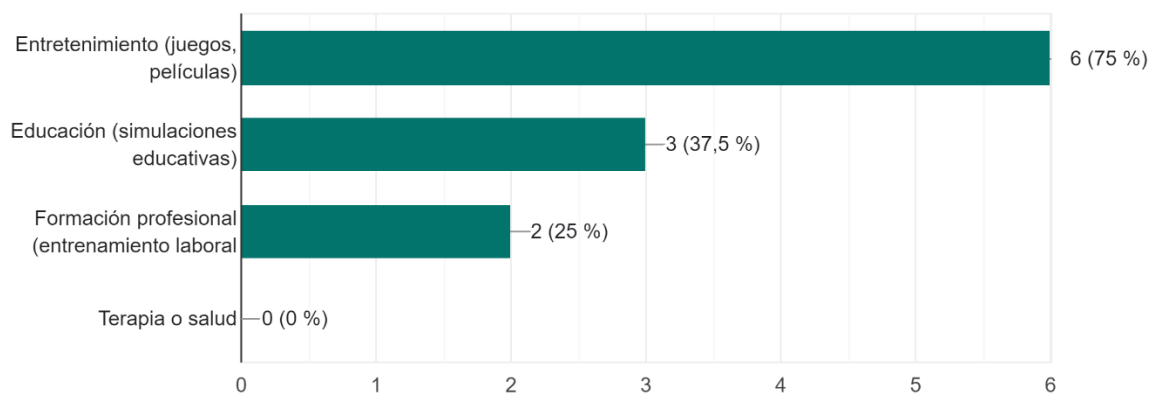
6. Si respondió "Sí" a la pregunta anterior, ¿con qué frecuencia utiliza simuladores de realidad virtual?

7 respuestas



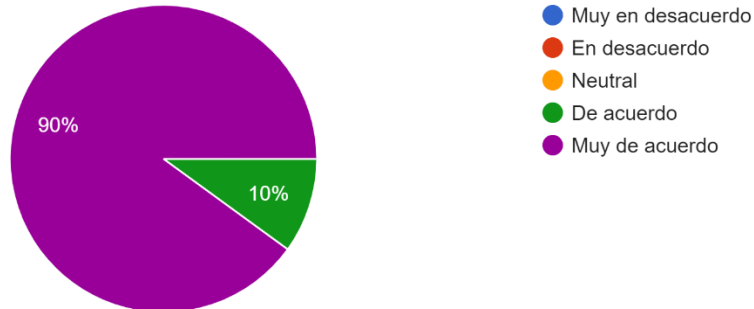
7. ¿Para qué propósitos ha utilizado la realidad virtual? (Seleccione todas las que apliquen)

8 respuestas



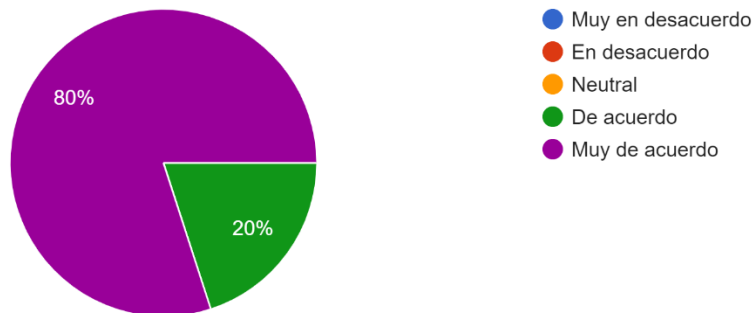
8. Mi experiencia utilizando simuladores de realidad virtual para aviación ha sido satisfactoria. Con respecto a esta afirmación estoy:

10 respuestas



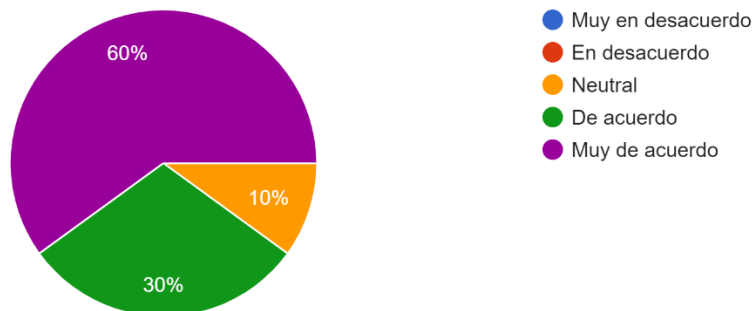
9. La realidad virtual en simuladores de vuelo tiene un impacto positivo en la educación y el entrenamiento de profesionales en aviación en Costa Rica. Con respecto a esta afirmación estoy:

10 respuestas



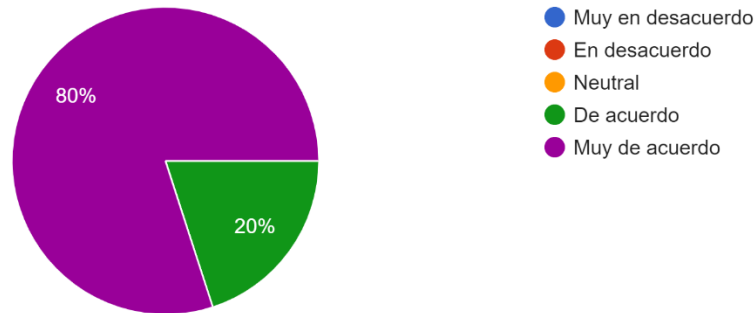
10. Estoy dispuesto a invertir en un simulador de realidad virtual para aviación para mi uso personal. Con respecto a esta afirmación estoy:

10 respuestas



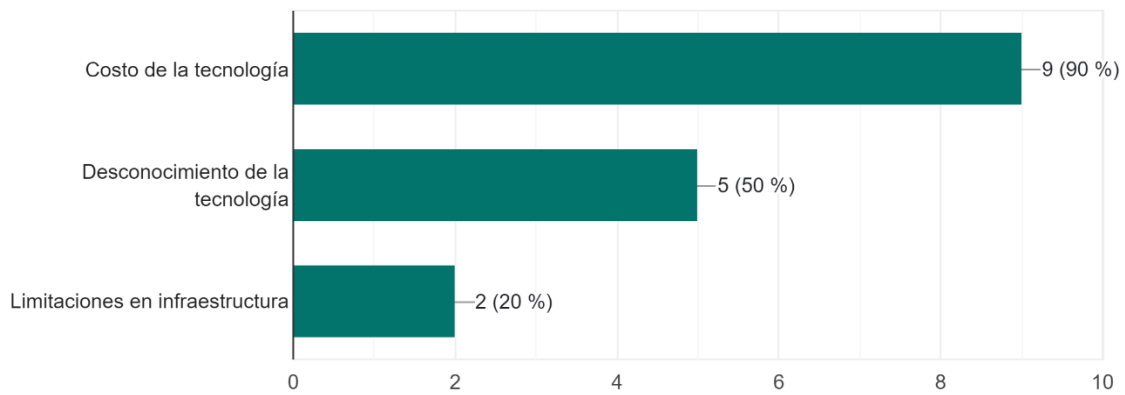
11. Los simuladores de realidad virtual para aviación pueden ayudar a los estudiantes de aviación a mejorar sus habilidades de vuelo. Con respecto a esta afirmación estoy:

10 respuestas



12. ¿Cuáles cree que son las limitaciones actuales del uso de la realidad virtual en su país?
(Seleccione todas las que apliquen)

10 respuestas



13. ¿Qué recomendaciones o sugerencias tiene para mejorar o incursionar el uso de simuladores de realidad virtual en aviación en Costa Rica?

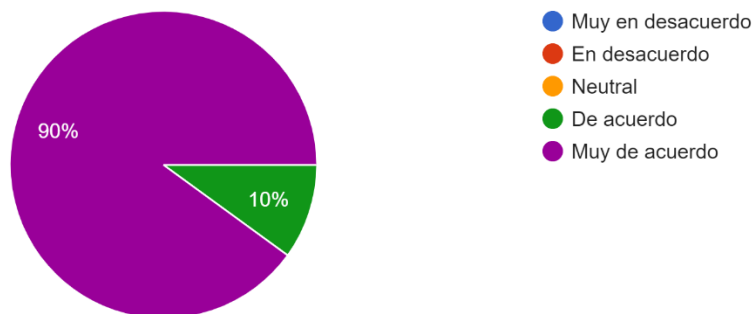
7 respuestas

- Hacer que sean más populares y ofrecerlos más al mercado
- Es una tecnología que sería de gran ayuda su aplicación, claro sería necesario que las personas tengan conocimiento sobre esta, y sacarle el mayor provecho a la tecnología.
- Costo más accesible, tiempo, plan piloto para probarlo en escuelas
- La combinación de realidad virtual en conjunto con un sistema full motion sumergen al usuario en n condiciones muy reales al momento de utilizar el simulador
- Tratar de implementar las Checklist reales al juego
- Que sean mas accesibles y tengan soporte en español
- Ofrecer sesiones demostrativas en las escuelas de aviación o a aquellos que tienen interés en este campo para que conozcan de la tecnología y tengan una experiencia con ella.

Anexo 4: Resumen de las respuestas del Cuestionario de Evaluación con Heurísticas

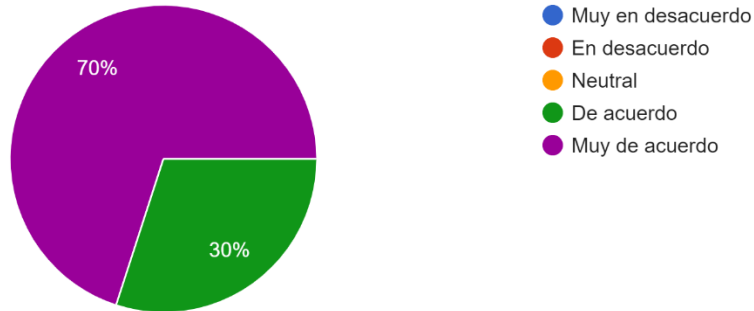
14.1. Considero que los cambios en el estado del simulador (por ejemplo, altímetro, velocímetro, horizonte artificial) son claramente indicados.

10 respuestas



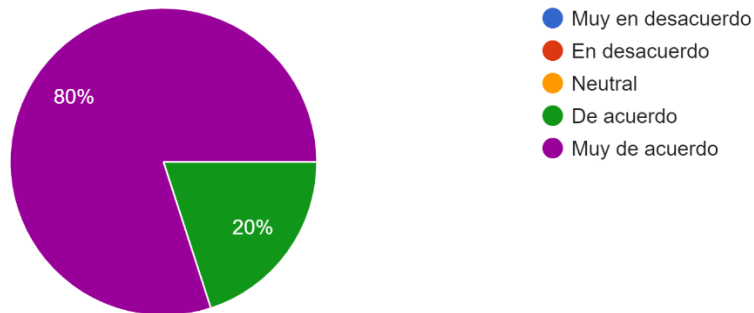
14.2. Encuentro que los indicadores visuales en el simulador (paneles, instrumentos) son fáciles de interpretar y entender.

10 respuestas



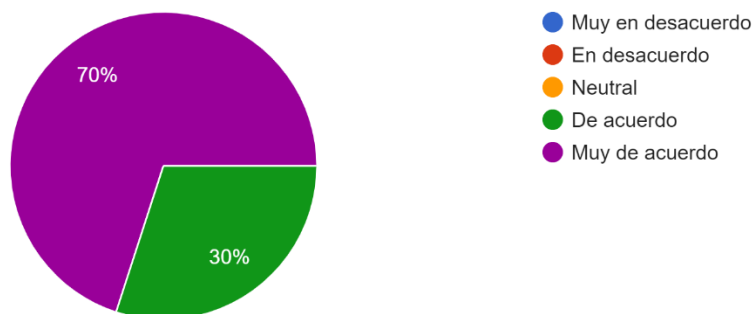
14.3. Pienso que la retroalimentación auditiva (sonidos de vuelo, alertas) es útil y adecuada.

10 respuestas



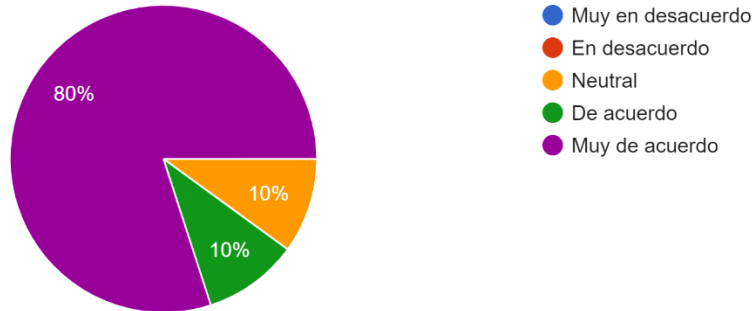
15.1. Encuentro que las representaciones visuales del simulador (cabina, instrumentos) son realistas.

10 respuestas



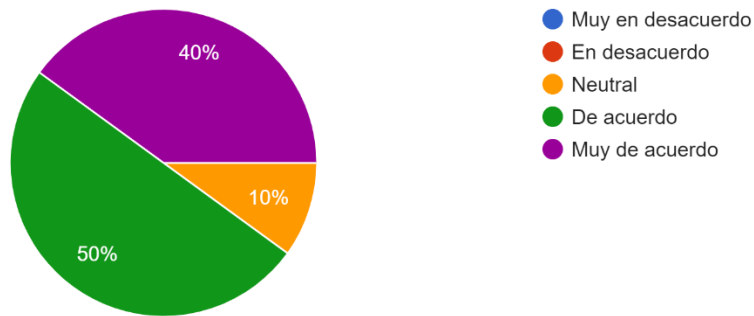
15.2. Considero que las acciones requeridas en el simulador coinciden con procedimientos reales de aviación.

10 respuestas



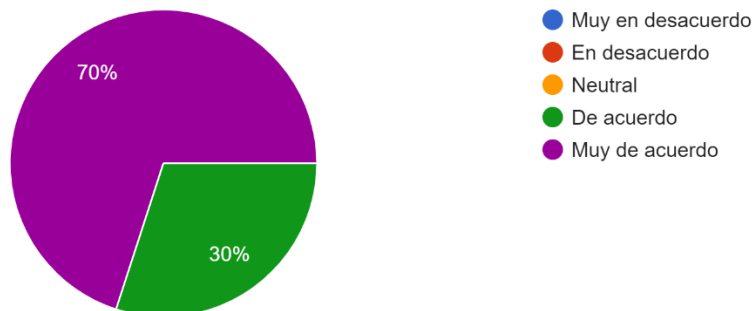
15.3. Opino que los escenarios y condiciones simuladas reflejan con precisión las situaciones reales de vuelo.

10 respuestas



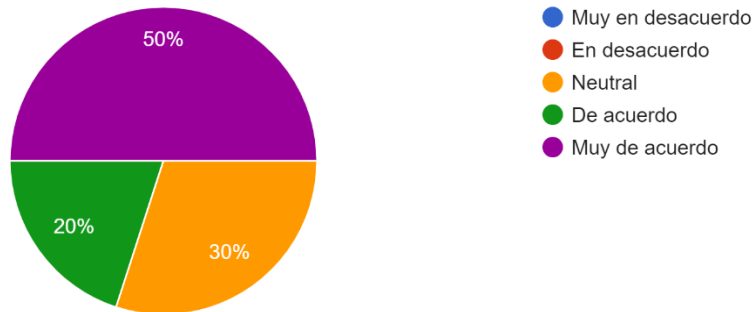
15.4. Considero que la vista desde el interior de la cabina es lo suficientemente clara como para permitir la realización de las tareas del escenario.

10 respuestas



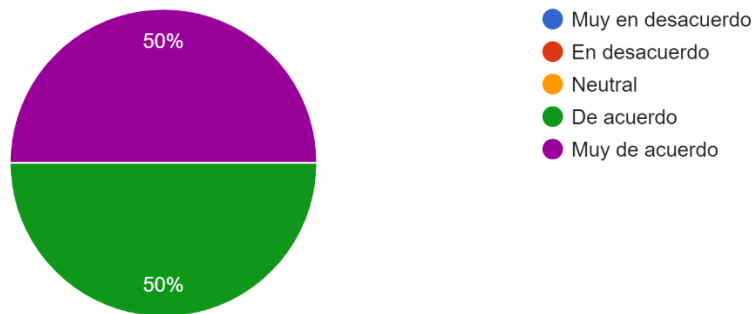
16.1. Afirmo que puedo revertir fácilmente mis acciones si cometo un error en el simulador.

10 respuestas



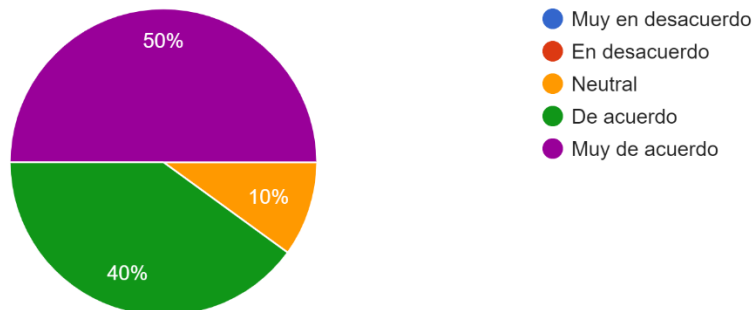
16.2. Considero que el simulador ofrece opciones claras para corregir errores durante las tareas.

10 respuestas



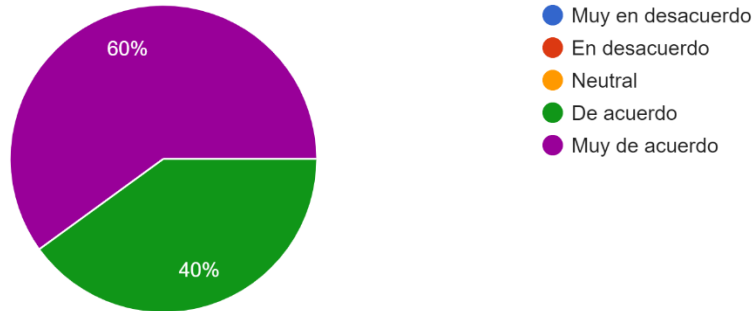
16.3. Pienso que tengo suficiente control sobre las diferentes configuraciones y opciones del simulador.

10 respuestas



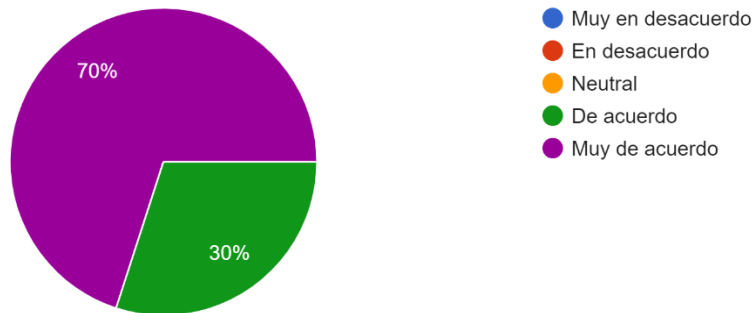
17.1. Considero que los controles y funciones del simulador son consistentes a lo largo de toda la experiencia.

10 respuestas



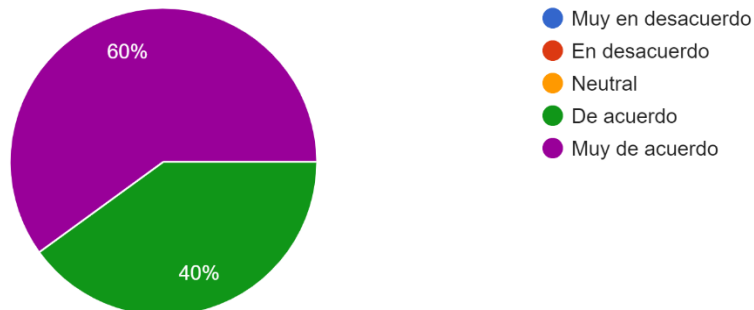
17.2. Pienso que el uso de colores y símbolos es uniforme y predecible dentro del simulador.

10 respuestas



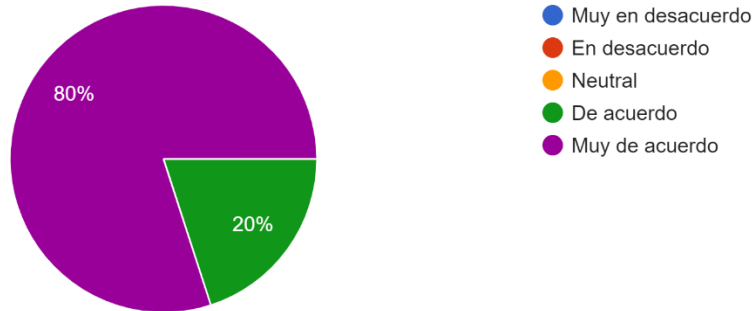
17.3. Considero que las acciones y resultados en el simulador son previsibles y consistentes.

10 respuestas



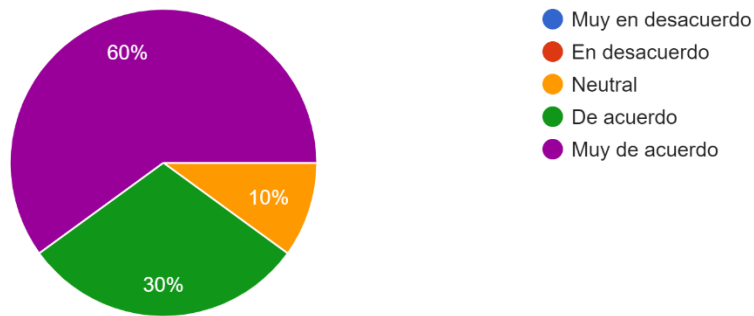
18.1. Creo que las instrucciones del simulador ayudan a minimizar la probabilidad de cometer errores.

10 respuestas



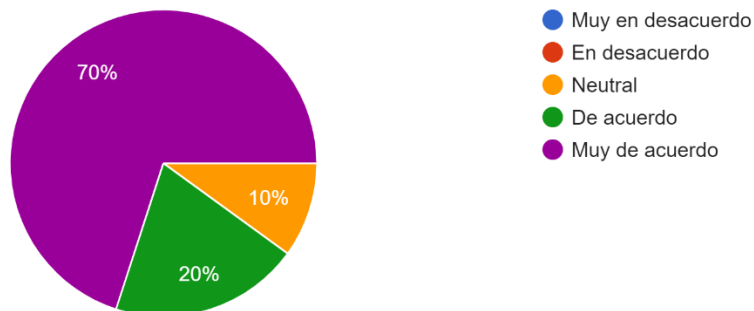
18.2. Considero que el diseño del simulador está pensado para prevenir errores antes de que ocurran.

10 respuestas



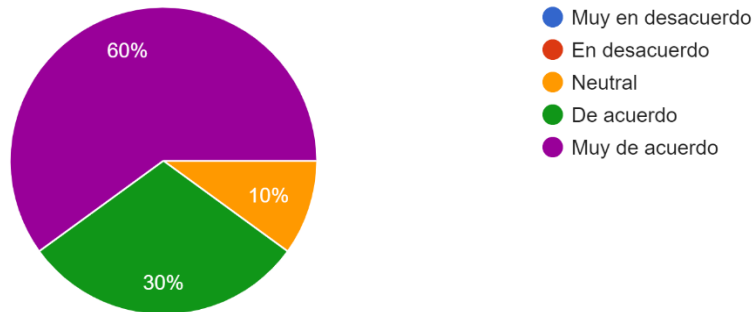
18.3. Encuentro que los mensajes de alerta mostrados en el simulador son eficaces para evitar errores críticos durante la simulación.

10 respuestas



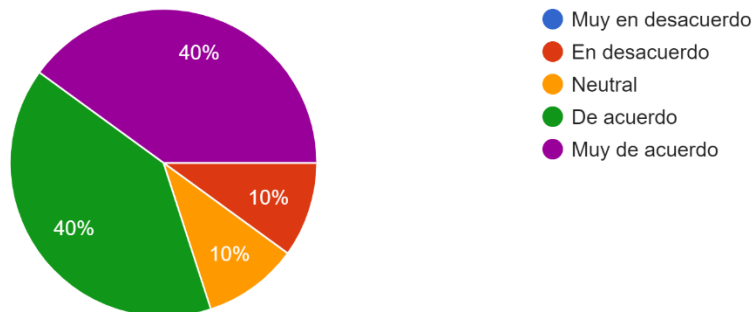
19.1. Estimo que la información necesaria siempre está visible cuando la necesito en el simulador.

10 respuestas



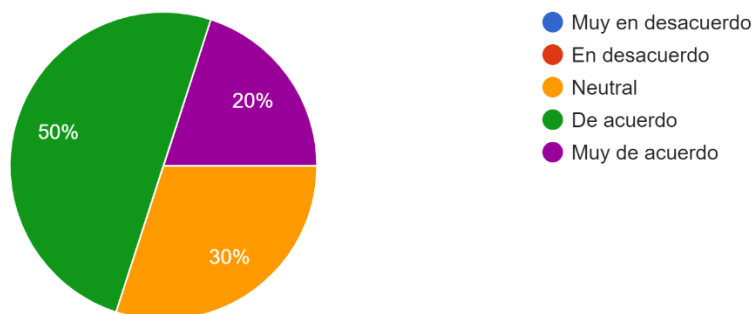
19.2. Considero que las opciones y comandos relevantes son fácilmente accesibles en la interfaz del simulador.

10 respuestas



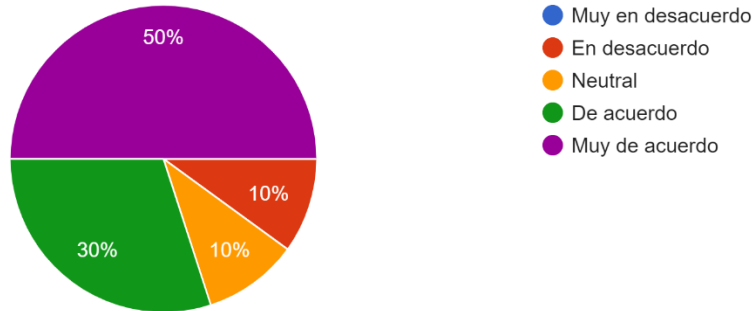
19.3. Creo que identificar funciones y controles en el simulador es sencillo y no requiere memorizar.

10 respuestas



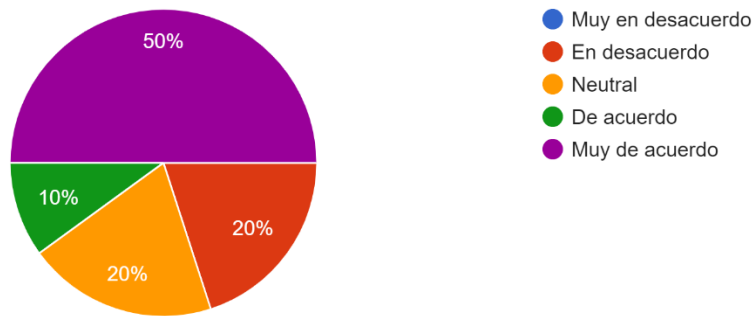
20.1. Pienso que la interfaz del simulador se adapta bien tanto a usuarios novatos como a expertos.

10 respuestas



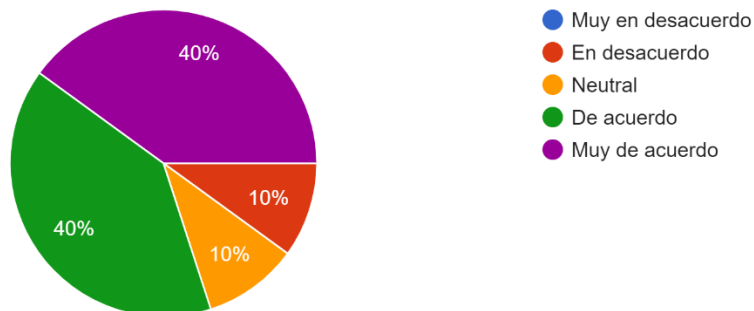
20.2. Considero que es fácil cambiar configuraciones para personalizar mi experiencia en el simulador.

10 respuestas



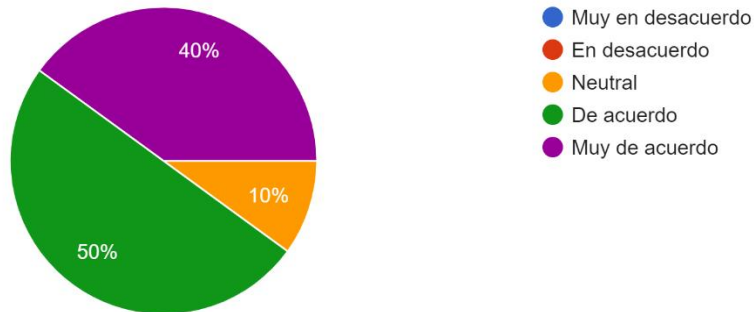
20.3. Considero que todos los controles e indicadores de la cabina estaban en la ubicación correcta.

10 respuestas



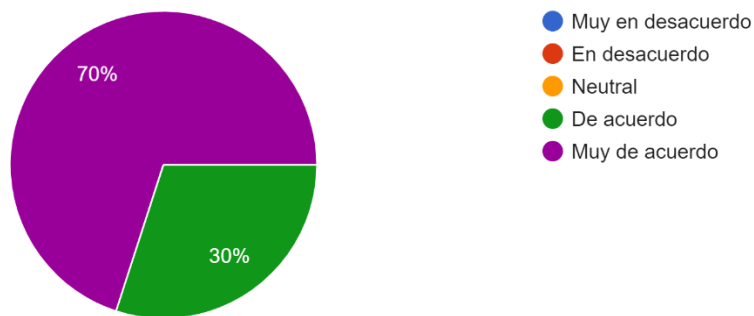
21.1. Considero que la interfaz del simulador no tiene elementos innecesarios que distraigan.

10 respuestas



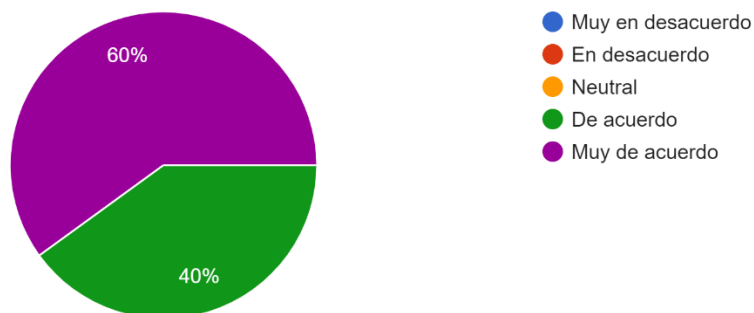
21.2. Opino que las pantallas del simulador presentan la información de manera clara y concisa.

10 respuestas



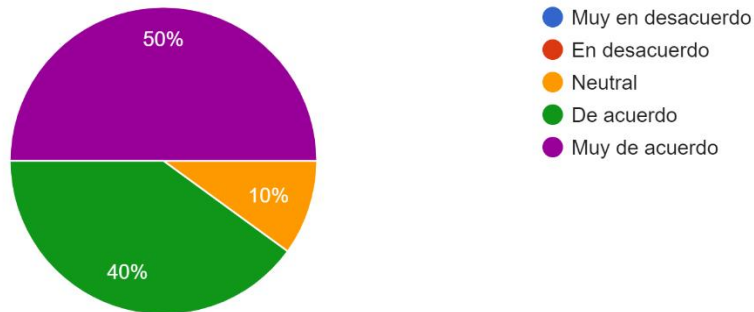
21.3. Considero que cada elemento de la interfaz tiene un propósito claro y contribuye a la tarea principal (despegue, aterrizaje).

10 respuestas



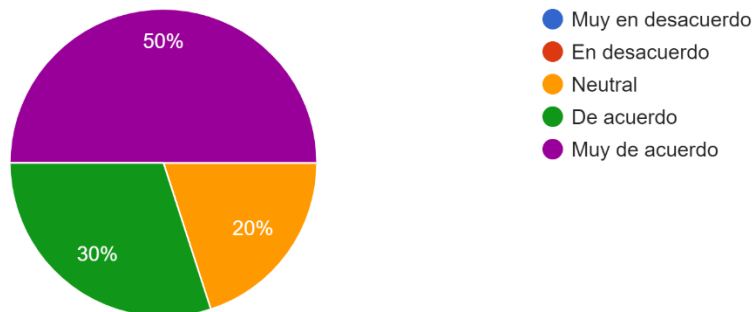
22.1. Considero que los mensajes de error del simulador son claros y fáciles de interpretar.

10 respuestas



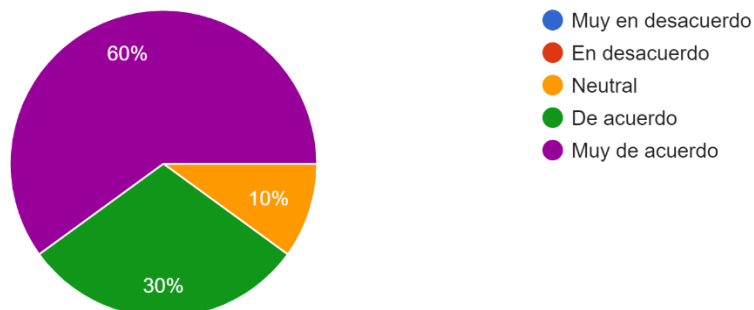
22.2. Pienso que es sencillo recuperarse de errores y continuar con la simulación en Microsoft Flight Simulator.

10 respuestas



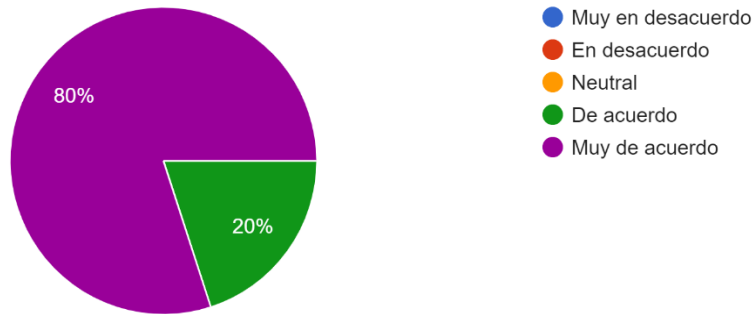
22.3. Afirmo que no tuve que inclinarme para leer los indicadores de la cabina dentro del simulador.

10 respuestas



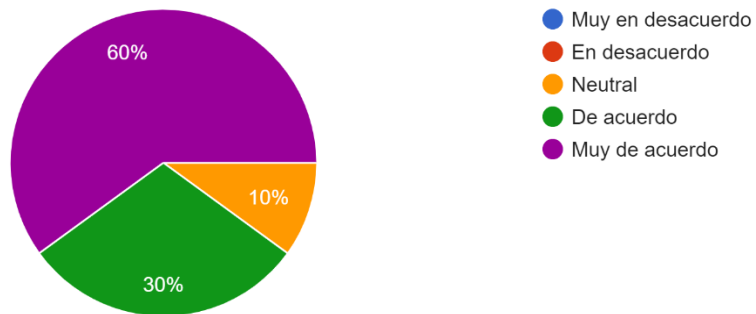
23.1. Considero que la ayuda integrada en el simulador es fácilmente accesible y útil.

10 respuestas



23.2. Opino que la información de ayuda está bien organizada y es fácil de buscar.

10 respuestas



Evaluación de la Experiencia de Usuario de Simuladores de Realidad Virtual de Aviación

Rodrigo Alemán-Barahona¹, rodrigo.aleman.barahona@est.una.ac.cr, Orcid ID:
<https://orcid.org/0000-0002-2973-XXXX>

Resumen

El propósito de esta investigación fue recopilar la experiencia de usuario de simuladores de realidad virtual mediante una evaluación de heurísticas. Para darle sustento a esto fue necesario hacer una revisión sistemática de literatura, la cual se usaron 98 repartidas entre libros, artículos científicos, tesis y blogs de internet principalmente. Para recopilar la experiencia se hizo una encuesta de explorar la situación actual de los simuladores, y un cuestionario con las 10 heurísticas de Nielsen respecto a la experiencia de usuario usando la escala de Likert. Ambas herramientas fueron aplicadas en el mismo cuestionario a todos los participantes, que en cuyo caso fueron 10. Estos participantes se dividieron en 3 categorías: piloto privado, estudiantes de aviación y usuarios de realidad virtual. A los resultados obtenidos se le aplicaron herramientas de análisis estadístico y de esta manera determinar que ninguna heurística estuvo sesgada por el tipo de perfil del experimento ($p > .05$), además de un alfa de Cronbach de 0.91 lo cual determina la validez del instrumento. A los resultados se le aplicó elementos de estadística descriptiva como promedios, tablas y gráficos para mostrar los resultados de manera clara, donde permitió recopilar la experiencia de usuario y concluir que mayormente cada heurística de experiencia de usuario tuvo una respuesta muy positiva, donde la heurística de flexibilidad del se vio ligeramente con una puntuación negativa para el perfil de Piloto. Además, esta investigación permitió descubrir algunas recomendaciones e incluso enfrentó limitaciones de tiempo, recursos y capacidades del equipo.

Palabras clave: realidad virtual; simuladores; aviación; heurísticas; experiencia de usuario.

Introducción

La evolución de la tecnología de simuladores ha evolucionado en los últimos años desde la aparición del primer simulador de vuelos; el **Link Trainer** o **Blue Box**. Este simulador fue creado en 1929 por Edwin Albert Link en Binghampton, Nueva York (Gil, 2021).

A pesar de que los simuladores de vuelo tradicionales han impactado positivamente, siguen existiendo limitaciones en temas de costos operativos, dependencia de los instructores y además de volverse predictivo (Lekea et al., 2021; Marron et al., 2024). En respuesta a esto, recientemente los productos de formación de pilotos por medio de la realidad virtual tienen el propósito de abordar estas deficiencias (Marron et al., 2024).

Es en este contexto donde la experiencia de usuario será vital para determinar si los pilotos de aviación podrán hacer todo tipo de maniobra por medio de gafas de realidad virtual, o si bien, se encontrará con limitantes físicas o de software que le impida hacerlo y su desempeño no sea el adecuado. Dicho esto, resulta de interés explorar la experiencia de usuarios de simuladores realidad

virtual para saber cómo influyen los factores de diseño y usabilidad con la percepción y satisfacción de los usuarios relacionados.

Marco Teórico

Realidad Virtual

La década de 1980 marcó un punto de inflexión para la realidad virtual con el desarrollo de tecnologías más avanzadas y la aplicación práctica en diferentes sectores. Investigadores como Jaron Lanier junto con T. Zimmerman introdujeron el término "realidad virtual" y exploraron aplicaciones en campos como el entretenimiento, la medicina y la educación (Cevallos et al., 2023). Además, (Cevallos et al., 2023) menciona que a mediados de los años 80 Jaron Lanier, junto a su socio T. Zimmerman, fabricaron comercialmente las reconocidas gafas de "realidad virtual". Esto permitió abrir un escenario visual innovador al brindar experiencias visuales únicas que anunciaban la inminente era tecnológica, que hoy está en boga gracias a los distintos dispositivos tecnológicos que permiten la construcción de experiencias visuales en múltiples plataformas y escenarios digitales interactivos.

En 2012, se estableció el Proyecto Oculus como el primero en desarrollar experiencias de realidad virtual con unos requisitos mínimos que garantizaban una inmersión suficientemente buena para simular una realidad artificial al usuario. Este fue un hito histórico, pues a partir de entonces se comenzó a entender que la realidad virtual era posible, sin embargo, esta demandaba de condiciones muy exigentes para la tecnología de ese entonces (Sánchez et al., 2019). Tiempo después, en 2016, se publicaría su versión comercial, y según Sánchez et al. (2019) esta empresa fabricó los primeros visores con capacidad real de presentar una realidad artificial con una suficiente inmersión. Seguidamente, en ese mismo año se sumaban otros proyectos como el HTC y Sony PSVR. Y en 2017, WMR lanzó otros visores comerciales de realidad virtual; lo que ampliaría la oferta comercial de realidad virtual para el usuario común.

Algunos de sus usos más frecuentes son en entretenimiento (Álvarez, 2024; Ding & Li, 2022), arquitectura (Figuerola, 2020), entrenamiento (Patti, 2019), arte y cultura (Herranz de la Casa et al., 2019), y turismo (Monterrubio & Rosas, 2019). Además, algunas de sus ventajas como la seguridad (Testa, 2023), crear interés de los usuarios, y eliminar las barreras del idioma (Gaitán, 2020), se tienen ciertas desventajas como la deterioración de las conexiones humanas, problemas de funcionalidad, provocar adicción (Gaitán, 2020).

Simuladores de Realidad Virtual

Es un proceso que intenta recrear situaciones de la vida real, por medio del modelado matemático, físico y gráfico, en un programa de ordenador. Encima, las simulaciones se desarrollan para llevar a cabo estudios sobre algún fenómeno, recreando situaciones en las que un usuario participa activamente y cuyo objetivo es la formación en algún ámbito concreto de la vida real (Riera, 2023).

Los simuladores de realidad virtual tienen una amplia gama de usos en diversos sectores, llevando la interactividad a nuevos niveles. Con la evolución de las tecnologías adaptativas en el campo de la RV, las áreas de aplicación de los simuladores para entrenamiento basados en RV

también están aumentando y destacando en el área de la medicina, la educación, el comercio, la industria militar (Véliz et al., 2021) y en simulación de vuelos (Baquero & León, 2022).

Además, entre sus ventajas se destaca que mejora de habilidades mediante entrenamiento y corrección de errores (Felgueres et al., 2022), brinda seguridad al mantener la integridad física del usuario (S. González & Mendoza, 2023) y mejora la experiencia de aprendizaje permitiendo al usuario practicar una gran variedad de situaciones para lograr desarrollar una mayor gama de habilidades (S. González & Mendoza, 2023). Por otra parte, entre sus desventajas se menciona que causa efectos secundarios ya que los usuarios pueden sentir mareos al utilizar la realidad virtual, así como desorientación o incomodidad visual. (Vargas et al., 2024), y la existencia de una desigualdad debido a que, si no cuentan con dispositivos tecnológicos, es difícil participar en la sesión por parte igualitaria (Córdova, 2021).

Por su parte, en el campo de la aviación los simuladores de realidad virtual ofrecen numerosas ventajas, aportando a la seguridad, reducción de costos operativos y mejorando la efectividad del aprendizaje de los pilotos ya que son flexibles y personalizables entrenamiento (Díaz et al., 2021). Por contraparte, existen ciertas desventajas como las limitaciones en la replicación de la realidad física pueden impedir una experiencia completamente realista, así como interrupciones pueden afectar usuario por fallos del sistema y costos iniciales elevados (Sanabria & Guzman, 2021).

Actualmente los simuladores de realidad virtual en la aviación tienen múltiples usos, siendo el entretenimiento y entrenamiento de pilotos uno de los más destacados. Estos simuladores permiten a los pilotos practicar maniobras y evaluar las cabinas de las aeronaves, a continuación, se detallan los principales:

- **Entretenimiento:** Muchos usuarios de RV son entusiastas en el mundo de la aviación. Entonces gracias a videojuegos como X-Plane o Microsoft Flight Simulator pueden recrear escenarios y entender mediante misiones cómo funciona una aeronave sin tener conocimientos específicos del campo de la aviación.
- **Entrenamiento de pilotos:** Los simuladores de RV son ampliamente utilizados para el entrenamiento de pilotos, permitiendo a los aprendices practicar maniobras de vuelo, procedimientos de emergencia y navegación en un entorno seguro y controlado. Asimismo, este tipo de entrenamiento es esencial para desarrollar habilidades sin los riesgos asociados con el vuelo real, además, preparan a los pilotos militares para escenarios actuales y futuros, mejorando el nivel de entrenamiento y capacitación, enfrentando situaciones tan reales como las que se presentan cuando se está en un vuelo real, evitando exponer al riesgo tanto a los pilotos militares como a las aeronaves (Fuerza Aérea Colombiana, 2024).
- **Entrenamiento de tripulación en cabina:** Se utilizan para entrenar a la tripulación de cabina en procedimientos de seguridad y servicio al cliente. Asimismo, estos simuladores permiten recrear situaciones de emergencia, como evacuaciones y manejo de pasajeros difíciles, proporcionando una formación integral y práctica para la tripulación de cabina. Por otra parte, la comunicación y colaboración efectiva entre los miembros de la tripulación son fundamentales para vuelos seguros (Faster Capital, 2024).
- **Mantenimiento y reparación de Aeronaves:** La RV también se ha utilizado para mejorar el mantenimiento y la reparación de aeronaves, ya que los técnicos de mantenimiento pueden acceder a manuales e información en tiempo real mientras trabajan en una aeronave, lo que les permite realizar tareas de manera más eficiente y precisa. Además, la

realidad virtual puede utilizarse para proporcionar capacitación adicional a los técnicos, lo que garantiza que estén actualizados con las últimas técnicas y procedimientos de mantenimiento (Sandu, 2023).

Experiencia de usuario de simuladores de realidad virtual

La experiencia de usuario (UX por sus términos en inglés User eXperience) puede considerarse como el proceso que lleva a cabo el usuario cuando interactúa con un producto (Balcameda et al., 2019). Asimismo, según el estudio de (Vega et al., 2021) se define a la Experiencia de Usuario como "Las percepciones y respuestas de una persona que resultan del uso y / o uso anticipado de un producto, sistema o servicio".

Cuando se piensa en UX, lo más probable es asociarlo a un diseño para pantallas de ordenadores y teléfonos móviles, es decir, espacios bidimensionales en los que basta con deslizar el dedo o hacer clic para realizar el trabajo. Pero, con las nuevas tecnologías, esta es solo una de las muchas posibilidades.

Sin ir más lejos, también existe el diseño de UX para la RV, una experiencia tridimensional totalmente inmersiva en la que se pueden experimentar cosas como la vista, el sonido, el tacto y la profundidad, por lo que crear estas experiencias requiere algunos enfoques y consideraciones nuevos debido que al diseñar para realidad virtual, hay varias heurísticas que los diseñadores de UX deben tener en cuenta, y según (Dalangin, 2021) & (Vinney, 2023) estas consideraciones incluyen honestidad, inclusividad, seguridad virtual y física, comprensión e interactividad.

Dicho esto, a continuación se define algunas técnicas y metodologías para hacer evaluación de experiencias de usuario:

- **Evaluación Heurística:** Es un método utilizado para buscar y evaluar problemas de usabilidad en el diseño de las interfaces de usuario, mediante un grupo pequeño de evaluadores expertos que examinan las interfaces y utilizando los principios reconocidos de la ingeniería de la usabilidad (las heurísticas) categorizan y valoran los problemas descubiertos (Martínez et al., 2022).
- **Principios de Nielsen:** Son principios generales para el diseño de interfaces de usuario, también llamadas "heurísticas" debido a su naturaleza como reglas de oro, en lugar de directrices específicas de usabilidad (Martínez et al., 2022) que se enumeran a continuación:
 1. Visibilidad del estado del sistema.
 2. Correspondencia entre el sistema y el mundo real.
 3. Control y libertad para el usuario.
 4. Consistencia y estándares.
 5. Prevención de errores.
 6. Reconocer más que recordar.
 7. Facilidad y eficiencia de uso.
 8. Un diseño estético y minimalista.
 9. Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de los errores.
 10. Ayuda y documentación.

A su vez, se recopilaron 4 estudios de otros autores que sirvieron como referencia para el diseño del método a aplicar.

Estudio por (Laker, C. 2023): El procedimiento consistió en hacer un vuelo virtual usando aplicación TakeFlight Interactive, con HDM HP Reverb GS, joystick y pedales Logitech, volando un C172R simulado, practicando la maniobra de fallo de motor 20 veces y al último día se le aplicaron encuestas SUS, GEQ y GUESS. Los participantes estuvieron compuestos por 30 cadetes de la Universidad Purdue con poca o ninguna experiencia de vuelo, con edades entre 16 y 26 años, 56,67% hombres y 43,33% mujeres. El grupo experimental formado por 16 participantes, divididos con edades entre 16 y 26 años, y 14 participantes entre 17 y 20 años.

Las técnicas utilizadas fueron la escala Likert, la escala de Usabilidad del Sistema, cuestionarios de Experiencia de Juego entre otros. A su vez, los datos se analizaron mediante una prueba T, Distribución de Poisson, ANOVA y una prueba de Shapiro.

Estudio por (Dymora et al., 2021): Consistió en que cada participante portando las gafas de realidad virtual perciba estar en el interior de la cabina de manera virtual. El objetivo de la formación fue el procedimiento previo a la salida. Cada uno de ellos practicó el procedimiento una vez, usando gafas HTC Vive durante una sesión de un máximo de 5 minutos de duración. Luego se pidió a los participantes que completaran una encuesta que constaba de 8 preguntas. Los participantes estuvieron compuestos por 17 participantes de edades entre 21 y 23 años, siendo todos hombres y una sola mujer. Todos sin experiencias dentro de una cabina de un avión simulado.

La técnica empleada consistió en una encuesta de 8 preguntas, enfocadas en demografía de los participantes, satisfacción de Experiencia al manipular los mandos. Finalmente, a los datos se le aplicó un análisis exploratorio de muestras independientes.

Estudio por (Lawrynczyk, A. 2018): Los participantes completaron un cuestionario demográfico sobre su experiencia de vuelo, exposición a videojuegos (tanto de realidad virtual como de otra índole) y su estado de bienestar (p. ej., cansancio, náuseas, mareos, etc.). Se ató la Epática E4 a la muñeca de los participantes y estos procedieron al simulador de Cessna 172, donde se les equipó con el interruptor de pulgar, los auriculares y el micrófono. A los participantes se les enseñó a “volar” el simulador Cessna 172 usando solo el yugo, los flaps y el acelerador. Para simplificar la tarea, los timones se configuraron en “automático” y los participantes no los utilizaron. Todos los participantes completaron tres circuitos de práctica del escenario de vuelo utilizando la condición de gráficos BADS, mientras eran entrenados por un instructor de vuelo sentado en el asiento del copiloto. Los 41 participantes tenían edades entre 12 y 32 años, con una edad media de 31.32. De ellos 2 eran pilotos y otro con cierta experiencia volando. 38 sin ninguna experiencia y 18 de ellos indicaron que juegan video juegos una vez a la semana.

La técnica de recolección de datos consistió en un cuestionario que analizan el mareo y otras métricas de usabilidad de la realidad virtual. Los datos obtenidos consistieron en el cuestionario demográfico completo de experiencia de vuelo, exposición a videojuegos y estado de bienestar y una tabla con de UX y de carga cognitiva que explica la medida, media, SD, valor P y el factor de Bayer. Además, se le hizo un análisis mediante las pruebas t de muestras pareadas (frecuentes y bayesianas), pruebas t de muestras independientes y pruebas bayesianas con un previo de Cauchy no informativo de 0,707.

Estudio por (McCoy-Fisher et al., 2019): En este estudio se incluyeron componentes de hardware adicionales como un Thrustmaster Warthog Hands on Throttle and Stick y pedales de timón, MFD, botones, interruptores y diales de cabina virtual mediante gestos manuales capturados mediante un dispositivo de seguimiento manual Leap Motion, montado en la parte frontal del HMD. Los usuarios se sentaron en un asiento de cabina de simulación de vuelo de Volair Sim. Estos fueron desarrollados para apoyar la formación, maniobras básicas de combate, formación táctica, bajo nivel (navegación operativa) y calificación de portaaviones. Estos VR-PTT se entregaron y evaluaron en NAS Kingsville.

Los participantes (966 en total) incluyeron 958 estudiantes de Aviación Naval (SNA), 6 entre pilotos instructores (IP), oficiales de entrenamiento de pilotos (PTO) y pilotos recién incorporados y un cirujano de vuelo.

Las principales técnicas empleadas para la recolección de datos fueron la escala Likert, cuestionario sobre la estética de los dispositivos, cuestionario de enfermedad del simulador y cuestionario de propiedad virtual de las extremidades. Por su parte, entre los datos obtenidos se mencionan una tabla de correlaciones entre escalas de confianza general en la automatización y la confianza en los sistemas VR, tablas con puntuaciones medias de realismo, usabilidad y escalas de confianza en la automatización, entre otros.

Además, cabe mencionar que se le aplicaron diversas herramientas de análisis de datos como un ANOVA unidireccional, prueba Q de Cochran, pruebas post hoc de McNemar, prueba de Friedman y prueba de Chi Cuadrado.

Método

El tipo de investigación utilizado contiene elementos cualitativos y cuantitativos, por lo tanto, se realizó un trabajo de revisión, análisis, recopilación de información relevante e interpretación de diferentes fuentes bibliográficas de alta calidad para comprender la utilización de diversos tipos de técnicas, como, encuesta y evaluación mediante heurísticas, con la finalidad de darle sustento a la investigación.

Revisión Sistemática de Literatura (SRL)

Un estudio lo define como un método que permite interpretar y evaluar el contenido de toda aquella investigación que esté a nuestro alcance y que sea de índole relevante para un evento de interés, una pregunta de investigación o un tema en concreto (A. González & Sosa, 2021) entonces, se entiende como SRL la identificación, evaluación e interpretación de datos respecto a un campo de investigación dentro de un periodo de tiempo (Tapia, 2020).

A su vez, esta presenta ventajas como el obtener una visión general de conceptos relacionados con la temática a investigar (Valle et al., 2022), disponer de una gran cantidad de información relevante para analizar (A. González & Sosa, 2021)., y que se compara continuamente contenidos con fuentes bibliografías anteriores (Sabogal & Rojas-Berrio, 2020). Definido lo anterior, la revisión sistemática de literatura se va a utilizar para determinar los referentes teóricos que sustentan este trabajo final de graduación.

Encuesta

Es un método de investigación usado para la recolección de datos de una muestra determinada de personas. Su objetivo es extraer información de interés a partir de un set de

preguntas específicas que posteriormente permite tomar decisiones importantes basadas en las opiniones y comportamientos de las personas en cuestión (da Silva, 2022).

En esta investigación la encuesta se utilizó para recolectar datos de la percepción de los simuladores de aviación de realidad virtual en Costa Rica. El público meta fueron pilotos, estudiantes de aviación y usuarios de realidad virtual. Además, se hizo uso de la escala de Likert, preguntas de selección múltiple y de respuesta abierta. Por su parte, la escala de Likert es una escala de valor y de estimación que se utilizan para determinar la percepción de alguna variable cualitativa que por su naturaleza denota algún orden sobre algún tópico en específico, utilizada en estudios sociales, investigaciones y encuestas, permitiendo determinar el nivel de acuerdo o desacuerdo de evaluadores (Canto de Gante et al., 2020).

Cuestionario de Evaluación con Heurísticas

Es un método de evaluación de la usabilidad de un producto, que mediante un grupo de evaluadores con cierta experiencia evalúan la calidad de una interfaz aplicando los 10 principios de Nielsen, definiendo qué es lo que desean evaluar en cada uno de ellos (Bonales, 2022); lo que permite obtener la percepción de los usuarios sobre su facilidad de uso y eficacia (Castillo, 2020). Además, se usan generalmente para detectar errores de usabilidad previos a la realización de las pruebas de usuario, además de durante desarrollo de un proyecto para localizar y corregir a bajo costo los errores que se hayan encontrado (Bonales, 2022).

Este método es útil en esta investigación debido a que es rápido y económico, ya que los recursos necesitados en comparación a otros métodos son menores (Castillo, 2020). Se puede aplicar en cualquier fase del proyecto (Castillo, 2020). Y fácilmente se puede combinar con otras metodologías, por ejemplo, una prueba de Usuario (Bonales, 2022).

La evaluación de heurísticas para esta investigación se incluyó en el mismo cuestionario justo con la encuesta. En ella, se recolectaron datos relacionados a la experiencia de los evaluadores utilizando simuladores de realidad virtual para aviación. Su propósito fue identificar los principales aspectos relacionados a los simuladores de realidad virtual en aviación percibidos por el evaluador luego de hacer uso de un simulador de esta índole brindado por el investigador. Para este instrumento se formularon 3 preguntas con la escala de Likert para cada una de las 10 heurísticas de Nielsen.

Diseño

Se hizo una selección cuidadosa de los participantes ya que el presente estudio usa una evaluación heurística al basarse en investigaciones, además, permite mediante un grupo pequeño de evaluadores expertos examinar las experiencias de usuario utilizando los principios de Nielsen, llamadas también las heurísticas (Martínez et al., 2022). De este modo, tomando en cuenta, que los evaluadores deben de tener experiencia previa en usabilidad y el en sector a aplicarse, recomiendan que se usen 10 evaluadores como máximo. Estos evaluadores son personas que tienen experiencia en el área de la aviación o de realidad virtual. Para ello solo se tomará en cuenta el perfil de personas que anteriormente ya hayan tomado clases de aviación y hayan volado mínimo alguna vez, siendo ellos estudiantes de aviación y pilotos privados. Además, se consideró como otro perfil de estos evaluadores a personas que tenga experiencia en el campo de la realidad virtual.

El instrumento para aplicar esta evaluación de experiencia con heurísticas es un cuestionario compuesto de 30 preguntas distribuido entre las 10 heurísticas de Nielsen descritas

en el capítulo anterior, que capturó las impresiones que tuvo cada evaluador inmediatamente después de completado la serie de ejercicios establecidos mediante el software y hardware establecidos. Por su parte, la encuesta constó de 10 preguntas para capturar la percepción del estado de uso de los simuladores de aviación de realidad virtual en Costa Rica. Entre ellas se encuentran 5 preguntas usando la escala de Likert. Dos preguntas de selección múltiple. Dos preguntas de selección única y cierra con una pregunta abierta para capturar recomendaciones y sugerencias para incursionar en este tipo de tecnologías.

Procedimiento

Se instaló todo el equipo necesario para que el evaluador primeramente se ambiente con el hardware y software antes de iniciar con los procedimientos a evaluar. Estos procedimientos consistieron en realizar taxeo por la pista indicada, un par de despegues y aterrizajes, y un vuelo solo en el escenario de entrenamiento del simulador Microsoft Flight Simulator 2020. Para la prueba final, se le solicitó a cada evaluador hacer un despegue de la pista del aeropuerto Juan Santa María y aterrizar en el aeropuerto Tobías Bolaños siguiendo las indicaciones de la torre de control. Estos escenarios ya estaban previamente mapeados virtualmente en el simulador. Además, se solicitó realizar estas pruebas condiciones meteorológicas óptimas para no perjudicar la experiencia del usuario, llámese con horario diurno, condiciones no ventosas y despejados de nubosidad y tormentas.

Una vez terminaron los procedimientos indicados, se le solicitó al evaluador completar el cuestionario que incluía una parte demográfica, la encuesta y la evaluación con heurísticas.

Recolección y análisis de datos

Los datos se almacenaron en una hoja de cálculo online conforme cada respuesta de la encuesta era introducida. Seguidamente se depuraron respuestas abiertas como opiniones similares y cantidad de años de experiencia en la tecnología.

Además, se realizó un análisis mediante el Alfa de Cronbach para determinar la validez de la encuesta, la cual arrojó un alfa de un 0.91 lo cual se considera excelente.

De igual forma se le realizaron análisis descriptivos y prueba de chi cuadrado por cada heurística donde el valor p para cada tipo de evaluador fue mayor a la significancia .05 infiriendo que el resultado obtenido por cada heurística es independiente al tipo de evaluador.

Software y Hardware

El software seleccionado para esta evaluación fue Microsoft Flight Simulator 2020 debido a su integración con tecnologías de realidad virtual y el soporte que ofrece a la comunidad. Además, cuenta con la aeronave Cessna 172 Skyhawk la cual es ampliamente utilizada por los estudiantes de aviación. La versión de este software es la 1.37.19.0 instalada el 8 de Julio de 2024.

Se utilizó SteamVR versión 2.7.4 para poder transmitir de manera óptima mediante streaming del contenido del simulador a las gafas de realidad virtual mediante un cable tipo C interconectando ambos dispositivos: ordenador y gafas. Además, se usó Meta Horizon versión 279.0 en un dispositivo móvil para poder castear el contenido de las gafas, poder ver en tiempo real lo que el evaluador está percibiendo.

Por otro lado, el equipo físico que se utilizó fueron unas gafas de realidad virtual de la marca Meta Quest versión 3 de 512 GB. Además, el software del simulador se ejecutó en una

laptop marca XPG Xenia con un procesado i7-1265H de la 12va generación, 16GM DDR5 4800 de memoria RAM y una tarjeta de video NVIDIA GeForce RTX 4070 8GB, un sistema operativo Microsoft Windows 11. Estos requerimientos son los mínimos adecuados para poder ejecutar la aplicación de manera óptima.

Además, se usó controles de vuelo que simulan la cabina de un avión. El panel de interruptores y yugo de controles de vuelo de marca Alpha de Honeycomb. De igual forma para la aceleración y el control de mezcla se usó el componente Bravo de Honeycomb el cual cuenta con múltiples componentes de cabina, incluidos el panel de anuncios, la palanca de cambios y flaps, así como una rueda de ajuste. De esta manera se garantiza la experiencia de simulación de vuelo más versátil posible. El último componente que se utilizó fue los pedales para mover el timón de dirección y taxear en pista. Este componente es de la marca ProPedals los cuales ofrecen un control del timón y frenos de punta diferenciales realista para simuladores de vuelo. Todos estos componentes físicos se montaron en una silla plegable como se aprecia en las figuras 1 y 2.



Figura 1. Vista lateral del simulador utilizado, que incluye laptop, gafas, yugo, panel de aceleración y pedales instalados en una silla plegable. Elaboración propia.



Figura 2. Vista frontal del simulador utilizado, que incluye laptop, yugo y panel de aceleración. Elaboración propia.

Resultados

Para esta investigación se utilizaron fuentes bibliográficas de alta calidad, en total 88 referencias bibliográficas donde el 63.64% (56) fueron fuentes primarias y el 36.36% (32) fuentes secundarias. El medio de publicación utilizado fue, de revistas un 37.5% (33), tesis en un 26.14% (23), referencias de libros un 4.55% (4), blogs de internet un 21.59% (19) mientras que otros tipos de literatura en un 10.23% (9). El análisis de la antigüedad de estas referencias bibliográficas indica que la mayoría de las fuentes consultadas tienen una antigüedad menor a 5 años 96.6% (85), mientras que solo el 3.4% (3) fueron inferiores al año 2019, pero se incluyen en este trabajo por la relevancia que aún aportan al tema en investigación.

Respecto a datos demográficos se obtuvo que el 100% (10) de los encuestados son de género masculino entre edades de los 23 a los 48 años, con una media de 29,6 años. Además, el 60% (6) reportaron ser estudiantes de aviación, un 20% (2) pilotos privados, otro 20% (2) usuarios de realidad virtual, y tan solo el 10% (1) menciona haber usado este tipo de tecnología por al menos un año, los demás mencionaron haberla usado por menos de un año.

A su vez, respecto a la percepción del estado de esta tecnología se obtuvo que el 50% (5) mencionó que ha usado simuladores de realidad virtual previamente, y de ellos un 85,7% lo utiliza rara vez mientras que un 14,3% mencionó usarlo mensualmente. Por otra parte, en su mayoría ha sido utilizada para entretenimiento con un 75%, un 50% con simulaciones educativas y un 25% para formación laboral. Los participantes se mostraron muy satisfechos con su experiencia en este tipo de simuladores, para un 90% (9) muy de acuerdo y un 10% (1) estando de acuerdo. Los encuestados consideran en un 80% (8) estar muy de acuerdo con que la realidad virtual en simuladores de vuelo tiene un impacto positivo en la educación y el entrenamiento de profesionales en aviación en Costa Rica.

Además, un 60% (6) está muy de acuerdo en invertir en un simulador de realidad virtual para uso personal y un 30% (3) solo de acuerdo. Y esto se ve reflejado ya que un 100% (80% (8) muy de acuerdo y 20% (2) de acuerdo) concuerda en que este tipo de herramienta ayuda a los estudiantes de aviación a mejorar sus habilidades de vuelo. Aunque hay una tendencia muy

positiva hacia este tipo de tecnología lo cierto es que el 90% (9) opina que una de las mayores limitaciones es su alto costo. Un 50% (5) opina que además hay cierto grado de desconocimiento y un 20% (2) menciona que existen limitaciones en infraestructura para ser usadas en Costa Rica.

Por otra parte, de manera abierta, se recolectaron sugerencias y recomendaciones que podría ayudar a mejorar e incursionar el uso de simuladores de aviación con realidad virtual en el país. Entre ellas se menciona:

- Hacer que sean más populares y ofrecerlos más al mercado.
- Es una tecnología que sería de gran ayuda su aplicación, claro sería necesario que las personas tengan conocimiento sobre esta, y sacarle el mayor provecho a la tecnología.
- Costo más accesible, tiempo, plan piloto para probarlo en escuelas.
- Tratar de implementar listas de chequeo reales al juego.
- Que sean más accesibles y tengan soporte en español.
- Ofrecer sesiones demostrativas en las escuelas de aviación o a aquellos que tienen interés en este campo para que conozcan de la tecnología y tengan una experiencia con ella

En la tabla 1 se puede encontrar un resumen obtenido de aplicar el cuestionario de evaluación de heurísticas a los 10 evaluadores por cada una de las 10 heurísticas de Nielsen y considerando la escala de Likert.

Tabla 1
Promedio de percepción de evaluadores por heurística.

Heurística	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Muy de acuerdo
Visibilidad del estado del sistema	0%	0%	0%	20%	80%
Concordancia entre el sistema y el mundo real	0%	0%	5%	30%	65%
Control y libertad del usuario	0%	0%	13%	37%	50%
Consistencia y estándares	0%	0%	0%	37%	63%
Prevención de errores	0%	0%	7%	23%	70%
Reconocimiento en lugar de recuerdo	0%	3%	17%	40%	40%
Flexibilidad y eficiencia de uso	0%	13%	13%	27%	47%
Estética y diseño minimalista	0%	0%	3%	40%	57%
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	0%	0%	13%	33%	53%
Ayuda y documentación	0%	0%	5%	25%	70%

Nota: resultados obtenidos de la investigación.

Análisis Chi Cuadrado por tipo de usuario

La prueba Chi Cuadrado de independencia fue aplicado para examinar la relación entre los diferentes tipos de evaluadores (Piloto privado, Estudiante de Aviación y Usuario de RV) con cada Heurística como se muestra en la Tabla 2. Como el p valor para cada una dio mayor a la significancia .05 se infiere que el resultado obtenido por cada heurística es independiente al tipo de evaluador.

Tabla 2
p valor de Chi Cuadrado por heurística.

Heurística	p valor
Visibilidad del estado del sistema	0.990
Concordancia entre el sistema y el mundo real	0.997
Control y libertad del usuario	0.997
Consistencia y estándares	0.964
Prevención de errores	0.863
Reconocimiento en lugar de recuerdo	0.868
Flexibilidad y eficiencia de uso	0.747
Estética y diseño minimalista	0.987
Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	0.999
Ayuda y documentación	0.906

Discusión

Visibilidad del estado del sistema: Los evaluadores indicaron estar muy de acuerdo con un 80% (8) y solo 20% (2) de acuerdo respecto a que la visibilidad del estado del simulador es claro y entendible tanto visualmente como auditivamente, tal y como se muestra en la tabla 1. Estos resultados son congruentes con estudios previos, por ejemplo, en el estudio de (McCoy-Fisher et al., 2019) menciona que el simulador empleado en ese estudio recibió comentarios positivos en términos de realismo de la cabina y el entorno virtual.

Concordancia entre el sistema y el mundo real: En la Tabla 1 se aprecia que el simulador muestra una concordancia con el mundo real. Un 65% de los participantes indicaron estar muy de acuerdo y un 30% solo estar de acuerdo. Los resultados recolectados para esta heurística concuerdan con el estudio de (McCoy-Fisher et al., 2019) donde indica que la aviónica generalmente era precisa. Además, en el estudio de (Lawrynczyk, 2018), menciona que los participantes calificaron la escena visual en el simulador de realidad virtual en términos de su nitidez y realismo.

Control y libertad del usuario: Los participantes mostraron en un 50% estar muy de acuerdo y un 37% solo de acuerdo ante esta premisa. Esto contrasta con otro estudio donde a pesar de que ninguno de ambos estudios brindaba seguimiento de la mano, los participantes del estudio

de McCoy-Fisher et al. (2019) mencionaron tener dificultades con los controles que perjudicaron realizar ciertas funciones dentro de la cabina.

Consistencia y estándares: Los resultados obtenidos para esta sección fue muy positiva. Un 63% estando muy de acuerdo y el restante 37% estando solamente de acuerdo. Estos resultados concuerdan con uno de los estudios recopilados por Ross & Gilbery (2023), donde mencionan que los entornos de VR con alta fidelidad representativa brindan una mayor conciencia de la situación, lo que sugiere que el diseño vívido facilita la continuidad en la presencia al mejorar el realismo y la credibilidad de la experiencia.

Reconocimiento en lugar de recuerdo: Aunque un 80% opinó de manera positiva sobre esta premisa, cabe recalcar que un 17% se mantuvo neutral. Es destacable que la percepción fue positiva a pesar de que igual al estudio de Lawrynczyk (2018), donde los participantes tuvieron que alcanzar los controladores de vuelo a ciegas, dado que las gafas de RV tenía limitantes de seguimiento de las manos.

Flexibilidad y eficiencia de uso: Aunque se observa en la Tabla 1 que un 74% sostiene estar de acuerdo ante esta premisa, es de interés mostrar que un 50% de los pilotos privados en este estudio opinó estar en desacuerdo con la flexibilidad y eficiencia de uso que ofrece el simulador, siendo esta heurística con la menor valoración obtenida. Esto pudo deberse dado que este perfil de evaluador tiene mayor tiempo y experiencia en contacto con aeronaves, pueden que notaron ciertos detalles y que podrían esperar mayores exigencias en cuanto a configuración y ubicación de los controles e instrumentos para una mayor eficiencia de uso. Otro punto pudo deberse a las limitaciones de tiempo, dado que esta recopilación de experiencias de usuario solo se enfocó en un único modelo de avión y no se configuró para otras aeronaves. Por ejemplo, Cross et al. (2021) menciona que, mientras que un entorno virtual se puede reconfigurar fácilmente para representar una variedad de aeronaves diferentes fácilmente simplemente cambiando la base de datos del modelo de cabina y la mecánica de vuelo adjunta. Adicionalmente todo el sistema se puede montar sobre una base móvil para aumentar el nivel de inmersión.

Estética y diseño minimalista: Los evaluadores concordaron que el simulador cumple con estética y diseño minimalista en un 97% como indica la Tabla 1. Estos resultados concuerdan con uno de los resultados del estudio de Cross et al. (2021), donde menciona que, respecto a la usabilidad, los estudiantes generalmente consideraron que la realidad virtual era simple y relativamente fácil de configurar y poner en marcha sin necesidad de mucha orientación.

Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores: En la Tabla 1 se observa que los participantes indicaron en un 53% estar muy de acuerdo y un 33% estar solo de acuerdo ante esta heurística. Estos resultados obtenidos en esta heurística concuerdan con lo reportado en el estudio de McCoy-Fisher et al. (2019), donde indica que debido a la cabina realista y al entorno virtual, los estudiantes informaron que el dispositivo fue útil para construir una imagen visual, prepararse para eventos futuros y realizar tareas de remediación.

Conclusiones

Para la culminación de este trabajo, se exploró literatura de referentes teóricos para darle sustento al trabajo, además se basó en otros estudios similares para comparar y contrarrestar los resultados obtenidos de esta recopilación de experiencia de usuarios de simulador realidad virtual en aviación. A continuación, se detalla las conclusiones más relevantes encontradas:

1. Realizar la recopilación y revisión de literatura da sustento a la investigación que está por realizarse. Por ello es esencial indagar en una gran cantidad de fuentes confiables, y descartar las fuentes que no aportan valor al trabajo.
2. Por otra parte, diseñar un experimento de laboratorio para recolectar la información establecida en los objetivos requiere la combinación de muchos factores, entre ellos una base sólida de referentes teóricos, una clara metodología a emplear. La creación de los instrumentos a emplear. Y como en este caso se necesitaba de equipo físico como de un software, se necesitó validar que este estuviera configurado de acorde a lo que se pretendía medir.
3. Para la recolección de la experiencia de usuario se necesitó tener el diseño del experimento listo, para ello se creó un cuestionario con las 10 heurísticas de Nielsen junto con la escala de Likert, se empleó tecnologías de inteligencia artificial y se debda depuración y validación con otros cuestionarios de estudios similares. Una vez validados se desplazó hasta donde cada participante para que realizaran las tareas en el simulador, y en seguida se le aplicó la encuesta junto al cuestionario.
4. Además, el análisis con el alfa de Cronbach ayudó a determinar la validez del cuestionario, y la aplicación de un chi cuadrado a cada heurística ayudó a comprobar que no había correlación entre la percepción de cada heurística con ningún tipo de evaluador.
5. En la heurística de flexibilidad, se vio mayormente con una puntuación negativa para el perfil de Piloto, lo cual da cabida a proponer una recomendación a los fabricantes de este tipo de Software para incluir pilotos profesionales en cada una de las etapas de usabilidad y experiencia de usuario, donde su larga experiencia a estar expuesto en aeronaves reales le puede brindar una retroalimentación más fiel a lo que un usuario esperaría de un simulador de Aviación.
6. Una limitante que presentaba el equipo era que esta versión del software del simulador era incompatible con el seguimiento de las manos, por lo cual al inicio los participantes tuvieron que familiarizarse con llegar a los controles como el del acelerador, flaps y yugo físico sin poder ver las manos en el dispositivo de RV. Esto es algo que también se encontró en otros estudios, pero en ninguno perjudicó la realización de las tareas establecidas ni la experiencia de usuario. Se espera que conforme la tecnología avance, se vayan resolviendo estos detalles para versiones futuras.

Referencias

- Balceda, I., Salgado, C., Peralta, M., Sanchez, A., Fernandez, M., Magaquian, J., & Fuentes, N. (2019). *Experiencia de Usuario en Plataforma virtual de Aprendizaje*. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77104/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baquero, L., & León, C. (2022). *Integración e implementación de realidad virtual para un Simulador de entrenamiento de vuelo de uso libre* [Fundación Universitaria los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/60d8f807-7549-470a-a8d2-c87531f54831/content>

- Bonales, M. (2022, noviembre 13). Evaluación de la Usabilidad. *Universitat Oberta de Catalunya*. <https://221-m4-353-01.folio.uoc.edu/2022/11/13/evaluacion-heuristica-2/>
- Canto de Gante, Á., Sosa, W., Bautista, J., Escobar, J., & Santillán, A. (2020). *Escala de Likert: Una alternativa para elaborar e interpretar un instrumento de percepción social*. 12. https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Fernandez-45/publication/361533522_Escala_de_Likert_Una_alternativa_para_elaborar_e_interpretar_un_instrumento_de_percepcion_social/links/62b736d0d49f803365b96810/Escala-de-Likert-Una-alternativa-para-elaborar-e-interpretar-un-instrumento-de-percepcion-social.pdf
- Castillo, G. (2020). *Métodos de Evaluación de la Usabilidad en Aplicaciones Móviles* [Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6785/Castillo%20Aguirre%20Gladys.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cevallos, G., Jácome, L., Alcívar, A., Sánchez, D., Arias, M., Teopanta, V., García, E., Valladares, C., Baque, T., Barba, K., Estrella, D., Cerna, M., Cpardeñas, J., Yáñez, J., & Baldeón, P. (2023). *Mi primer semillero de Investigación, los avances de la sociedad 5.0: Retos y prospectiva*. <https://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/154>
- Córdova, J. (2021, marzo). *La realidad virtual como herramienta para la educación básica y profesional*. 19. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-65862021000100223&script=sci_arttext
- Cross, J., Boag-Hodgson, C., Ryley, T., Mavin, T., & Potter, L. (2021). Using Extended Reality in Flight Simulators: A Literature Review. *IEEE Transactions*.
- da Silva, D. (2022, junio 7). *¿Cómo se elabora una encuesta de satisfacción? El paso a paso que no conocías*. <https://www.zendesk.com.mx/blog/como-elabora-encuesta/>
- Dalangin, M. (2021, noviembre 15). Applying UX in VR (Virtual Reality). *UserPeek*. <https://userpeek.com/blog/applying-ux-in-vr-virtual-reality/>
- Díaz, J., González, E., Pérez, J., Medina, R., & Rangel, A. (2021, agosto). *Complemento al simulador de vuelo del helicóptero Bell 206, para las prácticas en la formación de pilotos de la ESAVI*. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq* vol.17 núm.34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372020000200113&script=sci_arttext

- Ding, X., & Li, Z. (2022, noviembre 17). *A review of the application of virtual reality technology in higher education based on Web of Science literature data as an example. Volume 7.* <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2022.1048816/full>
- Dymora, P., Kowal, B., Mazurek, M., & Śliwa, R. (2021). *The effects of Virtual Reality technology application in the aircraft pilot training process* [Rzeszów University of Technology]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1024/1/012099/pdf>
- Faster Capital. (2024, abril 13). *Tecnología de simulación de vuelo Aprovechando la tecnología de simulación de vuelo para el éxito empresarial.* <https://fastercapital.com/es/contenido/Tecnologia-de-simulacion-de-vuelo-Aprovechando-la-tecnologia-de-simulacion-de-vuelo-para-el-exito-empresarial.html>
- Felgueres, A., Padilla, M., Correa, M., Correa, C., García, L., & Barroso, J. (2022, marzo 9). *Papel de los videojuegos en la adquisición de destrezas en histerectomía total laparoscópica en simulador de realidad virtual.* <https://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2022/bc222c.pdf>
- Figuroa, T. (2020). *Impacto de la realidad virtual aplicada al rubro inmobiliario.* Universidad de Belgramo.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2024, febrero 28). *Simuladores de realidad virtual aumentada llegan para entrenar a los pilotos militares de su Fuerza Aeroespacial Colombiana.* <https://www.fac.mil.co/es/noticias/simuladores-de-realidad-virtual-aumentada-llegan-para-entrenar-los-pilotos-militares-de-su>
- Gaitán, A. (2020). *Aplicación de la RV (Realidad Virtual) como un Recurso Educativo en el Aula de Clases.* Universidad Técnica de Pereira.
- Gil, I. (2021, marzo 6). "Link" o "Blue Box", el primer simulador de vuelo. *Transponder 1200.* <https://www.transponder1200.com/link-o-blue-box-el-primer-simulador-de-vuelo/>
- González, A., & Sosa, M. (2021). *Aspectos pedagógicos, tecnológicos y de interacción social del aprendizaje móvil: Revisión Sistemática de Literatura.* <https://revistas.um.es/educatio/article/view/469271/301911>
- González, S., & Mendoza, J. (2023). *Safety Driving: Plan de Negocios para crear una Escuela de choferes con Simuladores de Realidad Virtual* [UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTROYA]. <https://repositorio.uarm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1f03255b-8409-4e1b-803e-90c8499eb11a/content>

- Herranz de la Casa, J., Caerlos, R., & Sidorenko, P. (2019). *La realidad virtual y el video 360° en la comunicación empresarial e institucional. Revista de Comunicación vol.18 núm.2.* http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1684-09332019000200009&script=sci_arttext&tlng=pt
- Laker, C. (2023). *The Pedagogical Effectiveness of Virtual Reality on Abinitio Flight Students.* Purdue University West Lafayette.
- Lawrynczyk, A. (2018). *EXPLORING VIRTUAL REALITY FLIGHT TRAINING AS A VIABLE ALTERNATIVE TO TRADITIONAL SIMULATOR FLIGHT TRAINING.* CARLETON UNIVERSITY.
- Lekea, I., Stamatelos, D., & Raptis, P. (2021). Learning how to escape the unthinkable with virtual reality: The case of pilots' training on emergency procedures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1024.*
- León, C. (2021). *Realidad Virtual y Aumentada en Odontología: Revisión de Literatura* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3dfc5225-dfa7-43a1-b937-fee9415f4464/content>
- Marron, T., Dungan, N., Mac-Namee, B., & O'Hagan, A. (2024). Virtual Reality & Pilot Training: Existing Technologies, Challenges & Opportunities. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, Volume 33 Number 1.* <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1980&context=jaaer>
- Martínez, P., Vergara, J., Pino, J., & Ibañez, I. (2022). *Evaluación Heurística de Usabilidad en Plataforma Educativa* [Universidad Veracruzana]. <https://terc.mx/index.php/terc/article/view/232/215>
- McCoy-Fisher, C., Mishler, A., Bush, D., Severe-Valsaint, G., Natali, L. M., & Riner, B. (2019, septiembre 30). *Student Naval Aviation Extended Reality Device Capability Evaluation.* <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1103227.pdf>
- Monterrubio, J., & Rosas, M. (2019). *Turismo virtual y experiencia turística: El caso de la zona de monumentos arqueológicos de Teotihuacán* [Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/105039/Turismo%20virtual%20y%20experiencia%20tur%3%adstica.%20Tesis%20completa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Patti, E. (2019). *Realidad virtual para el recorrido del patrimonio arquitectónico de la calle Jaén* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/27804/T-3607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Riera, J. (2023). *Mejoras basadas en heurísticas para la percepción de estímulos de movimiento en simuladores de realidad virtual y realidad aumentada* [Universidad de Valencia]. <https://roderic.uv.es/rest/api/core/bitstreams/fla5373a-151b-4d0b-ab98-623596521c6a/content>
- Ross, G., & Gilbery, A. (2023, septiembre 11). Extended reality (xR) flight simulators as an adjunct to traditional flight training methods: A scoping review. *CEAS Aeronautical Journal, Volume 14*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-023-00688-5>
- Sabogal, L., & Rojas-Berrio, S. (2020, junio). *Evolución del marketing experiencial: Una aproximación teórica a su definición—Revisión Sistemática de Literatura*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1900-38032020000100094&script=sci_arttext
- Sanabria, M., & Guzman, F. (2021). *Desarrollo de un Prototipo de Realidad Mixta para el Protocolo de Despegue en el Simulador de Vuelo en Progreso* [Universidad de San Buenaventura]. <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/173436.pdf>
- Sánchez, R., Novillo, M., Arigita, A., Costa, Ó., Barrientos, A., & Pericacho, F. (2019, marzo 31). Carencias y limitaciones que afectan al asentamiento de la realidad virtual como tecnología de referencia en la sociedad actual. *Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015*. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n10/19401011.html>
- Sandu, E. (2023, julio). La Realidad Virtual en la Aviación. *Blog, realidad virtual*. <https://metaverso.pro/blog/la-realidad-virtual-en-la-aviacion/>
- Tapia, C. (2020, febrero 28). *Tipologías de uso educativo de las Tecnologías de la Información y Comunicación: Una revisión sistemática de la literatura*. <https://www.edutec.es/revista/index.php/edutec-e/article/view/1489/735>
- Testa, G. (2023, diciembre 18). Immersive Learning: Exploring the World of Medical VR Training. *UbiSim*. <https://www.ubisimvr.com/blog/medical-vr-training>
- Valle, A., Manrique, L., & Revilla, D. (2022). *La Investigación Descriptiva con Enfoque Cualitativo en Educación* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/184559/GU%c3%8dA>

%20INVESTIGACI%c3%93N%20DESCRIPTIVA%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vargas, C., Alvia, M., Oviedo, R., & Genovesi, G. (2024, abril 23). *Metamorfosis educativa en la formación de enfermeras: La realidad virtual llegó para quedarse*. <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/243/429>

Vega, M., Gaetan, G., & Martin, A. (2021). *Guías de experiencia de usuario para aplicaciones de turismo cultural basadas en realidad aumentada*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

Véliz, A., Correa, O., & Kugurakova, V. (2021, junio 1). *Aprendizaje adaptativo basado en Simuladores de Realidad Virtual*. 15. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2227-18992021000200138&script=sci_arttext

Vinney, C. (2023, junio 20). *UX Design for VR (Virtual Reality): Creating Immersive User Experiences*. *UX Design Institute*. <https://www.uxdesigninstitute.com/blog/ux-for-vr/>