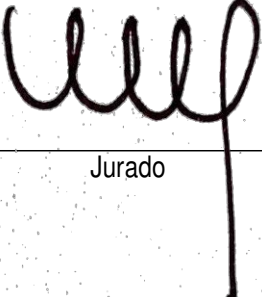


REQUERIMIENTOS PARA UNA INTERFAZ ADAPTATIVA PARA SISTEMAS INTERACTIVOS ORIENTADOS A NIÑOS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y/O AUDITIVA

ANDRÉS ENRIQUE CALDERÓN FERNÁNDEZ

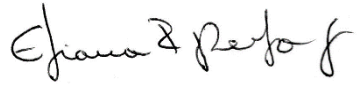
Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.



Jurado

Andrés A. Navarro N.
Director



Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería de Software.

Camilo Rocha
HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias



JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, 26 de septiembre del 2022



Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 19 de septiembre de 2022

Autor: Andrés Enrique Calderón Fernández, Código 0028459

Título del Trabajo de Grado: “REQUERIMIENTOS PARA UNA INTERFAZ ADAPTATIVA PARA SISTEMAS INTERACTIVOS ORIENTADOS A NIÑOS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y/O AUDITIVA”

Director:

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.


Firma del Director del Trabajo de Grado

DATOS DEL ESTUDIANTE

Nombre Completo: Andrés Enrique Calderón Fernández

Dirección: Carrera 11 F # 38 – 25, Barrio Las Américas, Santiago de Cali

Teléfonos: 3004140520

Correos Electrónicos: acalderon@javerianacali.edu.co, anenca@gmail.com

Profesión: Ingeniera de Sistemas, Pontificia Universidad Javeriana Cali

Empresas: Pontificia Universidad Javeriana Cali

Cargo: Ingeniero de Proyectos

**REQUERIMIENTOS PARA UNA INTERFAZ ADAPTATIVA PARA SISTEMAS
INTERACTIVOS ORIENTADOS A NIÑOS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y/O
AUDITIVA**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Andrés Enrique Calderón Fernández
Código 0028459

Trabajo de grado para optar al título de
Magister en Ingeniería de Software

Director
Andrés Adolfo Navarro Newball

Codirector
Juan Carlos Martínez Arias

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SOFTWARE
SANTIAGO DE CALI, JULIO 2022

Tabla de contenido

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS	5
1 RESUMEN	7
2 INTRODUCCIÓN.....	8
3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3.1 Formulación del Problema	14
4 OBJETIVOS DEL PROYECTO	15
4.1 Objetivo General	15
4.2 Objetivos Específicos	15
5 ALCANCE.....	16
5.1 Justificación.....	22
6 MARCO TEÓRICO	24
6.1 Interfaz Gráfica de Usuario	24
6.2 Realidad Aumentada	25
6.3 Realidad Virtual.....	30
6.4 Relación entre Realidad Mixta, Realidad Aumentada, Realidad Mixta, Continuo Virtual e Interfaces Adaptativas	31
6.5 Heurísticas de Usabilidad	33
6.6 Potenciales de la Tecnología Inmersiva	35
7 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....	37
7.1 Material y Métodos	39
7.2 Criterios de Inclusión y Exclusión.....	39
7.3 Preguntas de Investigación	40
7.4 Proceso de Búsqueda.....	41
7.5 Procedimiento de Selección	42
8 ESTADO DEL ARTE.....	45
8.1 Discusión artículos.....	57
9 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INCLUSIVO EN REALIDAD VIRTUAL Y MIXTA.....	60
9.1 Dispositivos de Hardware	60
9.1.1 Oculus Quest 2.....	60
9.1.2 Tecnologías de identificación del espacio en Realidad Aumentada.....	61

Diferencia entre Tecnología ToF y Tecnología LIDAR	64
9.1.3 HoloLens 2	65
9.1.4 Google Cardboard.....	67
9.1.5 Cave Assisted Virtual Environment (CAVE).....	69
9.1.6 Interfaces Hápticas	71
9.1.7 Textiles Inteligentes.....	73
9.1.8 Electrodos OPENBCI.....	75
9.2 Herramientas de Software	78
9.2.1 ZapWorks Studio.....	78
9.2.2 Microsoft Power Apps	79
9.2.3 Mozilla Hubs	80
9.2.4 Minecraft Education Edition.....	81
9.2.5 Aplicaciones de desarrollo que requieren programación	82
9.3 Tipo de Aplicaciones	96
9.3.1 Aplicación nativa:.....	96
9.3.2 Aplicación Web:.....	97
10 UN PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA INTERFAZ ADAPTATIVA PARA SISTEMAS INMERSIVOS DE REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD MIXTA.....	101
10.1 Recomendaciones para el desarrollo de Interfaces Adaptativas para personas con diversidad sensorial.....	102
10.2 Procedimiento para asociar las heurísticas de usabilidad para el diseño de aplicaciones inmersivas	104
10.2.1 Visibilidad del estado del sistema.....	104
10.2.2 Coincidencia entre el sistema y el mundo real	105
10.2.3 Control y libertad del usuario	105
10.2.4 Consistencia y Estándares.....	106
10.2.5 Prevención de errores.....	106
10.2.6 Reconocimiento en lugar de recuerdo	107
10.2.7 Flexibilidad y eficiencia de uso.....	107
10.2.8 Diseño estético y minimalista	108
10.2.9 Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores.....	108
10.2.10 Ayuda y documentación	109
10.3 Principios Heurísticos aplicados a la Realidad Virtual y Mixta.....	110
11 PRESENTACIÓN DEL INSTITUTO PARA NIÑOS CIEGOS Y SORDOS DEL VALLE DEL CAUCA.....	113
11.1 Simulación de vuelo del cóndor en realidad virtual.....	113
11.2 Rompecabezas y máscaras para el tití cabeciblanco y el oso de anteojos en realidad aumentada	115
11.3 Caminatas en Realidad Virtual	118
11.4 Requerimientos para ejemplos del Instituto para niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.....	122
12 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	123
13 BIBLIOGRAFÍA	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 REPRESENTACIÓN SIMPLIFICADA DEL CONTINUO VIRTUAL [11]	12
FIGURA 2 CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE AGUDEZA VISUAL EN LA DEFICIENCIA VISUAL SEGÚN LA OMS [23]	18
FIGURA 3 CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE CAMPO VISUAL EN LA DEFICIENCIA VISUAL SEGÚN LA OMS [23].....	19
FIGURA 4 SONIDOS COMUNES Y SUS CLASIFICACIONES SEGÚN NIVEL DE RUIDO [26]	21
FIGURA 5 AUDIOGRAMA DE LOS GRADOS DE PÉRDIDA AUDITIVA [29]	22
FIGURA 6 REALIDAD AUMENTADA BASADA EN MARCADORES [35].....	27
FIGURA 7 REALIDAD AUMENTADA SIN MARCADORES [36].....	27
FIGURA 8 REALIDAD AUMENTADA BASADA EN LA UBICACIÓN [37].....	28
FIGURA 9 REALIDAD AUMENTADA BASADA EN LA PROYECCIÓN [37].....	29
FIGURA 10 REALIDAD AUMENTADA BASADA EN SUPERPOSICIÓN [37].....	29
FIGURA 11 REALIDAD VIRTUAL BASADA EN CONTORNOS [38]	30
FIGURA 12 FLUJOGRAMA ARTÍCULOS SELECCIONADOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	44
FIGURA 13 OCULUS QUEST 2 CON CONTROLES TÁCTILES [69].....	61
FIGURA 14 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TIEMPO DE VUELO TOF [71].....	62
FIGURA 15 IMAGEN OBTENIDA CON TECNOLOGÍA TOF [72].....	63
FIGURA 16 REPRESENTACIÓN GRÁFICA SISTEMA LIDAR [74].....	64
FIGURA 17 IMAGEN TOMADA CON TECNOLOGÍA LIDAR [75]	64
FIGURA 18 HOLOLENS 2 DE MICROSOFT [80]	66
FIGURA 19 IMAGEN HOLOGRÁFICA CON HOLOLENS2 [79].....	67
FIGURA 20 GOOGLE CARDBOARD [81].....	68
FIGURA 21 DISEÑO ABSTRACTO DE UNA CAVE DE CUATRO PAREDES [83].....	69
FIGURA 22 CAVE DE CUATRO PAREDES EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DEL DESIERTO EN RENO, NEVADA [83]	70
FIGURA 23 MANIPULACIÓN DE OBJETO CON GUANTES HÁPTICOS [86].....	72
FIGURA 24 CHALECOS HÁPTICOS TACTSUIT X40 [87]	73
FIGURA 25 COMPONENTES ELECTRÓNICOS DE UN TEXTIL INTELIGENTE [89]	74
FIGURA 26 CAMISA DE TEXTIL INTELIGENTE QUE NO SE MANCHA [90]	75
FIGURA 27 SEÑAL TOMADA POR UN SISTEMA EMG [92]	76
FIGURA 28 PARTICIPANTE CON BCI Y VISUALIZACIÓN 3D DE LA ACTIVACIÓN DEL CEREBRO [93]	77
FIGURA 29 IMAGEN PLANTILLA 3D DE ZAPWORKS [96].....	79
FIGURA 30 OBJETO VIRTUAL SUPERPUESTO EN MUNDO REAL [98]	80
FIGURA 31 SALA HUBS CON TRES PARTICIPANTES [100]	81
FIGURA 32 EJEMPLO DE UN MUNDO MINECRAFT [102].....	82
FIGURA 33 APLICACIÓN A-FRAME "HELLO WEBVR" [104]	83
FIGURA 34 CÓDIGO HTML APLICACIÓN A-FRAME "HELLO WEBVR" [104]	83
FIGURA 35 OBJETO CREADO EN THREEJS [107]	84
FIGURA 36 EFECTOS APLICADOS A FIGURA 39 [107]	85
FIGURA 37 ESCENA CREADA EN EDITOR DE BABYLONJS [110]	86
FIGURA 38 EDITOR DE ANIMACIÓN GDSRIPT [113].....	88
FIGURA 39 BOLSAS DE SEGURIDAD AUTOMOTRIZ DE AUTOLIV [116]	90
FIGURA 40 CONTENIDO DIGITAL HECHO CON VUFORIA [118]	91
FIGURA 41 IMAGEN PÁGINA DE INICIO DE UNREAL ENGINE [121].....	93
FIGURA 42 HELLO WEBXR POR MOZILLA [125]	95
FIGURA 43 PROCEDIMIENTO HEURÍSTICAS DE USABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	111
FIGURA 44 CONTINUACIÓN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICAS DE USABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA).....	111
FIGURA 45 CONTINUACIÓN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICAS DE USABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA).....	112
FIGURA 46 CONTINUACIÓN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICAS DE USABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA).....	112
FIGURA 47 VUELO DEL CÓNDOR [133]	114
FIGURA 48 FILTROS FACIALES QUE SE PUEDEN MOSTRAR EN DIFERENTES LUGARES [133].....	115
FIGURA 49 CONTRASTE MÁSCARAS MONO TITI [130].....	116

FIGURA 50 ROMPECABEZAS MONO TITI Y SU PIEZA AUMENTADA [133]	117
FIGURA 51 PERSPECTIVA 1 MUNDO VIRTUAL	118
FIGURA 52 PERSPECTIVA 2 MUNDO VIRTUAL	119
FIGURA 53 ENTRADA EDIFICIO	120
FIGURA 54 PERSONAS SIN CARA	121

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 RESUMEN DE LOS NIVELES TRL [20]	17
TABLA 2 LISTA DE VERIFICACIÓN MÉTODO PRISMA [51]	38
TABLA 3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).....	39
TABLA 4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	40
TABLA 5 PALABRAS RELEVANTES Y PREGUNTAS (ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 6 CADENAS DE BÚSQUEDA (ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 7 DIFERENCIAS ENTRE TECNOLOGÍAS TOF Y LIDAR [77] [78]	65
TABLA 8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICACIONES NATIVAS [127].....	96
TABLA 9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICACIONES WEB [128].....	97
TABLA 10 LISTADO DE REQUERIMIENTOS DE EJEMPLOS DEL INSTITUTO PARA NIÑOS CIEGOS Y SORDOS DEL VALLE DEL CAUCA (ELABORACIÓN PROPIA)	122

1 RESUMEN

El uso de interfaces adaptativas permite que las personas que presenten algún tipo de discapacidad sensorial tengan mayor acceso a actividades del mundo cotidiano como lo puede ser, por ejemplo, al empleo y a la educación. El uso de esta tecnología aplicada en las interfaces adaptativas contribuirá a la disminución de la exclusión social brindando más oportunidades de participación en diferentes entornos a las personas con discapacidad. Las interfaces adaptativas pueden ser usadas en el campo de la medicina terapéutica o de rehabilitación para facilitar y agilizar la recuperación de pacientes que se encuentren en algún tratamiento en particular, apoyando la terapia tradicional. En el presente proyecto, se realizó una investigación bibliográfica con temas que relacionen el uso de la Realidad Aumentada, Virtual y Mixta en interfaces adaptativas para poder obtener las características adecuadas que se ajusten para su implementación en un contexto en el que se produzca una interacción por algún tipo de usuario, en especial, aquel que presente discapacidad visual y auditiva.

ABSTRACT

The use of adaptive interfaces allows people with sensory disabilities to have greater access to everyday activities such as employment and education. The use of this technology applied in adaptive interfaces will contribute to the reduction of social exclusion by providing more opportunities for people with disabilities to participate in different environments. Adaptive interfaces can be used in the field of therapeutic or rehabilitation medicine to facilitate and speed up the recovery of patients undergoing a particular treatment, supporting traditional therapy. In the present project, a bibliographic research was carried out with topics related to the use of Augmented, Virtual and Mixed Reality in adaptive interfaces in order to obtain the appropriate features that fit for implementation in a context in which there is an interaction by some type of user, especially one with visual and hearing impairment.

2 INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad en muchas ocasiones no pueden satisfacer sus necesidades básicas y tener una vida plena. La exclusión social hace que las personas con discapacidad tengan poco acceso al empleo, educación, a la medicina terapéutica o de rehabilitación, a entornos físicos, al transporte, cuentan con poca disponibilidad de dispositivos y tecnologías de apoyo, encuentran deficiencia en la prestación de servicios, y en muchas ocasiones son discriminados socialmente por su condición [1]. La discapacidad “abarca todas las deficiencias, las limitaciones para realizar actividades y las restricciones de participación, y se refiere a los aspectos negativos de la interacción entre una persona (que tiene una condición de salud) y los factores contextuales de esa persona (factores ambientales y personales)” [2]. El avance de la tecnología ha permitido que las personas en condición de discapacidad sean tenidas en cuenta para una integración social más activa y se construyan herramientas de apoyo a la medicina con el fin de atender pacientes que se encuentren en terapias o en tratamientos de rehabilitación a causa de una discapacidad presentada. La construcción de dispositivos adaptables para personas con discapacidad ha permitido su inclusión para realizar actividades de vida cotidiana como lo puede ser un empleo o la práctica de un deporte.

Actualmente el término “Discapacidad” tiene una connotación negativa y se refiere solamente a aquellas personas que sufren un impedimento a “largo plazo” independientemente de su participación en cualquier actividad y del resultado que esta persona pueda obtener [2], debe reconocerse que la discapacidad también puede ser una situación de impedimento a “corto plazo” ya que una persona puede enfermarse o tener un accidente que le impida realizar alguna labor de las que generalmente realiza, por ejemplo, una persona que trabaje con un taladro y que se haya fracturado una mano difícilmente podrá hacer uso de la herramienta hasta que recupere el funcionamiento de su extremidad afectada. Debemos comprender que la discapacidad es un problema de salud central que abarca toda la sociedad y no debe segregarse a grupos como “personas con discapacidad visual”, “personas en sillas de ruedas” o “personas sordas” puesto que de esta manera podría entenderse como un tema de discriminación.

En los últimos años se ha venido utilizando el término “Diversidad funcional” como alternativo a “Discapacidad”, con este término se busca eliminar las connotaciones negativas que pueden tener expresiones como “minusválido”, “invalido”, “incapacitado” o “discapacitado”. En el año 2005 el activista e inventor Javier Romañach Cabrero (1962 – 2018) quien a los 28 años sufrió un accidente de tránsito que le causo tetraplejía, utilizó el término “Diversidad funcional” por primera vez durante una reunión de la organización internacional Foro de Vida Independiente¹ [3]. Diversidad funcional es definido por el Foro de Vida

¹ <http://forovidaindependiente.org/que-es-el-fvid/>

Independiente como “la diferencia de funcionamiento de una persona al realizar las tareas habituales (desplazarse, leer, agarrar, ir al baño, comunicarse, relacionarse, etc.) de manera diferente a la mayoría de la población” [4], esta definición da a entender que las personas pueden realizar una misma actividad de diferente manera, por ejemplo, una persona en con lesión medular puede desplazarse de un lugar a otro utilizando una silla de ruedas mientras que una persona que no tenga lesión medular, puede desplazarse utilizando las piernas. El término “Diversidad funcional” reconoce a todas las personas por igual que cuentan con capacidades diferentes entre sí.

En este trabajo de investigación se utilizan los términos “Discapacidad” y “Diversidad sensorial” (como referencia a “Diversidad funcional”) independientemente de las condiciones de las personas en los casos que puedan ser mencionados, el uso de estos términos se hace de manera respetuosa y con el ánimo de no causar sensación de discriminación, sino que, por lo contrario, reconocer las distintas capacidades de cada ser dentro de una sociedad y buscar lo mejor para todos en general.

Se reconocen diferentes tipos de discapacidad, estos son [5]:

- **Discapacidad física:** es la limitación que se genera cuando se presenta una disminución o eliminación de capacidades motoras o físicas; puede ser, por ejemplo, la pérdida física de una extremidad o de su funcionamiento normal.
- **Discapacidad auditiva:** es la deficiencia permanente en las funciones sensoriales que se relacionan con la percepción de los sonidos y la discriminación de su localización, tono, volumen y calidad. Esta discapacidad se encuentra dentro de la categoría de “Discapacidad sensorial”.
- **Discapacidad visual:** es la deficiencia que se presenta para percibir la luz, forma, tamaño o color de los objetos. En la discapacidad visual se encuentran las personas ciegas y las que cuentan con una baja visión. Esta discapacidad se encuentra dentro de la categoría de “Discapacidad sensorial”.
- **Discapacidad intelectual:** es la deficiencia que se presenta en las capacidades mentales generales, como lo son el razonamiento, la resolución de problemas, la planificación, el juicio, el aprendizaje académico y el aprendizaje de la experiencia. Esta discapacidad dificulta la participación social y el desarrollo autónomo de las personas.
- **Discapacidad psicosocial (mental):** esta discapacidad se refiere a las personas que presentan deficiencias como la alteración del pensamiento, la percepción, las emociones, los sentimientos, comportamientos y

relaciones y diferentes barreras del entorno que limitan su participación plena y efectiva en la sociedad.

- **Discapacidad múltiple:** esta discapacidad se deriva de la combinación de algunas de las anteriormente mencionadas y afectan significativamente el nivel de desarrollo de las personas.

El desarrollo de este proyecto se enfocó en la categoría de diversidad sensorial donde se encuentran la discapacidad visual y la discapacidad auditiva. Para este estudio se tomaron como punto de partida, los trabajos realizados en diferentes instituciones de educación superior en los cuáles se ha utilizado el Continuo Virtual, el cual se definirá en el Capítulo 3, para impartir clases en el área de medicina y de química; y también, de un trabajo en el que se desarrolló un juego de rehabilitación de niños que presentan discapacidad auditiva y de habla, el cual se realizó con el apoyo del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

La tecnología ha servido para mejorar y agilizar procesos en cualquier ambiente en general, con el propósito de obtener mejores resultados en un menor tiempo y a un menor costo que los procesos tradicionales en los cuales no se utiliza [6]. A partir de estos resultados, obtenidos con mayor precisión, se pueden generar ideas para mejorar la calidad de vida de las personas y brindar una mayor oportunidad de inclusión a personas que por sus condiciones de discapacidad han estado lamentablemente marginadas de un mundo cotidiano la sociedad.

Como tecnología, las interfaces de usuario son un medio con el cual se puede mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad o de las personas en general. Las interfaces de usuario se diseñan teniendo en cuenta las diferentes necesidades, preferencias y habilidades de los usuarios que las van a utilizar. Para esto se desarrollan varios prototipos y se realizan pruebas de usabilidad. Sin embargo, que estas interfaces no cumplen con todos los requerimientos iniciales, esto significa que no fue tomada toda la información necesaria para el desarrollo de la interfaz. Es difícil (por no decir imposible) diseñar y crear interfaces para cada tipo de usuario debido a que sus características pueden ser muy distintas entre sí [7]. Otro problema que se puede presentar es la llegada de nuevos usuarios que en un principio no fueron tenidos en cuenta por lo que se tendrán que diseñar nuevas interfaces o ajustar las existentes.

En este trabajo de investigación se identifican cuáles son los requerimientos funcionales y no funcionales que se deben tener en cuenta para diseñar y crear una interfaz que se adapta a las preferencias o perfil del usuario (adaptativa) [8] [9], que permita a las personas con discapacidad visual y auditiva acceder a mundos soportados por las tecnologías del Continuo Virtual, que abarca las posibles variaciones y combinaciones de objetos virtuales y reales. En este trabajo de investigación también se destaca cómo el uso de herramientas

tecnológicas como la Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Realidad Mixta han venido teniendo gran acogida en el ámbito educativo y han despertado un mayor interés de los estudiantes en el proceso del aprendizaje.

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día la tecnología está teniendo un impacto positivo sirviendo de apoyo en áreas como la educación donde se ha podido identificar el aumento de la motivación de los estudiantes, las mejoras en su rendimiento académico, la mayor interacción entre alumnos y docentes, el mejor trabajo en equipo y una comunicación más fluida y otras ventajas adicionales [10]. Para el uso en la educación, se encuentran, por ejemplo, las tecnologías del Continuo Virtual y de Interfaz Adaptativa. El Continuo Virtual se refiere a la mezcla de clases de objetos presentados en cualquier situación de visualización particular, como se ilustra en la Figura 1, donde los entornos reales, se muestran en un extremo del continuo, y los entornos virtuales, en el extremo opuesto. El primer caso, a la izquierda, define los entornos que consisten únicamente en objetos reales, e incluye, por ejemplo, lo que se observa a través de una visualización de vídeo convencional de una escena del mundo real. En el último caso, a la derecha, se definen los entornos que consisten únicamente en objetos virtuales, un ejemplo de lo cual sería una simulación gráfica de computadora convencional. Los puntos intermedios que se encuentran entre el Entorno Real y el Entorno Virtual representan entornos de Realidad Mixta, en los que hay parte de realidad y objetos virtuales. En 1994 los autores Paula Milgram y Fumio Kishino definieron la Realidad Mixta como cualquier espacio entre los extremos del Continuo Virtual [11]. Por otra parte, una Interfaz Adaptativa es la manera de simplificar la interacción automática entre las personas y las máquinas de acuerdo con las necesidades individuales del usuario [12].



Figura 1 Representación simplificada del Continuo Virtual [11]

Estas tecnologías tienen el potencial de favorecer la educación y se ha experimentado con ellas en trabajos previos para sistemas educativos [13] [14]. La mayoría de los trabajos brindan soluciones puntuales sobre un tema en particular, o presentan experimentos de interacción, pero difícilmente enuncian el tipo de requerimientos que estos sistemas deben tener para la correcta utilización de los entornos utilizados. No se encontró evidencia de cómo se utilizan estas tecnologías en personas con discapacidad visual y auditiva. Para estos casos, se puede mencionar, el Simulador de Salto Virtual de Paracaidismo

al interior de un cuarto donde se utiliza realidad virtual. Aquí las personas realizan un salto en paracaídas al interior de un entorno virtual, el descenso es acompañado por un contenido audiovisual para contar historias incrustadas. Para el caso del artículo de referencia, se cuentan los 200 años de historia de la Universidad Tecnológica de Viena [15]. En el artículo no se encuentran listados los requisitos a partir de los cuales se diseñó e implementó el simulador. Otro ejemplo de uso de tecnología de realidad virtual es el proyecto Hypnos creado en la Universidad Carnegie Mellon de los Estados Unidos. El proyecto explora técnicas del cine narrativo e inmersivo utilizando la realidad virtual como medio para contar historias de una manera nueva y emocionante. Se busca que el espectador se sienta parte de la película con el fin de provocarle emociones negativas y positivas. El interés particular del proyecto era identificar cómo el jugador percibía su papel dentro de la narrativa, la comprensión de su cuerpo físico en el espacio virtual y sus respuestas emocionales a diversos estímulos causados por la realidad virtual [16]. A pesar de que se tiene claro cuál es el objetivo del proyecto, tampoco se encuentra evidencia de los requisitos utilizados para la implementación del sistema.

Retomando el tema de discapacidad, se entiende por discapacidad visual y auditiva a las limitaciones o deficiencias que tienen las personas con el uso de esos sentidos. En la introducción del presente documento se explican estos dos tipos de discapacidades. Sumado a lo anterior, no existe evidencia de un sistema basado en el continuo virtual que presente información relevante de animales colombianos en vías de extinción orientado a personas con dicho tipo de discapacidades, y mucho menos se tiene información para obtener los requerimientos de dicho sistema. Como se sabe, Colombia es el segundo país más biodiverso del mundo, de allí la importancia de crear conciencia respecto a la protección de esta biodiversidad.

Es así como se ha venido desarrollando este proyecto como parte del “Proyecto colaborativo Colombia-Québec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales” cuyo objetivo es la creación de piezas visuales y táctiles de animales colombianos en riesgo de extinción, que puedan beneficiar tanto a personas que presentan una deficiencia sensorial visual como a la población general, con el fin de sensibilizarla sobre esta problemática. Las piezas de este trabajo, hechas en relieve, pueden presentarse de forma visual, táctil o digital y representan los prototipos de animales colombianos en riesgo de extinción [17]. Este trabajo de grado de maestría pretende contribuir a este proyecto en brindar pautas para la identificación de requerimientos en los sistemas propuestos.

Contrastando con lo dicho hasta ahora, existe evidencia de que el Continuo Virtual es útil para narrativas interactivas. En trabajos como “Realidad aumentada aplicada a la enseñanza de la medicina” [13] y “Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química” [14] se muestra cómo el Continuo Virtual favorece el escenario educativo, ya que fortalece los momentos de aprendizaje y la creación de conocimiento con el apoyo de herramientas digitales. El Continuo Virtual es una gran alternativa para el desarrollo de tecnologías que buscan mejorar el entorno educativo. Sin

embargo, muchos de estos trabajos no consideran la inclusión de personas que poseen diferentes tipos de discapacidad visual y auditiva. Los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos poseen discapacidad visual y auditiva y resulta complejo desarrollar una interfaz que se adapte a varios tipos de discapacidad. Así, las interfaces adaptativas surgen como una alternativa para que un sistema interactivo pueda ser accesible a personas con discapacidad sensorial. Sin embargo, no se tiene evidencia de un trabajo previo que formule los requerimientos que se deben tener en cuenta en este tipo de interfaces cuando se usan con personas con discapacidad sensorial, más cuando se habla del uso del Continuo Virtual. No existen herramientas que actualmente favorezcan la usabilidad por parte de las personas con discapacidades sensoriales para realizar sus tareas cotidianas. Las herramientas existentes permiten que se facilite la autonomía de las personas a la hora de querer realizar sus tareas cotidianas dependiendo del tipo de discapacidad, como lo son, por ejemplo, la auditiva, visual, movilidad reducida y discapacidad intelectual [18], pero estas herramientas no se encuentran integradas, por lo cual no son adaptables a cualquier tipo de usuario. Es así como este trabajo busca responder la pregunta que se presenta en la formulación.

3.1 Formulación del Problema

¿Cómo integrar parámetros de usabilidad que sirvan para formular un listado de requerimientos que adapten una interfaz a narrativas basadas en el Continuo Virtual orientada a personas con discapacidad visual y auditiva?

4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 Objetivo General

Formular un procedimiento para obtener un listado de requerimientos que permitan adaptar una interfaz a narrativas orientada a personas con discapacidad visual y auditiva utilizando el continuo virtual e integrando parámetros de usabilidad.

4.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar la literatura existente relacionada con la Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Realidad Mixta para identificar las características de las interfaces adaptativas basadas en el Continuo Virtual.
- b. Estructurar las características identificadas en el análisis, que impactan el diseño de una narrativa interactiva para la implementación de una interfaz adaptativa basada en el Continuo Virtual de acuerdo con las diferentes condiciones de una persona con discapacidad visual o auditiva.
- c. Comprobar el procedimiento para obtener el listado de los requerimientos, presentándolo como insumo en un caso ejemplo para producir el prototipo no funcional de una interfaz adaptativa para una narrativa interactiva orientada a personas con discapacidad visual o auditiva.

5 ALCANCE

- En este trabajo de grado se entrega la formulación de requerimientos para tener en cuenta en el diseño necesario para la construcción de una interfaz adaptativa. No se realizó ninguna implementación más allá de un prototipo de baja fidelidad (por ejemplo) o interactivo (no funcional). Este prototipo se realizó basado en el nivel de TRL2.

Los TRL (Technology Readiness Levels – Niveles de Madurez de la Tecnología) son un sistema de medición desarrollado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y han sido ampliamente aceptados como una herramienta métrica de gestión de tecnología en Ingeniería de Sistemas. Los TRL se utilizan como un método para medir el riesgo asociado a la introducción de nuevas tecnologías en los sistemas existentes y los procedimientos operativos estándar. Con los TRL se puede medir hasta qué punto una tecnología es adecuada para su implementación en un entorno operativo real [19]. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los diferentes niveles de los TRL y su descripción.

TRL		DESCRIPCIÓN
NIVEL 1	Investigación básica: los principios elementales son observados y referidos	El nivel más bajo de madurez tecnológica. La investigación científica se comienza a convertir en investigación aplicada y desarrollo. Los ejemplos pueden incluir investigaciones fundamentales y artículos.
Nivel 2	Investigación aplicada: se formula el concepto de la tecnología y/o su aplicación	Una vez que se observan los principios básicos, se formulan las aplicaciones prácticas. Los ejemplos están limitados a estudios analíticos y experimentación.
Nivel 3	Función crítica, prueba y establecimiento del concepto	Se inicia la investigación activa y el desarrollo. Los estudios de laboratorio buscan validar las predicciones analíticas de los componentes por separado de la tecnología. Los ejemplos incluyen componentes que no han sido aún integrados o no son representativos.
Nivel 4	Análisis de laboratorio del prototipo o del proceso	Se lleva a cabo el diseño, desarrollo y análisis de laboratorio de los componentes tecnológicos. Aquí, los componentes tecnológicos básicos son integrados para que funcionen juntos. Es un prototipo de “baja fidelidad” en comparación con el sistema final.

Nivel 5	Análisis de laboratorio del sistema integrado	Los componentes tecnológicos básicos son integrados conjuntamente con elementos reales para ser analizados en un entorno simulador. Este es un prototipo de “alta fidelidad” en comparación con el sistema final.
Nivel 6	Verificación del sistema prototipo	El prototipo bueno, a partir del nivel 5, es analizado en un entorno relevante. La demostración del sistema o proceso se lleva a cabo en un entorno operacional.
Nivel 7	Demostración del sistema piloto integrado	El prototipo está cercano al nivel de sistema operacional planificado. El diseño final está virtualmente completo. El objetivo de este nivel es eliminar los riesgos de ingeniería y manufacturación.
Nivel 8	El sistema incorpora el diseño comercial	La tecnología ha sido probada para trabajar en la parte final bajo las condiciones esperadas. En la mayoría de los casos, este nivel representa el fin del uso de desarrollo de sistemas verdaderos.
Nivel 9	El sistema está listo para su uso a escala completa	Aquí, la tecnología adopta su forma final y está lista para su despliegue comercial.
Nivel posterior al 9	Introducción al mercado	El producto, proceso o servicio se lanza comercialmente en el mercado y es aceptado por un grupo de clientes incluido autoridades públicas.

Tabla 1 Resumen de los niveles TRL [20]

- Se revisó la adaptabilidad de las interfaces dando un enfoque a la inclusión de niños con discapacidades visuales y auditivas.

La función visual se clasifica en 4 categorías [21]:

- **Visión normal**
- **Discapacidad visual moderada:** se pueden realizar tareas visuales con ayudas especiales y una iluminación adecuada parecidas a las utilizadas por las personas de visión normal
- **Discapacidad visual grave:** se pueden realizar tareas visuales con inexactitudes, se requiere adecuación de tiempo, ayudas y modificaciones.
- **Ceguera:** carencia de visión o solo percepción de luz. No se pueden realizar tareas visuales.

Para medir la definición visual se consideran los siguientes parámetros [22]:

- **Agudeza visual:** es la capacidad con la que pueden distinguir las formas de los objetos a cierta distancia. Es la resolución con la que vemos, nivel de borrosidad, donde en una escala de 1 al 10, el 10 representa la mejor visión. La Figura 2 muestra la clasificación de los niveles de agudeza visual según la Organización Mundial de la Salud.

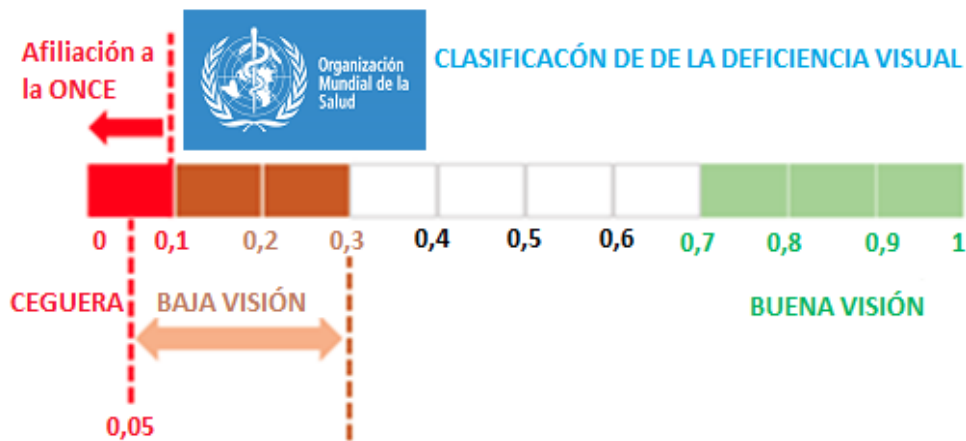


Figura 2 Clasificación de los niveles de agudeza visual en la deficiencia visual según la OMS [23]

- **Campo visual:** es el ángulo de visión del ojo, esto es 90° en cada ojo. La persona con visión normal puede ver objetos en una amplitud de 180° en el plano horizontal y para el plano vertical es de 140° , mientras que el campo visual combinado para ambos ojos es igual o inferior a 10° en una persona "legalmente ciega". El Campo Visual es la extensión observable en cada momento, es el "trozo" de campo que la persona puede ver. En España se considera una persona "legalmente ciega" cuando su agudeza visual es diez veces menor de lo normal en el mejor ojo, o el campo visual no es superior a 10° a pesar de que use gafas o lentes de contacto. La Figura 3 muestra la clasificación de los niveles de campo visual según la Organización Mundial de la Salud.



Figura 3 Clasificación de los niveles de campo visual en la deficiencia visual según la OMS [23]

Las siguientes son las clasificaciones de deficiencia visual que realiza la Organización Mundial de la Salud y la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE):

- **Ceguera:** es la agudeza visual inferior a 0.05 con la mejor corrección o un campo visual inferior o igual a 10° con respecto a la fijación central en el mejor ojo.
- **Baja visión:** es la agudeza visual menor de 0.33 y mejor que 0.05, con respecto a la mejor corrección posible en el mejor ojo.

La visión en el mejor ojo se tiene en cuenta para medir el grado de discapacidad, con la mejor corrección de lentes posible, de acuerdo con esto, la Organización Mundial de la Salud también clasifica los diferentes tipos de grados o discapacidad visual de la siguiente manera [24]:

- **20/30 a 20/60:** pérdida de visión leve o visión casi normal.
- **20/70 a 20/160:** discapacidad visual moderada o baja visión moderada.
- **20/200 a 20/400:** discapacidad visual grave o baja visión severa.
- **20/500 a 20/1000:** discapacidad visual casi total o ceguera casi total.
- **Falta de percepción de la luz:** ceguera total.

En cuanto a discapacidad auditiva, se reconocen 4 tipos identificados como pérdidas auditivas [25]:

- **Pérdida auditiva conductiva:** se presenta cuando existe un bloqueo para que el sonido pase del oído externo al medio.
- **Pérdida auditiva neurosensorial:** ocurre cuando en el funcionamiento del oído interno o el nervio auditivo se presenta una alteración.
- **Pérdida auditiva mixta:** es la combinación de la pérdida auditiva conductiva y neurosensorial.
- **Trastorno del espectro neuropatía auditiva:** se presenta cuando el sonido entra de manera normal al oído, pero debido a daños en el oído interno o el nervio auditivo, el sonido no se procesa y el cerebro no lo puede registrar.

El grado de la pérdida auditiva puede ser de leve a profundo y se clasifican en [25]:

- **Pérdida auditiva leve:** la persona puede escuchar algunos sonidos del habla, pero los susurros no los puede oír claramente.
- **Pérdida auditiva moderada:** la persona no escucha casi nada de lo que hable otra persona a un volumen normal.
- **Pérdida auditiva grave:** la persona no escucha nada de lo que hable otra persona a un volumen normal y tan solo puede percibir algunos sonidos fuertes.
- **Pérdida auditiva profunda:** la persona no oye nada de lo que se habla otra persona a un volumen normal y solo puede oír sonidos muy fuertes.

La Figura 4 presenta algunos sonidos comunes y su clasificación.



Figura 4 Sonidos comunes y sus clasificaciones según nivel de ruido [26]

Estos grados de pérdida auditiva también se clasifican cuantitativamente de acuerdo con el nivel decibels percibidos, el decibel (dB) es la unidad de medida de un sonido y los límites de escucha del oído humano se encuentran entre 1 dB que es el sonido mínimo que se percibe y 140 dB que es el nivel máximo el cual se puede volver doloroso [27]. A continuación, se presenta la clasificación cuantitativa de los grados de pérdida auditiva [28]:

- **Leves:** el umbral auditivo se encuentra entre 41-71dB.
- **Medias:** la pérdida auditiva se encuentra entre 41-70 dB.
- **Graves:** la pérdida auditiva se encuentra entre 71-90 dB.
- **Profundas:** La pérdida auditiva supera los 90dB y se sitúa entre 91-100 dB.

La Figura 5 presenta el audiograma de los grados de pérdida auditiva.



Figura 5 Audiograma de los grados de pérdida auditiva [29]

- En el alcance del proyecto se excluye la entrega de un producto de software.

5.1 Justificación

El desarrollo de interfaces adaptativas facilita el acceso, control, aprendizaje y manejo de diferentes procesos. Las interfaces adaptativas son necesarias debido a que suministran a las personas con discapacidad visual y auditiva una interfaz que se acomoda a cada una de ellas y permite la interacción para realizar una determinada tarea. Las interfaces adaptativas brindan la oportunidad a los usuarios de adquirir conocimiento de acuerdo con sus propias capacidades y se ajustan a cada tipo de necesidad.

Con el presente trabajo se propone un procedimiento para encontrar los requerimientos que permitan crear o configurar una interfaz adaptativa para contribuir en el proceso de rehabilitación de personas con discapacidad visual y auditiva, como también la inclusión de la comunidad en general, a la adquisición de conocimiento de diferentes aspectos en el área educativa o de la vida cotidiana. Lo anterior, constituye una contribución importante al proyecto de investigación al cual se asocia este proyecto.

El impacto que traerá el conocimiento de los requerimientos necesarios para la creación o configuración de interfaces adaptativas será de gran beneficio para la comunidad en diferentes aspectos como el científico o tecnológico, ya que puede motivar la creación de diferentes sistemas para reconocimiento de entornos o manipulación de dispositivos con mayor control. A futuro, en el aspecto social, las interfaces adaptativas que surjan siguiendo los lineamientos propuestos en este trabajo de grado, podrán ser utilizadas para la rehabilitación de personas que se encuentren en algún tipo de tratamiento a un menor costo que los tradicionales. Por ejemplo, un niño que se encuentre en terapia de rehabilitación auditiva y cuente con un audífono adaptable, no tendrá necesidad de cambiarlo a medida que su condición vaya progresando. En lo educativo, se podrá fomentar la adquisición de conocimientos en cada una de las diferentes ramas del conocimiento como se puede observar en los trabajos relacionados en este documento.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz de usuario es el conjunto de elementos con los cuales una persona se puede comunicar con una computadora o cualquier otro dispositivo para poder tener el control u obtener información de este [30]. En el caso de las computadoras, la interfaz de usuario se compone del monitor (pantalla), ratón, teclado, parlantes y la interfaz de software con los cuales se puede recuperar o ingresar información. La interfaz de usuario es el punto de contacto que existe entre las personas y los dispositivos. El objetivo de la interfaz de usuario es hacer que la experiencia del usuario con los equipos que interactúa sea fácil e intuitiva y que el esfuerzo que requiera el usuario sea mínimo para obtener el máximo resultado deseado.

Existen cinco (5) tipos de interfaz de usuario [31]:

- **Interfaz gráfica de usuario (GUI):** es el contenido gráfico que permite visualizar información en pantalla de los programas y brinda opciones a los usuarios para que estos interactúen con ellos, por ejemplo, un archivo de Word contiene varias herramientas que sirven para modificar el documento.
- **Interfaz de líneas de comando (CLI):** es una interfaz basada en texto que permite al usuario ingresar comandos de los programas o sistemas operativos y realizar una tarea específica, por ejemplo, copiar un archivo de una carpeta a otra mediante el comando "Copy".
- **Interfaz basada en formularios:** esta interfaz de usuario se utiliza para ingresar datos u obtener información de programas o aplicaciones a través de una lista limitada de opciones, por ejemplo, un sitio web de una agencia de viajes el usuario puede seleccionar un país origen y un país destino de una lista desplegable dentro del formulario.
- **Interfaz basada en menús:** esta interfaz brinda una lista de opciones que permite a los usuarios navegar fácilmente dentro de un programa o sitio web, cada que el usuario selecciona alguna de las opciones esta puede contener submenús y así sucesivamente, hasta que el usuario encuentra y ejecuta la acción que requiere, por ejemplo, los cajeros automáticos utilizan este tipo de interfaz donde se puede escoger del menú "Retirar dinero" y luego dentro de esta opción la cantidad a retirar.
- **Interfaz de lenguaje natural (o por voz):** es la que permite interacción entre los usuarios y las máquinas mediante comandos auditivos, por

ejemplo, en los computadores que permiten este tipo de interacción el usuario puede dar la instrucción a la máquina de guardar un archivo, la máquina le puede preguntar al usuario cuál es el nombre del archivo y en cuál ubicación lo quiere poner, el usuario da la respuesta y la máquina realiza el guardado del archivo.

Con el paso del tiempo surgen las Interfaces Adaptativas, las cuales, como su nombre lo sugiere, se adaptan a los tipos diferentes de usuario y la manera en que estos puedan utilizar los elementos. Lo importante de la Interfaz Adaptativa es que se pueda usar de manera universal y por diferentes usuarios [32].

La evolución de la interfaz de usuario ha facilitado y mejorado la interacción entre las personas y las máquinas y ha permitido la adaptabilidad y adaptatividad. Adaptabilidad se refiere a la manera en cómo el usuario adapta la interfaz para que se ajuste a sus características y necesidades, un ejemplo de esto se puede ver en los sistemas operativos de los computadores, en los cuales se pueden configurar las preferencias de visualización como el tamaño de letra, los colores, fondo de escritorio y ciertas acciones como pasar el puntero del ratón por un ícono y que este se agrande o se encoja. La Interfaz Adaptativa es en la que el mismo sistema es quien se encarga de realizar los cambios necesarios para que se ajuste al perfil del usuario, como, por ejemplo, el brillo y contraste de un monitor (pantalla) que se ajusta de acuerdo con la luminosidad que haya en el entorno [33]. En un sistema adaptable es el mismo usuario el que se responsabiliza de realizar cualquier adaptación a la interfaz de usuario, en cambio en los sistemas adaptativos es el mismo sistema quien se encarga de realizar las adaptaciones automáticamente de la interfaz de usuario de acuerdo con sus propias características [34].

6.2 Realidad Aumentada

Para mejorar la usabilidad y experiencia de usuario se han empezado a utilizar tecnologías como la Realidad Aumentada, la cual se puede entender como “la combinación de información digital e información física en tiempo real a través de diferentes dispositivos tecnológicos (Tablet, Smartphone, gafas...) [13]. La Realidad Aumentada ofrece al usuario una interacción en tiempo real combinando el mundo físico y el mundo real en los dispositivos anteriormente mencionados.

Cómo definición de Realidad Aumentada, el término se refiere a cualquier caso en el que un entorno real sea “aumentado” por medio de objetos virtuales (como gráficos por computadora) [11].

En diferentes contextos se pueden producir contenidos en formato de Realidad Aumentada con el objetivo de lograr una adopción de esta tecnología por parte de las personas. Por ejemplo, el caso de estudio de la Universidad Javeriana de Cali se puede aplicar para el desarrollo de herramientas que faciliten la percepción de la realidad en personas que presenten discapacidad visual y auditiva.

Se pueden hacer diferentes usos de la realidad aumentada. Se tiene por ejemplo [14]:

- La enseñanza de conceptos abstractos, fenómenos y objetos que son difíciles de distinguir a simple vista.
- Conexión entre la teoría y la realización física de experimentos en los que se pueden utilizar dispositivos reales.
- Implementar situaciones de riesgo que pueden ser potencialmente peligrosas como por ejemplo experimentos de manipulación de elementos que produzcan reacciones químicas.
- Aprendizaje de la morfología.

La Realidad Aumentada se clasifica en dos niveles, los cuales son [35]:

- **Basada en Marcadores:** las aplicaciones basadas en este nivel utilizan imágenes de destino (marcadores) con los cuales la aplicación determina el lugar donde poner el contenido digital 3D para que entre en el campo visual del usuario. El marcador es un patrón de imagen físico específico que hace parte del mundo real donde la aplicación superpone el objeto virtual en 3D sobre él. Este tipo de realidad ayuda a que los usuarios puedan ver los objetos de una manera más detallada y desde diferentes ángulos. Un ejemplo de esta realidad es el que utiliza Instagram a través de los filtros. Un ejemplo de realidad aumentada basada de marcadores se puede ver en la Figura 6.

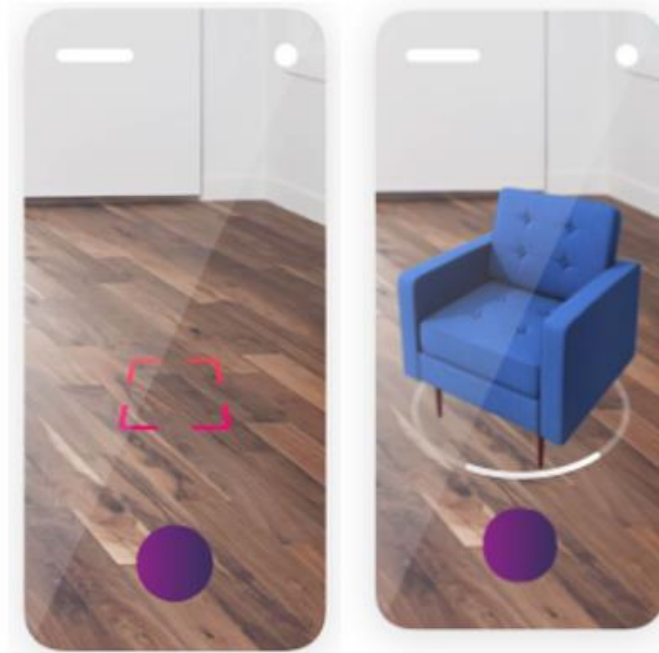


Figura 6 Realidad Aumentada Basada en Marcadores [35]

- **Sin Marcadores:** los objetos virtuales en 3D son posicionados en un entorno de imagen real en el momento que se examinan las características presentes en los datos en tiempo real. Esta tecnología recopila información de posición basada en la ubicación del dispositivo, la cámara, la brújula digital y el acelerómetro del mismo dispositivo. Existen aplicaciones que solicitan a los usuarios superficies planas o el piso para poder poner los objetos virtuales para que no siempre se muestren flotando en el aire. La Figura 7 presenta una imagen de realidad aumentada sin marcadores.



Figura 7 Realidad Aumentada sin Marcadores [36]

La Realidad Aumentada Sin Marcadores se divide en cuatro categorías:

- **Basado en la Ubicación:** tiene como objetivo fusionar objetos virtuales en 3D en el espacio físico donde se encuentra el usuario. Utiliza los sensores y la ubicación del dispositivo inteligente para ubicar el objeto virtual en el lugar deseado. Como ejemplo de este tipo de realidad aumentada para móviles inteligentes se tiene el juego Pokémon GO², en el cual el entorno del usuario cobra vida en el mismo instante que ingrese a una ubicación predeterminada, mostrando las figuras en un plano específico. Una imagen de esta tecnología se puede ver en la Figura 8.



Figura 8 Realidad Aumentada Basada en la Ubicación [37]

- **Basado en Proyección:** es una técnica basada en proyección de vídeo la cual puede extender o entregar datos digitales proyectando imágenes de objetos 3D en una superficie o en el espacio físico donde se encuentre el usuario. Con esta tecnología se crean ilusiones sobre la profundidad, posición y orientación de un objeto sobre superficies planas al proyectar luz artificial. Un uso de esta tecnología en las empresas o industrias es el de poner instrucciones en un espacio determinado para simplificar tareas complejas. Un ejemplo de esta realidad se ve en la Figura 9.

² <https://pokemongolive.com/es/>



Figura 9 Realidad Aumentada Basada en la Proyección [37]

- **Basado en Superposición:** la vista original de un objeto es reemplazada con una imagen virtual actualizada de ese objeto para el ojo humano. Este tipo de realidad aumentada ofrece múltiples vistas de un objeto y puede resaltar información relevante adicional del mismo objeto. El objeto puede ser reemplazado parcial o totalmente con una vista aumentada. La Figura 10 es una imagen de esta tecnología.



Figura 10 Realidad Aumentada Basada en Superposición [37]

- **Basado en Contorno:** con esta tecnología de realidad se identifican líneas y límites con una vista aumentada actualizada de un objeto para ser delineado por los ojos humanos y pueden facilitar determinadas situaciones. Es usada en sistemas de navegación de automóviles en situaciones de poca visibilidad para

realizar una conducción segura. La Figura 11 muestra una imagen de la tecnología basada en contornos.



Figura 11 Realidad Virtual Basada en Contornos [38]

6.3 Realidad Virtual

La Realidad Virtual por su parte es la tecnología que permite crear mundos digitales tridimensionales en donde los usuarios sientan que hacen parte de ese mundo y pueda interactuar en tiempo real con los objetos que se encuentren dentro de él y experimentar niveles de experiencia sensorial [39].

Cada sistema de Realidad Virtual puede ser construido con equipos tecnológicos diferentes y ser usados para diferentes funciones, estos sistemas se pueden agrupar en tres tipos de realidad virtual [39]:

- **Sistemas de sobremesa:** el entorno digital se presenta en la pantalla de un computador y en ocasiones con gafas especiales de visión estereoscópica. Las personas pueden interactuar y desplazarse dentro del entorno.
- **Sistemas proyectivos:** son los sistemas donde se ubican a los usuarios en un espacio cerrado (o cabina) donde se proyectan las imágenes del mundo virtual. Con este sistema, se intenta proporcionar la sensación de inmersión de las personas dentro de este mundo. En este sistema se utilizan las gafas de visión estereoscópica acopladas con sensores de posición y orientación. Los usuarios pueden controlar sus movimientos en el entorno y en ocasiones puede interactuar con los objetos que se encuentran en él.

- **Sistemas inmersivos:** con este sistema se pretende que el usuario tenga la sensación de encontrarse dentro del mundo digital generado por un computador. Para lograr esto se utiliza un casco de visualización estereoscópica con el que se aísla al usuario del entorno real con el objetivo de estimular el mayor número de sentidos posibles.

La creación de entornos basados en Realidad Virtual, Mixta y Aumentada se pueden relacionar en el Continuo Virtual, y de acuerdo con la necesidad ya sea de mejorar la experiencia de enseñanza y aprendizaje o temas médicos como la rehabilitación de pacientes con discapacidades, se desarrollan aplicaciones que estén dentro de este Continuo más cerca a la Realidad Virtual o a la Realidad Aumentada. La Línea del Continuo Virtual se presenta en la Figura 1. Con la guía del Continuo Virtual, se espera que el diseño y desarrollo de interfaces adaptativas puedan ser más ajustadas a las necesidades de los diferentes tipos usuarios.

6.4 Relación entre Realidad Mixta, Realidad Aumentada, Realidad Mixta, Continuo Virtual e Interfaces Adaptativas

Para complementar este capítulo, se presenta a continuación la relación que hay entre Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Realidad Mixta, Continuo Virtual e Interfaces Adaptativas y su aporte a la construcción de entornos virtuales que pueden utilizarse como complementos de mundos reales para una mejor comprensión de lo que nos rodea en distintos ambientes como el educativo, simulaciones médicas, entretenimiento, etc.

En primer lugar, las tecnologías de Realidad Virtual, Realidad Aumentada y Realidad Mixta se encuentran ubicadas en una línea base que parte desde entornos reales en un extremo hasta entornos virtuales en el otro extremo. Esta línea es la que se conoce como el Continuo Virtual. El contenido de los entornos reales son solo objetos reales, mientras que los entornos virtuales envuelven al usuario completamente en un mundo sintético digital. La Realidad Virtual es la ilusión de participación dentro de un ambiente sintético más que la observación externa de ese ambiente que brinda una experiencia multisensorial e inmersiva [40]. La Realidad Mixta se encuentra en medio del Continuo Virtual y es aquí donde interactúan los objetos del mundo virtual y el mundo real mostrándose de manera combinada. La Realidad Aumentada es la tecnología que enriquece la información que viene de la realidad aumentada con contenido digital y la Virtualidad Aumentada se encarga de incorporar dentro de un entorno virtual la visualización de objetos reales. La diferencia entre Realidad Aumentada y Virtualidad Aumentada radica en que en la primera se puede visualizar en mayor proporción el contenido de elementos virtuales que el contenido de elementos reales. Últimamente se viene hablando de la Realidad Extendida conocida como

XR, la cual viene siendo apoyada por las tecnologías mencionadas. Las definiciones aquí mencionadas son tomadas con debida autorización del artículo próximo a publicar por el doctor Andrés Adolfo Navarro Newball profesor de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, denominado “La Realidad Virtual: Una Ventana Multisensorial” [41]. Retomando el tema de Realidad Extendida (XR), esta se refiere a la combinación de todos los entornos reales y virtuales y la interacción hombre-máquina que se genera por la tecnología informática junto a los dispositivos portátiles, esta realidad proporciona amplia variedad y gran cantidad de niveles en la virtualidad que sirven de entradas de sensaciones parciales a una virtualidad completamente inmersiva [42].

Basados en las tecnologías presentes en la línea del continuo virtual, se identifica que estas tecnologías pueden servir como soporte para el diseño de interfaces adaptativas. Esto teniendo en cuenta la gran variedad de usuarios del mundo real los cuales cuentan cada uno, con características particulares cuyas necesidades es necesario satisfacer, en particular, en aquellos usuarios que cuentan con alguna o varias diversidades sensoriales. El continuo virtual plantea distintos niveles de inmersión [41]: el nivel más bajo, pero de mayor acceso es el de los mundos virtuales que se crean con vídeos en 360 grados e imágenes. El nivel intermedio correspondiente al de la realidad aumentada donde se pueden encontrar aplicaciones móviles que aprovechan este tipo de tecnología con los cuales se pueden escanear espacios reales con motivo de integrarlos con elementos digitales para expandir la realidad de una manera más exacta. En el nivel más alto corresponde a las simulaciones en realidad virtual que se apoyan en dispositivos HMDs y simulaciones sintéticas de mundos completamente virtuales. De acuerdo con estos niveles, las interfaces adaptativas se podrán diseñar de tal manera para que puedan ser usadas por cualquier tipo de usuario independientemente de la diversidad sensorial que este pueda tener. En el continuo virtual se pueden crear mundos correspondientes a cada necesidad, por ejemplo, a un usuario con baja visibilidad, la interfaz podría cambiar los niveles de brillo y contraste hasta que la persona perciba la mejor imagen que puede ver, en tanto, si el usuario es una persona con visibilidad normal, la interfaz presentará la imagen tal como fue creada.

La adaptatividad no solamente puede utilizarse para facilitar un mayor acercamiento al mundo real de las personas que presentan diversidad sensorial, sino que junto al continuo virtual, puede ofrecer representaciones virtuales de objetos reales mostrando la visualización de sus datos en cualquier ámbito que puedan utilizarse para soportar la toma de decisiones. Por ejemplo, en una simulación quirúrgica, puede indicar qué tan profundo debe ser un corte para extraer un tumor en un órgano sin causar una lesión adicional. Esto, mediante el uso de herramientas virtuales de cirugía, con las cuales recibe una respuesta táctil de los tejidos internos y los órganos que manipula.

6.5 Heurísticas de Usabilidad

Durante la creación de aplicaciones se debe tener en cuenta en el proceso de Diseño de Experiencia de Usuario, que la usabilidad es una de las características claves que brindan valor a las personas cuando utilizan un sistema. Los autores Gould y Lewis plantearon que en el proceso de diseño de sistemas y aplicaciones informáticas deben cumplirse los siguientes principios [43]:

- Fácil de aprender
- Útiles, o sea, que contengan funciones que las personas realmente necesiten en su trabajo
- Fácil de usar
- Agradable de usar

Los autores indican que desde el principio y lo largo de todo el proceso de diseño lo importante es centrarse en el usuario. Así, deben obtenerse medidas empíricas de las aplicaciones y del uso de prototipos, desarrollar un proceso de diseño interactivo para los prototipos donde se prueben y rediseñen, hasta que se pueda conseguir el objetivo de funcionamiento.

Según la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en la norma ISO 9241 – 11 presenta la siguiente definición: “Usabilidad es la efectividad, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico” [44]. Para el diseño de sistemas interactivos la norma presenta los siguientes parámetros [45]:

- Los usuarios deben estar involucrados durante el diseño y desarrollo.
- El diseño debe estar basado en el entendimiento explícito de las tareas, ambientes y usuarios.
- El diseño debe ser impulsado y refinado por una evaluación que se centre en el usuario.
- El proceso es iterativo.
- El diseño debe contemplar completamente la experiencia del usuario.
- El equipo de diseño debe incluir habilidades y perspectivas multidisciplinarias.

Para la década de los 90 Jakob Nielsen publicó 10 principios heurísticos de usabilidad los cuales son utilizados para el diseño de interfaces de usuarios. Según el mismo Jakob Nielsen, se conocen como “heurísticas” debido a que son reglas generales y no pautas de usabilidad específicas [46]. A continuación, se presenta un resumen de los 10 principios heurísticos de Jakob Nielsen [47]:

- 1- Los diseños deben mantener informados a los usuarios sobre lo que está pasando, a través de una retroalimentación apropiada y oportuna.
- 2- El diseño debe hablar el idioma de los usuarios. Usar palabras, frases y conceptos familiares para el usuario, en lugar de la jerga interna.
- 3- Los usuarios suelen realizar acciones por error. Ellos necesitan una “salida de emergencia” claramente marcada para dejar la acción no deseada.
- 4- Los usuarios no deberían tener que preguntarse si diferentes palabras, situaciones o acciones significan lo mismo. Siga las convenciones de la plataforma.
- 5- Los buenos mensajes de error son importantes, pero los mejores diseños cuidadosamente previenen en primer lugar que ocurran problemas y se evitarían los posibles mensajes de error.
- 6- Minimizar la carga de memoria del usuario haciendo visibles elementos, acciones y opciones. Evite que los usuarios recuerden información.
- 7- Accesos directos: ocultos para los usuarios novatos. Pueden acelerar la interacción para el usuario experto.
- 8- Las interfaces no deben contener información que sea irrelevante. Cada unidad adicional de información en un interfaz compite con las unidades de información correspondientes.
- 9- Los mensajes de error deben expresarse en un lenguaje sencillo (sin códigos de error), indicar con precisión el problema y sugerir una solución de manera constructiva.
- 10- Es mejor si el diseño no necesita explicación adicional. Sin embargo, puede ser necesario proporcionar documentación para ayudar a los usuarios a completar sus tareas.

En el sitio Nielsen Norman Group³ se encuentra información más detallada de cada una de las heurísticas de Jakob Nielsen con casos de ejemplo para cada una de ellas.

6.6 Potenciales de la Tecnología Inmersiva

Todo tipo de tecnología se desarrolla de acuerdo con un potencial que se espera de su uso, para el caso de la tecnología inmersiva, el autor Dennis Beck [48] manifiesta que:

- 1- Puede imitar o simular el mundo físico.
- 2- Puede de manera innovadora, proporcionar información visual, textual o ubicación de un objeto.
- 3- Puede mejorar el aprendizaje y las habilidades de las personas.
- 4- Ofrece entradas y salidas de interacción multimodal, por ejemplo, entrenamiento de la mirada, pantalla táctil, reconocimiento de expresiones faciales.
- 5- Facilita el trabajo colaborativo, por ejemplo, remoto, sincrónico y asincrónico.
- 6- Permite la combinación de tecnologías educativas convencionales con elementos inmersivos.
- 7- Permite la exploración de la visualización de conceptos abstractos en entornos de aprendizaje, debido a que puede generar elementos visuales en el mundo virtual que no son visibles en el mundo físico.
- 8- Puede cambiar las respuestas sociales y percepciones humanas incorporando otros humanos, animales u objetos en el mundo virtual para así crear respuestas culturales y emocionales, exploración interactiva y fomentar la motivación y compromiso de las personas.
- 9- Permite la recopilación de datos de los usuarios, debido a que puede generar la posibilidad de cambiar puntos de vista, roles de perspectiva.
- 10- En el entorno educativo, puede ayudar a los estudiantes que carecen de disponibilidad o acceso a recursos inmersivos específicos para que puedan aprender sobre el mundo real, lejos de entornos que pueden

³ <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

presentar algún riesgo, también puede ser utilizada por personas con discapacidad.

Estas potencialidades generan desafíos para que los diseñadores desarrollen y creen contenido y simulaciones de calidad para ayudar a fomentar en los usuarios los procesos de aprendizaje en mundos virtuales.

7 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

La búsqueda de información se realizó de manera sistemática teniendo como guía el método PRISMA [49] para la selección de los artículos. El método PRISMA se diseñó con motivo de ayudar a los autores que realizan revisiones sistemáticas a documentar de una manera transparente el porqué de las revisiones, qué hicieron los autores y qué encontraron. PRISMA se diseñó principalmente para la realización de revisiones sistemáticas de estudios que evalúan los efectos de las intervenciones de salud, sin embargo, se puede aplicar a otros tipos de revisiones sistemáticas que evalúan otras intervenciones como lo pueden ser en el campo social o educativo.

En resumen, el método PRISMA [50]

- Proporciona una guía de informes actualizada que permite revisiones sistemáticas que reflejan los avances en los métodos que sirven para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios.
- Consta de una lista de verificación de 27 elementos que detallan las recomendaciones de informes para cada elemento. También una lista de verificación de resumen y un diagrama de flujo para revisiones originales y actualizadas.
- Permite a los lectores realizar una evaluación de la idoneidad de los métodos y, por lo tanto, la confiabilidad de los hallazgos.

En la Tabla 2 se presenta algunos de los 27 elementos de la lista de verificación del método PRISMA la cual se puede ver completa en PRISMA 2020 Checklist⁴.

Sección y tema	Artículo #	Elemento de lista de comprobación	Ubicación donde se informa del artículo
TÍTULO			
Título	1	Identificar el informe como una revisión sistemática.	
ABSTRACTO			
Abstracto	2	Consulte la lista de verificación de PRISMA 2020 para resúmenes.	
INTRODUCCIÓN			
Fundamento	3	Describir la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o preguntas que aborda la revisión.	
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión para la revisión y cómo se agruparon los estudios para las síntesis.	
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otras fuentes buscadas o consultadas para identificar los estudios. Especifique la fecha en que se buscó o consultó por última vez cada fuente.	
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas para todas las bases de datos, registros y sitios web, incluidos los filtros y límites utilizados.	
Proceso de selección	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumplió con los criterios de inclusión de la revisión, incluidos cuántos revisores examinaron cada registro y cada informe recuperado, si funcionaron de forma independiente y, si corresponde, detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	
Proceso de recopilación de datos	9	Especifique los métodos utilizados para recopilar datos de los informes, incluidos cuántos revisores recopilaron datos de cada informe, si trabajaron de forma independiente, cualquier proceso para obtener o confirmar datos de los investigadores del estudio y, si corresponde, detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	

Tabla 2 Lista de verificación Método PRISMA [51]

La utilización del método PRISMA garantiza que se capture la información recomendada que surge durante el proceso búsqueda, este método resultó importante durante el desarrollo de este trabajo de investigación por su claridad en el momento de aplicarlo, es una guía sencilla y completa que se recomienda utilizar para todo tipo de trabajo educativo o de investigación.

⁴ <https://prisma.shinyapps.io/checklist/>

7.1 Material y Métodos

Los artículos se obtuvieron principalmente de las bases de datos electrónicas a las cuales se tiene acceso como estudiante de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, estas bases de datos son: IEEEExplore [52], ACM Digital Library [53], ScienceDirect [54]. Otros artículos se obtuvieron de la búsqueda en Internet y se seleccionaron aquellos referenciados por instituciones investigativas y/o universitarias.

7.2 Criterios de Inclusión y Exclusión

Para los criterios de inclusión y exclusión con sus respectivos fundamentos se utilizó la guía "*Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*" [55] y se presentan en la Tabla 3.

Criterios de inclusión	Fundamento
C1: Tiempo de publicación entre 2011 y 2021	Poca información relacionada con la Interfaz Adaptativa desde antes del año 2011.
C2: Documentación en inglés	El inglés es el idioma en el que está escrita la mayoría de las fuentes de información científica.
C3: El tema principal de búsqueda es Interfaz Adaptativa	Revisión de documentación centrada en Interfaz Adaptativa.
C4: Relación de Interfaz Adaptativa con personas que presentan diversidad sensorial	Se tiene como objetivo identificar el tipo de Interfaz Adaptativa de acuerdo con el tipo de usuario que la esté utilizando.
C5: Encontrar literatura de uso general de una Interfaz Adaptativa	Se requiere identificar la aplicación que se puede dar a una Interfaz Adaptativa de acuerdo con el contexto en el que se esté utilizando.
Criterios de exclusión	
C7: Artículos que tengan temas de usuarios con diversidad sensorial pero no cubran información sobre Interfaz Adaptativa	El tema de interés es la Interfaz Adaptativa por lo que se descartan los artículos que no tengan relación con el tema.
C8: Artículos inferiores a cinco páginas y documentación en modo resumen	Es poca la información que se obtiene de artículos inferiores a este tamaño de 5 páginas.
C9: Los artículos que no sean de una base de datos digital o que no estén avalados por un centro de investigación o una entidad educativa de nivel superior	La información no es verídica y puede inducir a errores o a resultados no esperados.

Tabla 3 Criterios de Inclusión y Exclusión (Elaboración propia)

7.3 Preguntas de Investigación

Para obtener mejores resultados durante la búsqueda de información, se realizaron preguntas relacionadas con los objetivos específicos mencionados en el Capítulo 4, estas preguntas se formulan para guiar la búsqueda, y las motivaciones contribuyen a la relación de las posibles respuestas que se puedan encontrar, por ejemplo, la pregunta 3 y su motivación correspondiente al Objetivo 1, sirve para seleccionar artículos referenciados por universidades donde se esté trabajando con el tema de interfaces adaptativas, lo que conlleva a una mejor selección de información para su análisis. Así, cada pregunta y su motivación se presentan en la Tabla 4.

Preguntas de investigación	Motivaciones	Objetivo relacionado
Pregunta 1: ¿De dónde son las publicaciones, conferencias o eventos que aportaron al estudio de las Interfaces Adaptativas?	Sirve para clasificar la información de acuerdo con las publicaciones que se hayan realizado sobre el estudio de diferentes temas que se relacionan con la Interfaz Adaptativa.	Objetivo 1
Pregunta 2: ¿Qué tanto se ha avanzado en el desarrollo de las Interfaces Adaptativas desde el año 2011 hasta el año 2021?	Identificar de qué manera se ha dado la evolución de las Interfaces Adaptativas entre los años 2011 y 2021.	
Pregunta 3: ¿En qué países, centros de investigación y universidades se han realizado estudios de Interfaces Adaptativas?	Reconocer cuáles son los países, centros de investigación y universidades que están llevando a cabo el estudio de las Interfaces Adaptativas con el propósito de reconocer su aporte y tomar como referencia sus investigaciones.	
Pregunta 4: ¿Qué tipos de investigación se están realizando sobre las Interfaces Adaptativas?	Clasificar la investigación sobre Interfaces Adaptativas de acuerdo con el tipo de usuario y diversidad sensorial que estos puedan tener, en especial usuarios con discapacidad visual y/o auditiva.	Objetivo 2
Pregunta 5: ¿Qué tipo de limitaciones se han encontrado durante el desarrollo de Interfaces Adaptativas?	Encontrar los motivos que han presentado inconvenientes para el desarrollo de Interfaces Adaptativas.	
Pregunta 6: ¿Cuáles de los sistemas desarrollados sobre interfaces Adaptativas se pueden mejorar?	Identificar sistemas de Interfaces Adaptativas desarrollados a los cuales se les pueda adicionar nuevos componentes para mejorar su funcionalidad	
Pregunta 7: ¿Cuáles son los tipos de Interfaces Adaptativas más utilizadas?	Categorizar las Interfaces Adaptativas de acuerdo con la aplicación que se le esté dando para el uso de personas que presenten cualquier tipo de discapacidad sensorial.	Objetivo 3
Pregunta 8: ¿Cuáles son los requerimientos básicos para el desarrollo de Interfaces Adaptativas?	Identificar los requerimientos mínimos que se deben tener en cuenta para la implementación e Interfaces Adaptativas.	
Pregunta 9: ¿Cuáles son las técnicas que se utilizan para la evaluación de las Interfaces Adaptativas?	Identificar las técnicas de evaluación que se realizan a las Interfaces Adaptativas con el fin de comprobar su funcionalidad y la utilidad para personas que presenten diversidad sensorial, en especial discapacidad visual y/o auditiva.	

Tabla 4 Preguntas de Investigación (Elaboración propia)

7.4 Proceso de Búsqueda

Para el proceso de búsqueda de la información se tuvieron en cuenta los criterios de inclusión y exclusión y las preguntas que se relacionan con cada uno de los objetivos específicos de la presente investigación. Con la información que se encontró durante este proceso se identificaron palabras relevantes las cuales se utilizaron en las diferentes bases de datos para obtener los artículos relacionados con las Interfaces Adaptativas y se generaron nuevas preguntas. En la Tabla 5 se presentan las palabras encontradas y las preguntas que se hicieron con cada una de ellas.

Palabra Relevante	Pregunta
Adaptative	What are adaptative interfaces?
Augmented	What is augmented reality?
Virtual	What is virtual reality?
Mixed	What is mixed reality?
Virtual Continuum	What is the Virtual Continuum?
Visual	What is visual impairment?
Hearing	What is hearing impairment?

Tabla 5 Palabras Relevantes y Preguntas (Elaboración propia)

Con las preguntas generadas se crearon diferentes cadenas de búsqueda y se combinaron con el texto principal "Adaptive Interface" en cada una de las diferentes bases de datos electrónicas utilizando los operadores booleanos AND y OR. En la Tabla 6 se presentan las cadenas de búsquedas con las que se realizaron las consultas.

Texto	Cadena de búsqueda
Adaptive interface	"Adaptive interface" OR "Augmented reality", "Adaptive interface" OR "Virtual reality", "Adaptive interface" OR "Mixed reality", "Adaptive interface" OR "Virtual Continuum", "Adaptive interface " OR "Visual impairment", "Adaptive interface" OR "Hearing impairment", "Adaptive interface" AND "Augmented reality", "Adaptive interface" AND "Virtual reality", "Adaptive interface" AND "Mixed reality", "Adaptive interface" AND "Virtual Continuum", "Adaptive interface " AND "Visual impairment", "Adaptive interface" AND "Hearing impairment"

Tabla 6 Cadenas de Búsqueda (Elaboración propia)

De acuerdo con el método PRISMA que se utilizó como protocolo para la búsqueda de información, el elemento número 7 del listado de verificación de este método, hace referencia a la estrategia de búsqueda completa realizada en todas las bases de datos, por lo que combinar el texto principal "Adaptive

Interface” con otros textos utilizando AND y OR brindan más posibilidad de encontrar información relevante para la investigación, por ejemplo, al combinarla con el texto “Augmented reality” mediante el OR, puede ser que no traiga información de “Adaptive Interface” pero se puede encontrar información que sirva para su análisis y poder destacar cómo se podría implementar una interface adaptativa con investigaciones realizadas con “Adaptive Interface”.

7.5 Procedimiento de Selección

Para iniciar con la selección de los textos se procedió con la lectura de los títulos y luego con la lectura de los resúmenes de cada documento, una vez seleccionado los documentos se procedió con la revisión completa de cada texto para seleccionar los documentos definitivos que sirvieron como apoyo a la investigación.

Durante la búsqueda de información, cada base de datos electrónica ofreció diferentes tipos de filtros los cuales fueron aplicados para reducir la cantidad de artículos a seleccionar, con estos filtros se excluye información que no entrará para su revisión y análisis, por ejemplo, las bases de datos pueden ofrecer la opción de filtrar por “Vídeos” y al no ser escogido en el momento de la selección de los filtros, estos serán excluidos cuando se realice la búsqueda. A continuación, se muestran los filtros aplicados en las bases de datos:

- IEEE

- Adaptive Control
- User Interfaces
- Brain-computer Interfaces
- Haptic Interfaces
- Human-computer Interaction
- Feature Extraction
- Graphical User Interfaces Magazines 2011 – 2021

- ACM

- Honorable Mention
- Investigation Article
- Short Paper
- Distinguished Paper
- Extended Abstract
- Monograph

- **Science Direct**

- Investigation Article
- Computers in Human Behavior
- Computer's Science
- Engineering
- Medicine
- Journal of Systems and Software

El total de artículos encontrados durante la búsqueda en las bases de datos electrónicas fue de 731524 y aplicado lo que se ha mencionado en este protocolo con los criterios de inclusión y exclusión, preguntas de investigación, preguntas con palabras relevantes, cadenas de búsqueda y filtros sobre la información encontrada quedaron un total de 31 artículos que sirvieron de estudio para su análisis y de apoyo para el desarrollo de este trabajo de investigación. La Figura 12 presenta el flujograma de los artículos seleccionados.

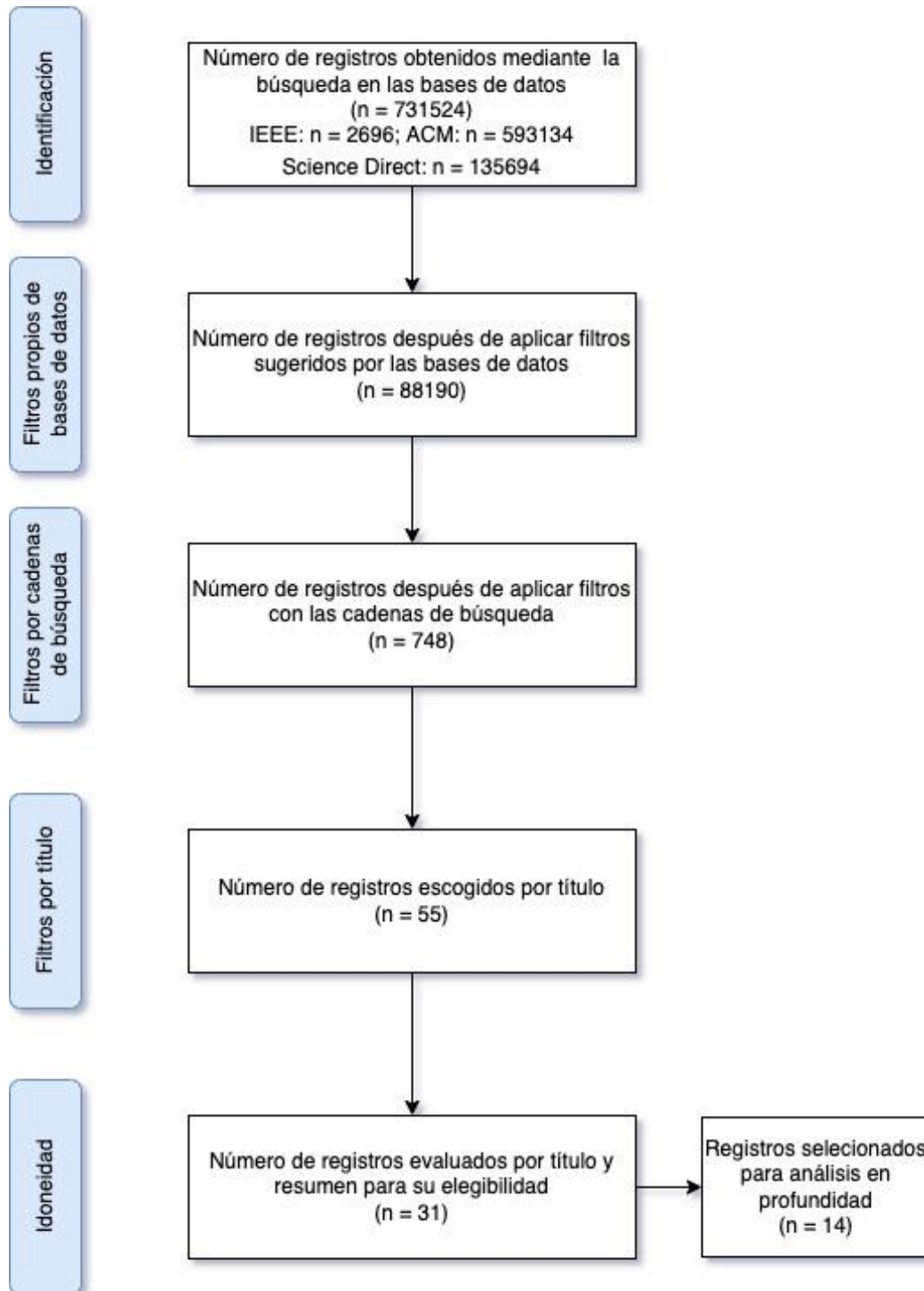


Figura 12 Flujograma Artículos Seleccionados (Elaboración propia)

8 ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se presenta una breve descripción de trabajos de investigación afines a la tesis. En discusión con el director del trabajo de grado se seleccionó un subconjunto de 14 artículos para su análisis en profundidad debido a que se identificó durante la lectura de sus respectivos resúmenes, que eran lo que más tenían relación con el proyecto del cual se elaboraron los ejemplos el Instituto para Niños y Ciegos y Sordos que se presentan en el Capítulo 11.

- **Hacia simuladores de realidad virtual adaptativos que combinan interfaces visuales, hápticas y cerebro-computadora [56]:**

Este artículo destaca que los sistemas de realidad virtual se pueden beneficiar de la actividad mental de los usuarios ante estos entornos puesto que esta se puede medir con interfaces cerebro-computadora BCI por sus siglas en inglés (Brain-Computer Interfaces). Los BCI utilizan señales cerebrales para realizar el envío de comandos a un sistema automatizado que puede ser un robot, una prótesis o a un cursor de una computadora.

El hardware de los BCI se divide en dos categorías: 1) Sistemas invasivos implantados en el tejido cortical y 2) Sistemas no invasivos en el cuero cabelludo apoyados en auriculares de electroencefalografía (EEG) para medir las variaciones en la actividad cerebral. El objetivo del BCI es identificar las actividades mentales correspondientes a las cargas de trabajo mentales altas y bajas, cuando es alta, quiere decir que la manipulación del sistema es de gran dificultad, por el contrario, si es baja, el grado de dificultad es menor.

En este artículo los autores describen dos proyectos: 1) **Adaptación de la retroalimentación háptica** en donde las personas debían atravesar un laberinto virtual y la asistencia háptica los ayudaba a deslizar el cursor evitando colisiones con las paredes. 2) **Simuladores médicos, explotación de BCIs pasivos** en el cual se realizó el diseño de un simulador para recrear una biopsia de tumor en el hígado, donde el usuario debe perforar con una aguja virtual el hígado para llegar hasta el tumor, la interacción háptica en este experimento consta de la resistencia del hígado a la penetración de la aguja.

Como mejora a esta investigación es el valor que se debe establecer al índice de carga mental entre los estados de carga mental alta o baja ya que no tiene en cuenta los diferentes rangos de estados mentales que pueden estar involucrados entre los escenarios de interacción, se

necesitan BCI más elaborados para poder establecer otros estados de carga mental intermedia entre la carga alta y la carga baja.

La investigación presentada en este artículo tiene gran relación con este proyecto de grado debido a la necesidad de encontrar directamente desde los usuarios lo que se requiere para el diseño de una interfaz adaptativa, en este caso, desde sistemas BCI, se recogen señales mentales para poder interactuar con entornos virtuales.

- **Corrección de compensación adaptativa para intracortical Interfaces cerebro-computadora [57]:**

En este artículo se realiza el estudio del funcionamiento de las Interfaces Intracorticales Cerebro-Computadora (iBCI) cuya función es la de decodificar el movimiento previsto de la actividad neuronal en el momento de controlar un dispositivo externo, como lo puede ser un brazo robótico. Estos iBCI requieren de una fase de calibración con el fin de estimar los parámetros de decodificación. Cuando los usuarios están utilizando los iBCI, las propiedades estadísticas de la actividad neuronal se pueden afectar durante la calibración lo que hace que les dificulte la capacidad de controlar el mismo iBCI, para abordar este problema, se realiza una corrección adaptativa en términos de compensación utilizando un decodificador de Filtro de Kalman el cual es un algoritmo que sirve para medir el estado de un sistema a partir de datos medidos, pero el algoritmo produjo errores considerablemente altos en 19 casos de pruebas de investigación realizados.

Para reducir los errores encontrados durante el uso del Filtro de Kalman, los investigadores utilizaron el algoritmo llamado Multiple Offset Correction Algorithm (MOCA) (Algoritmo de Corrección de Desplazamiento Múltiple), el algoritmo se probó utilizando la actividad neuronal simulada evaluando datos recopilados de dos personas con tetraplejia, se presenta una mejora significativa de estas personas cuando controlan el cursor de una computadora por intermedio de un iBCI, los resultados sugieren que MOCA aplicó un mayor grado de corrección de errores durante las pruebas presentando una mejora en el rendimiento de decodificación comparado con el Filtro de Kalman.

Para efectos de una investigación futura, en relación con el actual trabajo de investigación, se podría utilizar el algoritmo MOCA en el desarrollo de dispositivos que se utilicen por personas que presenten diversidad sensorial visual y/o auditiva para reducir el ruido de señales que limiten la capacidad de su funcionamiento.

- **Interfaz de computadora basada en hardware y software adaptable para personas con discapacidades motoras [58]:**

El trabajo presentado en este artículo se trata sobre el desarrollo de un dispositivo tecnológico que brinda accesibilidad a los computadores a personas que tienen alguna discapacidad física en sus miembros superiores o que tengan alguna dificultad para el uso de sus manos para la interacción con estos equipos. El dispositivo se conoce como IOM (Interface Oculos Mouse) y consta de unas gafas adaptables con tecnología incorporada que permite interactuar con computadoras. Las gafas están equipadas con sensores que capturan datos producidos por el movimiento de la cabeza del usuario, los datos son enviados a un microcontrolador y junto con un software específico se puede controlar el movimiento del cursor del mouse en el computador, los clics del mouse se activan mediante el parpadeo voluntario de los ojos. Es posible cambiar la configuración del software para personalizar el uso del dispositivo lo que mejora la experiencia del usuario aumentando el nivel de comodidad en el uso del IOM y lo hace accesible a personas con diferentes niveles de restricciones.

Se realizó un experimento de uso del IOM con la colaboración de una voluntaria la cual pudo mover el cursor del mouse con movimientos de la cabeza, realizar clic sobre los iconos y arrastrarlos de un lugar a otro, la usuaria manifestó estar muy satisfecha con la funcionalidad y sugirió algunos ajustes como aumentar la adherencia de las gafas al rostro y evitar el calentamiento del marco de las gafas que se presenta debido a que en este se encuentra el tablero de control del sistema.

La arquitectura de hardware de IOM consta de dos placas de circuito impreso, una de detección que se coloca en el marco de las gafas junto a los sensores, otra de control que conecta el dispositivo al computador, la conexión entre las dos placas se realiza mediante un cable de cuatro vías. IOM comprende dos componentes principales de software que son el integrado que se ejecuta en el propio dispositivo para seguir instrucciones cuando se está ejecutando, y el software de configuración que brinda la interfaz de usuario para la comunicación entre el IOM y el computador, el software orienta al usuario para el uso del equipo, calibración del dispositivo y para la configuración según las necesidades de las personas.

Como mejora al desarrollo de este dispositivo, se considera cambio en la manera que se dispara el clic utilizando una plataforma inalámbrica con diferentes tipos de sensores y realizar más pruebas con público objetivo para ofrecer una mayor flexibilidad en el uso del IOM, como lo pueden ser, por ejemplo, niños con discapacidad visual que hacen parte del objetivo de la investigación del actual proyecto de grado.

- **Paracaidismo bajo techo en realidad virtual inmersiva con narración integrada [15]:**

Este artículo describe un sistema de realidad virtual en el que se simula un salto en paracaídas denominado Virtual Jump Simulator (VJS). La simulación empieza mediante un salto físico desde una rampa a un metro de altura del suelo donde se estabiliza la persona en una posición de vuelo horizontal durante la caída libre, después de cierto tiempo se simula mecánicamente la abertura del paracaídas y la realidad virtual recrea el entorno de descenso. Durante la caída virtual, se presenta contenido audiovisual para contar historias integradas, para el caso de este experimento, se contaba sobre los 200 años de historia de la Universidad Tecnológica de Viena (1815 – 2015). El sistema VJS se compone en gran medida de la interconexión entre los dispositivos mecánicos, la configuración de la realidad virtual inmersiva y el contenido 3D de alta calidad.

La configuración del hardware para el uso de la realidad virtual se compone de una pantalla HMD que se instala en la cabeza de las personas, esta pantalla es un casco de realidad virtual Oculus Rift Development Kt 2 que ofrece baja persistencia con una resolución de 960x1080 pixeles por ojo y el 100% de campo de visión nominal, este dispositivo se conecta a la estación de trabajo mediante un cable USB 2.0 y HDMI 1.4b, para el audio se utilizan auriculares Sennheiser HD 201 los cuales brindan un sonido estéreo de alta calidad. El cuerpo completo del usuario es rastreado por dos Microsoft Kinect conectados también por cables USB 2.0 a la estación de trabajo, con la captura del movimiento del usuario se realiza una representación en un avatar virtual. Para el desarrollo de las aplicaciones 3D se utilizó como tecnología principal Unity 3D el cual es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies y se integró con el complemento que ofrece el Oculus Rift Unity para permitir la visualización de escenas estereoscópicas, otro complemento utilizado fue el de la unidad Kinect con MS SDK1 para proporcionar datos de captura de movimientos a la aplicación.

Se propone como mejora este sistema incorporar el movimiento del cuerpo de los usuarios para que se permita un control de vuelo intuitivo y utilizar otro motor de juego alternativo que admita renderización de paisajes de alta calidad a altas tasas de actualización para aplicar una mayor reducción de modelos 3D.

Un sistema de estos se podría adaptar para el uso de entretenimiento educativo interactivo como es el que se busca para los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, a los cuales se les quiere presentar en un mundo de realidad virtual y de manera narrativa, parte de la flora y fauna del territorio colombiano.

- **Imago, Presencia y Emoción en Realidad Virtual [16]:**

El Centro de tecnología de entretenimiento de la Universidad Carnegie Mellon con apoyo de Oculus Story Studio desarrolló el proyecto Hypnos en el cual se exploraron técnicas cinematográficas narrativas inmersivas para la realidad virtual. El primer experimento fue la creación de una película de prueba llamada Imagen y su objetivo fue el intento de provocar emociones negativas y positivas en los espectadores involucrándolos como protagonistas de la película. Durante la película, los espectadores son dotados de cámaras de realidad virtual y siguen una historia de drama de acción en vivo donde también hay danza y una serie de imágenes generadas por computadora.

El personaje que “interpreta” el espectador es el de una persona en silla de ruedas el cual se encuentra dentro de un acto de danza, pero no puede bailar debido a su condición, como resultado del experimento, los participantes manifiestan que se sintieron frustrados y ansiosos con el personaje al no poder ser uno de los bailarines que hacen la coreografía por lo que solamente pasan a ser espectadores del baile.

Para este experimento los usuarios utilizaron una pantalla Samsung Gear VR para ver la película la cuál fue realizada utilizando una cámara 360 Heroes Rig y una matriz de 10 cámaras Go-Pro con lo que se crearon 12 experiencias de diferente duración.

Con el avance de este tipo de medios y otras herramientas se podrán realizar películas de realidad virtual donde los usuarios no sean simplemente unos espectadores superficiales, sino que hagan parte de un sistema de narración profunda emocionalmente convincente donde pueda despertar diferentes sensaciones emocionales positivas o negativas.

- **Admux: un multiplexor adaptativo para la comunicación de datos hápticos-audio-visuales [59]:**

El esfuerzo de la investigación en multimedia se esfuerza en aplicaciones para mejorar la experiencia del usuario donde quieren incorporar diferentes modalidades como el audio, vídeo, gráficos y el háptico, esto combinado con entornos de realidad virtual para una interacción humano-computadora. Cada una de estas modalidades maneja sus propios sistemas de comunicación de datos multimedia a través de Internet los cuales presentan un gran desafío puesto que cada medio tiene sus propios requisitos para poder realizar esta comunicación. En la investigación de este artículo se propone un marco de multiplexación de capa de aplicación adaptable denominado Admux que incluye un protocolo de comunicación para las aplicaciones multimedia que incorporan datos hápticos, visuales, auditivos y de olor para entornos de

redes no dedicadas. Admux es altamente adaptable a los requisitos de la aplicación y a las condiciones de red. Para facilitar la comunicación, Admux proporciona una asignación dinámica de ancho de banda de acuerdo con las condiciones de la red, el tipo de medio y los eventos de la aplicación.

El experimento mostrado en este artículo constaba en la conexión de dos personas a través de un sistema de videoconferencia, la persona remota tenía un traje háptico para simular el contacto que realiza la persona local por medio de un dispositivo háptico, Admux administró la prioridad de cada uno de los eventos sin inconvenientes y no presentó retrasos notables durante la comunicación.

Como mejora a este proyecto se puede considerar el uso de esta aplicación en un entorno de red local ya que, en la investigación, fue usado para una conexión de videoconferencia por Internet, en este entorno, se podría analizar qué implicaciones de usabilidad puede tener los cambios en las condiciones de red para un uso más extendido del Admux.

Un ajuste del sistema Admux podría incluirse en un proyecto futuro para que personas con discapacidad visual y/o auditiva, puedan tener sensaciones hápticas que complementen alguna interacción multimedia basada en realidad virtual para procesos de aprendizaje o de rehabilitación médica como el caso de los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

- **¿Las versiones VR y AR de una experiencia cultural inmersiva generan diferentes experiencias de usuario? [60]:**

En este artículo los autores se encargan de comparar el nivel de experiencia y satisfacción de los usuarios cuando utilizan diferentes tecnologías inmersivas, en este caso, Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA), los autores manifiestan que a pesar de que estas tecnologías han recibido un gran interés de investigación recientes, pocos son los estudios que se encuentran con respecto a la comparación entre ellas (RV y RA).

La experiencia de inmersión que se probó se denominó Virtual Veronese, la cual contaba la historia del cuadro del pintor Paolo Veronese “La Consagración de San Nicolás” como si hubiera sido visto en su ubicación original en una capilla italiana en el año 1562, el experimento narrativo estuvo disponible en Realidad Aumentada y Realidad Virtual y cada tecnología contaba con sus propios dispositivos para presentar la historia. Los datos de los resultados del experimento fueron obtenidos por medio de una encuesta en la cual se medía la experiencia del usuario, el disfrute, la presencia, el compromiso cognitivo, emocional y conductual. Aunque el

disfrute fue alto en todos los dispositivos de acuerdo con la medida realizada en la encuesta, los de Realidad Virtual recibieron puntajes más altos que los dispositivos de Realidad Aumentada.

El estudio indica que en ambas tecnologías los dispositivos que se probaron crearon una experiencia de usuario positiva en general y estas herramientas puede resultar efectivas en temas de narración inmersiva como lo podría en instituciones culturales, médicas y para el estudio que trata este proyecto de grado con los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

- **Experiencias de productos en línea: el efecto de simular gestos de caricias en la comprensión del producto y el papel fundamental del control del usuario [61]:**

El estudio que se presenta en este artículo se centra en la capacidad que se puede tener de persuasión del tacto en los entornos de consumo, como objetivo se investigó si los estímulos visuales interactivos aprovechan la información perceptual táctil para mejorar así la comprensión de un producto con respecto a sus atributos en una tienda en línea.

El experimento realizado en esta investigación consistió en la simulación de una tienda en línea donde se venden bufandas y en un caso se presentaban imágenes estáticas y en otro caso imágenes interactivas de una bufanda, el objetivo era inducir en los usuarios la sensación táctica de la bufanda mientras ellos observaban las imágenes, en el caso de las imágenes interactivas, estas podían ser controladas por las personas con el mouse donde podían simular gestos de caricias como por ejemplo, encoger la tela, doblarla, arrugarla, estirla y cambiarla de posición.

Luego del experimento, los usuarios contestaron una encuesta donde realizan la evaluación de cada una de las experiencias y de acuerdo con los resultados, indican que la exposición a una interfaz interactiva de imágenes para simular los gestos de caricias genera una mayor percepción de diagnóstico para los atributos de experiencia que los de una interfaz estática. Los atributos de experiencia son los que se refieren a la información sensorial importante para la comprensión del producto. Optimizar la experiencia de los usuarios con los productos en línea requiere de la identificación de alternativas convincentes para el tacto para tener una mejor comprensión de los productos de las tiendas en línea.

De acuerdo con los resultados de este estudio, se sugiere entonces que la entrada sensorial visual puede provocar experiencias en el sentido táctil, esto puede ser un inicio para promover una investigación donde también se puedan generar experiencias auditivas a partir de las sensaciones visuales que tengan las personas.

- **Aumento háptico de levitación magnética para Percepción de la rigidez del tejido virtual [62]:**

Los autores de este artículo presentan un dispositivo háptico de levitación magnética que sirve para proporcionar un aumento preciso e inmersivo en la percepción de la rigidez de tejidos como lo de los órganos humanos. Los dispositivos hápticos son usados para captar la percepción de la rigidez de los tejidos durante el entrenamiento de palpación realizado por cirujanos para mejorar sus capacidades de diagnóstico.

De acuerdo con la investigación de los autores, los dispositivos hápticos actuales no brindan una inmersión natural en la cirugía virtual debido a la fricción mecánica inherente, la limitación del espacio de trabajo y la retroalimentación háptica defectuosa que ofrecen. El dispositivo háptico propuesto se basa en los principios electromagnéticos para poder aumentar la percepción en la rigidez de los tejidos en un entorno virtual.

Para el uso del dispositivo, los usuarios siguen el movimiento de una aguja magnética en un entorno virtual para poder interactuar de forma natural con el tejido virtual usando visión estereoscópica y así poder sentir con precisión la rigidez de la aguja durante el movimiento realizado por el campo magnético generado por el dispositivo. Además del entorno virtual, los autores presentan un algoritmo de diferenciación de integración difusa auto adaptativo el cual controla de manera estable y precisas la corriente que pasa por las bobinas para generar un campo magnético efectivo preciso con lo que se les proporciona a los usuarios una retroalimentación háptica de alta precisión. Los resultados de los experimentos realizados con diferentes usuarios demostraron que el dispositivo los ayudó a distinguir objetos con diferente rigidez y a detectar correctamente anomalías en los tejidos presentados en un entorno virtual, con estos resultados se puede considerar el uso de este dispositivo para simulaciones quirúrgicas u otros ambientes como lo pueden ser el educativo.

- **El problema de los requisitos para los sistemas adaptativos [63]:**

En el presente artículo los autores realizan un estudio para mostrar formalmente la diferencia entre la Ingeniería de Requisitos (IR) estándar y la Ingeniería de Requisitos para sistemas adaptativos. La Ingeniería de Requisitos es la que se centra en obtener, modelar y analizar los requisitos y el entorno ya sea de un nuevo sistema o ajuste de uno ya existente para diseñar su especificación. El diseño de especificación también se conoce como Problema de Requerimientos (PR) y es donde se lleva a cabo la resolución de problemas, involucrando para cada nuevo sistema la toma de decisiones en un nuevo espacio de problemas. Los sistemas adaptativos son aquellos que pueden detectar desviaciones entre su

comportamiento en tiempo de ejecución y sus requisitos, especialmente cuando su funcionamiento no cumple uno o más de sus requisitos. Cuando se presenta una desviación en el funcionamiento, los sistemas adaptativos tienen la capacidad de analizar los cambios y de decidir con asistencia humana o sin ella, cómo ajustar el comportamiento; para poder realizar los ajustes, el sistema pasa por distintos de adaptaciones que cambian su configuración para finalmente restablecer el cumplimiento de los requisitos.

De acuerdo con la investigación presentada en este artículo, la Ingeniería de Requisitos para sistemas de software adaptativos no son estándar debido a que en el momento del diseño es imposible conocer todos los cambios que se puedan presentar en los requisitos y las condiciones que presente el entorno, por lo tanto, la especificación tampoco incluirá la forma como deba responder el sistema a los cambios de requerimientos en tiempo de ejecución, esto a diferencia de la Ingeniería de Requerimientos estándar, donde los requisitos no buscan que el sistema cambie de funcionamiento durante el tiempo de ejecución.

- **Narrativa interactiva en realidad virtual [64]:**

La propuesta de los investigadores en este artículo se centra en el diseño y desarrollo de una herramienta narrativa interactiva en realidad virtual para los creadores de contenido. La popularidad de la ficción interactiva está aumentando rápidamente debido a que los lectores son los encargados de tomar acciones durante la narración con el objetivo de guiar el curso de la historia. Con el desarrollo de esta herramienta se pretende crear una experiencia modular e inmersiva en realidad virtual para que cada lector pueda adaptar su propio contenido en este tipo de narrativas donde ellos empatizan con los protagonistas, como si fueran parte de la historia.

La herramienta es realizada en tecnología de realidad virtual y la historia se transmite en texto regular donde se muestran las palabras. Con el uso del texto se permite al creador o escritor cambiar cualquier elemento de la historia sin necesidad de tener conocimientos técnicos específicos. La propuesta de presentación visual consiste en una escena de la naturaleza como fondo, un prado forestal para que ayude a compensar las molestias que pueden surgirles a los usuarios nuevos en realidad virtual y también hace parte del fondo de la escena, para dar sensación de “presencia” o “inmersión”, se añade una ligera animación de balanceo de hierba para simular una brisa suave sin incluir efectos de sonido.

La arquitectura consta de un motor de visualización (MV) que controla la entrega del contenido al usuario durante la experiencia, y de un motor de selección (MS) para controlar la elección de la ruta de acceso de la

historia, la interfaz es sencilla y usa botones los cuales permiten cambiar a las diferentes opciones de la historia. El motor de visualización se construyó con Unity al igual que el fondo de la escena de la pradera, y sobre una tableta virtual a nivel de los ojos del usuario, se muestra el texto utilizando Text con el cual se construye la historia.

El motor de selección fue construido usando C#, la interfaz del director se creó en Forms para Windows en el que se muestra el estado actual de la historia y crea los botones dinámicos para que el director controle el flujo de la historia.

Este desarrollo podría usarse en investigaciones donde se construyan varias versiones de una historia y probar cómo estas versiones afectan a las personas como la respuesta emocional y la empatía realizando pequeños cambios dentro de la historia. Los contenidos pueden adaptarse a personas con diversidad sensorial donde puedan ser absorbidos de la mejor manera de acuerdo con las necesidades de los usuarios como lo pueden ser los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

- **Uso de objetos eTextiles para la interacción basada en el tacto para personas con discapacidad visual [65]:**

Este artículo presenta la relación entre eTextiles (Telas Inteligentes) y la interacción táctil respecto a la discapacidad visual. La investigación de telas inteligentes y materiales conductores se han dado principalmente por sus propiedades visuales atractivas pero sus propiedades táctiles han sido poco exploradas. Trabajando con participantes que presentan discapacidad visual, se discute el desarrollo de objetos prototipo de telas inteligentes. La atención del trabajo se centra en cómo usan diferentes gestos cuando interactúan con los objetos y reflexionar sobre las asociaciones durante la exploración.

Los eTextiles son telas integradas con materiales conductores y componentes electrónicos para fabricar prendas o diferentes objetos textiles con propiedades interactivas. El énfasis en estas telas ha sido puesto en efectos los efectos visuales, particularmente con el uso del LED pero poco se ha prestado atención a lo inherentemente tangible de la interacción con los artefactos. La tecnología de los eTextiles da como resultados sensores que se basan en la tela y captan el movimiento físico a través de la forma en que la tela se estira, encoge, reacciona al tacto, cuando es sostenida por las personas, se aprieta o presionan contra las capas de tela para activar la electrónica.

Para el experimento, se desarrollaron varios prototipos con hilo conductor, hilo no conductor y se integraron con telas no conductoras, telas

recicladas y fieltro de hilo de bordar no conductor. Los principales gestos que se identificaron a las personas en el momento de interactuar con los prototipos fueron el de apretar, acariciar y el de frotar, en ocasiones cada participante encontraba diferencias sutiles adicionales al sostener e interactuar con cada uno de los objetos. Con el experimento se identificaron tres temas: 1) Gestos y asociación de pensamientos, 2) Conexión social e independencia y 3) Objetos incorporados para expresar ideas y sentimientos.

Como resultado de la investigación se destaca la reflexión de dos personas que trabajan con personas sordociegas sobre cómo estos prototipos pueden tener relevancia para sus usuarios, como, por ejemplo, permitir la comunicación entre estas personas y cómo fomentar la independencia a través de los eTextiles que tengan su propio significado. Con los eTextiles se pueden crear nuevas formas de interacción a través del tacto, donde se le puede proporcionar al usuario su propio medio para expresarse.

- **Evaluación en un paciente con ictus (conocido como accidente cerebrovascular -ACV-) en fase crónica de un sistema auto adaptativo de neurorrehabilitación robótica [66]:**

En este artículo se presenta un sistema de rehabilitación que se adapta al estado psicofisiológico durante terapias de rehabilitación robótica de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), con este tipo de terapias se motiva la participación del paciente durante el proceso de rehabilitación. El ACV es una de las principales causas del deterioro de la función del brazo y puede afectar muchas actividades de la cotidianidad. De acuerdo con información presentada en este artículo, aproximadamente del 5% al 20% de personas que realizan terapias de rehabilitación alcanzan la recuperación funcional completa mientras que el resto de los pacientes terminan la rehabilitación con una función limitada del miembro superior.

El avance de la tecnología robótica permite el desarrollo de nuevas estrategias de rehabilitación terapéuticas con las cuales se pueden recuperar las capacidades motoras de miembros superiores del cuerpo humano afectados por accidentes cerebrovasculares.

Los nuevos sistemas de rehabilitación asistidos por sistemas robóticos consideran al paciente en el lazo de control del mismo sistema y utilizan la información multisensorial (posición/orientación, fuerza, actividad muscular, ritmo cardiaco, conductancia de la piel, etc.) para modificar adaptativa y dinámicamente los movimientos y tareas de rehabilitación y los entornos de realidad virtual inmersiva con el objetivo de: 1) maximizar la motivación y participación de los pacientes durante las terapias, 2)

evaluar continuamente el progreso de la recuperación desde el punto de vista clínico y neurológico.

El esquema auto adaptativo de rehabilitación robótica consta de: **1)** el sistema de neuro-rehabilitación compuesto por dispositivos robóticos y software de realidad virtual, **2)** un control donde se definen los niveles de asistencia y resistencia del dispositivo robótico como también los niveles de los refuerzos visuales y sonoros del entorno de realidad virtual, **3)** estimación del estado del usuario el cual proporciona la información del usuario que se va a usar en el lazo de control y **4)** el usuario del cual interacciona con el sistema y se adquieren las distintas señales fisiológicas.

Los resultados obtenidos durante las pruebas con pacientes con ACV, son prometedores y conllevan a que se consideren estos sistemas con mayor frecuencia en las terapias de rehabilitación para estas personas.

- **Análisis experimental de una interfaz de audio especializada para personas con discapacidad visual [67]:**

En este artículo se presenta la investigación que se realizó como parte de un proyecto que tenía como objetivo ayudar a las personas con problemas de visión, a encontrar objetos dentro de un entorno interior desconocido con la creación de una ayuda de orientación móvil. El sistema requiere de una interfaz no visual efectiva y utiliza auriculares de conducción ósea con las que se transmiten instrucciones de audio al usuario. Con este sistema se puede localizar un objetivo predefinido en un espacio 3D debido a la transmisión de la dirección donde se encuentra el objeto que se realiza mediante señales de audio especializadas.

El prototipo utiliza como hardware el dispositivo Google Project Tango para el trabajo con las aplicaciones de realidad virtual, auriculares de conducción ósea Aftershokz. La conducción ósea es la transmisión que se realiza de vibraciones de sonido a los huesos que componen el oído interno (cóclea) del cráneo, esto significa que el sonido llega al oído interno sin necesidad de utilizar el tímpano [68]. El dispositivo Tango posee cámaras integradas y otros componentes de hardware y software para el procesamiento de imágenes con los cuales se puede estimar localizaciones precisas en tiempo real de un objeto que se encuentre dentro de un espacio cerrado, las señales de audio generadas pueden dirigir a las personas a la posición de destino con un alto nivel de precisión de acuerdo con los resultados obtenidos durante las pruebas con distintos usuarios. La ventaja de este sistema es que durante el tiempo de uso puede cambiar sus propios parámetros para adaptarse mejor a las fortalezas y limitaciones de percepción que puedan tener los usuarios,

como, por ejemplo, los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

8.1 Discusión artículos

A partir de la revisión, se puede observar que la adaptación puede ser posible de diferentes maneras. Los dispositivos tecnológicos que proporcionan accesibilidad informática a las personas que tienen una discapacidad física en sus extremidades superiores o que tienen alguna dificultad usando sus manos pueden ser accedidos con gafas adaptables [58]. También es posible ayudar a las personas con problemas de visión a encontrar objetos dentro de un ambiente interior desconocido. Esto se puede lograr con una ayuda de orientación móvil capaz de cambiar sus propios parámetros para adaptarse mejor a las fortalezas y limitaciones de percepción que los usuarios puedan tener [67]. Las interfaces cerebro-computadora (BCI) pueden ayudar a adaptar la asistencia háptica para las personas que atraviesan un laberinto virtual o ayudar a perforar el hígado con una aguja en la simulación de una biopsia tumoral [56]. Aquí, la háptica proviene de la resistencia del hígado y se adapta de acuerdo con la fuerza de entrada del usuario. Además [57], el BCI intracortical puede decodificar el movimiento esperado de la actividad neuronal en el momento de controlar un dispositivo externo, como un brazo robótico. Aquí, la adaptación se logra a través del Algoritmo de Corrección de Compensación Múltiple. Por el contrario, las sensaciones táctiles y hápticas no necesariamente requieren dispositivos BCI. Se puede sugerir [61] que las entradas sensoriales visuales pueden provocar experiencias en el sentido táctil. Aquí, los estímulos visuales interactivos aprovechan la información perceptiva táctil para mejorar la comprensión de un producto con respecto a sus atributos. Además, un dispositivo de levitación magnética háptica [62] puede servir para proporcionar un aumento preciso e inmersivo en la percepción de la rigidez del tejido. Por ejemplo, los dispositivos hápticos se utilizan para capturar la percepción de la rigidez del tejido durante el entrenamiento de palpación realizado por los cirujanos para mejorar sus habilidades de diagnóstico. Además, un sistema de rehabilitación [66] puede adaptarse al estado psicofisiológico durante las terapias de rehabilitación robótica de pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular. Este sistema se basa en la realidad virtual y la robótica y tiene como objetivo recuperar la motricidad. Por último, se pueden explorar nuevas tecnologías como los tejidos inteligentes (e-Textiles) [65] en términos de interacción táctil para las personas con discapacidad visual. De hecho, la investigación sobre tejidos inteligentes y materiales conductores se ha debido principalmente a sus atractivas propiedades visuales, pero sus propiedades táctiles han sido poco exploradas.

Por otro lado, a partir de herramientas de creación narrativa interactiva que permiten a los creadores adaptar diversos contenidos [64], también existen sistemas que se centran en la narrativa y se basan en sensores para adaptarse a los usuarios. El Simulador de Salto Virtual [15] describe un sistema de realidad virtual que simula un salto en paracaídas. La simulación comienza con un salto físico desde una rampa de un metro de altura desde el suelo donde la persona se estabiliza en posición horizontal durante el momento de caída libre. Después de un cierto tiempo, la apertura del paracaídas se simula mecánicamente, y la realidad virtual recrea el entorno de descenso. Durante el otoño virtual, se presenta contenido audiovisual para contar historias integradas. Aquí, un sensor Kinect escanea el cuerpo del usuario. Oculus Story Studio [16] explora técnicas cinematográficas narrativas inmersivas. Aquí, el usuario está inmerso dentro de una narrativa emocional atractiva. Además, existen sistemas [59] que proponen una capa de aplicación adaptativa que incluye un protocolo de comunicación para aplicaciones multimedia que incorporan todo, datos hápticos, visuales, auditivos y de olores para entornos de red no dedicados. Por último [60], es importante comparar el nivel de experiencia y satisfacción de los usuarios cuando se utilizan diferentes tecnologías inmersivas como algunos estudios sugieren que AR y VR pueden ser eficaces en la narración inmersiva.

Los sistemas adaptativos son aquellos que pueden detectar desviaciones entre su comportamiento en tiempo de ejecución y sus requisitos [63], especialmente cuando su funcionamiento no cumple con uno o más de sus requisitos. Cuando hay una desviación en el funcionamiento, los sistemas adaptativos pueden analizar los cambios y decidir, con o sin asistencia humana, cómo ajustar su comportamiento. Para realizar los ajustes, estos sistemas pasan por diferentes adaptaciones que cambian su contenido para restablecer el cumplimiento de los requisitos. Sin embargo [63], la ingeniería de requisitos para sistemas de software adaptativo no es estándar porque en el momento del diseño no es posible conocer todos los cambios que pueden producir en los requisitos y condiciones presentados por el entorno, por lo tanto, la especificación no incluirá cómo el sistema debe responder a los cambios en tiempo de ejecución. Esto es diferente a la ingeniería de requisitos estándar, donde los requisitos no buscan cambiar el funcionamiento del sistema durante el tiempo de ejecución, sino que debe considerarse en el diseño de un sistema adaptativo para personas que presentan diversidad sensorial para que cumpla con los requisitos de cada persona. En general, teniendo conocimiento de los avances tecnológicos, particularmente los relacionados con realidad mixta, la idea es proponer un procedimiento para identificar adecuadamente los requisitos y desarrollar sistemas adaptativos para usuarios sensorialmente diversos en el desarrollo de sistemas de este tipo de realidad.

Este análisis de los artículos conlleva entonces a un listado de consideraciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de sistemas de realidad mixta, una vez sean revisadas estas consideraciones, se puede generar un listado de requerimientos asociado a las mismas para la implementación de este tipo de aplicaciones. Estas consideraciones se presentan en la sección 10.1 “Recomendaciones para el desarrollo de Interfaces Adaptativas para personas con diversidad sensorial”. Para dar una idea, mencionamos algunas consideraciones que pueden incluir los requisitos a medida que seguimos el procedimiento. Por ejemplo, hay algunos relacionados al tipo de aplicación (escritorio, móvil, web, nativa); otros relacionados con el nivel de inmersión (nivel de realismo, gráficos 3D, gráficos 2D, imágenes 360 o vídeos); otros relacionados con el espacio y el campo de visión (se requiere una sala grande, un amplio campo de visión es importante); otros relacionados con la multisensorialidad (requiere táctil, auditiva, olfativa, háptica, cinestésica, gustativa); otros relacionados con el tipo de interacción (a través de sensores de movimiento, guantes, chalecos, habla, CAVE, montado en la cabeza pantallas, proyecciones); otros relacionados con la comodidad (usuarios con manos libres y cabeza libre); otros relacionados con la portabilidad (la aplicación necesita trabajar en múltiples dispositivos); otros relacionados con la colaboración (metaverso); otros relacionados con el rendimiento (es importante hacer un seguimiento neuropsicológico de los usuarios), reacciones usando dispositivos BCI; otros relacionados con las limitaciones y ventajas de ciertas tecnologías en relación con los usuarios; otros relacionados con el costo (sea o el costo del hardware y software es una limitación); finalmente, otros relacionados a la adaptabilidad de la interfaz. De acuerdo con esto, las consideraciones también pueden ser tomadas como parte de los requisitos.

9 CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO INCLUSIVO EN REALIDAD VIRTUAL Y MIXTA

Adicional a la revisión sistemática de literatura, se realizó una exploración de tecnologías de desarrollo y visualización de realidades expandidas con el objetivo de proporcionar información que permita identificar cuáles son las más utilizadas actualmente y puedan reconocerse como las mejores opciones a considerar cuando se requiera desarrollar una aplicación de realidad virtual o realidad aumentada para interfaces adaptativas.

Para programar realidad virtual y realidad aumentada existe un conjunto de herramientas y distintos niveles, esto depende de si se requiere hacer una aplicación ligera o robusta que sea nativa. En este capítulo se presentan algunas de las tecnologías de hardware y software con las cuales se está desarrollando el trabajo para realidad aumentada y mixta. Las tecnologías fueron seleccionadas debido a que tanto el Instituto para Niños Ciegos y Sordos y la Pontificia Universidad Javeriana en Cali las vienen utilizando (Oculus, Hololens, OpenBCI, móviles). Además, existe un sistema CAVE en la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. Las interfaces hápticas se piensan adquirir a futuro. Los textiles inteligentes se discuten pues se consideran una tecnología novedosa.

9.1 Dispositivos de Hardware

9.1.1 Oculus Quest 2

Hoy en día tal vez el dispositivo más común utilizado para realidad virtual es el Oculus Quest 2 las cuales son unas gafas de realidad virtual autónomas desarrolladas por Meta (en su momento Facebook Reality Labs) y su valor es considerablemente menos costoso que otros existentes en el mercado. Antes de la popularidad de los Oculus Quest 2, el dispositivo más usado era el HTC Vive desarrollado por la empresa HTC Corporation (High Tech Computer Corporation), pero para la programación en estos equipos se requiere de computadores con buenas prestaciones de hardware lo que implica un mayor costo para su uso. De todas maneras, se debe tener en cuenta que cuando se realiza una programación para una aplicación ligera en el Oculus Quest 2, se tiene menos resolución y menos detalle de las imágenes que cuando se realiza una programación nativa para una aplicación en un computador, si se requiere tener mayor realismo de las imágenes es necesario conectar el Oculus al computador.

En Welcome To The New Meta Sotore⁵ se pueden ver las especificaciones del Oculus Quest 2 que se presenta en la Figura 13:



Figura 13 Oculus Quest 2 con Controles Táctiles [69]

Resumiendo las características de Oculus Quest 2, se tiene que [69]: no necesita conexión a un computador para ser utilizado debido a que cuenta con su propio controlador de realidad virtual, es fácil de configurar y adaptable al entorno, puede usarse de pie o sentado y en espacios grandes o pequeños, reproduce los movimientos en realidad virtual independientemente a donde se esté mirando y realizar un seguimiento por todo el espacio sin la ayuda de sensores externos, cuenta con un sistema de audio posicional integrado en el visor que permite escuchar sin necesidad de auriculares, por medio de los controladores Oculus Touch el movimiento de las manos y los gestos son involucrados en el sistema de realidad virtual para agarrar objetos con precisión realista e intuitiva. Para poder usar este dispositivo se necesita tener una cuenta de Facebook asociada a las gafas de manera opcional, pero a partir del 01 de enero del 2023 será obligatorio por lo que esto ha sido causa de quejas de los usuarios debido a los problemas de manejo de privacidad de la información conocidos por parte de esta red social.

9.1.2 Tecnologías de identificación del espacio en Realidad Aumentada

En términos de Realidad Aumentada (RA) lo más común hoy en día es utilizar dispositivos móviles, para esto, el dispositivo debe ser de media gama hacia arriba lo que genera exclusión para usuarios con teléfonos de baja gama. Con los dispositivos de media gama hacia arriba se puede hacer realidad aumentada básica con la cámara de esos teléfonos, ya en los dispositivos de alta gama, por

⁵ <https://store.facebook.com/quest/products/quest-2/tech-specs/#tech-specs>

ejemplo, si es Android, hay una tecnología que se llama Time of Flight (ToF) que permite posicionar adecuadamente los objetos en un sitio cerrado, si el dispositivo es iOS, puede contar con tecnología Light Detection and Rangin (LIDAR).

A continuación, se describe el funcionamiento de las tecnologías basadas en sensores ToF y LIDAR.

9.1.2.1 Time of Flight (ToF)

La tecnología de sensores Time of Flight (ToF) que en español significa “Tiempo de Vuelo” funciona de manera similar al sonar de un submarino o a un radar, su sistema se basa en la emisión de haces de luz infrarroja y estima la distancia de la ubicación de un cuerpo calculando el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del haz de luz, este sistema recrea la escena en tres dimensiones calculando la profundidad completa antes de hacer una foto con un solo disparo, esto se complementa con una aplicación y un algoritmo de machine learning instalados en el móvil. Los sensores ToF mejoran la experiencia de la realidad aumentada y se utilizan para mejorar la seguridad de los móviles debido que permiten a los dispositivos hacer el reconocimiento facial con mayor precisión y en menos tiempo [70]. La Figura 14 representa la gráfica del tiempo de vuelo ToF y la Figura 15 es una imagen obtenida con el sistema ToF.

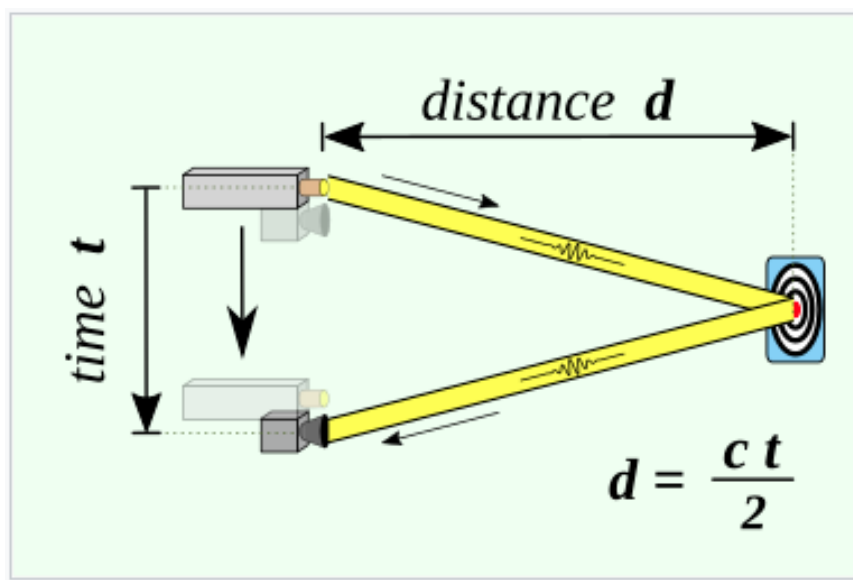


Figura 14 Representación Gráfica del Tiempo de Vuelo ToF [71]



Figura 15 Imagen obtenida con tecnología ToF [72]

9.1.2.2 *Light Detection and Rangin (LIDAR)*

Los dispositivos iOS utilizan tecnología LIDAR (Light Detection and Rangin) la cual es una técnica de teledetección óptica que emite haces de luz láser infrarroja que “rebotan” en los objetos para así obtener una nube de puntos en el entorno que se procesan en los dispositivos y forman una imagen tridimensional en tiempo real actualizándose dinámicamente durante el desplazamiento de los objetos, lo más importante de esta tecnología es que para cada punto se conoce la distancia que hay hasta él y la posición precisa en el espacio [73], el énfasis que se le da a esta tecnología es para mejorar la fotografía y las experiencias en realidad aumentada. Con el sensor LIDAR se aumenta la precisión en el momento de enfocar escenas, se reduce el tiempo de captura de una foto y permite un autoenfoco en baja luminosidad seis veces más rápido que en los dispositivos que no lo tiene. La Figura 16 representa la gráfica del tiempo de ida y regreso del haz laser del sensor LIDAR el cual es el mismo principio que rige el sistema ToF, la Figura 17 es una imagen obtenida con tecnología LIDAR donde los detalles de los cables de la vía se distinguen con facilidad.

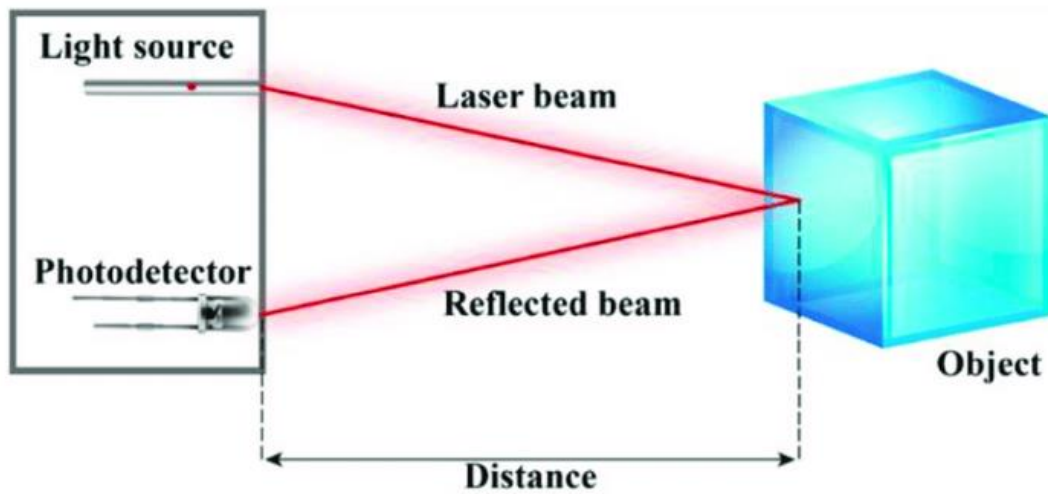


Figura 16 Representación Gráfica Sistema LIDAR [74]

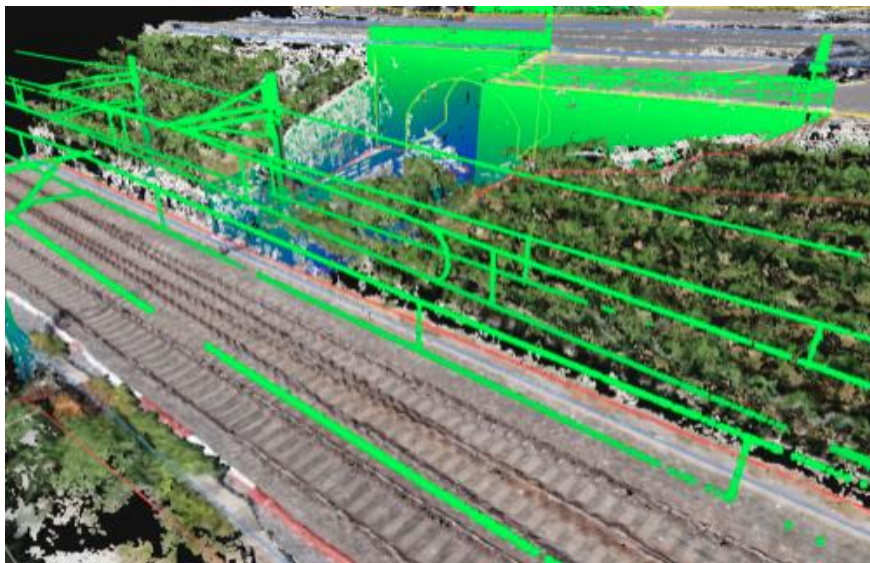


Figura 17 Imagen tomada con tecnología LIDAR [75]

Diferencia entre Tecnología ToF y Tecnología LIDAR

La diferencia entre los sistemas ToF y LIDAR es que las aplicaciones con ToF crean “mapas de profundidad” que se basan en la detección de luz utilizando una cámara RGB estándar. LIDAR utiliza láser pulsado con el que construye una nube de puntos la cual luego se usa para construir un mapa o imagen 3D. La ventaja que tiene ToF sobre LIDAR es que se puede utilizar con equipos menos especializados a los cuales se les puede adaptar dispositivos más pequeños y menos costosos. El beneficio que ofrece LIDAR es la facilidad de lectura que

puede hacer una computadora de una nube de puntos en comparación de un mapa de profundidad generado por el sistema ToF. LIDAR es más rápido, más preciso y no presenta ciertos problemas como los tiene ToF como la dificultad de identificación de planos con poca textura como son las paredes de color blanco. Le tecnología LIDAR es más eficaz para el uso de aplicaciones de realidad aumentada donde se necesita precisión de representar objetos digitales en superficies del mundo físico [76].

En la Tabla 7 se presentan las diferencias entre las tecnologías de los sensores ToF y LIDAR.

Parámetros de comparación	LIDAR	ToF
Principio de operación	Emisión de señales láser y mide la reflexión de un obstáculo para calcular el tiempo y la distancia consecutiva	Ilumina una escena utilizando una fuente de luz modulada y observa la luz reflejada. Utiliza láser de estado sólido o LED para la iluminación y sensores de imágenes para detección de la luz reflejada. La energía fotónica que llega al receptor se convierte en corriente eléctrica
Distancia	Más alto	Medio
Campo de visión (FoV)	Medio	Alto
Resolución del sensor	Medio bajo	Alto
Precisión de medición de la distancia	Medio	Alto
Rendimiento de la clasificación de objetos	Más bajo	Más alto
Costo de procesamiento para calcular la distancia	Más bajo	Medio

Tabla 7 Diferencias entre tecnologías ToF y LIDAR [77] [78]

9.1.3 HoloLens 2

HoloLens 2 es un dispositivo creado por Microsoft en donde los usuarios pueden interactuar con Realidad Mixta a través de imágenes holográficas las cuales son una proyección de una imagen en tres dimensiones, puede usarse en diferentes escenarios como apoyo en asistencia remota y programas de formación. Con este dispositivo los usuarios pueden realizar gestos con las manos para interactuar con objetos virtuales sin necesidad de salirse de la realidad. El HoloLens 2 proyecta la imagen dentro de los ojos del usuario a través de un

cristal transparente que no es una pantalla, en la parte frontal se complementa con una cámara estándar y una de profundidad la que proporciona entendimiento del mundo físico y permite la interacción con el mundo virtual. Con el fin de realizar seguimiento de los ojos para saber dónde están mirando los usuarios en la interacción con el holograma, cuenta con dos sensores que escanean los ojos midiendo su distancia y profundidad [79].

En Microsoft HoloLens2⁶ se pueden ver las especificaciones del HoloLens 2 que se presenta en la Figura 18:

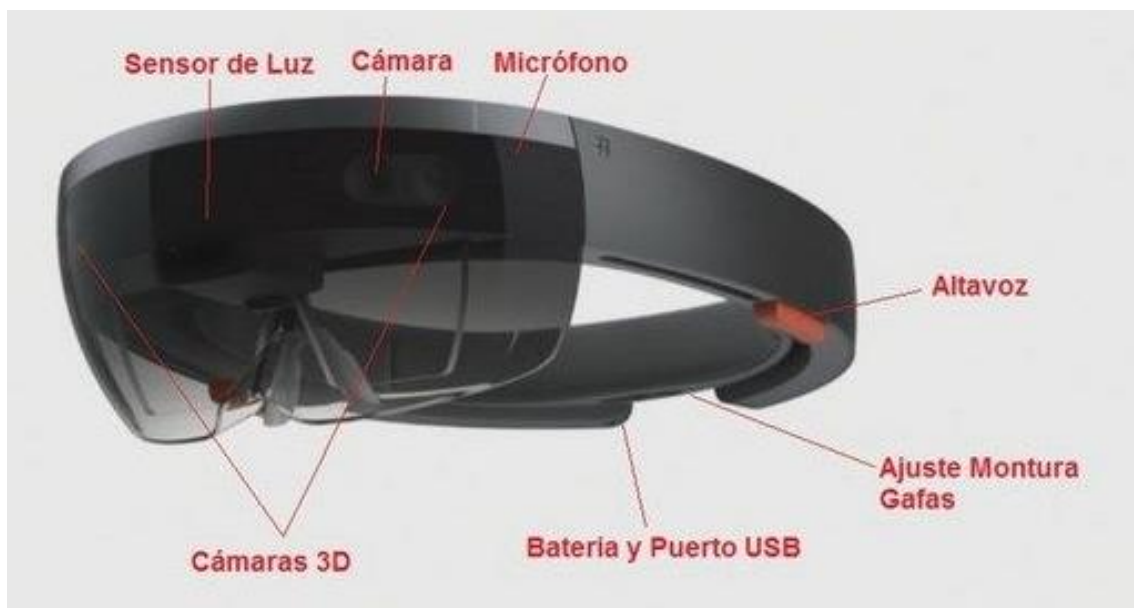


Figura 18 HoloLens 2 de Microsoft [80]

Dentro de las muchas aplicaciones que se pueden tener con estas gafas de realidad aumentada se encuentra que se pueden ver videos en una pared, crear castillos virtuales encima de una mesa, se puede tener asistencia remota en cualquier campo con un técnico que pueda explicar el arreglo de un elemento a través de una conexión por Skype HoloNotes donde el interlocutor puede ver el entorno y dibujar trazos en 3D sobre él que aparecerán como hologramas para hacer los ajustes en el lugar que se requiera. Se puede también aplicar en temas de formación como lo pueden ser la medicina, educación, mecánica, etc., en la Figura 19 se puede ver el uso del HoloLens 2 en medicina. Como desventaja de este dispositivo se puede referenciar el precio el cual está alrededor de los U\$3500 por lo cual no puede ser adquirido por cualquier persona que no cuente

⁶ <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/hardware>

con los recursos económicos suficientes. Para más información se puede ir al sitio⁷.



Figura 19 Imagen Holográfica con HoloLens2 [79]

9.1.4 Google Cardboard

Las Google Cardboard son un visor de realidad virtual hechos de cartón y con lentes de distancia focal que se utilizan con un teléfono móvil inteligente. Con este Cardboard un teléfono inteligente Android o iOS con aplicaciones de realidad virtual, se convierte en una plataforma de realidad virtual a un bajo costo debido a los materiales que se necesitan para su construcción, esto hace la diferencia con otros dispositivos que requieren de un computador de mucha capacidad y software específico para su uso [81]. Los Cardboard son personalizables ya que se pueden fabricar en casa a la medida de las personas. En la Figura 20 se puede ver un Google Cardboard.

⁷ <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>



Figura 20 Google Cardboard [81]

Un Google Cardboard se fabrica con los siguientes [81]:

- **Cartón:** con dimensiones de al menos 22x56 cm.
- **Lentes:** se recomiendan unas lentes con 40mm de distancia focal y biconvexas, en concreto las Open Dive de Durovis.
- **Disco magnético de neodimio:** permite la interacción con el dispositivo móvil.
- **Velcro:** permite abrir y cerrar el compartimento de las gafas donde se inserta el teléfono.
- **Goma:** sujeta las gafas al teléfono.
- **Etiqueta NFC:** es opcional y permite a abrir la aplicación de las Cardboard más rápidamente.

En el Cardboard los lentes se utilizan para dar sensación de profundidad, en el centro de las gafas se encuentra un cartón que delimitan el ojo izquierdo del derecho, de esta manera se crea un efecto de lupa con los lentes por lo que se recomienda que el teléfono inteligente posea media o alta resolución para obtener una buena experiencia con las aplicaciones de realidad virtual. En los teléfonos inteligentes se pueden ver escenas en 3D con representación estereoscópica, también pueden rastrear y reaccionar a los movimientos de la cabeza e interactuar con las distintas aplicaciones cuando el usuario presione el botón del visor. De todas maneras, hoy en día, la experiencia de la realidad virtual es más inmersiva con los equipos que han sido creados explícitamente para ello debido a sus características de capacidad de procesamiento para presentar un mayor realismo, esto en comparación a los teléfonos inteligentes que todavía son limitados para este tipo de aplicaciones. Se espera que en un futuro, los teléfonos inteligentes cumplan con los requisitos necesarios para trabajos de realidad virtual y así poder tener una mayor inclusión para personas

que necesiten de este medio para tener una mejor calidad de vida, hoy en día, casi todas las personas cuentan con un celular de baja, media o alta gama, por lo que se espera que las aplicaciones se ajusten a cada modalidad. Google ofrece una sección para desarrolladores de aplicaciones virtuales en ⁸.

9.1.5 Cave Assisted Virtual Environment (CAVE)

Una CAVE (Cave Automatic Virtual Environment – Entorno Virtual Automático de Cueva-) es un espacio o habitación de realidad virtual con forma de cubo, donde en las paredes se proyectan imágenes en 3D para así mismo crear un entorno 3D inmersivo. El CAVE fue inventado en 1992 por investigadores del Laboratorio de Visualización Electrónica de la Universidad de Illinois, el grupo investigador trabajó principalmente sobre el interés en Técnicas Gráficas e Interactivas con motivación de que una o muchas personas utilizaran una herramienta de visualización utilizando grandes pantallas para su proyección [82]. Las CAVE pueden estar formadas por diferentes proyectores, sistemas de seguimiento de movimiento, número de pantallas, tamaño de pantallas y cada una con distintas resoluciones, no todas las CAVE pueden ser iguales. La Figura 21 presenta el diseño abstracto de una CAVE de 4 paredes, mientras que en la Figura 22 presenta La CAVE de cuatro paredes en el Instituto de Investigación del Desierto en Reno, Nevada.

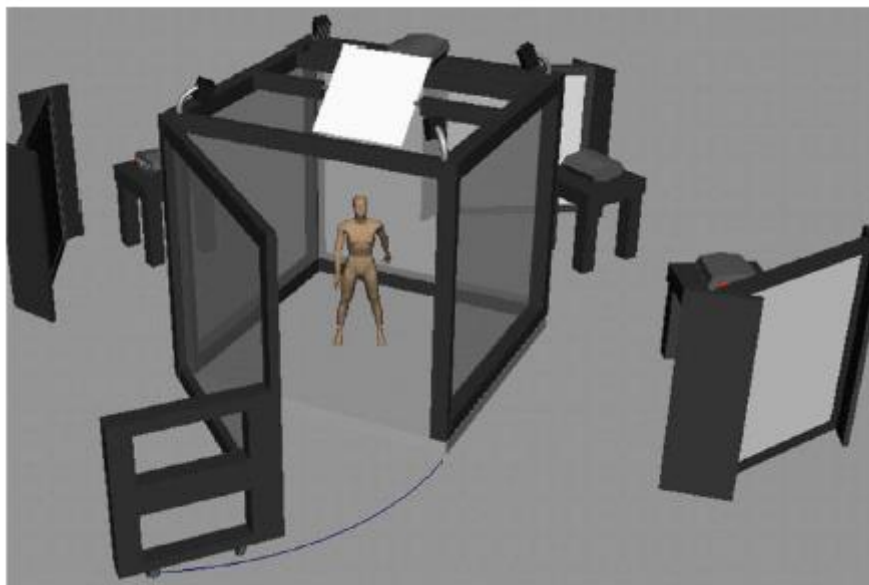


Figura 21 Diseño Abstracto de una CAVE de Cuatro Paredes [83]

⁸ <https://developers.google.com/cardboard/develop/c/quickstart>



Figura 22 CAVE de cuatro paredes en el Instituto de Investigación del Desierto en Reno, Nevada [83]

Las siguientes son las características generales de una CAVE [83]:

- Habitación cúbica.
- Pantallas de retroproyección forman las paredes laterales, el suelo también puede estar formado por una pantalla de retroproyección o de proyección hacia abajo.
- Los sistemas de CAVE modernos pueden proyectar escenas en el techo, estos sistemas son conocidos como CAVE De seis paredes.
- Contiene espejos girados entre los proyectores de alta resolución y las pantallas los cuales se usan para reflejar las escenas que se muestran en las pantallas, con esta configuración se puede proyectar la sombra de un participante para así conseguir un entorno más inmersivo.
- Se deben utilizar unas gafas especiales dentro de la CAVE para poder tener una vista estereoscópica del contenido, un cálculo matemático es el encargado de superponer las imágenes para que se pueda transmitir en tercera dimensión a los participantes.
- Los cristales obturadores de las gafas son de cristal líquido que se sincronizan con emisores de infrarrojos con secuencia de proyección. Con estas gafas también se rastrea la cabeza del participante para determinar la posición y orientación de este dentro de la CAVE, esto se logra mediante un sensor que se instala encima de las gafas.

- Un dispositivo esencial en una CAVE es la “Vara”, la cual es un controlador tridimensional que cuenta con varios botones con su propia funcionalidad y es sostenida por el participante para poder interactuar con el sistema, la “Vara es una especie de ratón tridimensional dentro de la cueva. Con esta vara los participantes pueden realizar muchas acciones dentro de la CAVE como seleccionar, arrastrar y soltar objetos virtuales como también señalarlos, también se utiliza para caminar o volar a través de un entorno virtual.
- Algunas CAVE incluyen sistemas de altavoces para enviar señales de audio a los participantes, los parlantes pueden estar dentro o fuera de la CAVE en ubicaciones específicas y ángulos precisos para que los participantes puedan escuchar los sonidos que los rodean imitando lo que se escucharía en un entorno real.
- Se pueden utilizar sistema táctiles o hápticos como los son guantes especiales para facilitar la interacción entre los participantes y los elementos que se puedan encontrar en el mundo virtual mediante la restricción de los movimientos de la mano o el envío de señales de vibración. Un ejemplo puede ser cuando un participante agarre una bomba virtual y el guante impida que el dedo pulgar toque los otros dedos de acuerdo con el tamaño de la copa permitiendo así la sensación de inmersión en términos de salida háptica o táctil. Existen también sistemas de reconocimientos de gestos bidimensional que se pueden utilizar para la interacción con entornos de realidad virtual y reemplazar los guantes mencionados anteriormente.

Todos los dispositivos que se utilizan en una CAVE son controlados por computadoras y cada que una participante se mueve dentro de la CAVE, el sistema informático recibe las señales y proporciona la retroalimentación correspondiente para que el participante tenga una interacción fluida dentro del mundo virtual.

9.1.6 Interfaces Hápticas

Las Interfaces Hápticas son el conjunto de dispositivos que permiten a los usuarios la manipulación de objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados donde se pueden tocar y sentir proporcionando la sensación de una experiencia inmersiva en el mundo de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada en tiempo real [84]. Los dispositivos hápticos ofrecen una respuesta instantánea en el cuerpo y hacen sentir en la piel lo que ocurre en un entorno virtual. Con el uso de estos dispositivos hápticos las aplicaciones informáticas retroalimentan a los usuarios mediante sensaciones sentidas en la mano u otras partes del cuerpo, las aplicaciones pueden simular las propiedades físicas de los objetos como la textura, resistencia, fricción, impulso o peso [85].

Los dispositivos hápticos se componen principalmente de los siguientes elementos:

- Sensores.
- Circuitos de control de actuadores (motores).
- Uno o más motores que vibran o ejercen fuerza.
- Software de control del actuador que se conoce como “reproductor” el cual proporciona un algoritmo en tiempo real y una biblioteca para efectos hápticos.
- Un API de inmersión en la cual se programan las llamadas a los actuadores en el sistema operativo del producto.

Las aplicaciones son complementadas con hardware especializado que proporciona retroalimentación sensorial que estimula propiedades y fuerzas físicas. La configuración común de una interfaz háptica está compuesta por enlaces mecánicos separados y conectan los dedos de una persona una interfaz de computadora.

Los dispositivos hápticos más comunes son los chalecos y guantes, un chaleco háptico permite sentir, por ejemplo, un golpe en su propio cuerpo de un contendor si está interactuando con juego de boxeo. Un guante háptico ofrece la sensación de manipulación de un objeto virtual como lo puede ser una pelota, o también sentir el apretón de manos que le pueda dar otra persona en el mundo virtual. La Figura 23 muestra un ejemplo de uso de los guantes hápticos y la Figura 24 muestra dos chalecos hápticos, los guantes presentados son fabricados por la empresa bHaptics.



Figura 23 Manipulación de objeto con Guantes Hápticos [86]



Figura 24 Chalecos Hápticos TactSuit X40 [87]

9.1.7 Textiles Inteligentes

Un textil inteligente es un tejido o material textil que ante un agente o estímulo externo reacciona de forma activa. Los tejidos inteligentes cuentan con funcionalidades que permiten interactuar con el entorno que lo rodea para aportar soluciones lógicas teniendo en cuenta su función de aplicación [88]. Estos tejidos se componen de elementos electrónicos donde se pueden incluir circuitos integrados, dispositivos conductores, diodos de emisores de luz, microcomputadoras, baterías, sensores y biosensores textiles los cuales sirven para poder medir parámetros fisiológicos como el pulso cardíaco, la respiración, electrocardiogramas, parámetros físicos de presión, etc., [89] El uso de elementos nanotecnológicos en estos textiles inteligentes permite crear diferentes artículos de uso diario como ropa, telas industriales, etc., que incluyen innovaciones la repelencia de virus y bacterias, regulación de la temperatura, retardantes de fuego, cambio de color, etc. La flexibilidad de estos textiles se debe al entretejido que se hace de los componentes electrónicos de manera imperceptible. La Figura 25 es una imagen ampliada donde se distinguen los componentes electrónicos en el textil inteligente.

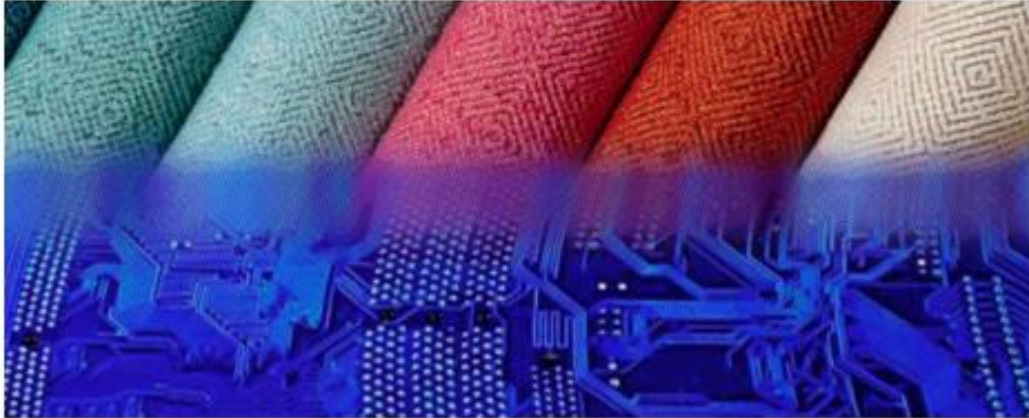


Figura 25 Componentes Electrónicos de un Textil Inteligente [89]

Actualmente existen tres tipos de textiles inteligentes [89]:

- **Textiles Inteligentes Pasivos:** estos textiles pueden sentir las condiciones que hay en el medio ambiente o estímulos exteriores manteniendo sus características independientemente del entorno, el tejido sigue siendo el mismo.
- **Textiles Inteligentes Activos:** además de poder sentir las condiciones medioambientales, estos textiles actúan según el entorno reaccionando ante los estímulos exteriores. Estos textiles conservan la memoria de la forma, pueden ser termorreguladores almacenadores de calor, absorben el vapor, etc., su funcionamiento se apoya en la electricidad, actuadores y sensores.
- **Textiles Ultra Inteligentes o Muy Activos:** estos textiles pueden detectar y reaccionar a cambios en el entorno y se adaptan a las condiciones y estímulos del medio ambiente que pueden ser térmicos, mecánicos, químicos, eléctricos, etc., estos tejidos están conformados por una unidad de cómputo diseñada con capacidad de cognición, razonamiento y activación.

Un ejemplo de textil inteligente se muestra en la Figura 26, la cual es una camisa que no se mancha a pesar de que le cae un líquido que lo pudiera hacer.



Figura 26 Camisa de Textil Inteligente que no se Mancha [90]

Con motivo de esta tesis de investigación, estos textiles inteligentes se recomiendan para que se introduzcan en el proyecto que se lleva a cabo con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca para que se adapten a la narrativa de la fauna en vía de extinción del territorio colombiano, por ejemplo, durante la historia se puede presentar una imagen de día nublado o caluroso, y así mismo, programar el textil para que el usuario sienta frío o calor de acuerdo a lo que se esté narrando en cierto instante de la historia.

9.1.8 Electrodo OPENBCI

OpenBCI es una interfaz cerebro-computadora de código abierto con la cual se pueden medir las actividades eléctricas del cuerpo humano, como la actividad del cerebro (electroencefalograma -EEG-), la actividad de los músculos esqueléticos (electromiograma -EMG) y la actividad del corazón (electrocardiograma -ECG-) entre otros [91]. Con estos dispositivos es posible controlar máquinas con el cerebro, también permiten observar cómo reacciona el usuario en términos de Neurociencias emocionalmente a las simulaciones de Realidad Virtual, estos dispositivos se pueden usar en casos como por ejemplo cuando la persona no tiene otra manera de interactuar con dispositivos debido a discapacidades físicas extremas como imposibilidad de usar las manos o los pies. En OpenBCI Documentation⁹ se puede ver el desplazamiento de la pantalla de un computador con el movimiento de la mano sin utilizar el teclado. Las señales eléctricas del cuerpo humano son detectadas por los electrodos que componen el sistema OpenBCI y son registradas en un computador y se muestran en la pantalla de este mismo equipo. En La Figura 27 se puede ver la señal tomada por un sistema EMG.

⁹ <https://docs.openbci.com/Examples/EMGProjects/EMGscrolling/>

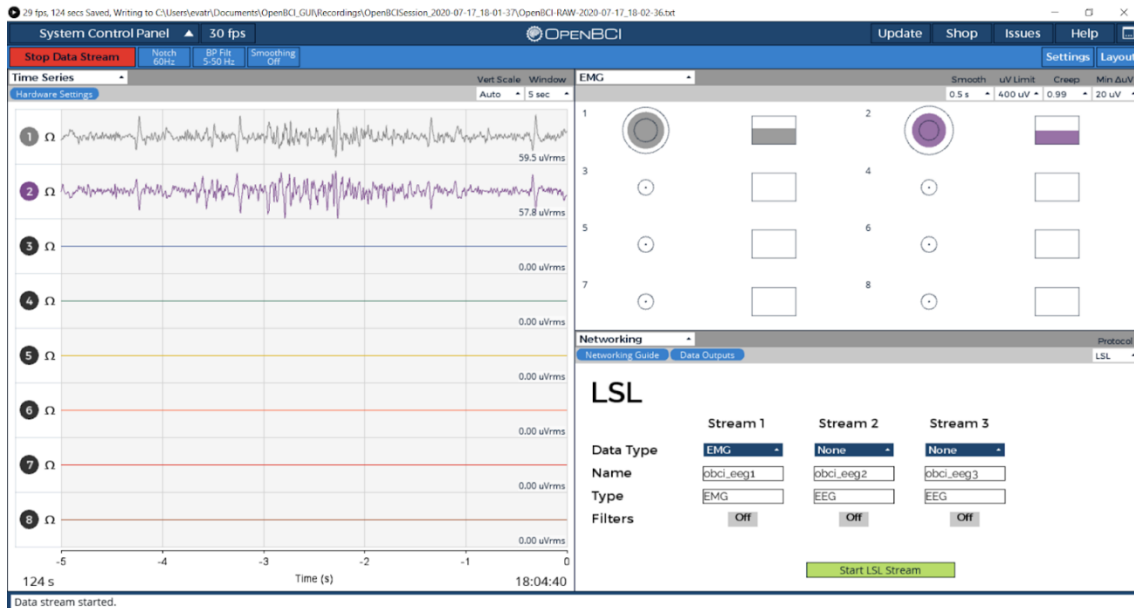


Figura 27 Señal Tomada por un Sistema EMG [92]

Con un sistema OpenBCI se pueden medir las señales cerebrales en tiempo real y proporcionar al usuario retroalimentación sobre su estado mediante diferentes estímulos como lo puede ser un entorno de Realidad Virtual adaptable, con el cual se puede aumentar o disminuir la activación de ciertas partes del cerebro. Un sistema de estos se puede usar en el proyecto de la narrativa para los Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca creando diferentes escenarios mediante Realidad Virtual donde la persona atraviese un bosque controlando la velocidad del recorrido y adaptarla de acuerdo con su discapacidad sensorial. En el artículo “El cerebro importa: una visualización 3D en tiempo real para examinar la activación de la fuente cerebral aprovechando la neuroretroalimentación” se presenta el resultado de una actividad realizada por personas durante un recorrido para atravesar un túnel virtual a los cuales se les solicitó cruzarlo a la mayor velocidad [93]. En La Figura 28 se puede ver del lado izquierdo un participante con un sistema BCI y gafas para Realidad Aumentada, del lado derecho se presenta una Visualización 3D en tiempo real como resultado de la activación del cerebro durante la sesión de Realidad Virtual.

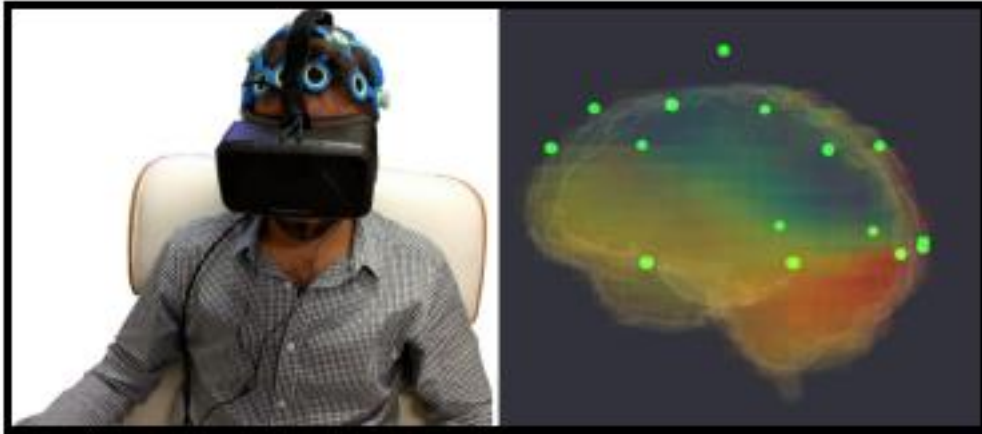


Figura 28 Participante con BCI y Visualización 3D de la Activación del Cerebro [93]

En este apartado se han presentado distintos dispositivos cuya función principal es permitir a los usuarios interactuar con un sistema que se encuentre dentro del continuo virtual, este sistema puede ser de realidad aumentada, realidad mixta, virtualidad aumentada o realidad virtual, cada dispositivo tiene sus propias características y en ocasiones comparte características comunes con otros que pueden cumplir diferentes tareas. Estos dispositivos también conocidos como periféricos se clasifican en dispositivos de entrada y dispositivos de salida. A los dispositivos de entrada también se les denomina sensores y están hechos para capturar las acciones del participante como lo puede ser los movimientos de la cabeza o del cuerpo y se encarga de enviar esta información al computador que lleva la simulación. Los dispositivos de salida que también suelen denominarse como efectores, son los que realizan la estimulación necesaria en los sentidos del participante, ya que traduce en sonido, imágenes, etc., las señales de audio, vídeo, etc., que reciben del computador [94].

Ahora bien, se debe tener en cuenta las ventajas y desventajas que pueden tener los dispositivos en cuanto a su costo y su uso. Por ejemplo, los dispositivos Hololens 2 de Microsoft¹⁰ tienen un costo que va desde los € 3,849 en adelante y los Oculus Quest 2¹¹ su costo va desde U\$299 en adelante. Aunque la diferencia de precios entre estos dos dispositivos es considerable, no toda persona cuenta con los suficientes recursos económicos para acceder a este tipo de elementos por lo que se debe analizar en términos de desarrollo de aplicaciones que involucren algún tipo de realidad, si va dirigido a un público en especial o es de acceso general. Tal vez los dispositivos como los de Microsoft u otras empresas estén diseñados para un uso industrial o sofisticado por lo que se requiere de una alta precisión o inmersión completa en un mundo virtual donde se requiera, por ejemplo, reparar averías en motores en autos o apoyar cirugías delicadas en el cuerpo humano, aquí sí se puede decir que la

¹⁰ <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/buy>

¹¹ <https://store.facebook.com/quest/products/quest-2/>

adquisición de este tipo de dispositivos por empresas automotrices o clínicas respectivamente se justifica teniendo en cuenta el beneficio que trae como negocio o en el caso de la cirugía, salvar vidas.

Se puede decir que afortunadamente hoy en día casi todas las personas cuentan con un dispositivo móvil en donde dependiendo de su tecnología, puede tener acceso a aplicaciones que involucren un tipo de realidad o también contar con computadores personales con las características mínimas requeridas para poder ejecutar este tipo de aplicaciones. Si se requiere que la experiencia de la realidad virtual sea lo más inmersiva posible utilizando dispositivos móviles, estos se pueden adaptar a un sistema de cardboard como los de Google y se puede considerar entonces que el costo de acceso a esta tecnología es considerablemente bajo teniendo en cuenta el ejemplo de reparación de motores o de cirugías mencionados anteriormente. Actualmente están surgiendo gran cantidad de dispositivos creados por diferentes empresas para emular aplicaciones de realidad virtual, esto se considera como positivo ya que entre más aparezcan, existe la posibilidad de que los costos sean más bajo y el acceso sea mayor para las personas en general, en este caso, lo que importa es saber hasta dónde los usuarios están dispuestos a llegar para vivir una experiencia de realidad virtual lo más inmersiva posible y adquirir el dispositivo adecuado para esto.

9.2 Herramientas de Software

9.2.1 ZapWorks Studio

ZapWorks Studio es un producto creado por la empresa Zappar la cual se dedica a brindar experiencias de realidad aumentada, virtual y mixta, estas experiencias son totalmente personalizables, incluye soporte de seguimiento de imágenes, rostros y modelos 3D. Los proyectos de realidad aumentada se pueden crear de una manera simple, en su entorno virtual se pueden arrastrar y componer los elementos que se desean proyectar o presentar en un entorno web [95]. ZapWorks ofrece su propio IDE en donde los usuarios se pueden apoyar para la manipulación de objetos y planos 3D originales a través de un visor con el que se pueden aplicar efectos de audio, vídeo e imágenes. La herramienta de Zappar no requiere que las personas sepan de programación para poder crear ambientes de realidad aumentada debido a su facilidad de uso. ZapWorks es una herramienta comercial y tiene diferentes costos como se puede ver en su sitio¹² y puede usarse para diferentes propósitos como lo puede ser el educativo y el recreativo para el desarrollo de juegos.

¹² <https://www.zappar.com/>

ZapWorks ofrece las siguientes características:

- Los modelos 3D se pueden cargar en una escena y antes de publicarlos en la web se puede obtener una vista previa.
- Se puede realizar seguimiento de imágenes físicas incrustadas dentro del contenido digital mientras se mueve en la vista de la cámara.
- Los proyectos se pueden crear vacíos o a partir de plantillas que incluyen interactividad y funciones sofisticadas que se pueden agregar en el lenguaje de programación que se basa en JavaScript. La Figura 29 muestra una plantilla 3D de ZapWorks.

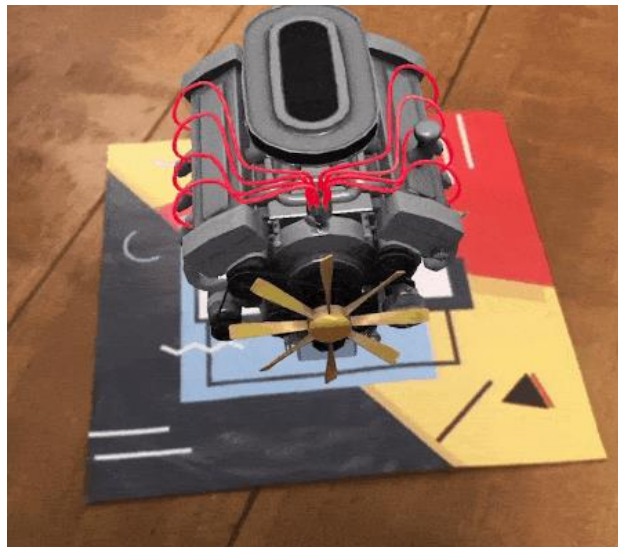


Figura 29 Imagen Plantilla 3D de ZapWorks [96]

- Los proyectos compilados se publican en la web y se generan “códigos Zap” los cuales se pueden escanear con teléfonos inteligentes compatibles donde se puede le experiencia virtual en vivo en la pantalla.
- La aplicación móvil para el escaneo del código Zap y la representación de la realidad aumentada es compatible con dispositivos iOS y Android.

9.2.2 Microsoft Power Apps

Microsoft Power Apps es una herramienta que ofrece funciones de realidad mixta sin necesidad código donde cualquier usuario puede crear este tipo de aplicaciones. Las ventajas de esta aplicación han sido aprovechadas por organizaciones y empresas digitalizando sus procesos existentes utilizando muy poco código y también reduciendo el tiempo que se necesita para crear

aplicaciones de realidad mixta en muy pocos días utilizables en dispositivos compatibles [97].

Con los controles de realidad mixta de Power Apps se puede:

- Ver y manipular contenidos en 3D.
- Durante la transmisión que se realice por cámaras, se pueden superponer contenidos 3D e imágenes 2D como se puede observar en la Figura 30.

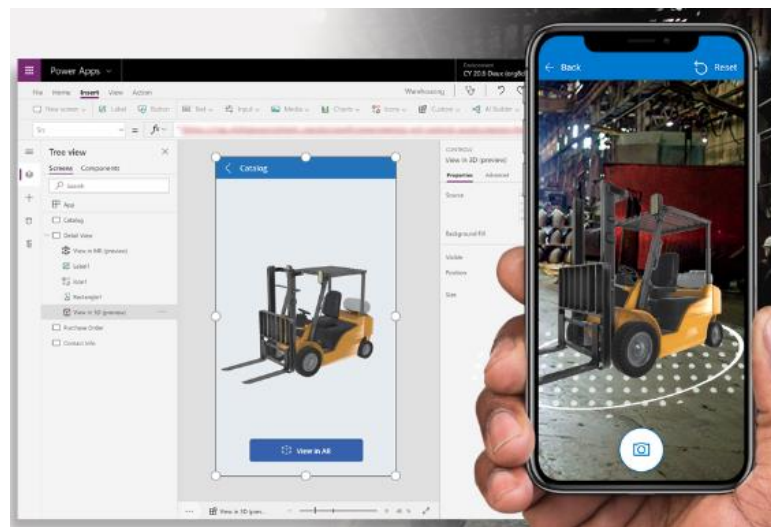


Figura 30 Objeto Virtual Superpuesto en Mundo Real [98]

- Se puede medir la distancia, área y volumen a la que se encuentre un objeto en un espacio del mundo real.
- Identificar ubicaciones y espacios.
- Diseñar de forma libre contenido bidimensional y tridimensional y realizar una visualización previa en los dispositivos compatibles de cómo encajan en el mundo real.

9.2.3 Mozilla Hubs

Mozilla Hubs es un sistema que permite a los usuarios caminar y hablar dentro de un entorno de chat de realidad virtual sin importar en qué lugar del mundo se encuentran las personas. Los contenidos digitales se pueden compartir fácilmente a través de una URL y cualquiera de los participantes puede interactuar con estos contenidos que pueden ser modelos 3D, imágenes o vídeos utilizando distintos dispositivos como computadores portátiles, teléfonos inteligentes y auriculares [99]. Hubs permite unir comunidades en un espacio

virtual compartido donde se puede compartir una experiencia social inmersiva utilizando un navegador web. La Figura 31 presenta un entorno virtual creado en Hubs con tres participantes interactuando entre ellos.

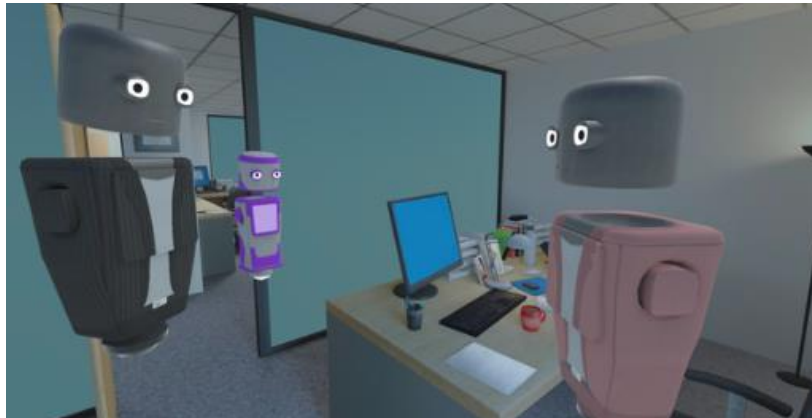


Figura 31 Sala Hubs con Tres Participantes [100]

Con Hubs se pueden realizar caminatas sin necesidad de programación, solamente utilizando dibujos, es un sistema que corre en la nube y se puede utilizar realizando el registro en el portal¹³ a través de un correo electrónico sin costo alguno, los proyectos se pueden crear desde cero o se pueden utilizar plantillas que están disponibles en la sala Hubs.

9.2.4 Minecraft Education Edition

Minecraft Education Edition es una plataforma cuyo objetivo es promover la creatividad, colaboración y resolución de problemas en un entorno divertido acompañado de la imaginación orientado a profesores, estudiantes e instituciones educativas. Los profesores pueden utilizar Minecraft como un método de enseñanza para despertar en sus alumnos habilidades sociales básicas y desarrollar en ellos cualidades que les permitan estar preparados para los cambios constantes que se presentan en el mundo. Los estudiantes se ven incentivados en el momento de aprender temas nuevos ya que lo hacen a través de video juegos donde la experiencia se torna más divertida, interesante y efectiva. Minecraft permite la colaboración en proyectos entre los compañeros de clase o grupos seleccionados por el profesor, compartir los trabajos en clase junto con la documentación de cada uno ellos y realizar una comunicación efectiva de los objetivos de aprendizaje que se pretenden alcanzar en la clase [101]. Minecraft¹⁴ inspira el Aprendizaje Basado en Proyectos e incluye

¹³ <https://hubs.mozilla.com/>

¹⁴ <https://education.minecraft.net/es-es>

herramientas de evaluación y multijugador que permiten a los estudiantes trabajar juntos en un juego. La Figura 32 muestra la imagen de un mundo creado en Minecraft.



Figura 32 Ejemplo de un Mundo Minecraft [102]

En el ámbito educativo los docentes pueden generar una experiencia de aprendizaje al crear mundos desde cero donde los estudiantes deban resolver algún reto o complementar contenido de acuerdo con lo que se haya aprendido en el aula de clase. Los entornos también pueden ser generados a partir de plantillas y se podrán ir ajustando en el camino para adaptarlo a las necesidades de la actividad.

9.2.5 Aplicaciones de desarrollo que requieren programación

Estas aplicaciones Web pueden ser llamadas desde dispositivos como el Oculus o el Hololens a través del navegador y en ellas se puede realizar programación de Realidad Virtual con código HTML.

9.2.5.1 A-Frame

A-Frame es un marco de desarrollo basado en web donde se pueden crear experiencias inmersivas de Realidad Aumentada, Realidad Virtual, juegos, aplicaciones y herramientas. A-Frame¹⁵ se basa en código HTML y se concibió como un producto para desarrollar de manera fácil y poderosa contenido de realidad virtual y escenas 3D, sus aplicaciones pueden ofrecer experiencias interactivas e inmersivas con contenido en 360° realizando uso del seguimiento posicional y de controladores [103]. Al ser una plataforma basada en la Web, en

¹⁵ <https://aframe.io/>

gran medida es independiente del hardware y el software, las aplicaciones creadas en A-Frame funcionan en múltiples navegadores y se pueden ejecutar en computadoras, teléfonos inteligentes y en visores de realidad aumentada o realidad mixta.

Una de las ventajas de este marco de trabajo es que a medida que se van creando las aplicaciones se puede ver el código HTML que se genera en el mismo entorno de trabajo, la Figura 33 presenta una imagen de una aplicación llamada "Hello WebVR" y la Figura 34 muestra su respectivo código HTML.

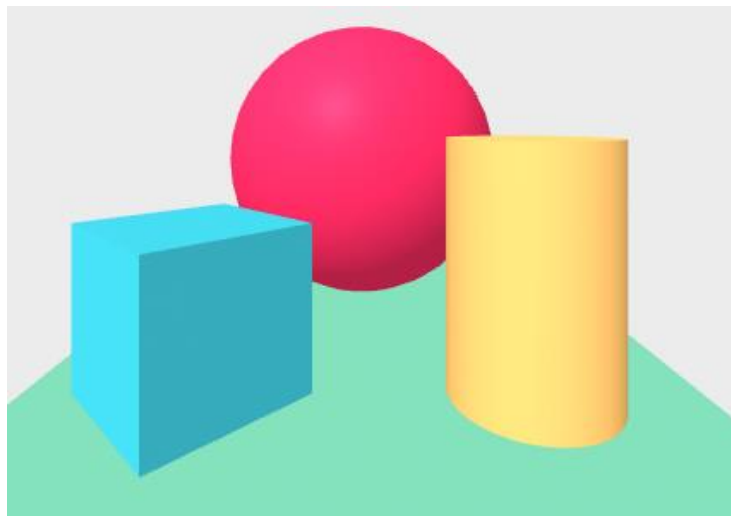


Figura 33 Aplicación A-Frame "Hello WebVR" [104]

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3   <head>
4     <script src="https://aframe.io/releases/1.3.0/aframe.min.js"></script>
5   </head>
6   <body>
7     <a-scene>
8       <a-box position="-1 0.5 -3" rotation="0 45 0" color="#4CC3D9"></a-box>
9       <a-sphere position="0 1.25 -5" radius="1.25" color="#EF2D5E"></a-sphere>
10      <a-cylinder position="1 0.75 -3" radius="0.5" height="1.5" color="#FFC65D"></a-cylinder>
11      <a-plane position="0 0 -4" rotation="-90 0 0" width="4" height="4" color="#7BC8A4"></a-plane>
12      <a-sky color="#ECECEC"></a-sky>
13    </a-scene>
14  </body>
15 </html>

```

Figura 34 Código HTML Aplicación A-Frame "Hello WebVR" [104]

9.2.5.2 ThreeJS

ThreeJS es una librería Javascript con la cual se pueden crear y manipular objetos 3D en un navegador web y utiliza WebGL para su ejecución. WebGL es una API multiplataforma que se utiliza para crear gráficos 3D. Para su ejecución. WebGL utiliza el lenguaje de sombreado de OpenGL, GLSL [105]. Un lenguaje de sombreado permite que los programadores tengan acceso directo al renderizado de más bajo nivel posible y a la geometría 3D sin la necesidad de escribir códigos con rutinas de lenguaje ensamblador para poder interactuar con el hardware de la GPU [106], esto quiere decir que no se necesitan complementos en los navegadores web para la representación de gráficos 2D y 3D. En el sitio oficial de ThreeJS¹⁶ se pueden ver varios ejemplos y crear objetos 2D y 3D en movimiento. La Figura 35 representa un objeto creado en ThreeJS la Figura 36 representan los efectos que se pueden aplicar a dicho objeto¹⁷.

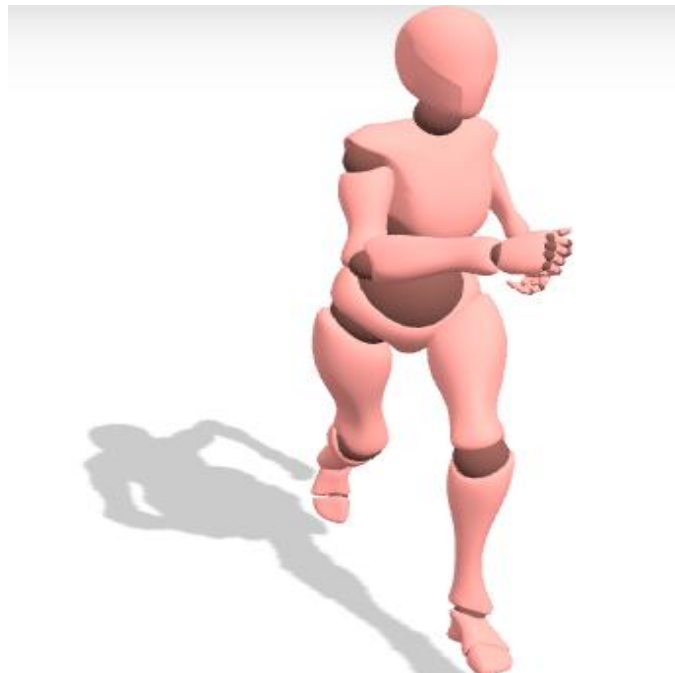


Figura 35 Objeto Creado en ThreeJS [107]

¹⁶ <https://threejs.org/>

¹⁷ https://threejs.org/examples/#webgl_animation_skinning_additive_blending

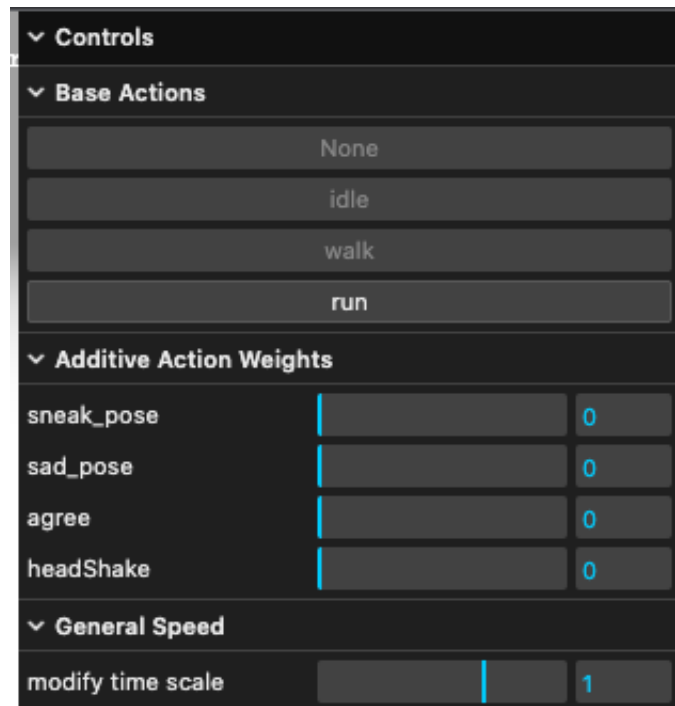


Figura 36 Efectos Aplicados a Figura 39 [107]

Las siguientes son las características principales de ThreeJS [108]:

- **Efectos:** anaglifo, barrera de paralaje, se pueden sombrear los objetos de una escena.
- **Escenas:** se pueden agregar y eliminar objetos al igual que luces y cámaras en tiempo de ejecución.
- **Cámaras:** perspectiva y ortográfica¹⁸. Permiten crear efectos combinados de sombreado de piel.
- **Animación:** se pueden animar varias propiedades de sus modelos como armaduras, cinemática de avance, cinemática inversa.
- **Cargadores de datos:** binario, imagen, JSON.
- **Realidad** virtual (VR) y aumentada (AR) a través de WebXR.
- **Hacer una Malla:** es el esqueleto que conforma la figura de los objetos en 3D.

¹⁸ https://help.prusa3d.com/es/article/perspectiva-camara-ortografica_1760

9.2.5.3 BabylonJS

BabylonJS es un motor 3D Javascript en tiempo real desarrollado por Microsoft para crear juegos 3D con HTML5 y WebGL para ser ejecutados en un navegador web. Las herramientas de Babylon permiten crear cámaras, materiales, motor de colisiones, motor de animaciones, texturas de mallas en el espacio en las que se pueden agregar fuentes de luz. Cuenta con un soporte propio para detección de colisiones, mostrar gravedad en una escena y sus cámaras están orientadas a juegos con las cuales se pueden rastrear los movimientos de un objeto [109]. BabylonJS ofrece su propio editor en línea donde se pueden crear escenas en 3D y se puede ver su ejecución en tiempo real. En la Figura 37 se puede ver el código y una escena de una esfera sobre un plano utilizando el editor de Babylon¹⁹.

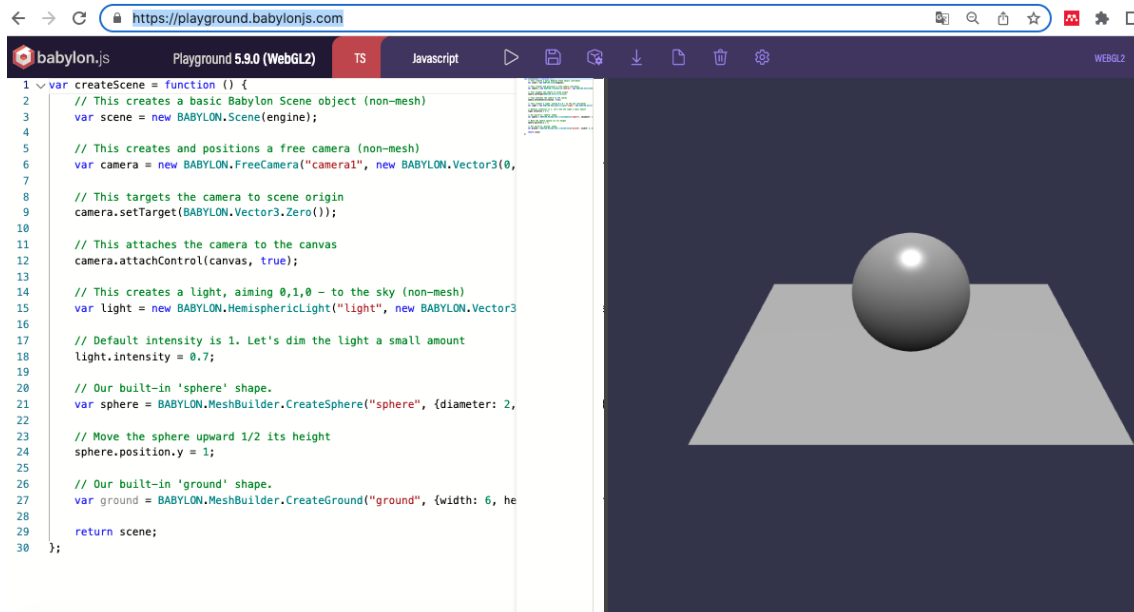


Figura 37 Escena creada en Editor de BabylonJS [110]

Las siguientes son algunas de las principales características que ofrece BabylonJS [111]:

- **Materiales:** permite construir los objetos pieza por pieza altamente personalizables como en la definición del color, transparencias, protuberancias, etc.
- **Luces:** se puede aplicar iluminación ambiental a una escena emitiendo luces desde una ubicación específica como también emitir luces hacia una dirección predeterminada.

¹⁹ <https://playground.babylonjs.com/>

- **Cámaras:** pueden controlarse con las teclas, el mouse o con eventos táctiles programados, las cámaras reaccionan a los eventos de orientación de los dispositivos.
- **Mallas:** son entidades básicas que ofrece Babylon de las cuales se pueden crear otras figuras, estas entidades con el Cubo, la Esfera, el Plano, el Cilindro, el Toro y el Nudo.
- **Colisiones:** permite configurar la colisión de dos o más objetos en una escena aplicando efectos de gravedad, los puntos de colisión pueden ser definidos por el usuario.
- **Sistema de Partículas:** es un sistema que ofrece Babylon en el cual se pueden crear efectos dentro las escenas como explosiones, impactos, efectos mágicos, etc.

9.2.5.4 Godot Engine

Godot Engine es un motor de vídeo juegos gratuito y de código abierto, su lenguaje de programación GDScript es propio y basado en Python ofreciendo un gran conjunto de herramientas para ser utilizadas en el desarrollo de aplicaciones y vídeo juegos en 2D y 3D. En el editor GDScript se crean las escenas que pueden ser un personaje, un arma o el menú principal del juego. Los personajes están compuestos por nodos como los de cuerpo de física, Sprite, cámara y reproductor de animación, estos nodos se pueden combinar para crear nodos más potentes, Godot Engine²⁰ es compatible para sistemas Windows, OS X, Linux, Android, iOS, Blackberry OS y de manera experimental con HTML5 [112]. La Figura 38 representa una escena hecha en el editor GDScript de Godot Engine.

²⁰ <https://godotengine.org/>



Figura 38 Editor de Animación GDScript [113]

A continuación, se presentan algunas de las principales características de Gdot Engine [114]:

- **Renderización:** el motor gráfico usa OpmGL 3.0, soporta especularidad, mapeo normal, transparencias, utiliza mapas de sombra para el sombreado dinámico y efectos de pantalla completa de postprocesado, corrección gama y niebla, profundidad de campo.
- **Cámara:** ofrece cámaras ortográficas, offset troncocónicas y cámaras de perspectiva.
- **Representación basada en la física:** mejora la apariencia de los objetos con la utilización de la oclusión especular del horizonte, detección de colisión, cuerpo estático, cuerpo rígido, vehículos, personajes, etc.
- **Iluminación en tiempo real:** puede mostrar hasta 32 luces omnidireccionales y 32 focos por recurso de malla. Puede presentar por escena hasta 4 luces direccionales de sol o luna.
- **Niebla:** se pueden presentar escenas de profundidad con curva de atenuación ajustable, a la altura de la niebla en el suelo o en el techo se le puede regular la atenuación, soporte de profundidad automático, etc.
- **Detección de colisiones:** incluye formas integradas como el cuboide, la esfera, el cilindro y la cápsula, se pueden generar formas de colisión triangular o formas de colisión convexa.

9.2.5.5 *Unity*

Unity es el motor de vídeo juegos más usado en el mundo y es compatible con la mayoría de las plataformas existentes para realizar aplicaciones nativas, entre las plataformas está iOS, Hololens, Linux, Windows, etc. El motor Unity fue creado por la empresa Unity Technologies. Unity también sirve para crear experiencias de realidad virtual interactiva y se han creado mini series como lo es “Baymax Dreams” en conjunto con Disney. Con Unity se pueden crear gráficos de alta calidad en todos los ámbitos como lo pueden ser los juegos, arquitectura, industria automotriz, etc. debido a la potencia de sus sombreadores, los materiales que se basan en la física, detección de colisiones y los sistemas de iluminación de alta resolución [115] Además del motor gráfico que ofrece Unity se encuentran entre otras herramientas un editor de escenas, motor de sonido, motor de físicas, gestión de entradas, etc.

Unity también ofrece una serie de servicios con las que ayuda a monetizar los vídeo juegos, realizar analítica para comprobar la manera como juegan los usuarios, poder realizar construcciones remotas en la nube, colaborar de manera remota con personas que trabajan en un proyecto ofreciendo un sistema de control de versiones, etc. En la documentación²¹ de Unity es muy completa y se puede encontrar desde el manual de usuario hasta guías de expertos para realizar tareas avanzadas. También se encuentra la documentación de la API de programación Scripting²² donde se pueden ver ejemplos de los diferentes métodos y clases que lo componen. Como se mencionó anteriormente, Unity no es solo una plataforma para la creación de juegos, también es usado en diferentes industrias como la automotriz, por ejemplo, la empresa Autoliv que es el proveedor más grande del mundo en productos de seguridad como volantes, cinturones de seguridad, bolsas de aire y más elementos, ha modernizado su estrategia de marketing y ventas exhibiendo sus productos aprovechando la tecnología 3D en tiempo real para brindar un experiencia de visualización moderna, la Figura 39 presenta un sistema de bolsas de seguridad dentro de una automóvil generado en imagen 3D utilizando Unity por la empresa Autoliv.

²¹ <https://docs.unity.com/>

²² <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/index.html>



Figura 39 Bolsas de Seguridad Automotriz de Autoliv [116]

Las siguientes son algunas de las características principales de Unity [117]:

- **Cámaras:** una escena puede tener las cámaras que se deseen y sus vistas se pueden combinar de diferentes maneras.
- **Renderizado:** en Unity el renderizado utiliza sombreadores que contienen cálculos matemáticos y algoritmos que calculan el color del pixel renderizado en función de la configuración del Material y de la entrada de iluminación. Utiliza Materiales que son los que definen cómo se debe renderizar una superficie cuando se incluyen referencias a las texturas que utiliza. El renderizado utiliza las texturas las cuales representan aspectos de la superficie que puede tener un material como lo puede ser su aspereza o reflectividad.
- **Vídeo:** las secuencias de vídeo pueden agregar realismo, integrar contenido disponible en el exterior y ahorrar la complejidad que se pueda tener en la representación de una imagen.
- **Capas:** son utilizadas por las cámaras para renderizar una sola parte de la escena y también por las luces para iluminar también una sola parte de la escena.
- **Colisiones:** la detección de colisiones se puede basar en capas y permite que un objeto colisione con otro objeto que esté configurado en una capa o diferentes capas específicas.
- **Física:** los motores de física proporcionan los componentes para manejar la simulación física que pueden tener los objetos dentro de una escena cuando se ven afectados por colisiones, gravedad y otras fuerzas, los objetos no se moverán por sí mismos.

9.2.5.6 Vuforia Engine

Vuforia Engine es un software muy utilizado para la creación de aplicaciones de realidad aumentada las cuales se pueden implementar para una gran cantidad de dispositivos como tabletas, teléfonos inteligentes, gafas inteligente y auriculares de realidad aumentada. Las aplicaciones que se desarrollan con Vuforia utilizan las pantallas de los dispositivos como un “lente mágico” donde se pueden entrelazar elementos del mundo real con elementos virtuales que pueden ser letras, imágenes, etc. [118] Vuforia ofrece una gama de tipos de objetivos²³ para la realización de aplicaciones como, por ejemplo, objetivos tipo modelo que sirve para reconocer objetos por su forma utilizando modelos 3D digitales. Con el objetivo tipo imagen se crean de manera fácil los objetos de realidad amentada como fotografías, cromos y revistas digitales. Otro ejemplo de objetivo es el tipo objeto los cuales se crean escaneando objetos del mundo real, se puede utilizar para juguetes y productos que requieren de una superficie muy detallada y con formas uniformes. Una de las herramientas que ofrece Vuforia como solución de realidad aumentada es Vuforia Studio, con la cual se crean experiencias en esta tecnología sin tener conocimientos de programación. La Figura 40 representa una imagen en la cual se adjunta contenido digital a una superficie horizontal como suelos y mesas utilizando una de las herramientas de Vuforia.



Figura 40 Contenido digital hecho con Vuforia [118]

²³ <https://www.ptc.com/es/products/vuforia/vuforia-engine/ar-app-development>

Las aplicaciones desarrolladas con Vuforia se componen de los siguientes elementos [119]:

- **Cámara:** capta las imágenes para que sean procesadas por el Tracker.
- **Base de Datos:** se crea una base de datos del dispositivo para almacenar la colección de Targets que deben ser reconocidos por el Tracker.
- **Target:** son utilizados por el Tracker para poder reconocer los objetos del mundo real, estos pueden ser de diferentes tipos como 1) imágenes de fotos, cubiertas de libros, tarjetas, etc. 2) Word Targets los cuales representan palabras compuestas o simples de acuerdo con su modo que puede ser una palabra por caracteres o entera.
- **Tracker:** sistema que analiza la imagen de la cámara y a través de los frames de esta detecta los objetos del mundo real con el objetivo de hallar coincidencias en la base de datos.

Vuforia permite crear una base de datos de realidad aumentada en donde se pueden subir las imágenes y entrenarlas para que sean reconocidas por la cámara como un marcador y le da una calificación de acuerdo con el grado de reconocimiento, esto lo hace con técnicas de machine learning en su propia nube, la base de datos se puede descargar y se puede integrar con Unity.

9.2.5.7 Unreal Engine

Unreal Engine es un motor que originalmente se desarrolló para la creación de juegos 3D creado por la compañía Epic Games, pero fue ganando espacio en otros tipos de aplicaciones como ingeniería, arquitectura, realidad virtual, medicina, desarrollo de aplicaciones, etc., por ejemplo en arquitectura se utiliza para hacer simulaciones y renderizados, en medicina se utiliza para realizar ensayos en operaciones con realidad virtual y en cine es utilizado para realizar efectos especiales y cualquier tipo de animación. Unreal Engine tiene fama de ser el motor más realista de la industria de acuerdo con la experiencia manifestada por diferentes usuarios en comparación con otros motores. El funcionamiento de Unreal Engine²⁴ se basa en código C++ y brinda las herramientas necesarias que sirven para construir simulaciones o juegos, como estudio de sonido, editor de vídeo, renderizado de animaciones, etc. [120]. La Figura 41 muestra la imagen de una escena que se puede ver en la página de inicio de Unreal Engine la cual es una persona que está parada frente a un cañón y salta haciendo un recorrido sobre él (el cañón).

²⁴ <https://www.unrealengine.com/en-US>



Figura 41 Imagen página de inicio de Unreal Engine [121]

Con Unreal Engine se pueden crear juegos interactivos o de realidad virtual, desde videos de 2D y 3D hasta experiencias completamente inmersivas que se pueden desarrollar en plataformas Windows, Android, Linux, macOS, etc., a pesar de ser gratis, su modelo de negocio se basa en recibir una comisión del 5% cuando un juego recibe una ganancia por encima de los U\$3000.

Las características más destacadas de Unreal Engine son las siguientes [122]:

- **Lumen Global, iluminación y reflejos:** es un sistema dinámico para la iluminación y reflejos que pueden darse en una escena y resuelve el tema de la iluminación indirecta difusa, esto es, por ejemplo, cuando una luz rebota en una superficie capta su color y lo refleja en las superficies cercanas que haya en la escena.
- **Texturas:** Unreal Engine cuenta con un sistema de streaming de texturas el cual se encarga de disminuir o aumentar la resolución de un objeto dentro de una escena de acuerdo con la distancia en que se encuentre actualizando la visión del mundo.
- **Materiales:** los materiales definen en Unreal Engine dentro de la escena las propiedades de cada uno de los objetos, es la “pintura” aplicada a un objeto para su apariencia visual. Los materiales se encargan de pasar la información al motor de renderizado de cómo exactamente debe interactuar la superficie con la luz de una escena.

- **Renderización basada en la física:** este tipo de renderización permite que las superficies se aproximen a la forma en que la luz se comporta en el mundo real y no como se piensa intuitivamente que debe ser dando un aspecto más natural.
- **Efectos de posprocesamiento:** estos efectos permiten a los usuarios definir la apariencia general que debe tener una escena utilizando la combinación de propiedades y características que afectan el mapeo de tonos, la iluminación, el color, etc.
- **Sombreado:** el efecto de sombra hace que los objetos de una escena se vean anclados en el mundo, dando al espectador la sensación de profundidad y espacio. El sombreado es compatible con todos los efectos de luces que ofrece Unreal Engine y se determina por la movilidad de la luz.

9.2.5.8 WebXR

WebXR es un estándar que permite hacer accesible la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada a través de un navegador web, el uso de su grupo de estándares admite la representación de escenas 3D en estos tipos de realidades. La API de los dispositivos WebXR ofrece acceso a las capacidades de entrada y salida asociadas con los dispositivos de realidad aumentada y realidad virtual. Con los controladores de entrada la API renderiza la escena 3D en los dispositivos la velocidad de fotogramas adecuada y también gestiona los vectores de movimiento.

La compatibilidad de los dispositivos con WebXR incluyen auriculares totalmente inmersivos que realizan seguimiento de orientación y movimiento, anteojos que pueden superponer gráficos sobre una escena del mundo real y teléfonos móviles que aumentan la realidad capturando el mundo con una cámara para poder aumentar la escena con una computadora. La API WebXR proporciona funciones que permiten manejar bucles para fotogramas, estimación de la luz en una escena 3D, posición, detección de profundidad, etc. Con la API WebXR se pueden visualizar datos en 3D dentro de un dispositivo para realidad virtual en lugar de un modelo 2D tradicional, la API también puede ayudar a renderizar un video XR en reproductor web que sea compatible mostrando en la parte inferior del reproductor un ícono para habilitar la función “Ver en realidad virtual”.

WebXR ofrece las siguientes capacidades [123]:

- Reconoce los dispositivos que son compatibles con realidad virtual y realidad aumentada.

- Las escenas 3D las renderiza en los dispositivos a una adecuada velocidad adecuada de cuadros (por lo general 90 cuadros por segundo para auriculares).
- Refleja la salida en una pantalla 2D, por ejemplo, en monitores.
- Los movimientos de los controles de entrada son representados por vectores creados por WebXR, por ejemplo, la escena se mueve de acuerdo con el movimiento de la cabeza.

Uno de los principales retos que se presentan para que las experiencias en WebXR sean convincentes y funcionen adecuadamente es tener gran capacidad para procesar datos de manera rápida para renderizar escenas, animaciones y mantener una baja latencia. La latencia es el retraso en las comunicaciones entre el movimiento de un usuario y lo que ve en una escena, la latencia tiene que ser lo más baja posible para crear la ilusión realidad, si se presenta un ligero problema de falla, se puede interrumpir la experiencia a causar náuseas en los usuarios [124]. La Figura 42 es un ejemplo del uso de la API WebXR realizado por Mozilla.



Figura 42 Hello WebXR por Mozilla [125]

En el sitio Dinosaurios XR²⁵ se simula un parque de dinosaurios virtual, aquí los dinosaurios se pueden ver con una gran variedad de dispositivos de realidad virtual, auriculares y teléfonos de realidad aumentada o directamente en un navegador.

²⁵ <https://www.xrdinosaurs.com/>

9.3 Tipo de Aplicaciones

Después de analizar las distintas herramientas como los motores para crear aplicaciones de realidad virtual nativas en las que se debe programar o las aplicaciones ligeras genéricas accesibles a los dispositivos de entorno web debe considerarse cuál de las dos opciones es la mejor teniendo en cuenta el propósito para lo cual se utilizará.

Una aplicación nativa es aquella que se desarrolla específicamente en el lenguaje de un sistema operativo, para los dispositivos móviles se tiene por ejemplo los sistemas operativos iOS, Android y Windows [126]. Las aplicaciones nativas el estar construidas para el sistema operativo de los dispositivos son más rápidas, son más fluidas y ofrecen una mejor experiencia al usuario, son completamente compatibles con las características de hardware de los dispositivos y pueden tener acceso total como lo puede ser la cámara, una brújula, sistema de ubicación, etc., se pueden crear aplicaciones con funcionalidades complejas. Una aplicación Web es a la que se puede acceder en un dispositivo a través de un navegador web, son aplicaciones que están habilitadas para Internet y para su acceso no hay necesidad de descargarla e instalarla en los dispositivos [127], estas aplicaciones tienen un acceso limitado a las características que pueda brindar un dispositivo. La Tabla 8 presenta las ventajas y desventajas de una aplicación nativa, mientras que la Tabla 9 presenta las ventajas y desventajas de una aplicación Web [128].

9.3.1 Aplicación nativa:

Ventajas	Desventajas
Más rápidas que las aplicaciones web	Más caras de construir a diferencias de las aplicaciones web
Mayor funcionalidad debido a su acceso a los recursos del dispositivo	La compatibilidad con las diferentes plataformas, para cada una se debe diseñar y construir la aplicación desde cero
Puede trabajar fuera de línea	Su mantenimiento es caro al igual que su actualización
Son más seguras y ofrecen mayor protección	Ponerlo en las tiendas de Google o Apple puede resultar un trabajo difícil para su aprobación.
Son más fáciles de construir debido a la gran cantidad de herramientas que existen para el desarrollador como elementos de interfaz, etc.	Las distintas versiones pueden ocasionar problemas para la comunicación con otros usuarios

Tabla 8 Ventajas y desventajas de aplicaciones Nativas [127]

9.3.2 Aplicación Web:

Ventajas	Desventajas
Funcionan directamente desde el navegador web del dispositivo	No se puede usar sin conexión a Internet
Fácil de mantener debido a que tienen una base de código común independientemente de la plataforma	Son más lentas que las aplicaciones nativas y sus funciones también son menos avanzadas con respecto a las nativas
Se actualiza sola	No son tan seguras ya que no existe un control de calidad estandarizado
Más rápido y fácil de construir que las aplicaciones nativas	No son tan visibles como las aplicaciones nativas
No necesita ponerse en una tienda como la de Google a Apple para poder utilizarla	Menos calidad en la interfaz de usuario

Tabla 9 Ventajas y desventajas de aplicaciones Web [128]

También existen las aplicaciones híbridas, las cuales se instalan como una aplicación nativa pero realmente en su interior es una aplicación web. Estas aplicaciones web incorporan funciones nativas adicionales que pueden ser utilizadas como un puente entre plataformas. Las aplicaciones híbridas constan de un código de fondo que puede estar escrito en CSS, JavaScript o HTML y de una concha nativa la cual es un Shell descargable que carga el código mediante una vista web. En el sitio ClearBridge²⁶ se puede leer más información sobre aplicaciones híbridas.

Teniendo claridad lo que es una aplicación nativa y una aplicación web, hay diferentes razones para tomar una decisión y utilizar una de las dos alternativas para el desarrollo de una aplicación teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada una. Las limitaciones por lo general en todos los casos tienen que ver con tiempo o dinero los cuales se cargaran para un lado o para otro para tomar una decisión sobre la aplicación, además del costo deben considerarse las actualizaciones, experiencia de usuario, mantenimiento, etc., deben analizarse todas estas consideraciones antes de tomar una decisión para el desarrollo de una aplicación.

Una aplicación puede resultar suficientemente costosa por lo que tomar la mejor decisión es cuestión de tiempo para analizar las diferentes posibilidades, es por eso por lo que en este trabajo de grado se presentan distintas herramientas para que puedan ser tenidas en cuenta en el momento de desarrollo de una

²⁶ <https://clearbridgemobile.com/mobile-app-development-native-vs-web-vs-hybrid/>

aplicación, en especial la que se pretende realizar en el proyecto que está participando la Universidad Javeriana Cali con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle de Cauca que es la presentación de un mundo de realidad virtual de manera narrativa para pacientes de esta última institución. Independientemente del enfoque que se adopte, lo más importante para tener en cuenta es el resultado de la experiencia del usuario quien es al final, el beneficiario de la aplicación.

Actualmente en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos identifican la siguiente tecnología para el trabajo con sus pacientes [129]:

- **Tecnologías para discapacidad sensorial:**
 - Escáner lector (OCR)
 - Impresora Braille
 - Lectores de pantalla (HW o SW)
 - Renglón Braille
 - Audiolibro (Formato DAISY)
 - Magnificadores de pantalla
 - Vídeo magnificadores
 - Subtitulado (Closed Caption)
 - Interpretación/Traducción
 - Interfaces por voz o habla
 - Reconocimiento de habla

- **Tecnologías para discapacidad cognitiva:**
 - Teclados adaptados
 - Navegadores adaptados
 - Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC)

- **Tecnologías para discapacidad motora:**
 - Pulsadores
 - Dispositivos de señalamiento alternativos
 - Plantillas
 - Sensores de movimiento
 - Interfaces cerebrales (EEG)

El Instituto para Niños Ciegos y Sordos reconoce que se necesitan de las siguientes técnicas o ayudas tecnológicas para un realizar un mejor proceso de rehabilitación con sus pacientes [130]:

- Computadores con software de lector de pantalla Jaws
- Computadores con Ajustes en pantalla para baja visión
- Dispositivos móviles (Tablet – Celulares) para aprendizaje de lectores de pantalla Voice Over o Talkc Back
- Tapetes adaptados con variedad de botones para aprendizaje de causa efecto
- Impresoras braille
- Línea braille
- Escáner lector
- Máquina termofort
- Teclados para baja visión
- Teclados macrotipo
- Máquinas Perkins
- Bastones
- Punzones y pizarras
- Equipos de grabación como Víctor Reader
- Lupas y magnificadores
- Calculadoras parlantes Software para ciegos como DIO,
- Mekanta, cantaletras, Material de la ONCE, entre otros
- Acceso a internet
- Impresora 3D
- App móviles para ciegos
- Instrumentos de dibujo
- Instrumentos auxiliares de medida y control médico.
- Relojes, despertadores y avisadores de tiempo
- Mapas físicos o políticos en relieve de distintos continentes.
- Juegos de mesa adaptados

Con el presente trabajo de investigación se pretende aportar información que sirva de base para futuros proyectos en la Pontificia Universidad Javeriana Cali donde se planteen temas de desarrollo de interfaces adaptativas y de realidad virtual en especial los que van dirigidos a personas con diversidad sensorial como, por ejemplo, los que se realicen en conjunto con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

Considerando las herramientas de hardware y software presentadas en este capítulo, se puede concluir que cada fabricante o empresa de desarrollo busca mejorar su propio producto dando énfasis en aspectos particulares que se diferencien de los demás, como por ejemplo, las herramientas utilizan cámaras para las vistas dentro de la aplicación, pero cada fabricante las ubica de distintas manera para así mismo tener diferentes perspectivas dentro de un mundo virtual, lo que permite al usuario adaptar la visión a su conveniencia y tener una

experiencia diferente de acuerdo con la ubicación de cámara seleccionada que podría ser desde “arriba” o desde un “costado”.

Combinar estas herramientas puede brindar un mayor alcance para diferentes tipos de usuarios y ofrecerles experiencia más inmersivas, se puede tomar como ejemplo, el manejo de las colisiones de dos o más elementos en un mundo virtual, un caso podría ser para una persona que tenga baja visión a la cual la aplicación le pueda presentar un sonido especial cuando los elementos choquen entre sí, mientras que a una persona con poca capacidad de audición, la aplicación en el mismo caso de choque de los elementos, le muestre un destello de luz que le indique lo que ha sucedido. De acuerdo con estos ejemplos, entre más se permita la combinación de tecnología, serán más las posibilidades de construir interfaces adaptativas que puedan ser manipuladas por diferentes tipos de usuario.

10 UN PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA INTERFAZ ADAPTATIVA PARA SISTEMAS INMERSIVOS DE REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD MIXTA

En este capítulo se realizan recomendaciones y se propone un procedimiento para el diseño de interfaces adaptativas, con el fin de mejorar la usabilidad de aplicaciones de realidad virtual y realidad mixta, teniendo en cuenta las diferentes posibilidades tecnológicas que se han presentado a lo largo de este documento de investigación. También se tienen presente aspectos como el económico, el ambiente y el tipo de usuario. El económico, porque no todas las personas pueden tener acceso a dispositivos de alto costo, por lo que ven reducidas sus posibilidades de adquirir este tipo de tecnologías, sin embargo, esto no debe ser inconveniente para organizaciones que cuenten con presupuesto suficiente, como lo pueden ser las industrias, universidades, centros de investigación, hospitales o clínicas. El aspecto ambiental, porque deben tenerse en cuenta elementos como el ruido, la temperatura, las condiciones de luz, el espacio que se requiera para la movilidad del usuario y las distracciones que puedan interferir de manera negativa en el uso de sistemas inmersivos de realidad virtual o aumentada para cumplir con un propósito u objetivo puntual. El tipo de usuario, porque es quien finalmente utilizará la aplicación y la funcionalidad debe estar centrada en él, tener en cuenta las restricciones cognitivas, psicológicas, la capacidad de atención y concentración para realizar tareas, la necesidad o no de manipular objetos, el grupo etario al que pertenece, si se trata de una persona con alguna condición especial, o si el usuario presenta algún tipo de diversidad sensorial como discapacidad auditiva o discapacidad visual entre otras.

Lo importante en todo caso es que, durante la experiencia inmersiva en el mundo virtual, la calidad de las formas sensitivas capte la atención del usuario cumpliendo con los criterios de aprendizaje, entendimiento, atracción, operabilidad y conformidad de uso [131]. A continuación, se presentan entonces algunas recomendaciones a tener en cuenta para el desarrollo de interfaces adaptativas y un procedimiento de adaptación de las heurísticas de usabilidad de Jakob Nielsen para sistemas de realidad virtual y realidad mixta.

10.1 Recomendaciones para el desarrollo de Interfaces Adaptativas para personas con diversidad sensorial

Como se ha venido mencionando en este documento, lo importante de las interfaces adaptativas es la personalización que se puede realizar de los ambientes de acuerdo con las necesidades y preferencias de los usuarios. Estas interfaces han permitido solucionar el problema de diseño, pero resultaría una tarea casi imposible personalizar al 100% las necesidades de cada usuario específico, o aún para un cierto número finito de usuarios como los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Teniendo presente la importancia del diseño de las interfaces adaptativas y el desarrollo de aplicaciones con base en las recomendaciones de las heurísticas de Jakob Nielsen, en este apartado se mencionan otras consideraciones que se deben tener en cuenta en el momento en el que se estén tomando los requerimientos para el desarrollo de interfaces y aplicaciones para personas con diversidad sensorial. Por tanto, debe considerarse entonces:

- Si el costo de desarrollo de la aplicación de realidad virtual es o no un limitante.
- Si el costo de los dispositivos para realidad virtual es o no un limitante.
- Si las características mínimas necesarias para un buen funcionamiento son costosas o no, y si son o no, un limitante, cuando se requiere conectar un dispositivo de realidad virtual a un computador.
- Si es adecuado tener las manos ocupadas con dispositivos táctiles o mantener las manos libres y utilizar sensores para detectar el movimiento de estas durante la experiencia virtual dependiendo del objetivo.
- Si es necesario que la aplicación incluya reconocimiento de la voz para realizar tareas específicas.
- Si la aplicación debe funcionar en cualquier tipo de dispositivo como móviles de gama media alta o se debe limitar a dispositivos especiales como los cascos de realidad virtual para emular los entornos.
- Si importa el campo de vista, debe definirse si es importante tener un campo de vista amplio o no.
- Si la aplicación se debe desarrollar con el objetivo de poder ser utilizada en una caverna para realidad virtual o en cascos o gafas tridimensionales para simular un entorno en tamaño natural o no.
- Si para poder lograr una inmersión total se requiere de un espacio amplio o no para realizar movimientos con el cuerpo.

- Si la aplicación requiere de sensores de movimiento.
- Si se requiere detectar los gestos de los usuarios.
- Si es importante el sonido.
- Si se requiere sensación táctil.
- Si es necesario desarrollar la aplicación con el objetivo de poder utilizar los sentidos del tacto, gusto y olfato además de los de la visión y audición.
- Si para poder tener una experiencia inmersiva total se requiere poner algún artefacto en el cuerpo como un guante o chaleco inteligente y si esto se puede considerar invasivo y negativo para el usuario de acuerdo con su condición.
- Si es importante hacer seguimiento de las reacciones del usuario en términos de Neurociencias, de acuerdo con las emociones causadas por las simulaciones en la realidad virtual, cuando se utilizan dispositivos BCI.
- Si importa precisar la distancia a la que se encuentra un objeto.
- Si existen parámetros específicos para escoger el hardware en el desarrollo del proyecto de realidad virtual.
- Si es necesario generar por completo un mundo con componentes virtuales o se puede aprovechar material capturado de la vida real como imágenes y vídeos en 360°.
- Si existen requerimientos específicos para el motor de vídeo juegos, como que sea gratuito, para una plataforma predeterminada o, multiplataforma, entre otros
- Si se quiere hacer una aplicación nativa o una aplicación genérica flexible, teniendo en cuenta que en la primera se tiene que programar y para esto se tiene que usar un motor de vídeo juegos, y que para el desarrollo de una aplicación genérica flexible al dispositivo, pueden usarse algunas de las herramientas web existentes.
- Si se puede adaptar una interfaz existente para optimizar el tiempo y los costos asociados al desarrollo.

Las configuraciones de realidad virtual pueden ser infinitas, esto depende de lo que se necesite, es por eso por lo que aquí se han mencionado consideraciones para tener en cuenta de acuerdo con el nivel de realismo que se requiere alcanzar en una experiencia de inmersión total, como qué dispositivos utilizar,

tipo de aplicación a desarrollar, nativa o web y cuál es la capacidad financiera con la que se cuenta para poder desarrollar un software que cumpla con los objetivos requeridos.

Es importante también tener en cuenta que la integración de herramientas creativas para aplicaciones de realidad virtual cada vez puede ser más difícil debido al cambio permanente que se presenta en el desarrollo de los componentes tecnológicos.

10.2 Procedimiento para asociar las heurísticas de usabilidad para el diseño de aplicaciones inmersivas

Hoy en día el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual inmersiva se ha extendido a muchas áreas del conocimiento, esto debido a que la realidad virtual es una tecnología que permite a los usuarios tener interactividad en tiempo real para poder realizar experimentos en un entorno 3D, lo que hace que el usuario sienta que se encuentra inmerso en una realidad paralela.

De acuerdo con los hallazgos de la presente investigación, y una vez que se han revisado las consideraciones descritas en la sección 10.1 y teniendo en cuenta las Heurísticas de Nielsen presentadas en la sección 6.1, se propone seguir el siguiente procedimiento para asociar las heurísticas de usabilidad para el diseño de aplicaciones inmersivas, especialmente, para el caso de la narrativa que se está desarrollando para el Instituto de Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

10.2.1 Visibilidad del estado del sistema

Para los usuarios es importante conocer el estado general de los dispositivos con los que debe interactuar, por lo tanto, se recomienda que la aplicación cuente con un menú de navegación principal, o menú universal. El menú debe presentar el estado actual del hardware en caso de que se esté utilizando un dispositivo como un teléfono móvil o un casco de realidad virtual e informar el tiempo de duración de la batería o la calidad de la conexión Wifi, por ejemplo. Esta información permite que el usuario tome la decisión de pausar el uso de la aplicación si la batería se está agotando y ponerla a cargar nuevamente para luego continuar con lo que esté haciendo, así podrá evitar perder la concentración de conseguir el objetivo final durante el uso de la aplicación.

Otro ejemplo puede ser que durante el uso de la aplicación se emita un sonido permanente que indique que el sistema está activo, sin que llegue a ser molesto, de tal forma que, si se deja de escuchar, quiere decir que se presenta un problema de funcionamiento de la aplicación. Si la narrativa consiste en realizar un recorrido por un bosque, se podría utilizar el canto de un pájaro, por ejemplo,

y se le podría indicar al usuario qué tanto le falta para terminar el recorrido para que él tome la decisión de continuar hasta finalizar o suspender el recorrido y cambiar a una siguiente fase.

10.2.2 Coincidencia entre el sistema y el mundo real

El pensamiento de los usuarios está estrechamente relacionado con la realidad, esto se debe a los modelos mentales. Los modelos mentales se refieren a los modelos conceptuales sobre cómo se comportan las personas, cómo tienen lugar los hechos o cómo funcionan los objetos, con los modelos mentales se tiende a predecir el resultado de las acciones [132]. En la narrativa del Instituto se puede considerar el cambio de temperatura del medio ambiente durante el uso de la aplicación. Por ejemplo, si se está subiendo una montaña puede mostrarse uno de los animales temblando por el frío mientras se va acercando a la cima. Además, se podría presentar también una pantalla “nublada”, y si se pudiera ir más allá, utilizar un “textil inteligente” para que el usuario sienta el cambio de temperatura a medida que sube o baja de la montaña.

10.2.3 Control y libertad del usuario

La aplicación debe estar diseñada de tal manera que permita al usuario tener el control del mundo virtual en el que se encuentra inmerso para que no haya problemas con la seguridad o con la salud. Debe tener una manera de “salida de emergencia” para que el usuario pueda salir del entorno en el que se encuentra atrapado y tenga la sensación de libertad y control de la aplicación. El diseño de la aplicación debe considerar el tiempo en el que el usuario estará en ella, si necesita estar sentado o de pie y en un espacio amplio donde pueda interactuar con seguridad en caso de que se requiera movimiento durante la experiencia virtual, la aplicación debe garantizar la seguridad física.

Las aplicaciones de realidad virtual pueden causar náuseas y vómitos debido al movimiento que se tiene durante la inmersión en la aplicación y el cuerpo estacionario del usuario y también por los cambios repentinos en el brillo y aceleraciones dentro del entorno. Para la aplicación del Instituto, durante el recorrido con uno de los animales, se recomienda que el desplazamiento sea moderadamente rápido y si hay algún cambio de dirección que este sea acorde a la velocidad a la que se muestra en la aplicación y no se presenten cambios repentinos. Igualmente es importante el control del brillo, de tal forma que, si un animal está recorriendo el bosque al aire libre en un día soleado, se debe controlar suavemente el sombreado cuando entre a una zona llena de árboles. Este cambio controlado no afectará la visión del niño y tampoco causará náuseas y vomito. Al ser una aplicación especialmente para niños, se deben evitar situaciones que puedan causar dolor físico mientras este se encuentre dentro de la aplicación virtual. Si está haciendo un recorrido con un mono (mico) sobre los árboles, por citar un ejemplo, se debe garantizar que, en el salto de una rama a

otra, el mono alcance su objetivo y no se caiga, puesto que, si esto llegara a pasar, la caída podría impresionar al niño y causar sensación de dolor en su cuerpo. En todo caso, lo recomendable es que la aplicación tenga siempre a la mano el modo de salir de una situación no deseada sin que sea un proceso prolongado, puede ser usando un botón de “Atrás” para regresar a un estado anterior y un botón “Salir” para abandonar el estado en el que se encuentre.

10.2.4 Consistencia y Estándares

La aplicación para el Instituto debe crearse con los estándares de diseño existentes puesto que los usuarios ya se encuentran familiarizados con estos. El no utilizar los estándares puede afectar la facilidad con la que los usuarios encuentran contenido dentro de la aplicación y completan tareas. Los niños no deben enfrentarse a diferentes situaciones, palabras o acciones que signifiquen lo mismo para no causarles confusión. A medida que el niño se vaya sumergiendo en el entorno virtual, este debe ser consistente con las experiencias físicas. Las señales visuales, de audio y el manejo del espacio deben ser consistentes y predecibles. Por ejemplo, durante la inmersión de la narrativa, existe la posibilidad de que uno de los animales trepe a un árbol para coger y comer un fruto. A medida que el animal vaya subiendo y acercándose al fruto, este debe ir aumentando su tamaño y no permanecer igual en cada instante. En este mismo ejemplo, si el animal tuviera la oportunidad de mirar hacia el piso mientras está trepando o bajando, debería ver que se aleja o se acerca al piso respectivamente. Durante estos movimientos, las líneas de horizonte y la perspectiva de distancia deben ser consistentes con la realidad.

10.2.5 Prevención de errores

Esta heurística tiene estrecha relación con la heurística número tres (3) que se refiere al control y libertad del usuario, pues hace referencia al manejo de los posibles errores que se puedan presentar dentro de la experiencia de realidad virtual o los riesgos que podrían presentarse durante su uso, aunque lo ideal, es que durante el diseño de la aplicación se evite que ocurran los problemas. La aplicación del Instituto debería evitarle a los niños frustraciones que hagan que se decepcionen del producto y que no quieran volverlo a utilizar. Por ejemplo, si durante la narrativa el niño está ejecutando una acción y por error cierra la aplicación o se llega a quedar sin batería, debe conservarse el estado de la acción para que, una vez restablecida la aplicación, no deba iniciar desde el principio cuando vuelva a ingresar al recorrido dentro de la narrativa. Al ser un sistema de enseñanza, se pueden utilizar pequeños cuadros de diálogo para preguntarles si están seguros de lo que quieren hacer, pero estos cuadros también deben ser controlados para no causar irritación en los niños haciéndoles creer que no se tiene la plena confianza para que puedan cumplir una tarea en su experiencia de realidad virtual.

Para hacer más atractiva la aplicación se podrían utilizar botones que cambien de color y que cada color tenga un significado para que entienda que va por buen camino, que se recomienda que cambie de acción, pero puede seguir en la misma o que definitivamente es mejor salir del estado en el que se encuentra porque no va a encontrar nada hacia donde se está dirigiendo. Esto puede resultarle más fácil de entender que usar combinaciones de palabras para dar una simple instrucción.

10.2.6 Reconocimiento en lugar de recuerdo

Con esta heurística se busca que los niños no trabajen más de lo necesario para realizar una tarea. En lugar de que les toque recordar donde terminó una tarea para volver a iniciar, es mejor darles pistas que puedan reconocer para que puedan avanzar de manera adecuada. Por ejemplo, cuando un niño vuelva a ingresar a la aplicación virtual del Instituto, se le podrían presentar imágenes que le permitan recapitular lo que ya ha hecho y el avance que ha tenido, esto permitiría al niño recordarle su ubicación actual y reforzarle el aprendizaje previo. El guardar esta información de los pasos realizados por un niño para completar una tarea, podría ser de utilidad al Instituto para utilizarlos con otros niños que presenten dificultades en cumplir con los objetivos debido a la manera particular de aprender que tienen todas las personas. Por ejemplo, se le pueden mostrar los pasos seguidos por dos niños que sí la hayan terminado y que el niño que tuvo problemas después de usar las dos opciones escoja una de esas dos para repetir la experiencia y explique los motivos del por qué la escogió, esto servirá para que el Instituto evalúe la satisfacción que tienen los usuarios con la aplicación y mejorarla en caso de ser necesario. Otra manera “sencilla” de orientar a los niños puede ser con pequeños mensajes de texto durante el recorrido, por ejemplo, al pasar el mouse sobre una flor le podría salir un mensaje que le diga “Sigue que vas por buen camino” o “Es mejor que escojas otro camino” así el niño se familiarizará con los elementos que le pueden brindar pistas, como en este caso la flor.

10.2.7 Flexibilidad y eficiencia de uso

Las aplicaciones son usadas por usuarios novatos y usuarios expertos por lo que debe estar diseñada para atenderlos a todos. Esta heurística es importante para aplicaciones de realidad virtual puesto que sus herramientas de interactividad como el habla, mirada, movimiento físico permiten que la experiencia sea completamente inmersiva. La aplicación debe contener valores predeterminados para todos los usuarios, pero debe ofrecer la opción de personalización para mantener a los usuarios experimentados interesados. En el caso de los niños del Instituto, se les podría permitir personalizar sus personajes, por ejemplo, si el niño tiene discapacidad auditiva, se le debe permitir configurar los sonidos de los animales y del ambiente de acuerdo con sus necesidades, poner sonidos graves o agudos que pueda distinguir durante su camino por la narrativa. Otro ejemplo

puede ser para los niños con discapacidad visual, que puedan configurar el brillo de la pantalla y los colores de una manera que sea fácil para ellos distinguir entre el ambiente y los distintos personajes. Estas personalizaciones deben guardarse para que cada que el niño ingrese no tenga necesidad de volverlas a definir.

A los usuarios avanzados se les puede entregar un menú que permita atajos una vez que esté seguro de que ya domina un tipo de interacción y así pasar a un siguiente nivel.

10.2.8 Diseño estético y minimalista

Una experiencia virtual se torna interesante cuando los usuarios se deleitan inmersos en un mundo que les ofrece habilidades físicas que no se encuentran presentes en la realidad. De acuerdo con la aplicación del Instituto la cual se basa en una narrativa de animales colombianos en peligro de extinción, un niño puede motivarse a querer ser veterinario. La realidad virtual le puede ayudar a simular una operación de un animal con total precisión e ir generándole amor por el cuidado y preservación de los animales. En cuanto a la presente heurística, el diseño de la aplicación del Instituto debe permitir ocultar información que sea innecesaria y garantizar que ofrezca opciones de activar y desactivar elementos que se ven en la interfaz de usuario. En la narrativa deben presentarse ayudas que guíen al niño sobre una ruta prevista a través de pequeños sistemas informativos solamente cuando se encuentran en el campo de visión directo de él. Se pueden mostrar, por ejemplo, menús desplegables con funciones que permitan realizar una tarea precisa como saltar un hueco o un salto para sumergirse en un río. Un diseño minimalista permite que los usuarios utilicen o no las funciones sin necesidad que estas lo distraigan durante el desarrollo de una tarea.

Para que la interfaz de usuario no se vea llena de elementos tal vez innecesarios, se recomienda realizar énfasis visual entre una y tres cosas que sean importantes para el uso de la aplicación. La ubicación de los elementos puede ser en la parte superior de la pantalla o al lado izquierdo de tal forma que el niño no tenga que desplazarse de una pantalla a otra para verlos. Obviamente el tamaño y color de los elementos también es relevante para que se tengan presentes dentro del diseño de la aplicación de realidad virtual.

10.2.9 Ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores

Aunque en una de las heurísticas anteriores se enfatiza que los mensajes de error deben ser claros, aquí se recomienda que se ofrezca un tipo de solución para el mensaje de error que esté presentando el sistema. Es normal que durante el uso de cualquier tipo de aplicación se presenten inconvenientes. Estos inconvenientes pueden ser causados por el sistema o por el mismo usuario. En

caso de que sea un error causado por el sistema el mensaje de error debe ser descriptivo para cualquier usuario y no solo que sea unas líneas de código que solo son entendibles por personal técnico. Por ejemplo, si la batería se está agotando y la aplicación tiene un límite mínimo de carga para su uso y se llega a bloquear, debe presentar un mensaje como “Para continuar con la actividad, recargue nuevamente la batería” y no simplemente un mensaje que diga “Se quedó sin batería”, aunque este caso puede considerarse obvio, se está presentando una alternativa de solución al error que está presentando la aplicación.

Si el error es causado por el usuario durante el uso de la experiencia de realidad virtual, la aplicación debe informarle qué error está cometiendo y cómo puede solucionarlo. El objetivo también es educar al usuario durante el camino para que no vuelva a cometer los mismos errores.

Si un niño se encuentra utilizando la aplicación del Instituto y este está cerca de cometer un error, se le puede ayudar a evitarlo presentándole ya sea mensajes de advertencias, ofreciéndole pasos adicionales o comentarios. Por ejemplo, si el niño está realizando un vuelo virtual con un pájaro durante la narrativa y el pájaro “se cansa” este dejaría de volar y ya no se podría avanzar. Un mensaje puede ser “Me encuentro agotado y necesito tomar agua para poder continuar”, en este caso, el niño debe darle agua al pájaro para que recargue energía y vuelva a tomar vuelo. Aquí no es error de aplicación, pero se puede considerar error del niño al querer realizar un recorrido con un pájaro sin suficiente energía. Esto se podría evitar con un indicador en la pantalla que le muestre al niño cuánta energía tiene en el momento el pájaro y cuánta energía se necesita para realizar el recorrido escogido. Un mensaje que se puede presentar en este caso puede ser “No tengo la suficiente energía para realizar este recorrido” por lo que el niño tendrá la posibilidad de darle de beber agua al pájaro para poder recargarlo de energía y realizar el recorrido. Otro enfoque que se le puede dar a este tipo de errores y evitar la frustración de los usuarios, es ofrecerle una alternativa de deshabilitar la opción de “tener energía” para realizar recorridos sin dejar de promover la recarga de energía con el fin de no perder el objetivo que se busca con la narrativa del Instituto.

10.2.10 Ayuda y documentación

Debido al gran volumen de interacciones que puede contener una experiencia de realidad virtual, muchas pueden ser complicadas o desconocidas para los usuarios finales. Este tipo de aplicaciones debe presentar una documentación muy cuidadosa de modo que los usuarios resuelvan sus problemas y retomen el rumbo de la tarea que están desarrollando. La información debe ser concisa, relevante y su acceso debe ser fácil, debe estar centrada en la tarea de los usuarios, enumerar los pasos necesarios que se requieran para alcanzar un objetivo y no ser demasiado extensa.

La aplicación del Instituto puede ofrecer un Icono de “Ayuda” en la esquina superior derecha para que los niños accedan a la información de manera fácil cuando lo necesiten. Para facilitarles la tarea de búsqueda, el contenido se podría agrupar por frecuencia de uso, también por un top de contenido más accedido; el contenido debe estar organizado con pasos numerados en orden jerárquico y permitir la búsqueda con frases orientadas a la acción. Una buena manera de ofrecer ayuda en la documentación puede ser la búsqueda mediante la descripción del problema, por ejemplo, en el caso del pájaro que necesita tomar agua para recargar energía y poder continuar con el recorrido, el niño podría ir al icono de ayuda y en el campo de búsqueda escribir “¿cómo recargar energía?”, el resultado puede traerle diferentes opciones para que él explore y aplique la indicada para su caso.

10.3 Principios Heurísticos aplicados a la Realidad Virtual y Mixta

De acuerdo con el procedimiento sugerido en la sección anterior (10.2), en este apartado se presenta un ejemplo ilustrativo del paso a paso de este procedimiento, cada imagen es acompañada por un texto de ejemplo el cual no implica que sea una condición obligatoria a verificar, así mismo, cada imagen es solo un ejemplo con el que se pretende enfatizar en cada uno de los pasos, por ejemplo, en el paso Coincidencia entre el Sistema y el Mundo Real la imagen presenta dos figuras de “personas” en un día soleado, por lo que la imagen de la “persona” que está “sudando” del calor coincide con el ambiente del día mientras que la otra imagen no, ya que representa una “persona” con frío. Para este caso, el texto que debe acompañar la figura es de “Calor” y “Claro” de acuerdo con la imagen. Las Figuras 43, 44, 45 y 46 presentan un ejemplo del procedimiento.



Figura 43 Procedimiento Heurísticas de Usabilidad (Elaboración propia)



Figura 44 Continuación Procedimiento Heurísticas de Usabilidad (Elaboración propia)



Figura 45 Continuación Procedimiento Heurísticas de Usabilidad (Elaboración propia)

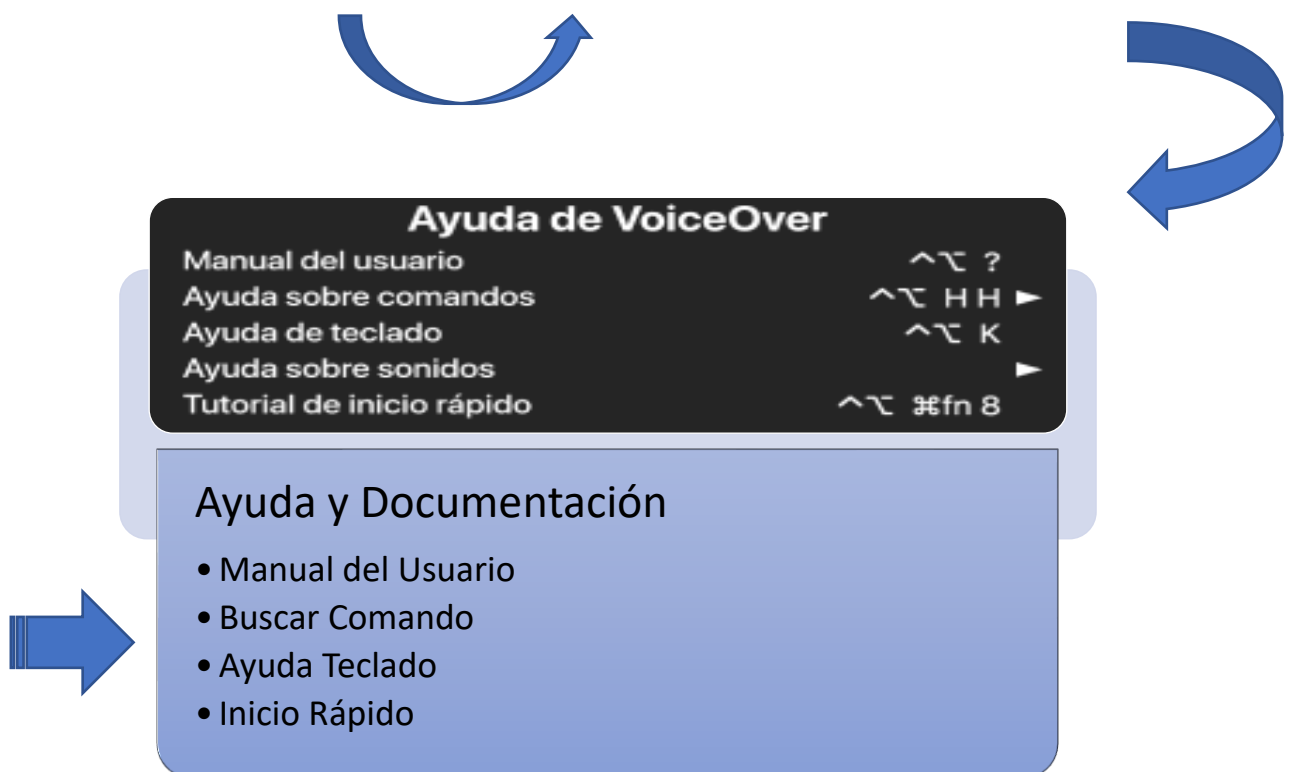


Figura 46 Continuación Procedimiento Heurísticas de Usabilidad (Elaboración propia)

11 PRESENTACIÓN DEL INSTITUTO PARA NIÑOS CIEGOS Y SORDOS DEL VALLE DEL CAUCA

En el presente capítulo se muestran tres ejemplos de sistemas interactivos que se están construyendo en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, a manera de prototipos funcionales. Con estos sistemas en los que se utiliza la realidad virtual y aumentada, se busca expandir las narrativas que han sido desarrolladas por terapeutas del lenguaje. El objetivo principal que tiene el instituto con el uso de estos sistemas es estudiar los efectos en el desarrollo del lenguaje para niños visualmente diversos mientras estimula múltiples sentidos. Cabe anotar que se decidió incorporar estos prototipos para realizar una mejor integración al proyecto general que se viene trabajando en el instituto, además, durante la realización de este trabajo de investigación, se encontraban en desarrollo varios proyectos relacionados y resultaba más adecuado utilizar los prototipos existentes que hacer un prototipo no funcional. La integración de estos prototipos se realiza por sugerencia del director, el doctor Andrés Adolfo Navarro Newball.

En el ejemplo de la sección 11.1, se discutió con el director de trabajo de grado y el personal del instituto la manera de cómo hacer adaptativa la interfaz. Los ejemplos de las secciones 11.2 y 11.3, se observaron en una reunión con las personas del instituto y se tomó nota de las características potencialmente adaptativas. Es importante resaltar que las imágenes artísticas de los animales fueron brindadas por la artista Laura Serrano de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. A continuación, se describen los ejemplos del instituto [133].

11.1 Simulación de vuelo del cóndor en realidad virtual

En este sistema se utilizaron sensores de movimiento, con motivo de mejorar el conocimiento sobre el cóndor y también desarrollar la motricidad. Inicialmente se muestran cuatro animales sobre un fondo, la misión de los niños consiste en capturar uno de esos animales, y cada que lo capturan pueden escuchar el sonido del animal. Si el animal atrapado es un cóndor, el juego cambia a un nivel donde el niño tiene que volar como un cóndor alrededor de su hábitat. En este nivel los niños deben de extender sus brazos y simular el movimiento de las alas. La dirección del vuelo se identifica mediante cálculos geométricos. El movimiento se puede realizar con las flechas del teclado de acuerdo con la dirección que se quiera seguir.

Debido a las diferentes condiciones visuales que tienen los niños, el sistema permite personalizar el reconocimiento de los animales mediante texto o sonido durante la caminata por el mundo virtual. Se puede configurar el texto con el nombre de la especie que aparezca en pantalla, por ejemplo, “cóndor”, “oso”,

“mono”, y a medida que se vayan involucrando más especies serán identificadas de esta manera, este modo se habilita para los niños mayores de 4 años. En cuanto al sonido, este se puede configurar para cada una de las especies y se habilita a medida que van apareciendo en escena, idealmente se pone en funcionamiento para niños menores de 5 años. Se destaca que durante el recorrido virtual siempre hay un sonido ambiente. Otra característica que permite personalizar el sistema es la velocidad de caída de los animales que se encuentran en vuelo tiene tres configuraciones de velocidad: lenta, intermedia y rápida. Cada configuración de velocidad también se habilita de acuerdo con la condición visual que tengan los niños, esto se hace con el objetivo de facilitarle a ellos (los niños) capturar alguno de los animales que se encuentran en caída durante la experiencia inmersiva. La personalización del texto, sonido y velocidad se realiza mediante botones que aparecen en la interfaz. Para este juego se está utilizando un sensor Kinect V2 y Unity 3D. La Figura 47 presenta el vuelo del cóndor y el hábitat en el que se encuentra cuando es atrapado.



Figura 47 Vuelo del Cóndor [133]

En análisis junto al personal del instituto, para este ejemplo se estudia la manera de volver adaptativa la interfaz para los casos mencionados de texto, sonido y velocidad, esto se desarrollaría con el fin de que los niños no tengan que preocuparse por la configuración del sistema y puedan usarlo libremente sin importar su condición sensorial y la edad que tenga. Otra ventaja que daría la adaptabilidad de este sistema es la confianza de independencia que generaría en los niños durante el recorrido virtual puesto que no van a requerir ayuda de otras personas para poder cumplir con objetivos deseados, recibir ayuda permanente puede generar frustración en los niños y motivarlos a no usar el sistema.

Con relación al procedimiento que se presenta en la sesión 10.2 se encuentra que el sistema de simulación del vuelo del cóndor cumple con ciertas heurísticas de usabilidad que ahí se proponen, como, por ejemplo, **Visibilidad del Estado del Sistema** debido al sonido ambiente permanente mientras se realiza el

recorrido. **Coincidencia entre el Sistema y el Mundo Real** por los nombres de las especies de los animales y los sonidos que cada uno de ellos emite cuando es atrapado. **Consistencia y Estándares** por los movimientos de cambio de dirección que se pueden realizar con las flechas del teclado. **Reconocimiento en Lugar de Recuerdo** porque el niño puede identificar fácilmente cualquier animal reconociendo el sonido de cada uno de ellos. **Flexibilidad y Eficiencia de Uso**, permite personalizar el texto y sonido para identificar los animales y también personalizar la velocidad de caída de cada uno de ellos de acuerdo con la condición sensorial que tenga el niño. **Diseño Estético y Minimalista**, el entorno no está cargado de figuras que no tienen que ver con el recorrido y el contraste de los colores permite distinguir cada uno de los elementos del hábitat.

11.2 Rompecabezas y máscaras para el tití cabeciblanco y el oso de anteojos en realidad aumentada

Para el mono titi cabeciblanco, el Instituto se encuentra desarrollando dos sistemas de realidad aumentada. Uno de los sistemas permite la superposición de máscaras de mono titi y se puede ajustar para dos tipos de condiciones de baja capacidad visual, para mostrar los elementos interactivos al niño. La Figura 48 muestra los cinco posibles lugares donde se pueden colocar las máscaras, en este ejemplo, de acuerdo con la diversidad de campo visual que tengan los niños, ellos pueden ver las máscaras en su región visible, mientras que la aplicación se encarga de detectar la cara de los niños.

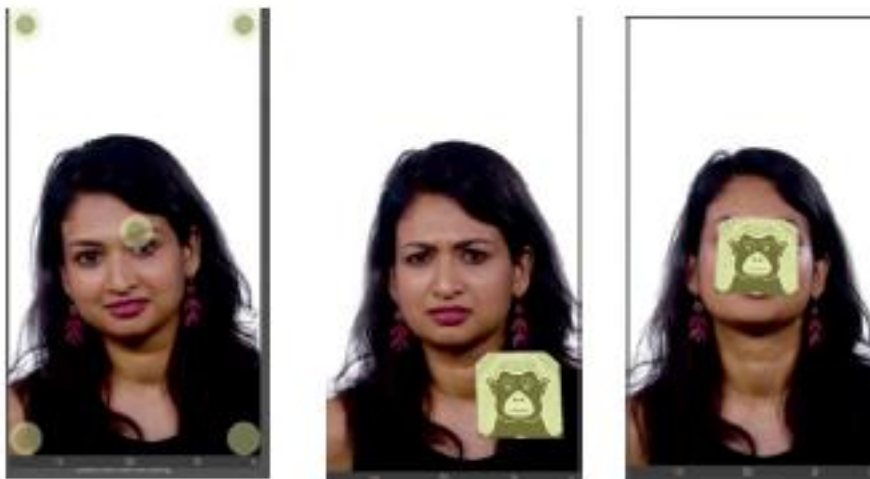


Figura 48 Filtros faciales que se pueden mostrar en diferentes lugares [133]

Durante el proceso de investigación del presenta trabajo de grado, se tuvo la oportunidad de observar el desarrollo de los sistemas del Cóndor y del Mono Tití. Para las máscaras del mono titi, se utilizaron figuras como marcadores para

realidad aumentada y se analizó que el desarrollo se estaba realizando de modo inclusivo para los niños del Instituto para Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, por ejemplo, se puede controlar la aparición de una máscara adaptando la interface de acuerdo con el campo de visión del niño, la máscara puede aparecer en cinco (5) puntos diferentes de la pantalla para que el niño la pueda ver, esto se muestra en la Figura 48. Las pruebas se realizan junto con el Instituto para determinar cuál es la mejor posición y así mismo implementarla. También se evalúan diferentes imágenes con el fin de determinar cuál es mejor en términos de contraste y en qué posición y distancia es mejor ubicar la máscara, la Figura 49 muestra las diferentes imágenes con las que se realizaron las pruebas.



Figura 49 Contraste Máscaras Mono Titi [130]

El otro sistema en realidad aumentada que se está desarrollando, superpone información aumentada sobre el mono titi mientras los niños van resolviendo un rompecabezas el cual se muestra en la Figura 50.



Figura 50 Rompecabezas mono Titi y su pieza aumentada [133]

Para el desarrollo de los sistemas del mono titi, se utilizó la herramienta SparkAR para la creación de un filtro de realidad aumentada, el motor de juegos es Unity, un algoritmo de búsqueda de árbol de juegos para el rompecabezas y Vuforia para el entrenamiento de marcadores.

Los sistemas del mono titi también se encuentra que cumple con algunas heurísticas de usabilidad que se proponen en el procedimiento de la sesión 10.2, por ejemplo, **Coincidencia entre el Sistema y el Mundo Real**, se nota fácilmente que es una máscara de mono titi que se quiere poner encima de la imagen de la cara de una persona. **Control y Libertad del Usuario**, el rompecabezas es armado por el niño y él puede seleccionar cualquiera de las piezas para ir completándolo. **Consistencia y Estándares**, el rompecabezas está hecho con piezas que encajan adecuadamente para ir armando la figura, también se puede poner una pieza que encaje con otra, pero no necesariamente va formando la imagen del titi como debe ser, tal cual como pasa en los rompecabezas físicos. **Reconocimiento en Lugar de Recuerdo**, cada pieza del rompecabezas tiene un tono que hace que el niño reconozca fácilmente dónde debe ir ubicada, por ejemplo, si en la cara, en el cuerpo o alrededor del titi. **Flexibilidad y Eficiencia de Uso**, la máscara puede ponerse sobre uno de 5 lugares que ofrece el sistema para permitir la visibilidad del niño de acuerdo con su condición sensorial. **Diseño Estético y Minimalista**, la máscara no es más grande que la imagen de la persona a la cual se le pone y por los distintos colores de contraste se nota que la escena está compuesta por dos objetos (imagen y máscara). **Reconocer, Diagnosticar, Recuperar Errores**, si la máscara aparece en un punto en el que el niño no la pueda ver, esta puede cambiarse a uno de los otros cuatro puntos disponibles que corresponda al campo visual del niño, también si una pieza del rompecabezas no encaja con otra, el niño puede cambiarla por otra que sí encaje.

11.3 Caminatas en Realidad Virtual

También se tuvo la oportunidad de acompañar el desarrollo de una caminata en Hubs de Mozilla. Las cabezas, las figuras 2D, 3D y los sonidos fueron puestos en una de las muchas plantillas que ofrece Hubs. El mundo se puede ver en un computador o utilizando dispositivos como el HoloLens o el Oculus sin necesidad de programación. Se puede ingresar a este mundo inmersivo a través de un navegador, el desplazamiento se puede realizar con las teclas “Q y E” y las flechas. El enlace²⁷ conduce al mundo virtual que se creó en Hubs denominado Aventura Digna y Satisfecha, se destaca el sonido ambiente y el del Jaguar que se encuentra en el río, también los objetos en 2D y en 3D presentados en distintos contrastes y la posibilidad de vista a diferentes usuarios y colores fuertes. Las Figura 51 y 52 presentan imágenes del mundo desde diferentes perspectivas.

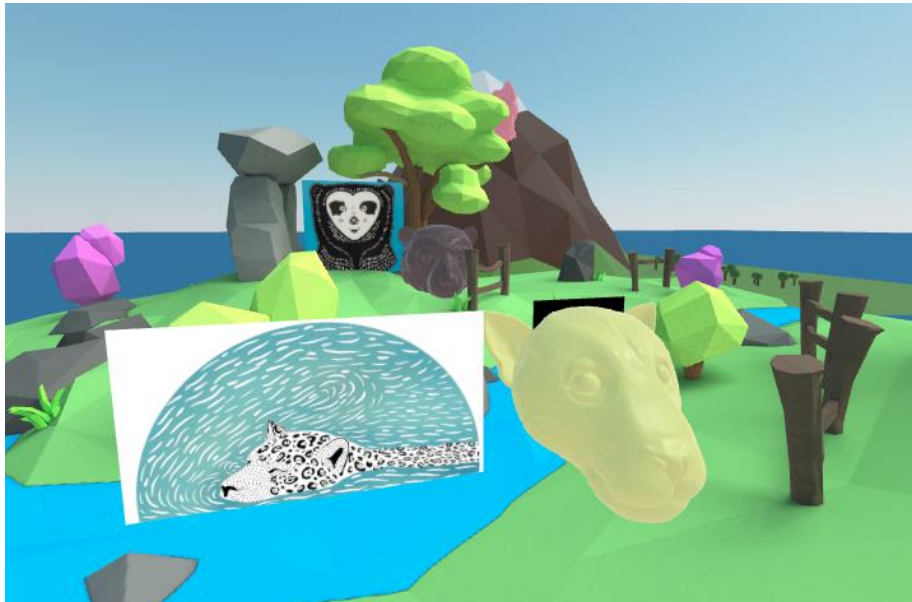


Figura 51 Perspectiva 1 Mundo Virtual

²⁷ <https://hubs.mozilla.com/dAVSj7N/satisfied-worthy-adventure>



Figura 52 Perspectiva 2 Mundo Virtual

A continuación, se presentan las heurísticas de usabilidad que se proponen en el procedimiento de la sesión 10.2 para esta caminata. **Visibilidad Estado del Sistema**, el sonido ambiente permanente de la caminata indica al usuario que el sistema está activo y disponible para hacer un recorrido en el área por donde se quiera mover, si desaparece ese sonido, significa que hay un problema posiblemente de bloqueo y no se puede continuar con la caminata. **Coincidencia entre el Sistema y el Mundo Real**, durante el recorrido se puede observar que hay un Leopardo sumergido en el río, pero solamente la mitad de su cuerpo, esto coincide con el mundo real ya que estos animales al nadar sobre un río o un lago, no lo hacen sumergiéndose por completo sino como se puede ver en este mundo virtual, solo una parte se encuentra sumergida y su cabeza por fuera del agua. **Control y Libertad del Usuario**, el usuario tiene la opción de involucrarse en el mundo como un participante más o ser un espectador solitario que puede recorrer el mundo virtual. **Consistencia y Estándares**, el usuario a medida que se acerca o aleja de una figura puede ver cómo esta aumenta o disminuye su tamaño respectivamente, también es consistente la forma como se muestran los objetos ya que se pueden ver desde cualquier posición, ya sea de frente, desde atrás o por los costados. **Reconocimiento en Lugar de Recuerdo**, el usuario puede reconocer fácilmente en dónde reiniciar una caminata si por algún motivo le tocó abandonarla, cada una de las figuras presenta una perspectiva diferente del mundo virtual por lo cual le será fácil iniciar nuevamente donde terminó. **Flexibilidad y Eficiencia de Uso**, se puede escoger un avatar personalizado para realizar el recorrido y este se puede cambiar en el momento que se desee, no es obligatorio iniciar y terminar con el mismo. **Diseño Estético y Minimalista**, las figuras del mundo virtual tienen un tamaño y color que los identifica de manera única y además no se presentan elementos que distraigan o confundan las personas para realizar el recorrido. **Reconocer, Diagnosticar, Recuperar Errores**, el movimiento del recorrido que hace el usuario se detiene cuando colisiona con algún elemento, el sistema es muy intuitivo y hace que la persona se devuelva o cambie de dirección para poder continuar con el recorrido.

Otro mundo creado en Hubs se presenta como ejemplo para hacer un recorrido en un lugar en medio de una zona aislada, en el segundo piso se encuentran dos imágenes que representan personas las cuales no tienen cara, esto se hace con el objetivo de crear empatía con los niños que no pueden ver caras debido a su discapacidad visual. En este mundo se puede hacer un recorrido por todo el lugar, tiene diferentes accesos al segundo piso y al inicio se encuentra un tablero que brinda instrucción de cómo moverse si se va a utilizar el mouse y el teclado. La Figura 53 presenta la entrada al edificio y las instrucciones en el tablero, la Figura 54 presenta las personas sin cara. Lo interesante de este mundo es cómo se maneja la perspectiva de la distancia, pues desde el lugar se puede observar hacia el horizonte desde el primer y segundo piso e invita sentir la soledad del lugar. Otro aspecto que se destaca es el reflejo congruente de las sombras que producen los objetos, pues se puede observar claramente de dónde llegan los rayos solares y dónde debería haber sombras.



Figura 53 Entrada edificio



Figura 54 Personas sin cara

El mundo del ejemplo mencionado se llama Territorio Rápido y Fabuloso al cual se puede ingresar por el enlace²⁸ y realizar el recorrido.

Al igual que los ejemplos anteriores, se presentan las heurísticas de usabilidad propuestas que tiene esta caminata. **Visibilidad del Estado del Sistema**, a la entrada del sitio se presenta un letrero de bienvenida en permanente movimiento que indica que el sistema está activo para realizar el recorrido por todo el edificio. **Coincidencia entre el Sistema y el Mundo Real**, sombras producidas por rayos de sol que ingresan al edificio por cualquier espacio libre. **Control y Libertad del Usuario**, en las paredes del edificio hay señales que indican un posible camino para utilizar las escaleras y subir o bajar de piso según corresponda. **Consistencia y Estándares**, los movimientos de desplazamiento se realizan utilizando las flechas y el mouse, además a la entrada del edificio hay un letrero que le indica al usuario con cuales otras teclas pueden realizar el movimiento. **Prevención de Errores**, cuando un usuario va a salir del sistema este le presenta una ventana emergente preguntándole si está seguro de que desea salir de la habitación. **Flexibilidad y Eficiencia de Uso**, presenta opciones para personalizar entrada y salida de sonidos, los movimientos, resolución y otras preferencias acordes al gusto del usuario. **Diseño Estético y Minimalista**, los iconos de los botones no interfieren ni distraen al usuario durante el recorrido virtual. **Ayuda y Documentación**, el menú principal tiene un acceso que lo lleva a la documentación principal de Hubs donde puede encontrar diferentes temas que lo pueden ayudar a moverse por el mundo virtual.

²⁸ <https://hubs.mozilla.com/ByFmb3A/fast-fabulous-territory>

Como se pudo ver en los ejemplos de los sistemas del instituto, estos están siendo desarrollados de una manera que sea de uso fácil teniendo en cuenta que sus principales usuarios son niños con diferentes condiciones sensoriales favoreciendo la inclusión.

11.4 Requerimientos para ejemplos del Instituto para niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca

Para finalizar y dar un ejemplo de los requisitos que se obtienen después de tener en cuenta las recomendaciones y seguir el procedimiento propuesto en este trabajo de investigación, en la Tabla 10 se presentan algunos de los requerimientos obtenidos para cada una de las aplicaciones que se implementaron en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, hay requerimientos comunes y particulares, por ejemplo, un requerimiento común es que el sistema indique constantemente que está activo y esto puede ser con la emisión de un sonido permanente como para el caso del ejemplo de **Aventura Digna y Satisfecha**, y para el caso del ejemplo de **Territorio Rápido y Fabuloso**, un letrero en constante funcionamiento; estos requerimientos cumplen la recomendación del procedimiento **Visibilidad del Estado del Sistema**.

Aplicación	Requisitos
Rompecabezas	Ejecutarse en un dispositivo Android.
	Favorecer la interacción táctil.
	Permitir la visualización de máscaras en diferentes posiciones.
	Gráficos en 2D.
Aventura Digna y Satisfecha	Ejecutarse en cualquier navegador Web.
	Usar colores contrastantes.
	Presentar sonido permanente.
	Gráficos en 2D y 3D.
Territorio Rápido y Fabuloso	Usar sombras.
	Desplazamiento con teclado y cambio de dirección con mouse.
	Mensajes de texto e imágenes.
	Activar / Desactivar sonido.
Vuelo del Cóndor	Sensores de movimiento.
	Sonido representativo de cada animal del mundo virtual.
	Personalización velocidad caída libre del Cóndor.
	Texto para identificar los animales del mundo virtual.

Tabla 10 Listado de Requerimientos de Ejemplos del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca
(Elaboración propia)

12 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

De acuerdo con el trabajo realizado se puede observar que se ha logrado proponer un procedimiento que se relaciona directamente con la revisión de las heurísticas de Nielsen, el procedimiento consiste en seguir paso a paso las consideraciones de estas heurísticas, pero con una perspectiva inclusiva. Se buscó asociar el procedimiento a heurísticas de usabilidad con el objeto de hacer que las aplicaciones sean diseñadas y desarrolladas teniendo en cuenta las mejores prácticas de usabilidad reconocidas en el marco tecnológico de aplicaciones de software, para mejorar su calidad, y especialmente, la calidad de las interfaces de usuario.

Con el aporte de las recomendaciones y el procedimiento que se propone en este trabajo de investigación para el diseño y desarrollo de interfaces adaptativas, especialmente para entornos de realidad aumentada y realidad virtual, se busca que dichas interfaces detecten los cambios que se puedan presentar en el contexto de uso, que las adaptaciones se apliquen de acuerdo con los cambios que se detecten y las necesidades que puedan tener los usuarios

Con respecto al protocolo utilizado para la búsqueda de literatura, este permitió una búsqueda sistemática de la cual se pudo extraer información académica relevante de las tecnologías involucradas en el Continuo Virtual y se documentan en el presente trabajo de acuerdo con el objetivo **4.2 a**. El análisis de esta literatura más el análisis de herramientas de hardware y software utilizadas para la implementación de aplicaciones de realidad aumentada y mixta, permitió estructurar las características que impactan el diseño de una narrativa interactiva para la implementación de una interfaz adaptativa basada en el Continuo Virtual, de acuerdo con las diferentes condiciones de una persona con discapacidad visual o auditiva que se propuso en el objetivo **4.2 b**. Los ejemplos de los sistemas del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca presentados en el Capítulo 11, permitieron comprobar el procedimiento propuesto en este trabajo de investigación. Cada sistema fue evaluado con dicho procedimiento y se encontró que cumplía con el objetivo de obtener los requerimientos para producir un prototipo no funcional de una interfaz adaptativa para una narrativa interactiva orientada a personas con discapacidad visual o auditiva. Estos sistemas se encontraban en proceso desarrollo mientras se realizaba este trabajo de investigación, es por eso por lo que se detecta que cumplen con algunos pasos del procedimiento y con otros no. Se espera que, para finalizar el desarrollo, el procedimiento sirva como insumo para obtener los requerimientos necesarios para su implementación tal como se propone en objetivo **4.2 c**.

Para trabajos futuros se sugiere utilizar el procedimiento y las recomendaciones planteadas en este trabajo de grado puesto que sugieren un método apropiado el cual tiene un gran potencial para contribuir a las mejoras del desarrollo de interfaces adaptativas, en especial a las que involucran tecnología inmersiva de realidad aumentada y realidad virtual, involucrando siempre, pruebas interactivas con los usuarios. Este trabajo puede ser de interés para investigadores que estudian temas relacionados con aplicaciones de realidad virtual o realidad aumentada para trabajos industriales.

El protocolo de búsqueda de información implementado en esta investigación también podría ser utilizado de manera que facilite obtener la información relevante de los temas de estudio que se vayan a realizar.

13 BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Mundial, “Discapacidad,” *Entendiendo La Pobreza*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/disability> (accessed Apr. 15, 2021).
- [2] M. Leonardi, J. Bickenbach, T. B. Ustun, N. Kostanjsek, and S. Chatterji, “The definition of disability: what is in a name?,” *Lancet*, vol. 368, no. 9543, pp. 1219–1221, 2006, doi: 10.1016/S0140-6736(06)69498-1.
- [3] “¿Diversidad funcional o discapacidad? - Vivva.” <https://vivva.es/diversidad-funcional-discapacidad/> (accessed Sep. 11, 2022).
- [4] “Diversidad funcional: definición y uso correcto del lenguaje en el ámbito de la Discapacidad | CR Dionisia Plaza.” <https://www.crdionisiaplaza.es/blog/diversidad-funcional-definicion-y-uso-correcto-del-lenguaje/> (accessed Sep. 11, 2022).
- [5] F. Pública, “Categorías de discapacidad - Inclusión Pública - Función Pública,” 2020. <https://www.funcionpublica.gov.co/web/inclusion-publica/categorías-de-discapacidad> (accessed Jul. 04, 2021).
- [6] World Health Organization. and World Bank., *Informe mundial sobre la discapacidad*. World Health Organization, 2011.
- [7] A. Pedrero, P. de la Fuente, M. A. Villarroel, and M. Martínez, “Modelo probabilístico para la creación de interfaces personalizadas,” pp. 91–96.
- [8] T. Quiroz, O. M. Salazar, and D. A. Ovalle, “Adaptive Graphical User Interface based on User Profile and Ontologies to Recommend Learning Objects,” *Informacion Tecnologica*, vol. 29, no. 6, pp. 295–306, Dec. 2018, doi: 10.4067/S0718-07642018000600295.
- [9] “Web adaptativa - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Web_adaptativa (accessed May 11, 2022).
- [10] EDUCO, “El impacto de las nuevas tecnologías en la educación,” 2020. <https://www.educo.org/Blog/Impacto-de-nuevas-tecnologias-en-la-educacion> (accessed Jul. 18, 2021).
- [11] P. Milgram, “a Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays,” *Industrial Engineering*, no. 12, pp. 1–14, 2011.
- [12] X. Wang, Q. Y. Hua, F. Zou, and L. Guo, “An adaptive user interface model for mobile devices based on perceptual control theory,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS*, pp. 908–911, 2014, doi: 10.1109/ICSESS.2014.6933712.
- [13] J. Cabero Almenara, J. Barroso Osuna, and M. Obrador, “Augmented reality applied to the teaching of medicine,” *Educacion Medica*, vol. 18, no. 3, pp. 203–208, 2017, doi: 10.1016/j.edumed.2016.06.015.
- [14] C. Merino, S. Pino, E. Meyer, J. M. Garrido, and F. Gallardo, “Augmented reality to design teaching-learning sequences in chemistry,” *Educacion Quimica*, vol. 26, no. 2, pp. 94–99, 2015, doi: 10.1016/j.eq.2015.04.004.
- [15] H. Eidenberger and A. Mossel, “Indoor skydiving in immersive virtual reality with embedded storytelling,” *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST*, vol. 13-15-Nove, pp. 9–12, 2015, doi: 10.1145/2821592.2821612.

- [16] E. Kang, “Imago,” *Proceedings of the 14th Annual ACM International Conference on Multimedia, MM 2006*, pp. 1031–1032, 2006, doi: 10.1145/1180639.1180866.
- [17] L. L. S. Bernal and F. A. R. Rojas, “Restrepo et al. 2013,” pp. 1–6, 2014.
- [18] S. de Pedro, “18 herramientas digitales para personas con discapacidad,” *Segureskola*, Dec. 11, 2018. <https://gaptain.com/blog/18-herramientas-digitales-para-personas-con-discapacidad/> (accessed Mar. 01, 2021).
- [19] J. Wang, Y. Liu, L. Chen, and J. Tang, “Using the technology readiness levels to support technology management in the special funds for marine renewable energy,” *OCEANS 2016 - Shanghai*, 2016, doi: 10.1109/OCEANSAP.2016.7485608.
- [20] J. Acevedo, C. Tecnológico, and D. E. L. Plástico, “Herramientas para la sistematización de la evaluación objetiva de proyectos y grados de maduración en innovación en las empresas,” *Innotec Gestión*, vol. 8, no. 1, pp. 49–55, 2018, doi: 10.30930/ig.8.6.
- [21] Fundación ONCE, “Discapacidades Visuales,” May 13, 2022.
- [22] “▷ ¿Qué es la discapacidad visual, la baja visión y ceguera legal?” <https://asdedis.org/que-es-la-discapacidad-visual/> (accessed May 12, 2022).
- [23] “‘El paciente de baja visión puede beneficiarse de ayudas especiales y de técnicas de rehabilitación tanto en actividades de vida diaria como en orientación y movilidad’ — Centro Universitario de la Visión. CUV — UPC. Universitat Politècnica de Catalunya.” <https://cuv.upc.edu/es/noticias/el-paciente-de-baja-vision-puede-beneficiarse-de-ayudas-especiales-y-de-tecnicas-de-rehabilitacion-tanto-en-actividades-de-vida-diaria-como-en-orientacion-y-movilidad> (accessed May 12, 2022).
- [24] “Ceguera (discapacidad visual): qué es, tipos, causas y tratamiento.” <https://psicologiaymente.com/salud/ceguera> (accessed May 12, 2022).
- [25] C. para el C. y la P. de Enfermedades, “Pérdida auditiva en los niños,” 2020. <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/hearingloss/types.html>
- [26] “Niveles de ruido en el entorno cotidiano y su clasificación en decibeles - Ecoacústika.” <https://ecoacustika.com/niveles-de-ruido-en-el-entorno-cotidiano-y-su-clasificacion-en-decibeles/> (accessed May 12, 2022).
- [27] “Decibeles y efectos.” <https://www.fonotecanacional.gob.mx/index.php/108-articulos/296-decibeles-y-efectos> (accessed May 12, 2022).
- [28] “Discapacidad auditiva y conducción - Fundación MAPFRE.” <https://www.fundacionmapfre.org/educacion-divulgacion/seguridad-vial/movilidad-segura-salud/sabias-que/discapacidad-auditiva-conduccion-segura/> (accessed May 12, 2022).
- [29] “MANUAL BÁSICO DE CUIDADO DEL OÍDO Y LA AUDICIÓN.”
- [30] M. J. Fernandez Ruiz, J. M. Angós Ullate, and J. A. Salvador Olivan, “Dialnet-InterfacesDeUsuario-1456152,” 2001.
- [31] “Types of user interface,” Sep. 2020. <http://theteacher.info/index.php/systems-software/notes/4623-types-of-user-interface> (accessed Feb. 12, 2022).
- [32] F. ONCE, “Interfaces adaptativas | Discapnet,” *Interfaces adaptativas*. <https://www.discapnet.es/areas-tematicas/tecnologia-inclusiva/tecnologia-y-necesidades-humanas/interfaces-adaptativas> (accessed Feb. 25, 2021).
- [33] T. Quiroz, O. M. Salazar, and D. A. Ovalle, “Modelo de Interfaz Adaptativa basada en Perfiles de Usuario y Ontologías para Recomendación de Objetos de

- Aprendizaje,” *Información tecnológica*, vol. 29, no. 6, pp. 295–306, 2018, doi: 10.4067/s0718-07642018000600295.
- [34] D. De, S. Informáticos, V. Manuel, and L. Jaquero, “UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.”
- [35] “¿Cuáles son los diferentes tipos de Realidad Aumentada? - Softtek.” <https://softtek.eu/tech-magazine/user-experience/cuales-son-los-diferentes-tipos-de-realidad-aumentada/> (accessed May 15, 2022).
- [36] “Realidad Aumentada sin marcadores | VÓRTICE.” <https://www.vortice3d.com/es/blog/entrada/?post=3> (accessed May 16, 2022).
- [37] “Augmented reality – Augmented and Virtual Reality Company.” <https://ardev.es/en/augmented-reality/> (accessed May 16, 2022).
- [38] “¿Qué tipo de Realidad Aumentada requiere tu experiencia? - Apleaners, creadores de AR / VR.” <https://www.apleaners.com/blog/que-tipo-de-realidad-aumentada-requiere-tu-experiencia/> (accessed May 16, 2022).
- [39] D. Levis, “¿Qué es la realidad virtual?,” *Diegolevis*, pp. 1–28, 2006, [Online]. Available: <http://www.diegolevis.com.ar>
- [40] R. Earnshaw, M. Gigante, H. Jones, and L. San Diego New York Boston Sydney, “Virtual Reality Systems edited by.”
- [41] A. A. Navarro-Newball, “LA REALIDAD VIRTUAL: UNA VENTANA MULTISENSORIAL.”
- [42] “What really is the difference between AR / MR / VR / XR ? | by North of 41 | Medium.” <https://medium.com/@northof41/what-really-is-the-difference-between-ar-mr-vr-xr-35bed1da1a4e> (accessed Jun. 15, 2022).
- [43] J. D. Gould and C. Lewis, “CHI’83 Proceedings December 1983 DESIGNING FOR USABILITY-KEY PRINCIPLES AND WHAT DESIGNERS THINK.”
- [44] R. Felipe Muñoz Soto, “Usabilidad en Mundos.”
- [45] “ISO 9241 y la usabilidad - Cognitios UX.” <https://www.cognitios.co/usabilidad-con-iso-9241/> (accessed Jun. 22, 2022).
- [46] “Los 10 mandamientos (principios heurísticos) de Jakob Nielsen | by Eugenia Casabona | Medium.” <https://eugeniacasabona.medium.com/los-10-mandamientos-principios-heur%C3%ADsticos-de-jakob-nielsen-ed4ad54468a9> (accessed Jun. 22, 2022).
- [47] “4. Heuristic_Summary1-compressed”.
- [48] “37. Potenciales RV_RA_Beck”.
- [49] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” *The BMJ*, vol. 372. BMJ Publishing Group, Mar. 29, 2021. doi: 10.1136/bmj.n71.
- [50] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews,” *BMJ*, vol. 372, Mar. 2021, doi: 10.1136/BMJ.N71.
- [51] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews,” *The BMJ*, vol. 372, Mar. 2021, doi: 10.1136/BMJ.N71.
- [52] “IEEE Xplore.” <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (accessed Feb. 22, 2022).
- [53] “ACM Digital Library.” <https://dl.acm.org/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [54] “ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books.” <https://www.sciencedirect.com/> (accessed Feb. 22, 2022).

- [55] “Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering,” 2007.
- [56] B. Froehlich, M. Livingston, A. Lécuyer, L. George, and M. Marchal, “Spatial Interfaces Toward Adaptive VR Simulators Combining Visual, Haptic, and Brain-Computer Interfaces.” [Online]. Available: <http://openvibe.inria.fr>
- [57] M. L. Homer, J. A. Perge, M. J. Black, M. T. Harrison, S. S. Cash, and L. R. Hochberg, “Adaptive offset correction for intracortical brain-computer interfaces,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 239–248, 2014, doi: 10.1109/TNSRE.2013.2287768.
- [58] I. Latin and A. Transactions, “An Adaptive Hardware and Software Based Human Computer Interface for People with Motor Disabilities,” 2019. [Online]. Available: <https://www.google.com.br/shopping>
- [59] M. Eid, J. Cha, and A. el Saddik, “Admux: An adaptive multiplexer for haptic-audio-visual data communication,” in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Jan. 2011, vol. 60, no. 1, pp. 21–31. doi: 10.1109/TIM.2010.2065530.
- [60] I. Verhulst, A. Woods, L. Whittaker, J. Bennett, and P. Dalton, “Do VR and AR versions of an immersive cultural experience engender different user experiences?,” *Comput Human Behav*, vol. 125, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.chb.2021.106951.
- [61] S. Overmars and K. Poels, “Online product experiences: The effect of simulating stroking gestures on product understanding and the critical role of user control,” *Comput Human Behav*, vol. 51, no. PA, pp. 272–284, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.chb.2015.04.033.
- [62] Q. Tong, Z. Yuan, X. Liao, M. Zheng, T. Yuan, and J. Zhao, “Magnetic Levitation Haptic Augmentation for Virtual Tissue Stiffness Perception,” *IEEE Trans Vis Comput Graph*, vol. 24, no. 12, pp. 3123–3136, Dec. 2018, doi: 10.1109/TVCG.2017.2772236.
- [63] I. J. Jureta, A. Borgida, N. A. Ernst, and J. Mylopoulos, “The requirements problem for adaptive systems,” *ACM Transactions on Management Information Systems*, vol. 5, no. 3. Association for Computing Machinery, Sep. 18, 2014. doi: 10.1145/2629376.
- [64] G. Ostrin, J. Frey, and J. R. Cauchard, “Interactive narrative in virtual reality,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, Nov. 2018, pp. 463–467. doi: 10.1145/3282894.3289740.
- [65] E. Giles and J. van der Linden, “Using eTextile objects for touch based interaction for visual impairment,” in *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, Sep. 2014, pp. 177–183. doi: 10.1145/2641248.2641351.
- [66] R. Morales, F. J. Badesa, N. Garcia-Aracil, J. Aranda, and A. Casals, “Evaluación en un paciente con ictus en fase crónica de un sistema autoadaptativo de neurorehabilitación robótica,” *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 12, no. 1, pp. 92–98, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.riai.2014.11.007.
- [67] J. C. Lock, I. D. Gilchrist, G. Cielniak, and N. Bellotto, “Experimental Analysis of a Spatialised Audio Interface for People with Visual Impairments,” *ACM Trans Access Comput*, vol. 13, no. 4, Oct. 2020, doi: 10.1145/3412325.
- [68] “How It Works – Shokz.” <https://shokz.com/pages/how-it-works> (accessed May 08, 2022).

- [69] “Funciones de Oculus Quest | Oculus.”
https://www.oculus.com/quest/features/?locale=es_LA (accessed May 09, 2022).
- [70] “¿Qué son los sensores ToF 3D?: tecnología para controlar el móvil con gestos.”
<https://www.bbva.com/es/que-son-los-sensores-tof-3d-tecnologia-para-controlar-el-movil-con-gestos/> (accessed May 09, 2022).
- [71] “Time of Flight - Wikipedia, la enciclopedia libre.”
https://es.wikipedia.org/wiki/Time_of_Flight (accessed May 09, 2022).
- [72] “Cámaras TOF 3D: cómo funciona y por qué es tan atractiva la última gran innovación de los smartphones fotográficos.”
<https://www.xataka.com/moviles/camaras-tof-3d-como-funciona-que-atractiva-ultima-gran-innovacion-smartphones-fotograficos> (accessed May 10, 2022).
- [73] “Qué es un LIDAR, y cómo funciona el sensor más caro de los coches autónomos.”
<https://www.motorpasion.com/tecnologia/que-es-un-lidar-y-como-funciona-el-sistema-de-medicion-y-deteccion-de-objetos-mediante-laser> (accessed May 09, 2022).
- [74] “Técnica LiDAR ToF: el sensor dispara un rayo láser desde su luz... | Descargar Diagrama Científico.”
https://www.researchgate.net/figure/LiDAR-ToF-technique-The-sensor-shoots-a-laser-beam-from-its-light-source-and-triggers-a_fig1_347652521 (accessed May 10, 2022).
- [75] “LiDAR: qué es y qué utilidad tiene para la fotogrametría | Pix4D.”
<https://www.pix4d.com/es/blog/lidar-fotogrametria> (accessed May 10, 2022).
- [76] “ToF vs. LiDAR: What’s the Difference?”
<https://www.makeuseof.com/tof-and-lidar-difference/> (accessed May 10, 2022).
- [77] “Difference between LiDAR and Time of Flight | LiDAR vs ToF sensor.”
<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-LiDAR-and-ToF-Time-of-Flight.html> (accessed May 10, 2022).
- [78] “Why Choose time-of-flight for your Automotive 3D Sensing Applications I Melexis.”
<https://www.melexis.com/en/tech-talks/why-choose-time-of-flight-for-your-automotive-3d-sensing-applications> (accessed May 10, 2022).
- [79] “Así funciona el visor HoloLens 2 de Microsoft en labores de asistencia remota y formación.”
<https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-asi-funciona-visor-hololens-microsoft-labores-asistencia-remota-formacion-20201104131502.html> (accessed May 10, 2022).
- [80] “HoloLens Las Gafas Holograficas de Microsoft.”
<https://www.areatecnologia.com/nuevas-tecnologias/hololens.html> (accessed May 10, 2022).
- [81] “Realidad virtual con las Google Cardboard.”
<https://codigo21.educacion.navarra.es/autoaprendizaje/realidad-virtual-con-las-google-cardboard/> (accessed May 10, 2022).
- [82] “The VR CAVE, halfway between reality and virtuality - SkyReal.”
<https://sky-real.com/news/the-vr-cave-halfway-between-reality-and-virtuality/> (accessed May 11, 2022).
- [83] M. A. Muhanna, “Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 27, no. 3. King Saud bin Abdulaziz University, pp. 344–361, 2015. doi: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023.

- [84] V. Andreu Toribio Antonio Torronteras López Director and F. Javier Mora, “TRABAJO FINAL DE CARRERA Título del TFC: Introducción a la Háptica. Nuevos dispositivos de entrada y salida.”
- [85] “¿Conoce todo sobre la tecnología háptica y su alcance en la formación experta! - NC Tech.” <https://nctech.com.mx/blog/ingenieria-digital/tecnologia-haptica/> (accessed May 23, 2022).
- [86] “bHaptics Unveils Consumer-Ready TactGlove at CES 2022 - GMW3.” <https://www.gmw3.com/2022/01/bhaptics-unveils-consumer-ready-tactglove-at-ces-2022/> (accessed May 23, 2022).
- [87] “Most Advanced Full Body Haptic Suit - bHaptics TactSuit.” <https://www.bhaptics.com/tactsuit/tactsuit-x40> (accessed May 23, 2022).
- [88] A. Roldán, “Textiles Inteligentes,” *Autores Científico - Técnicos y Académico ACTA*, Accessed: May 24, 2022. [Online]. Available: www.acta.es
- [89] “TEXTILES INTELIGENTES - APTT.” <https://apttperu.com/textiles-inteligentes/> (accessed May 24, 2022).
- [90] “Deconstruyendo palabras de moda X: 6 tejidos inteligentes.” <https://www.mobiliariocomercialmaniques.com/blog/deconstruyendo-palabras-de-moda-x-6-tejidos-inteligentes/> (accessed May 24, 2022).
- [91] “OpenBCI – Open-source EEG – Open Source Imaging.” <https://www.opensourceimaging.org/project/openbci/> (accessed May 25, 2022).
- [92] “EMG Scrolling | OpenBCI Documentation.” <https://docs.openbci.com/Examples/EMGProjects/EMGscrolling/> (accessed May 25, 2022).
- [93] T. Kosch, M. Hassib, and A. Schmidt, “The brain matters: A 3D real-time visualization to examine brain source activation leveraging neurofeedback,” in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, May 2016, vol. 07-12-May-2016, pp. 1570–1576. doi: 10.1145/2851581.2892484.
- [94] “Capítulo 2 Introducción a la Realidad Virtual.”
- [95] “ZapWorks, la realidad aumentada para el usuario final - Emiliusvgs.” <https://emiliusvgs.com/zappar-works-realidad-aumentada-usuario/> (accessed May 28, 2022).
- [96] “Studio | 3D Model on a Tracking Image.” <https://docs.zap.works/studio/project-templates/image-tracking/3d-model-tracking-image/> (accessed May 28, 2022).
- [97] “La Realidad Mixta llega a Microsoft Power Apps - Microsofters.” <https://microsofters.com/167850/la-realidad-mixta-llega-a-microsoft-power-apps/> (accessed May 29, 2022).
- [98] “Usar controles mixed reality en Power Apps - Power Apps | Microsoft Docs.” <https://docs.microsoft.com/es-es/power-apps/maker/canvas-apps/mixed-reality-overview> (accessed May 29, 2022).
- [99] “¿QUÉ ES MOZILLA HUBS? | CEDARMADA.” <https://www.cedarmada.cl/ques-mozilla-hubs-herramienta-para-la-educacion-a-distancia/> (accessed May 29, 2022).
- [100] “Welcome to Hubs · Hubs by Mozilla.” <https://hubs.mozilla.com/docs/welcome.html> (accessed May 29, 2022).
- [101] “Minecraft Education Edition: de videojuego a herramienta educativa.” <http://elearningmasters.galileo.edu/2017/02/14/minecraft-education-edition/> (accessed May 29, 2022).

- [102] “Minecraft Education Edition y las extraescolares STEAM.” <https://igniteseriousplay.com/online/extraescolar-minecraft-education-edition/> (accessed May 29, 2022).
- [103] “Introduction – A-Frame.” <https://aframe.io/docs/1.3.0/introduction/> (accessed May 30, 2022).
- [104] “Hello WebVR – A-Frame.” <https://aframe.io/examples/showcase/helloworld/> (accessed May 30, 2022).
- [105] “Getting Started - WebGL Public Wiki.” https://www.khronos.org/webgl/wiki/Getting_Started (accessed May 31, 2022).
- [106] “¿Qué es un lenguaje de sombreado OpenGL®?” <https://www.netinbag.com/es/internet/what-is-an-openglreg-shading-language.html> (accessed May 31, 2022).
- [107] “three.js examples.” https://threejs.org/examples/#webgl_animation_skinning_additive_blending (accessed May 31, 2022).
- [108] “¿Por qué usar ThreeJS en el desarrollo de aplicaciones Web?” <https://www.cmarix.com/blog/why-to-use-threejs-in-web-application-development/> (accessed May 31, 2022).
- [109] “Game Development - Babylon.js: Building a Basic Game for the Web | Microsoft Docs.” <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/msdn-magazine/2015/december/game-development-babylon-js-building-a-basic-game-for-the-web> (accessed Jun. 03, 2022).
- [110] “a | Babylon.js Playground.” <https://playground.babylonjs.com/#HQQSX8#3> (accessed Jun. 03, 2022).
- [111] “Babylon.js Specifications.” <https://www.babylonjs.com/specifications/> (accessed Jun. 03, 2022).
- [112] “Motor Godot en Steam.” https://store.steampowered.com/app/404790/Godot_Engine/?l=spanish (accessed Jun. 04, 2022).
- [113] “Godot Engine - Features.” <https://godotengine.org/features#collaborate> (accessed Jun. 04, 2022).
- [114] “Lista de características — Documentación de Godot Engine (stable) en español.” https://docs.godotengine.org/es/stable/about/list_of_features.html (accessed Jun. 04, 2022).
- [115] “What is Unity 3D & What is it Used For?” <https://conceptartempire.com/what-is-unity/> (accessed Jun. 05, 2022).
- [116] “Unity - Autoliv.” <https://unity.com/es/case-study/autoliv> (accessed Jun. 06, 2022).
- [117] “Unity - Manual: Unity User Manual (2017.3).” <https://docs.unity3d.com/2017.3/Documentation/Manual/UnityManual.html> (accessed Jun. 06, 2022).
- [118] “Desarrolle aplicaciones de RA con Vuforia Engine | PTC.” <https://www.ptc.com/es/products/vuforia/vuforia-engine/ar-app-development> (accessed Jun. 06, 2022).
- [119] “Realidad Aumentada con Vuforia - Desarrollolibre.” <https://www.desarrollolibre.net/blog/android/realidad-aumentada-con-vuforia> (accessed Jun. 06, 2022).

- [120] “Unreal Engine qué es y para que sirve | Tokio School.” <https://www.tokioschool.com/noticias/unreal-engine-que-es-para-que-sirve/> (accessed Jun. 08, 2022).
- [121] “The most powerful real-time 3D creation tool - Unreal Engine.” <https://www.unrealengine.com/en-US> (accessed Jun. 11, 2022).
- [122] “Designing Visuals, Rendering, and Graphics with Unreal Engine | Unreal Engine 5.0 Documentation.” <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/designing-visuals-rendering-and-graphics-with-unreal-engine/> (accessed Jun. 11, 2022).
- [123] “What is WebXR and Why WebVR is Dead - Red Stapler.” <https://redstapler.co/what-is-webxr/> (accessed Jun. 12, 2022).
- [124] “A Gentle Introduction To WebXR. As technology advances, it becomes... | by Santiago Peña Mosquera | AR/VR Journey: Augmented & Virtual Reality Magazine.” <https://arvrjourney.com/a-gentle-introduction-to-webxr-d5111304a870> (accessed Jun. 12, 2022).
- [125] “Hello WebXR! - Mozilla Mixed Reality.” <https://mixedreality.mozilla.org/hello-webxr/> (accessed Jun. 12, 2022).
- [126] “¿Aplicaciones Nativas, Web o Híbridas? ¿Cuál es la diferencia? – bluelatam.” <https://bluelatam.com/aplicaciones-nativas-web-o-hibridas-cual-es-la-diferencia/> (accessed Jun. 19, 2022).
- [127] “Difference between Native Apps and Web Apps - GeeksforGeeks.” <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-native-apps-and-web-apps/> (accessed Jun. 19, 2022).
- [128] “Native Apps vs. Web Apps.” <https://www.lifewire.com/native-apps-vs-web-apps-2373133> (accessed Jun. 19, 2022).
- [129] “Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca Clínica Visual y Auditiva.”
- [130] “Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca Clínica Visual y Auditiva.”
- [131] M. Y. Segura Ruiz and R. Osorio Diaz, “Usabilidad en aplicaciones de Realidad Virtual Inmersiva Accesible e inclusiva Multi-escenario: Caso práctico,” *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 9, no. 3, pp. 82–92, Dec. 2021, doi: 10.17081/invinno.9.3.5563.
- [132] “Design Toolkit | Modelo mental.” <http://design-toolkit.uoc.edu/es/modelo-mental/> (accessed Jun. 27, 2022).
- [133] M. Turner and P. Vangorp, “Building Augmented and Virtual Reality Experiences for Children with Visual Diversity.”