UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

**ESTUDIO Y DESARROLLO DE INTERFACES SENSITIVAS DE REALIDAD
VIRTUAL Y AUMENTADA PARA INVIDENTES EN DISPOSITIVOS PORTÁTILES**

TESIS DOCTORAL

Nancy Enriqueta Guerrón Paredes
Máster Universitario en Telemedicina y Bioingeniería
SEPTIEMBRE 2018

CENTRO DE TECNOLOGÍA BIOMÉDICA
LABORATORIO DE BIOINSTRUMENTACIÓN Y NANOMEDICINA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESTUDIO Y DESARROLLO DE INTERFACES SENSITIVAS DE REALIDAD
VIRTUAL Y AUMENTADA PARA INVIDENTES EN DISPOSITIVOS PORTÁTILES

TESIS DOCTORAL

Autora:

Nancy Enriqueta Guerrón Paredes
Máster Universitario en Telemedicina y Bioingeniería
Universidad Politécnica de Madrid

Director:

José Javier Serrano Olmedo
Doctor Ingeniero en Telecomunicación

2018

TESIS DOCTORAL

ESTUDIO Y DESARROLLO DE INTERFACES SENSITIVAS DE REALIDAD
VIRTUAL Y AUMENTADA PARA INVIDENTES EN DISPOSITIVOS
PORTÁTILES

Autor: Nancy Enriqueta Guerrón Paredes

Director: José Javier Serrano Olmedo

Tribunal nombrado por el Mgfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día. de. de 2018.

Presidente:

Secretario:

Vocal:

Vocal:

Vocal:

Suplente:

Suplente:

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día. de. de 2018 en el salón de actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

Calificación:

EL PRESIDENTE
D/D^a

EL SECRETARIO
D/D^a

EL VOCAL
D/D^a

EL VOCAL
D/D^a

EL VOCAL
D/D^a

A mis hijas, a mi madre y a cada una de las personas que me apoyaron en esta etapa de crecimiento.

Reconocimientos

“Nuestra memoria no es más que una imagen de la realidad, por lo que nuestra realidad es sólo nuestra imaginación.”

Ende, Michel

Entre las entidades y personas que han apoyado el desarrollo de este trabajo, está el gobierno de Ecuador con su programa de becas a Docentes Universitarios, el cual ayuda a fomentar el talento humano para incrementar el conocimiento y la investigación en mi país. Agradezco a la Fundación ONCE que ha brindado apoyo mediante el uso de sus instalaciones y la participación de personal voluntario para la coordinación de prácticas y pruebas planificadas durante el desarrollo del proyecto e-Glance, que forjó la base de este trabajo. También agradezco a la cátedra INDRA-FUNDACIÓN ADECCO, por su participación mediante un convenio con la Universidad Politécnica de Madrid, para la consecución de los resultados hasta ahora obtenidos.

Mi gratitud por siempre a mi tutor José Javier Serrano Olmedo, quien con su orientación y motivación ha permitido que el proyecto e-Glance alcance cada vez un desarrollo más completo. Agradezco también a todas las personas con las cuales he compartido invaluable momentos y con quienes he establecido lazos de amistad y camaradería.

A todos mis amigos del laboratorio de bioinstrumentación y nanomedicina, quienes me han permitido compartir parte de su vida y con quienes he alcanzado una vida más plena y equilibrada.

A mi familia que me ha apoyado en todo momento, sobre todo a mis hijas y mi madre que a pesar de la distancia siempre están presentes para brindarme todo su apoyo y amor incondicional para alcanzar mis metas y seguir creciendo como persona en este camino ya trazado.

Abstract

“The difficult thing is not to live with people; the difficult thing is to understand them”

José Saramago

Sight is the main sense used by humans to understand the world around us and delight in nature, art and family. It greatly impacts the way we perform our daily activities, so when it gets deteriorated to a significant extent by some illness or accident, or in worse case scenarios it is completely lost at birth or during life, the victims become vulnerable, dependent and face insecurities at work, socializing or with something as simple as taking care of themselves.

Blind people’s abilities to understand their environment and the acknowledgment of the difficulties they face when visiting a new place have inspired this work and guided its development. For this, smartphone applications have been built, adjust and optimized to the needs and requirements of the group of blind participants, who with the support of the ONCE and the sponsorship by the Indra-Fundación Addeco Chair, decided to participate voluntarily in the e-Glance project.

The objective of this research is to analyze the sensitive interfaces that contribute the most to the user – application communication for the acquisition of spatial knowledge of an unknown environment. With this in mind, mobile virtual and augmented reality applications were implemented in smartphones and tablets, and later it was evaluated by the participants which of these interfaces were the most useful, effective and efficient.

A lot of work on outdoor navigation has been done and the volume of data required for its description is sizable, so this work focused on the much recent research topic of indoor navigation. At the beginning of this study the team investigated the use of sensitive interfaces to explore in advance unknown interior spaces using virtual reality applications; the goal was to determine if its results could be extrapolated to navigation through unknown interiors in real time. Hopefully this study can become a reference for those who choose to develop other systems that promote the personal independence and professional development of people with blindness or with severe visual limitations.

Eight workshops took place so the developed solutions could be tested and adapted to users’ needs. Twenty blind and five low vision participants volunteered and consented to be video recordings. The efficiency, effectiveness and usefulness of the implemented interfaces were evaluated through the use of virtual and augmented reality applications and also through post-test questionnaires. Participants evaluated the tool’s usability and provided feedback on better ways for the system to deliver information. Furthermore, during these workshops also aided to the detection of failures not observed during the construction of the application, which in turn allowed modifying and optimizing the program’s code.

Wi-Fi and Bluetooth communication was used as means of connection between the selected devices and the external server. Laser and infrared sensors were used as tracking systems to provide the user's position; some proximity beacons worked as complementary devices to minimize the drift error that accumulates while tracking the user. The software used in the development of the applications was Unity 3D and MySQL for storage purposes.

During the first workshop the technical skills of the participants were determined, later they contributed input as how they wanted to be alerted of objects that were close to their position and objects beyond the reach of the white cane. In the second workshop the general characteristics of a virtual journey application were defined. During the following three workshops a methodology on how to build and test virtual reality applications with modifiable sensitive interfaces was defined. Voice, sound, vibration and gesture patterns were selected as the possible sensitive interfaces; also three methods were created to acquire the information of the environment that constituted the cognitive interfaces used in previous virtual visits.

In the sixth workshop 3D sounds were introduced to the applications as to determine if the auditory responses generated by Unity were effective. Linear, logarithmic and personalized auditory responses were employed using as information a female voice, a beep of 440Hz and the sound of a musical instrument. In the seventh workshop five participants were asked to evaluate the final exploration tool, no concrete results were obtained because of non-observance of the programmed training. In the eighth workshop the results of workshop VI were utilized to make the participants evaluate the augmented reality application as a navigation aid through a maze; the aim was to evaluate the influence of sensitive interfaces at reducing the participants' cognitive load.

This work proposes a set of the necessary sensitive interfaces to provide accurate, continuous and efficient information of objects and interior structures of a controlled environment, so that users can spatially represent the environment and navigate through it with greater independence and security.

The obtained results indicate that the effectiveness and efficiency of proximity exploration can be improved through: an increased speed in voice reproduction, distances expressed in meters, frequencies equal to or lower than 500Hz in the beep interface and simple gestures on the touch screen. It was also determined that accuracy in the location was enhanced when the voice was used to provide complementary information and a beep was used as a 3D sound response to locate objects and structures. When using a beep and voice as interfaces for navigation it was possible to reduce the cognitive load of users with slight spatial disorientation by 70% and an increase in efficiency of 50%.

The development of this research could be extended to more complex and numerous groups of people with severe visual limitations and possibly to elderly people with mild spatial disorientation or cognitive loss.

Resumen

“Lo difícil no es vivir con las personas, lo difícil es comprenderlas”
José Saramago

La visión es el principal sentido usado por el ser humano para comprender el mundo que le rodea, para realizar actividades diarias, contemplar la naturaleza, deleitarse del arte y relacionarse. Por tanto, cuando este sentido se ha deteriorado en gran medida por alguna enfermedad o accidente, o en peores circunstancias se pierde en su totalidad en el nacimiento o al envejecer, las personas se vuelven vulnerables, dependientes e inseguras para trabajar, socializar o salir por su propia cuenta. Las tecnologías actuales pueden brindar apoyo para que las personas ciegas sean capaces de explorar el mundo por sí mismos, aumentando su independencia y capacidad de decisión.

Las habilidades de las personas ciegas para la comprensión de su entorno y las dificultades que enfrentan a la hora de visitar un nuevo lugar inspiraron y se consideraron durante el desarrollo de este trabajo. Se contó con la colaboración de un grupo invidentes, que con el apoyo de la ONCE y el auspicio de la Cátedra Indra-Fundación Addeco, decidieron participar voluntariamente en el proyecto e-Glance y ayudar al ajuste y optimización de las aplicaciones acorde de sus necesidades y requerimientos.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las interfaces sensitivas que más contribuyen en la comunicación entre el usuario y las aplicaciones, de manera que se optimice la adquisición del conocimiento espacial de un entorno desconocido. Mediante la implementación de aplicaciones móviles de realidad virtual y aumentada en teléfonos inteligentes y tabletas, se pretendió analizar cuáles de las interfaces propuestas fueron consideradas las más útiles y usables por los participantes.

Debido al sinnúmero de aplicaciones ya existentes y el volumen de datos requeridos para la descripción de navegación por exteriores se decidió optar por la navegación por interiores, que es un tema más reciente y necesita más investigación. Al inicio de este trabajo se estudió el uso de las interfaces sensitivas durante la exploración anticipada a espacios interiores desconocidos utilizando aplicaciones de realidad virtual y aumentada. Después, se extrapoló el estudio a la navegación por interiores desconocidos en tiempo real. Intentamos con este estudio ser un referente para quienes opten por desarrollar otros sistemas que fomenten la independencia y el desarrollo personal y profesional de las personas ciegas o con severas limitaciones visuales.

Con la finalidad de adaptar las soluciones desarrolladas a las necesidades de los usuarios se desarrollaron ocho talleres. En este estudio participaron veinte voluntarios ciegos y cinco de baja visión; se emplearon registros de observación y videos, previo el consentimiento de los participantes. Se evaluó la eficiencia, eficacia y utilidad de las interfaces implementadas mediante el uso de aplicaciones de realidad virtual y aumentada, y además mediante cuestionarios post-test. Los participantes pudieron valorar la usabilidad de la herramienta y recomendar cambios en la forma que el sistema entregaba la información.

Durante estos talleres se detectaron fallos no observados durante la construcción de la aplicación, que permitieron modificar y optimizar el código. Se utilizó comunicación Wi-Fi y Bluetooth como medios de conexión con los dispositivos conexos y el servidor externo. Un sensor láser e infrarrojo fue empleado como sistema de rastreo para el seguimiento de la posición de usuario. Unas balizas de proximidad como dispositivos complementarios se emplearon para minimizar el error de deriva que se acumula durante el seguimiento del usuario. El software usado en el desarrollo de las aplicaciones fue Unity 3D, y para el almacenamiento de datos MySQL.

Durante el primer taller se determinó la información personal, las capacidades técnicas de los participantes y breves indicios en lo que respecta a la información sobre objetos cercanos y objetos fuera del alcance del bastón. En el segundo taller se definieron las características generales de una aplicación de visita virtual. Durante los siguientes tres talleres se estableció una metodología que permitió construir y probar las aplicaciones de realidad virtual y aumentada con interfaces sensitivas modificables. Se seleccionaron patrones de voz, sonido, vibración y gestos que conformaron las interfaces sensitivas de la aplicación; también se crearon tres métodos para adquirir la información del entorno que conformaron las interfaces cognitivas empleadas en visitas virtuales anticipadas.

En el sexto taller se introdujeron sonidos 3D en las aplicaciones con objeto de determinar si las respuestas auditivas virtuales generadas en Unity eran efectivas. Se emplearon respuestas auditivas lineales, logarítmicas y personalizadas, usando como información la voz femenina, el pitido de 440Hz y el sonido de un instrumento musical. En el séptimo taller se pidió a cinco participantes evaluar la herramienta de exploración final, sin resultados concretos por inobservancia en el entrenamiento programado. En el octavo taller se evaluaron las aplicaciones de realidad aumentada como ayudas de navegación a través de un laberinto usando rutas pre-establecidas. El objetivo fue evaluar la influencia de las interfaces sensitivas en la reducción de la carga cognitiva de los participantes y en la eficiencia de la navegación.

Los resultados obtenidos indicaron que durante la exploración de proximidad, una velocidad aumentada en la reproducción de la voz, distancias expresadas en metros, frecuencias iguales o inferiores a los 500Hz en la interfaz de pitidos y gestos simples sobre la pantalla táctil, mejoraron la efectividad y eficacia del proceso de exploración. Además, se determinó que los sonidos 3D con respuesta personalizada en donde se usa el pitido como fuente para la localización de objetos y estructuras, y la voz para brindar información complementaria, mejoraron la precisión en la localización de puntos objetivos. También se usó el pitido y la voz como interfaces sensitivas para la navegación guiada, que logró reducir la carga mental de los usuarios con leve pérdida cognitiva en un 70% y un aumento en la eficiencia del 50%.

El desarrollo de esta investigación podría extenderse a grupos más complejos y numerosos de personas con severas limitaciones visuales, y posiblemente a personas mayores con leve desorientación espacial o pérdida cognitiva.

Lista de contenidos

Reconocimientos	vi
Abstract	vii
Resumen	ix
Lista de contenidos	xi
Lista de figuras	xv
Lista de tablas	xvii
Lista de acrónimos	xix
Introducción	xx
Estructura de la tesis	xxiii
Sección I: Estado del Arte	24
Capítulo 1	25
1.1. La ceguera, principios y conceptos	25
1.1.1. La ceguera en el mundo actual	27
1.1.2. Principales enfermedades causantes de la ceguera	27
1.1.3. Barreras para accesibilidad	28
1.1.4. Plasticidad cerebral en personas con ceguera	29
1.1.5. Percepción táctil, olfatoria y auditiva.....	29
1.2. Cognición espacial	31
1.2.1. Carga cognitiva	33
1.3. Mapeo cognitivo.....	33
1.4. Técnicas de orientación y movilidad en personas ciegas.....	33
1.5. Discusión	35
Capítulo 2	36
2.1. Introducción	36
2.1.1. Dispositivos de Substitución Sensorial	36
2.1.2. Dispositivos Hápticos ⁷	37
2.1.3. Dispositivos de Estimulación Electro-Táctil.....	39
2.1.4. Dispositivos de Estimulación Acústica y Hápto-Acústica	39

2.2.	Navegación por espacios interiores y exteriores	40
2.3.	Mapas Táctiles.....	42
2.4.	Marcadores o emisores de frecuencia	43
2.5.	Sistema de Visión Artificial	43
2.6.	Entornos Virtuales (VE)	44
2.6.1.	Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Realidad Mixta y el continuo de la Realidad.....	45
2.7.	Aplicaciones de realidad virtual para la orientación y movilidad de las personas ciegas	47
2.8.	Técnicas de interacción	48
2.8.1.	Interacciones Hapto-Acústicas	49
2.9.	Interfaz de usuario	50
2.9.1.	Interfaz Sensitiva	50
2.9.2.	Dispositivos de Seguimiento	51
2.10.	Discusión	53
	Capítulo 3	54
3.1.	Hipótesis de la investigación	54
3.2.	Objetivos de la investigación.....	55
	Sección II: Trabajo de Investigación	57
	Capítulo 4	58
	Introducción	58
4.1.	Interfaz Sensitiva	58
4.2.	Modelo de Información.....	58
4.3.	Casos de Usos.....	60
4.3.1.	Detectar obstáculos en la ruta	60
4.3.2.	Localizar objeto en el entorno	61
4.3.3.	Explorar los alrededores.....	61
4.4.	Modelo de Interacción con la aplicación	62
4.4.1.	Modo Exploración Remota.....	62

4.4.2.	Modo Exploración de proximidad	62
4.5.	Software de Desarrollo.....	62
4.6.	Metodología de Desarrollo	63
4.6.1.	Workshop	63
4.6.2.	Workshop II	64
4.6.3.	Workshop III	66
4.6.4.	Workshop IV	67
4.6.5.	Workshop V.....	72
4.6.6.	Workshop VI.....	88
4.6.7.	Workshop VII.....	97
4.6.8.	Workshop VIII.....	99
4.6.9.	Difusión de los resultados de la Investigación	106
	Capítulo 5	107
5.1.	Discusión de la investigación.....	107
5.1.1.	Discusión taller V	107
5.1.2.	Discusión taller VI.....	109
5.1.3.	Discusión taller VIII.....	110
5.2.	Conclusiones.....	110
5.3.	Trabajos futuros	111
	Referencias.....	113
	Anexo 1: Equipo y dispositivos.....	122
	Anexo 2: Proyecto e-glance.....	124
	Anexo 3: Cuestionarios y Test	126
	Test diagnóstico inicial voluntarios	126
	Cuestionario 1	130
	Cuestionario 2	133
	Registro de Observación 1	134
	Test evaluación sonidos 3d en entornos virtuales	135
	Recogida de datos eGlance	137

Montreal Cognitive Assessment.....	140
------------------------------------	-----

Lista de figuras

Fig. 1 Determinación de la agudeza visual, donde d es la distancia del paciente al optotipo y h es la altura ¹	25
Fig. 2 Enfermedades que causan la ceguera y deficiencia visual. (Fuente DP)	27
Fig. 3 Codificación espacial (Fuente: Adaptado de <i>Imagery and Human-Computer Interaction Lab</i> ⁴).....	31
Fig. 4 Mecanismo de orientación de invidentes (Fuente: DP)	34
Fig. 5 Dispositivos de Substitución Sensorial a) Electro-Táctil. b) Hápto-acústico. (Fuente: PDP)	37
Fig. 6 Bastón canadiense donado por la ONCE para el desarrollo del proyecto e-Glance.....	37
Fig. 7 Interfaces hápticas para entornos simulados. (Fuente: https://es.3dsystems.com/scanners-haptics)	38
Fig. 8. Navegación a) por espacios interiores y b) por espacios exteriores (Fuente: PDP)	41
Fig. 9. Mapa táctil para reconocimiento del entorno (Fuente: Inclusión social y educativa ¹⁰) ..	42
Fig. 10 Sistema con detección RFID (Fuente: DP)	43
Fig. 11 Sistema de visión artificial (Fuente: Second Sight. Gráfico P. Sánchez)	44
Fig. 12 a) Entorno real; b) Entorno Virtual; c) Realidad Mixta; d) Virtualidad Aumentada (Fuente: DP).....	45
Fig. 13 Técnicas de manipulación para exploración virtual. a) Apertura por RayCast; b) Apertura por ángulo; c) FoA esférico; d) FoA plano; e) FoA aumentativo. (Fuente: DP)	49
Fig. 14 Método de triangulación para obtener las coordenadas de la posición del usuario	52
Fig. 15 Huellas obtenidas con balizas Estimote en el Laboratorio de Instrumentación del Centro de Tecnología Biomédica (Fuente: DP).....	53
Fig. 16 Modelo de Información a) Entornos sencillos, b) Entornos complejos.....	59
Fig. 17 Foco de atención a) Plano (pFoA), b) Esférico (sFoA). (Fuente: DP).....	59
Fig. 18 Diagrama de secuencia del caso de uso "Detectar Obstáculos"	60
Fig. 19 Diagrama de secuencia del caso de uso "Localizar objeto en el entorno"	61
Fig. 20 Diagrama de secuencia del caso de uso "Explorar los alrededores"	61
Fig. 21 Zonas de seguridad establecidas en la primera aplicación de realidad virtual. (Fuente: DP)	64
Fig. 22 Objetos a escala distribuidos en el modelo de habitación empleada en el segundo Taller (Fuente: DP).....	65
Fig. 23 Resultados Workshop II (Fuente: DP)	65
Fig. 24 Zonas de Seguridad Frontal usadas en la segunda VRA (Fuente: DP)	66

Fig. 25 Resultados del III taller con usuarios ciegos (Fuente: DP).....	67
Fig. 26 Zonas de Seguridad establecidas para la exploración en el IV taller (Fuente: DP).....	67
Fig. 27. Esquema gráfico del V taller. a) Izquierda: zonas de seguridad durante la exploración de proximidad, b) Centro: Usuario, c) Derecha: Sistema de recolección de datos. (Fuente: DP)	73
Fig. 28 Vista cenital- escenarios virtuales. (Fuente: DP)	77
Fig. 29 Procedimiento: a) Habitación real b) Habitación virtual c) exploración d) modelo e) tareas.....	79
Fig. 30 Duración de la exploración	80
Fig. 31 Calidad del mapa cognitivo usando interfaces sensitivas de pitidos, voz y gestos	83
Fig. 32 Reconocimiento e Identificación de paredes, usando las interfaces sensitivas de voz ..	85
Fig. 33 Sonidos 3D empleados en el VI taller: a) Salida de potencia, b) Salida temporal (Fuente: DP)	88
Fig. 34 Casa inteligente virtualizado para el taller VI	89
Fig. 35 Tecnología aplicada en el VI taller	90
Fig. 36 Tiempo de navegación por recorrido, con tres interfaces de sonido y tres respuestas de potencia.....	92
Fig. 37 Hotel Ilunion virtualizado (Fuente: DP)	97
Fig. 38 Esquema gráfico VIII taller (Fuente: DP).....	99
Fig. 39 Laberinto construido para el VIII taller con usuarios.....	101
Fig. 40 Test de Montreal aplicado a los usuarios del VIII Taller	103
Fig. 41 Tiempo de navegación a través del laberinto.....	103
Fig. 42 Recuerdos diferidos de los participantes, durante el octavo taller a) Todos los participantes, b) Participantes con deterioro cognitivo.....	104

Lista de tablas

Tabla 1 Casos de uso para desarrollar el modelo de información	60
Tabla 2 Modelo de interacción del usuario con la aplicación	62
Tabla 3 software de soporte nativo a plataformas móviles	62
Tabla 4 Participantes en el primer taller de trabajo del proyecto e-Glance	64
Tabla 5 Patrones de vibración, evaluados durante el IV taller con usuarios ciegos	68
Tabla 6 Patrones de tonos fijos según el tipo de objeto	68
Tabla 7 Patrones de tonos fijos elegidos y sugeridos por los participantes durante el IV taller.....	68
Tabla 8 Patrones de voz para activación de modo de exploración remota y de proximidad.....	69
Tabla 9 Patrones de voz para el reconocimiento de una o dos ventanas dentro del FoA ..	69
Tabla 10 Patrones de voz para el reconocimiento de una pared	70
Tabla 11 Patrones de voz para avisar sobre objetos que se sitúan en la zona de seguridad frontal del avatar	70
Tabla 12 Patrones de voz para el reconocimiento de objetos que entran y salen de las zonas de seguridad laterales	70
Tabla 13 Patrones de voz para la orientación del usuario	71
Tabla 14 Patrones de voz para referenciar dos objetos cercanos en el entorno virtual	71
Tabla 15 Patrones de gestos.....	72
Tabla 16 Interfaces s de pitido	73
Tabla 17 Interfaces s de voz	74
Tabla 18 Interfaces s de gestos	74
Tabla 19 Variables evaluadas durante el V taller	75
Tabla 20 Nomenclatura y variables de estudio para el mapeo del espacio	76
Tabla 21 Configuración de las aplicaciones de usuario	78
Tabla 22 Efectividad del proceso de exploración (%).....	81
Tabla 23 Resumen de los resultados de la selección del modelo y el cuestionario	81
Tabla 24 Porcentaje de objetos que han sido identificados incorrectamente	82
Tabla 25 Results: Identification of obstacles	82
Tabla 26 Resultados de la prueba de Friedman (ubicación de objetos)	82
Tabla 27 Ubicación de estructuras: Mantel-Haenszel's Test.....	82
Tabla 28 Cumplimiento de las tareas	84
Tabla 29 Variables de estudio en el VI taller	91
Tabla 30 Resultados de trayectorias y precisión	93

Tabla 31 Utilidad de la herramienta de navegación.....	94
Tabla 32 Resultados, cuestionarios sobre usabilidad.....	95
Tabla 33 Variables evaluadas durante el V taller	100
Tabla 34 Configuración de las aplicaciones de usuario	101
Tabla 35 Efectividad del proceso de navegación (%)	104

Lista de acrónimos

AV	Agudeza Visual
CC	Con licencia Creative Commons
DoF	Grados de libertad o número de movimientos independientes
DP	Desarrollo Propio
EV	Entornos Virtuales
pFoA/sFoA/noFoA	Foco de Atención plano/esférico/sin foco
FSZ	Zona de seguridad frontal
GPS	Sistema de posicionamiento global
GIS	Sistema de información geográfico
HRTF	Función de transferencia del movimiento de la cabeza
LSZ	Zonas de seguridad lateral
MP3	Formato de compresión de audio digital
O&M	Orientación y Movilidad
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONCE	Organización Nacional de ciegos en España
PDP	Imágenes de dominio Público
RVA	Aplicaciones de realidad virtual
RV	Realidad Virtual
RA	Realidad Aumentada
RM	Realidad Mixta
RFID	Identificación por radiofrecuencia
RRS	Intensidad de la señal recibida
SDK	Kit de desarrollo de Software
UML	Lenguaje unificado de modelado
VLV	Comunicación por luz visible
WCAG 1.0	Web Content Accessibility Guidelines 1.0
WIFI	Red inalámbrica para la interconexión de dispositivos electrónicos

Introducción

“La evidencia es a los ojos del espíritu lo que la visión a los del cuerpo”

Antonio Gaudí

La visión es el principal sentido usado por el ser humano para comprender el mundo que le rodea, para realizar actividades diarias, para contemplar o deleitarse de la naturaleza, el arte y la familia y cuando este sentido se ha deteriorado en gran medida por alguna enfermedad o accidente, o se perdió en su totalidad al nacer, en la niñez, juventud o de adulto; las personas se vuelven vulnerables, dependientes e inseguras. Para ayudar a las personas con ceguera a alcanzar una mayor grado de independencia en sus actividades diarias o laborales y una mayor integración e inclusión en la sociedad actual, será necesario conocer como ellos comprenden y reconocen su entorno, como quieren ser informados sobre la presencia de objetos o eventos a su alrededor, que tecnologías se pueden adaptar o desarrollar para brindar asistencia cuando van a diferentes sitios; de forma que ellos sean capaces de explorar el mundo por su cuenta, haciendo su propia planificación y tomando sus propias decisiones.

La pérdida de la visión tiene un fuerte impacto en los nuevos ciegos, quienes ven disminuida su autoestima y confianza para desarrollar actividades cotidianas. La carga mental para comprender el espacio y la distribución de los objetos en un lugar desconocido es elevada y requiere de apoyo emocional, entrenamiento y además ayudas tecnológicas, que les permita alcanzar mayor seguridad y confianza durante su desplazamiento. Por otro lado las personas que nacen ciegas o son ciegos a temprana edad, adquieren otro tipo de destrezas que facilita su integración e interacción con el mundo que les rodea, incluso algunos de ellos pueden actuar como si tuvieran visión [1].

En convenio con la cátedra Indra- Fundación Adecco, el 01 de diciembre de 2014, el Centro de Tecnología Biomédica de la UPM inició el desarrollo del proyecto denominado e-Sight, que proponía generar un nuevo paradigma laboral para personas ciegas mediante aplicaciones de realidad aumentada. El nombre del proyecto se cambió el 23 de marzo de 2015 a e-Glance o mirada electrónica (Anexo 2: **Proyecto e-glance**); que es una herramienta de realidad aumentada pensada para informar al trabajador invidente del estado del contexto físico que le rodea en tiempo real, en forma similar a como el sentido de la vista lo hace para los videntes. Este proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Bioinstrumentación y nanomedicina del CTB y su desarrollo tiene objetivos sociales y tecnológicos, que permitirían aumentar la autonomía de las personas ciegas, mejorar su calidad de vida y proporcionar información adaptada a sus necesidades. El proyecto e-Glance sentó la base para el desarrollo de la presente tesis doctoral y otra tesis y trabajos de finales de carrera y máster, que se han ido presentando a lo largo de estos años. La renovación del proyecto e-Glance ocurrió en mayo de 2016 y su finalización está prevista en octubre del 2018.

La realidad aumentada parece reducir el sobreesfuerzo cognitivo y emocional del ciego para tomar decisiones que aumenten su productividad, seguridad y satisfacción personal; por tal razón en este trabajo, se han desarrollado un grupo de aplicaciones para dispositivos móviles y tabletas, que utilizan un conjunto de interfaces sensitivas vibro-táctiles-auditivas y otro conjunto de interfaces cognitivas, que juntas en una aplicación de realidad virtual, permiten al usuario adquirir el suficiente conocimiento del entorno, para hacer una representación mental de ese espacio.

El mundo virtual integra la información de objetos y personas para recrear la realidad. Los cambios relevantes, pueden ser actualizados en forma asíncrona, debido a que la mayor parte de los objetos se mantienen estáticos en una buena medida de tiempo. El móvil o la tableta se convierte en un dispositivo de entrenamiento y ayuda para la navegación por interiores, cuando la aplicación accede al conjunto de sensores integrados para obtener la orientación y movimiento del usuario en la escena recreada.

Se estableció un modelo de información de base para definir como el usuario accede a la información del entorno y a partir de este se empezaron a construir las aplicaciones de prueba con usuarios. Se definieron entornos de prueba con un número limitado de objetos y estructuras. Se limitó el número de interfaces sensitivas, según la capacidad del equipo y los recursos disponibles, para plantear el diseño de la investigación y las hipótesis a demostrar durante el proceso de investigación.

Se desarrollaron y probaron ciento veinte aplicaciones con cuatro interfaces sensitivas y una de tres interfaces cognitivas para la exploración virtual anticipada; que fueron probadas con veinte participantes ciegos y cinco de muy baja visión, con el objetivo de determinar la utilidad, eficiencia y eficacia de las interfaces sensitivas implementadas y para conocer el nivel de aceptación del usuario respecto al uso de esta herramienta.

También se desarrollaron y probaron seis aplicaciones para la navegación dentro de una casa inteligente perteneciente a la UPM, se utilizaron tres curvas de respuestas y tres tipos de sonidos, con objeto de definir cuál era el más eficiente y preciso durante la navegación por espacios desconocidos.

Finalmente dieciséis aplicaciones para la navegación por interiores desconocidos, con catorce invidentes, usando sonidos 3D fueron construidos, con objeto de determinar la eficiencia de la herramienta y la carga cognitiva empleada por los participantes.

Debido a la gran cantidad de conceptos relacionados con la presencia de objetos, se requirió definir una terminología apropiada para informar sobre cómo se presentan los objetos en el entorno [2], como presentar los avisos de advertencia para evitar obstáculos y como dar a conocer al usuario que su avatar está caminando en el espacio virtual y las unidades de medida para localizar y ubicar objetos y estructuras interiores. El desarrollo, la planificación y ejecución de las experiencias con usuarios se realizaron en el transcurso de cuatro años, en ocho talleres de trabajo, contando con un equipo de investigación de dos doctorandos y entre uno y tres estudiantes de grado, que entraron y salieron del proyecto a lo largo del tiempo, luego de completar sus estudios.

Estudios sobre el desarrollo del conocimiento espacial en personas ciegas indicaron que el tipo de información proporcionada durante una tarea espacial puede modular su comportamiento y desempeño [3] y además mostraron que la asistencia verbal es importante para superar muchos desafíos en cuanto a movilidad y orientación; por tal razón se consideró que la realimentación auditiva durante la interacción con la aplicación, debía contribuir más ampliamente en la construcción del mapa cognitivo que otras interfaces, también se consideró importante el uso de pitidos y vibración para avisar sobre obstáculos cercanos y los gestos para el control de la información que se suministra al usuario.

Las visitas virtuales anticipadas mediante aplicaciones de realidad virtual tuvieron buena aceptación, un alto porcentaje de eficiencia y eficacia en el reconocimiento de objetos y una aceptable calidad del mapa cognitivo elaborado. Los usuarios solicitaron una herramienta más perfeccionada, que por un lado integre las aplicaciones móviles para la exploración virtual, con ayudas de navegación para interiores. Esto último requiere la instrumentación del sitio para navegar en tiempo real. En este trabajo se usaron sonidos espaciales y se emplearon sensores que detectan el avance en profundidad y distancia del usuario en las aplicaciones móviles, minimizando la información vinculada a la distancia y posición de los obstáculos dentro del entorno y facilitando la navegación por interiores.

Con las herramientas desarrolladas, las personas ciegas fueron capaces de explorar escenarios virtuales desconocidos en forma anticipada, adquiriendo la suficiente confianza y conocimiento del sitio, para realizar tareas en el mundo real. Además fueron capaces de navegar por el interior de un escenario desconocido en tiempo real, que fue previamente virtualizado e instrumentado. A futuro se integrará la exploración remota que alcanzó mejores resultados con la navegación por rutas predefinidas usando sonidos 3D en una aplicación, que podría alcanzar la suficiente aceptación por parte del usuario y de las organizaciones vinculadas a la ceguera, como para usarlas en los lugares convenidos entre la Universidad y la Sociedad.

Estructura de la tesis

La tesis se estructura en dos secciones, divididas en cinco capítulos y tres apéndices. En este apartado se da un vistazo general de la organización de este documento, para facilitar la lectura y el entendimiento del trabajo desarrollado. A continuación se resumen los contenidos de los capítulos en mención, con mayor detalle:

Sección I: Estado del arte

Capítulo 1: Principios de la ceguera

En este capítulo se presenta una revisión del estado del arte sobre la ceguera, sus causas y consecuencias, las barreras que enfrentan los ciegos en su vida cotidiana, la adaptación de su cerebro a la condición de ciego, como ellos ven el mundo que les rodea, como se orientan y mueven por entornos desconocidos.

Capítulo 2: Tecnologías de soporte para la orientación y movilidad de las personas ciegas

En este capítulo se resume los instrumentos, dispositivos y sistemas encontrados en la actualidad, que facilitan el desplazamiento de las personas ciegas por interiores y exteriores, para obtener una mayor autonomía durante su movilidad.

Capítulo 3: Objetivos e Hipótesis

En este capítulo se describe los objetivos del proyecto de investigación y las hipótesis planteadas a lo largo del proyecto; que dieron lugar a establecer la relación entre las variables utilizadas durante la investigación.

Sección II: Trabajo de Investigación

Capítulo 4: Interfaces sensitivas en aplicaciones de realidad virtual y aumentada para invidentes

Este capítulo presenta la metodología utilizada para el desarrollo de las aplicaciones de realidad virtual y aumentada utilizadas durante la exploración y navegación por entornos interiores desconocidos. Ocho talleres con usuarios se describen como base del desarrollo metodológico. En cada taller se detallan las interfaces sensitivas que fueron motivo de estudio y como se fueron perfeccionando con la participación de usuarios invidentes, cuando se evaluaron en tareas de exploración de proximidad y navegación por rutas predefinidas.

Capítulo 5: Discusión de los resultados, conclusiones y trabajos futuros

En este capítulo se comparan los resultados de este estudio con otros similares, para establecer el avance producido en el tema investigado y finalmente se presentan las conclusiones del estudio realizado y los posibles trabajos futuros.

Sección I: Estado del Arte

Capítulo 1: La Ceguera

Capítulo 2: Tecnologías para la Orientación y Movilidad

Capítulo 3: Objetivos e Hipótesis

Capítulo 1

Principios de la ceguera

“Hay una condición peor que la ceguera, y es ver algo que no es”
Thomas Hardy

RESUMEN: En este capítulo se presenta una revisión de los conceptos más relevantes vinculados a la ceguera, sus causas y consecuencias, las barreras que enfrentan los ciegos en su vida cotidiana, la adaptación de su cerebro a la condición de ciego, como ellos ven el mundo que les rodea y como se orientan para moverse por entornos desconocidos.

1.1. La ceguera, principios y conceptos

La ceguera se considera a la pérdida grave o total de la función visual, hay ciegos que tienen ligeros visos de percepción de la luz y otros que no ven nada en absoluto. Quienes conservan resto de visión y pueden distinguir formas a cortas distancias se denominan deficientes visuales. Una medida para determinar la capacidad de percibir o identificar objetos es la agudeza visual (AV), que se define como la inversa del ángulo (α) con el que se resuelve el objeto más pequeño identificado sobre un optotipo impreso o proyectado (Fig. 1). Según la OMS, la ceguera se da cuando la agudeza visual de ambos ojos, una vez corregidos, es igual o inferior a 0,05 en la Escala de Wecker [4]; en España su valor en esta escala es igual o inferior a 0,1 y en cada país hay ligeros variantes en su designación.

Fig. 1 Determinación de la agudeza visual, donde d es la distancia del paciente al optotipo y h es la altura¹

La ceguera puede ser congénita o adquirida, la congénita se presenta al nacer o poco después, la adquirida se produce por una enfermedad ocular que se desencadena a lo largo de su vida por múltiples factores como una lesión, malos hábitos de vida, falta de tratamiento o un accidente fortuito. Hasta el momento no hay cura para la ceguera, sin embargo se han realizado varias cirugías con células madre, que han logrado restaurar la visión a personas con enfermedades relacionadas con la degeneración macular².

¹ Fuente: MARTIN & VECILLA (2008). Manual de Optometría. <http://media.axon.es/pdf/80824.pdf>. Capítulo 1. Pg.3

² Degeneración Macular: Enfermedad relacionada con la edad, que afecta a la retina.
<https://medlineplus.gov/spanish/maculardegeneration.html>

El nivel de AV sirve para determinar grados de incapacidad y para cuantificar la pérdida de visión con propósitos legales, existen diversos opto-tipos para su determinación, uno muy usado es la Carta de Snellen, que consiste en renglones de letras y números de tamaños graduados, que se coloca a más de cinco metros de distancia del paciente; pero además hay una gran variedad de pruebas que se pueden utilizar para valorar este parámetro. A veces se usa también el valor conocido como *campo visual* que es el área en la cual los objetos se pueden ver, mientras la persona enfoca los ojos en un punto central (< 10% ceguera legal), o la denominada *eficiencia visual* que emplea filtros de difusión delante de los ojos para determinar el nivel de degradación de la visión, esta última forma es empleada principalmente por la Asociación Médica Americana desde 1955³.

El lenguaje de los signos o Sistema Braille desarrollado en 1825, tuvo una gran acogida a finales del siglo XIX para la educación de personas ciegas porque se elaboró sobre la base de una transliteración fonética que se emplea para reproducir las palabras, por ello los signos difieren según la lengua hablada; parece ser que la lectura en Braille favorece la concentración y por tanto el estudio y el aprendizaje de las personas ciegas [5]. En la Unión Europea existe directivas para escribir en Braille en los ascensores y medicamentos, en Japón usan el Braille en los paneles de las estaciones de ferrocarril y metro y en varios accesos e informativos; en la actualidad con el advenimiento de nuevas tecnologías en el acceso a la información, su uso se está reduciendo, porque las personas ciegas tienen a su alcance máquinas que leen texto normal y fotografiado, lectores de pantalla y vastas bibliotecas a las que se accede de manera gratuita y funcional; esta brecha tecnológica informática ha comenzado a delinear toda una cultura auditiva en detrimento de la escritura y lectura por signos, sobre todo en las generaciones jóvenes.

La ceguera se considera la forma más grave de discapacidad visual, porque afecta a las personas en su capacidad para realizar tareas cotidianas, en sus relaciones sociales y en su trabajo. La navegación juega un papel fundamental en la vida, porque permite a las personas moverse libremente y con seguridad. El entorno heterogéneo es fácilmente percibido por las personas con visión, pero es difícil de conocer por las personas con pérdida de visión severa o ciegos totales. Una tarea desafiante para estas últimas es la navegación por espacios no familiares; por esta razón en esta investigación, se pretende ayudar a las personas con ceguera a familiarizarse con el interior de entornos desconocidos, mediante aplicaciones de realidad virtual y aumentada.

El desplazamiento de las personas con ceguera requiere de un entrenamiento temprano, dilatado en el tiempo, en condiciones familiares, sociales y de maduración psicosomática idónea. Hay ciegos que puede moverse con facilidad suficiente como para llegar lejos de casa, otros que tienen movilidad restringida a trayectos cortos cercanos o adyacentes a su sitio de trabajo o domicilio, en los cuales se nota movimientos robóticos e inseguros y otro grupo que son incapaces de moverse del umbral de su casa sin la ayuda de otra persona. El ámbito laboral exige un esfuerzo complementario, para hacerlo con las garantías mínimas de seguridad. Hay dos grupos de ciegos haciendo labores, uno que tienen un afán de auto superación y tienen éxito en el desempeño de sus tareas por sí mismos y los otros que adoptan una actitud pasiva, teniendo que apoyarse en terceras personas para realizarlo, esta inhibición auto limitante no propicia el uso de la tecnología para facilitar una mejor adaptación a sus puestos de trabajo, sino la dependencia en el mundo laboral; condición que debe superarse mediante el apoyo psicológico y una maduración psicosocial [6].

³Manual d Optometría. R. Martín & G. Vecilla (2008), Cap.1 Agudeza Visual

1.1.1. La ceguera en el mundo actual

Hay treinta y seis millones de personas ciegas en el planeta [7] y más de 253 millones de personas con deficiencia visual, de las cuales un ochenta y siete por ciento viven en países en vías de desarrollo. En 2010, el 81% de las personas ciegas y el 65% de las personas con ceguera moderada o grave son mayores de 50 años, en quienes empieza a advertirse un deterioro cognitivo leve o pérdida de memoria [8], lo cual debe ser considerado cuando se desarrollan nuevos servicios y aplicaciones que fomenten la independencia y seguridad de los invidentes. El 28% de las personas que son ciegas trabajan, el 3.5% son niños menores de 15 años y la tasa de crecimiento anual de esta enfermedad se estima en el 2.6% debido al incremento de la esperanza de vida de la población. Esta enfermedad afecta en mayor porcentaje a mujeres que a hombres, aparece en mayor medida donde se carece de servicios básicos, o no hay acceso a servicios médicos [9].

El costo financiero global de la discapacidad visual en todo el mundo en 2010, fue de \$2,954 mil millones USD. Los costos totales por persona varían sustancialmente entre las regiones según el tamaño de la población, la prevalencia y una variedad de factores de salud y económicos, que se compone de dos factores: los costos directos que tienen relación con la salud de la pérdida de visión, se estimó en US \$ 2,302 mil millones y los costos indirectos debido a las pérdidas de producción, cuidado informal y pérdidas de bienestar, se estimó en US \$ 652 mil millones [10].

En la actualidad hay una reducción continua en la prevalencia estandarizada por edad de la ceguera y la discapacidad visual, sin embargo, el crecimiento y el envejecimiento de la población mundial está causando un aumento en el número de personas afectadas [11].

1.1.2. Principales enfermedades causantes de la ceguera

Las enfermedades oculares crónicas causan la pérdida de visión. Las cataratas no operadas y los errores de refracción no corregidos se consideran las principales causas de ceguera, sin embargo la detección precoz de la mayor parte de las enfermedades que provocan discapacidad visual y ceguera se pueden prevenir o tratar mediante intervenciones y rehabilitación [11].

Fig. 2 Enfermedades que causan la ceguera y deficiencia visual. (Fuente DP)

Hay factores de riesgo que desencadenan estas enfermedades como la edad, el consumo de alcohol, tabacos, factores genéticos y ambientales entre otros. En los últimos 20 años ha habido una mayor concientización y sensibilización sobre los problemas que conlleva esta enfermedad, los gobiernos involucrados en *planes de salud ocular universal* han aumentado los servicios oftalmológicos y debido al mayor desarrollo socioeconómico, se está realizando una rehabilitación adecuada, que permitiría a las personas con diversos grados de discapacidad visual disfrutar de una mejor calidad de vida, alcanzar sus objetivos y participar de manera activa y productiva en la sociedad actual. En la Fig. 2 se presentan las enfermedades más relevantes causantes de la deficiencia visual y la ceguera en la actualidad.

1.1.3. Barreras para accesibilidad

Los problemas objetivos que entrañan la ceguera no deben verse agravados por la intervención perturbadora de prejuicios equivocados, ni limitaciones negativas imaginarias. Sus necesidades, deseos y aspiraciones al igual que las personas con visión son el acceso a oportunidades vitales, educativas y laborales que se adecuen a sus necesidades; quieren disponer de tecnología sencilla y discreta a fin de reducir al mínimo los inconvenientes objetivos que inevitablemente conllevan la ceguera y la disminución visual grave [12]. La accesibilidad presenta cuatro dimensiones que son: no discriminación; accesibilidad física; accesibilidad económica y acceso a la información.

Cuando una persona ciega recorre un nuevo lugar, debe superar barreras arquitectónicas mediante el uso de un bastón o con la ayuda de un perro guía; el entorno suele señalizarse y etiquetarse con marcas visuales y signos que no son apropiados para personas ciegas. Como ayuda a estos problemas, han surgido las tecnologías sociales y de adaptación, que compensan las limitaciones funcionales, mediante mejores condiciones de accesibilidad al espacio físico [13] y con el uso de dispositivos que proporcionan información que se adaptan a las capacidades del usuario; de forma que estos puedan acceder a entornos y utilizar productos y servicios disponibles. Sin embargo la limitada o inexistente información no visual en la mayoría de lugares públicos, sigue siendo causa de accidentes y frustración para las personas que no ven, quienes quieren acceder a todos los sitios y servicios disponibles, al igual que lo hacen el resto de personas [14].

Enfermedades como la ceguera afectan sobre manera a la población con menos recursos, por ello algunos gobiernos han implementado acciones como la integración del servicio ocular en la atención primaria y secundaria y el fortalecimiento de las asociaciones internacionales, que brindan asistencia y ayudas técnicas a las personas con discapacidad.

El uso de ordenadores para acceder a la información es otro de los problemas para las personas ciegas, donde el monitor y el ratón son poco útiles, aunque lo utilizan no con la misma precisión que las personas con visión normal, ya que no pueden saber qué ocurre en la pantalla al desplazar el ratón o qué aspecto tiene el hiperenlace que están pulsando. Por ello, es habitual que usen el teclado para desplazarse por los enlaces de la página. Las imágenes, fotos, gráficos, diagramas, elementos resaltados y tablas complejas no son útiles a menos que estén audio-descritas. Los sitios web pueden y deben desarrollar pautas para accesibilidad, mediante herramientas gratuitas en línea, para orientar de mejor forma a los usuarios invidentes, WCAG 1.0 es un estándar a nivel internacional en cuanto a accesibilidad web.

Mientras que la tecnología de asistencia ha contribuido a la mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, con importantes avances en los últimos años, las personas con discapacidad visual todavía se enfrentan a enormes limitaciones en cuanto a su movilidad, como pasar de un lugar a otro evadiendo obstáculos, la búsqueda de puertas de acceso o el mantenerse en la pista a través de una trayectoria escogida, hasta llegar al destino previsto.

Los sistemas de navegación se han convertido en muy importante base y ampliamente disponibles en los últimos años, para encontrar la ruta más rápida o la óptima para un destino específico o simplemente para recuperar la información contextual sobre el medio ambiente y puntos de interés para los invidentes [15]. Estos sistemas deben trabajar en el nivel de percepción, debido a que la deficiencia en el canal visual debe ser compensada con información suministrada por los otros sentidos y a nivel conceptual, que se centra en el desarrollo de estrategias espaciales apropiadas para la exploración eficiente de un espacio y la generación de rutas de navegación eficaces [16].

1.1.4. Plasticidad cerebral en personas con ceguera

Un estudio realizado con ciegos tempranos y tardíos, comprobó mediante imágenes cerebrales que la corteza visual de los ciegos no se ve afectada por la ceguera [17]; cuando los sujetos de prueba realizaron una lectura con sus dedos sobre una línea de Braille, mostraron una intensa actividad en las partes del cerebro que normalmente trabajan con procesos de información visual. Además tareas espaciales parecen activar las regiones occipital y parietal del cerebro (área dorsal), mientras que las tareas visuales relacionadas con la forma y el color activan regiones ínfero-temporales [18].

En otro estudio se comparó el rendimiento del comportamiento de ciegos y videntes con ojos vendados, mediante imágenes de resonancia magnética funcional, en una tarea de detección táctil de simetría [19]; siendo la simetría un principio de organización omnipresente en el mundo visual, se pudo detectar que estos patrones simétricos también se dan a través de modalidades no visuales como el tacto. En dicho estudio se encontró que los individuos ciegos mostraron significativamente un rendimiento superior en la detección de patrones simétricos táctiles en comparación con los videntes de control; contribuyendo a la creciente evidencia que apoyan que las otras capacidades son superiores en los ciegos debido a la neuroplasticidad cerebral; porque la arquitectura del cerebro no es fija, y sin imágenes de proceso, la corteza visual puede reorganizarse para nuevas funciones. En un estudio realizado en 2003 [20] se encontró que los sujetos ciegos superaron constantemente a los videntes en las pruebas de memoria verbal, su rendimiento según los autores es causado por el tratamiento adicional que requiere llevar el objeto a las regiones visuales del cerebro. En otro estudio en sujetos ciegos sugiere que la activación de la corteza visual es detectable en la tarea de conteo auditivo y por tanto en la discriminación auditiva y se encontró en un estudio con dieciocho invidentes [21] que emplean mejor la información auditiva después de la pérdida del canal de información visual.

1.1.5. Percepción táctil, olfatoria y auditiva

Los seres humanos usamos la visión y la audición como el foco principal de atención en el dominio espacial; la audición proporciona información relevante sobre el medio y, al igual que la visión, es un sentido global, es decir con él se perciben los estímulos de la totalidad del entorno, como distancia, acontecimientos que tienen lugar en el espacio inmediato y facilidad en la identificación y localización de objetos y características ambientales. El olfato se subestima, pese a la excelente discriminación de olores con que cuenta [22]. En el dominio temporal, siendo la visión y la audición una entrada constante, la entrada olfativa es discreta, esto significa que si se introducen artificialmente interrupciones temporales similares en la visión y la audición, se produce una pérdida de captura atencional, es decir solo las concentraciones inusualmente altas de olores desplazan espontáneamente la atención hacia el olfato; por lo tanto, la captura atencional en el olfato es mínima.

En un estudio [23] se comparó el rendimiento de 4 modalidades sensoriales en una tarea de memoria de ubicación, determinándose que la visión es el sentido superior en este tipo de tarea, respecto a los otros, pero además se demostró que las personas pueden aprender a recordar lugares específicos a través de su sentido del olfato, de hecho, la capacidad de recordar ubicaciones por el olor parece comparable a la capacidad de audición y el tacto.

La capacidad para detectar la profundidad es esencial para estimar la distancia que nos separa de las fuentes auditivas, hay estudios que han demostrado superioridad de los ciegos tempranos en realizar juicios de profundidad relativa respecto de personas con visión normal, así mismo se les atribuye una audición espacial superior en el plano horizontal, probablemente debido a la compensación y mejor uso de las señales auditivas; pero los déficits en el plano vertical o en el desarrollo de tareas alocéntricas [24], probablemente se deba a la falta de calibración del sistema visual.

En un estudio con 94 personas ciegas se evaluó la memoria olfativa y se observó una disminución relacionada con la edad, además, la diferencia entre personas ciegas y videntes menores de 40 años no fue significativa, pero las personas de mayor edad superaron a sus homólogas ciegas, lo que no evidencia ningún efecto positivo de la discapacidad visual en la memoria olfativa [25].

El tacto es de suma importancia para crear vínculos sociales y para el desarrollo cognitivo y perceptivo. Las personas con ceguera aprenden principalmente tocando y escuchando, pueden usar solo el sentido del tacto para explorar las partes del cuerpo u objetos sobre los que aprenden, pero si se complementa con alguna descripción auditiva el aprendizaje es más completo. Según un estudio, las personas que nacen con ceguera son capaces de detectar información táctil más rápido que las personas con visión, esto implica la confianza en el sentido del tacto como el disparador de la mejora de la agudeza espacial táctil en los ciegos [26].

Los estímulos de todas las modalidades sensoriales se pueden vincular a los lugares y por lo tanto pueden servir como señales de navegación. El conocimiento reunido de todas las modalidades sensoriales se puede utilizar para desarrollar una representación cognitiva de un entorno desconocido; más la optimización auditiva es uno de los principales objetivos de los programas de rehabilitación para invidentes.

Un estudio que analiza las preferencias en el uso de los sentidos compensatorios de la visión en personas ciegas, determinó que la audición seguida del tacto, la ecolocalización, luego del olfato y por último el gusto son preferidos por los participantes [27].

Los individuos que sufren ceguera temprana o tardía pueden aprender a entender el lenguaje hablado a una mayor velocidad que los oyentes con visión normal [28], cuyo aprendizaje está limitado por el momento de la pérdida de visión; también hay evidencias de un ajuste espacial auditivo mejorado y una mayor precisión de reconocimiento de la dirección de los cambios de tono, debido a la reorganización cerebral estructural y funcional, que tiene un impacto en las habilidades perceptivas, atencionales y cognitivas del individuo. Un estudio realizado con 15 sujetos con ceguera, determinó un rendimiento auditivo superior, en el procesamiento temporal de frecuencias de sonido no verbales [29].

1.2. Cognición espacial

Es el conocimiento y la representación interna o cognitiva de la estructura, entidades y relaciones de espacio de un individuo [30]. Factores de índole social, psicológicos y culturales se relacionan con el desarrollo de la cognición espacial, que se entendería como la capacidad de orientarse y moverse por el entorno y la facilidad para establecer relaciones. Su uso permite a las personas almacenar información sobre su entorno, que luego utilizan para tomar decisiones espaciales. Envuelve aspectos dinámicos (navegación) y estáticos (memoria).

Las personas con visión normal y ciegos tardíos tienen la ventaja de imaginar lugares, colores, situaciones, la cara de alegría o tristeza de un ser querido; los ciegos de nacimiento o con ceguera congénita no pueden imaginarse el mundo como nosotros, su imaginación no puede ajustarse completamente a la realidad, puede haber más o menos cosas. Existe evidencia que la ceguera de aparición temprana afecta adversamente el desarrollo psicomotor, social y emocional [31,32].

La orientación es la capacidad de comprender qué hay alrededor y establecer las relaciones espaciales entre los objetos y personas que les rodean y la movilidad es la capacidad de ir de un lugar a otro; la ceguera reduce estas dos condiciones a un espacio más limitado, lleno de otras sensaciones, donde todo se abarca con las manos, y el oído capta los sonidos que sustituyen a la visión del mundo que les rodea.

La percepción del espacio es fundamental para numerosas actividades humanas, por ello la experiencia visual es importante en el desarrollo de la cognición espacial (Fig. 3), porque proporciona la capacidad de internalizar y representar las relaciones espaciales entre los objetos del entorno y el propio cuerpo [31].

Fig. 3 Codificación espacial (Fuente: Adaptado de *Imagery and Human-Computer Interaction Lab*⁴)

⁴Modified image from http://www.nmr.mgh.harvard.edu/mkozhevnlab/?page_id=308

Aunque el tacto proporciona información egocéntrica del espacio, en un estudio reciente se demostró que los individuos invidentes pueden aprender hápticamente los mapas espaciales [33] que fueron comparables a los mapas basados en la visión, lo que permitiría hacer también representaciones alocéntricas del espacio. En la ceguera, el sonido se convierte en un factor importante para mantener una línea continua y la dirección del movimiento, esta habilidad es una evolución gradual de su aprendizaje; la capacidad de escuchar y determinar la ubicación del sonido de advertencia es esencial para conocer el entorno en el que se encuentra. Según Howard Gardner⁵ el razonamiento espacial de la persona ciega les permite traducir sensaciones táctiles en cálculos mentales de longitud y visualizaciones de forma.

Una persona se orienta basándose en las fuentes de sonido, y en los ecos reflejados en los objetos, en un estudio [1] se demostró que la audición era una condición necesaria y suficiente del sentido del obstáculo, sin embargo una gran mayoría de ciegos experimentan su sentido del obstáculo basado en sensaciones faciales. El sentido del obstáculo se basa en un sistema de aprendizaje inconsciente, es decir una persona aprende que, antes de encontrarse con un obstáculo tiene, invariablemente, una sensación auditiva de cierto tipo, sin estar consciente de él; a través del tiempo, tiene lugar un acondicionamiento, de esta manera, al aproximarse a un obstáculo el invidente experimenta un tipo especial de presentimiento; el invidente tiene conciencia de la presencia de un obstáculo, aunque es incapaz de describir cómo la tiene. Los sujetos no videntes también revelan una considerable habilidad discriminativa en tamaños y distancias a objetos, porque sus oídos reciben ecos de los objetos además de los producidos por el sonido de orientación. Con respecto a la fenomenología del sentido del obstáculo, los ciegos pueden dividirse en dos grupos: un grupo de sensación dérmica y un grupo auditivo. Los primeros experimentan una sensación dérmica en presencia de un obstáculo, a veces en los hombros, pecho, parte superior de la cabeza, nuca y cuello. El otro grupo sostiene que oyen aproximarse a los obstáculos, lo que podríamos decir es que las personas ciegas tienen una cierta habilidad para evitar los obstáculos, seguramente porque al estar expuestos a corrientes de aire variadas y variaciones de temperatura, ellos sienten más fácilmente como una parte de su cuerpo recibe estas sensaciones. También es posible que cuando una persona ha aprendido a sentir el obstáculo que se acerca, es probable que la tensión del potencial muscular surja principalmente en sus músculos faciales y en la región de su cabeza, experimentando una tensión en su rostro, y de esta manera ocurra un encadenamiento de hechos que indique la presencia de un obstáculo. Muchos ciegos tienen el hábito de producir sonidos de orientación artificiales, por ejemplo, mediante golpes de bastón, chasqueando los dedos, silbando, arrastrando los zapatos por el suelo y, así, sucesivamente; estos resultados se pueden optimizar mediante un adiestramiento sistemático; se ha demostrado que los componentes vestibulares también contribuyen significativamente a una orientación eco-acústica exitosa, mejorando la organización perceptual de las corrientes auditivas y facilitando la orientación en el espacio [32]. La medición del conocimiento adquirido, se realiza mediante tareas de apuntar con los dedos o la mano a un lugar, o la búsqueda de un camino, o el reconocimiento o almacenamiento en memoria de escenas estables o giratorias que pueden trasladarse a modelos en pequeña escala, entre otras formas comunes de externalización. En conclusión se puede decir que la integración de elementos sensoriales y motores ayuda a conocer el espacio alrededor del invidente.

⁵ Howard Gardner (11 de julio de 1943) Pennsylvania (EE.UU.) Psicólogo, profesor e investigador de la Teoría de las inteligencias múltiples. Premio Príncipe de Asturias. www.howardgardner.com

1.2.1. Carga cognitiva

La carga cognitiva es el esfuerzo mental, que hace un individuo para mantener temporalmente la información disponible para el procesamiento; se relaciona con la cantidad de memoria operativa impuesta al realizar una tarea en particular y con la dificultad asociada para realizar esta tarea [34]; su consideración es importante en el diseño de interacción con las aplicaciones de realidad virtual y aumentada, porque su consideración permitiría un mejor desempeño en las tareas previstas durante la investigación. La memoria de trabajo se puede ver beneficiada si se usan varios canales evitando sobrecargar uno solo. Individuos ciegos, que han superado los sesenta años, pueden sufrir un leve deterioro cognitivo y por tanto una tarea sencilla para otros, le puede suponer un mayor esfuerzo mental; este deterioro puede ser evaluado inicialmente con un test psicológico, para conocer la existencia de alguna disfunción cognitiva leve. Si este fuera el caso, los individuos tendrán disminuida su capacidad de percepción y cognición espacial y como resulta una mayor carga cognitiva. La carga cognitiva intensa tiene efectos adversos en la finalización de una tarea [35].

La carga cognitiva no puede ser medida directamente, así que algunos investigadores se apoyan en test de evaluación de dimensiones medibles, como la carga mental que indica el nivel de pericia del sujeto para cierto tipo de tareas, el esfuerzo mental que se mide cuando los participantes están realizando una tarea o inmediatamente después de terminarla y el desempeño medido como los logros cuantificables del aprendizaje. En este estudio se utilizó un segmento del test de Montreal [36], que evalúa disfunciones cognitivas leves, examinando habilidades como la atención, concentración, funciones ejecutivas, memoria, lenguaje, capacidades visuo-constructivas, cálculo y orientación.

1.3. Mapeo cognitivo

Los mapeos cognitivos son simulaciones de las estructuras de conocimientos y recuerdos arraigadas en el cerebro de una persona, que afecta el comportamiento espacial cotidiano y es utilizado por los invidentes para orientarse y moverse en un lugar.

Estas estructuras contienen supuestos, creencias, interpretación de los hechos, sentimientos y actitudes de la persona hacia el mundo en general. Los invidentes pueden hacer una representación espacial de un lugar desconocido, basado en la información que adquieren del entorno, mediante su propia percepción en el sitio, cuando lo visitan por primera vez, empleando mapas a relieve o mediante la descripción verbal hecha a detalle, de las relaciones y estructuras presentes en un lugar. El componente espacial contiene información de ubicaciones y movimiento, es decir, representa qué cosas hay y donde están. Según Cattaneo & Vecchi (2011) [37], las entradas combinadas de diferentes modalidades fortalecen las representaciones espaciales y se usan para desarrollar y aprehender estrategias de orientación y movilidad.

1.4. Técnicas de orientación y movilidad en personas ciegas

Las posibilidades de desplazamiento autónomo de las personas ciegas están sujetas a la construcción de un mapa cognitivo⁵ espacial de su propio entorno. Las técnicas de movilidad ayudan significativamente en la flexibilidad e independencia de personas con ceguera, su introducción es por lo general realizada por un instructor acreditado en orientación y movilidad (O & M), su adopción depende de la edad, habilidades, su capacidad de motivación y los medios de viaje disponibles.

⁵Mapa cognitivo, es la imagen espacial o el esquema mental de la información relevante y organizada del espacio, para conseguir desplazamientos eficaces por el entorno. Tomado de ONCE: Discapacidad visual y autonomía personal. Capítulo V.

El invidente debe conocer cuál es su posición, hacia dónde quiere ir, saber lo que le rodea, para trazar el camino a seguir y las alternativas existentes para llegar al destino. De ahí que son importantes los puntos de referencia, cualquier sonido, objeto, olor o percepción táctil (directa o indirecta) que facilite el reconocimiento del sitio por donde transita (Fig. 4), así como las claves ambientales (estímulo que afecta un sentido).

Fig. 4 Mecanismo de orientación de invidentes (Fuente: CC)

Estas técnicas se usan tanto para protección, como para aprender a viajar por áreas familiares y no familiares, y consiste en que el instructor va informando mientras se aproximan a obstáculos y elementos en el camino; los ciegos aprenden a usar los movimientos del cuerpo y la información ambiental (cambio en el nivel del suelo, sonidos y las texturas), para cubrir áreas estrechas, escaleras, bordillos, puertas y otros. Los giros implican control corporal, lateralidad, orientación, imagen espacial y relaciones espaciales, aspectos fundamentales para una movilidad independiente. Los invidentes aprenden también a detectar objetos de la cintura para arriba mientras se mueven de forma independiente a través del entorno y como deben protegerse de objetos como puertas, gabinetes abiertos, sillas y mesas.

Estas técnicas denominadas “cartografía cognitiva” incluyen la resolución de problemas y las habilidades perceptivas que les permiten aprender la posición y la relación con algunos objetivos principales que se encuentran en el mismo entorno; para lo cual es necesario tener un concepto de sí mismo y el desempeño de cada parte de su cuerpo y su relación con el medio ambiente, para finalmente, ser capaz de comprender cómo se relacionan entre sí varios aspectos del entorno. Dado que las habilidades de orientación son similares a las de la movilidad, las dos se enseñan simultáneamente.

La movilidad en interiores inicia por lo general desde la puerta de acceso siguiendo uno de los lados y regresando a la puerta para continuar con el siguiente lado, usando la técnica del perímetro, luego se continúa con el centro de la habitación, analizando lo que encuentra en el camino, también se tiene la exploración de cuadrícula que inicia en una esquina; también es posible usar la técnica en zigzag que es menos empleada y consiste en ir desde la puerta hacia los lados en forma oblicua.

La movilidad por exteriores se realiza en grados de dificultad progresiva, requiere el uso de puntos de referencia, por lo que inicialmente necesita la supervisión de una persona que le guíe durante el recorrido. También requieren el trazado de rutas que le permita llegar de una manera más sencilla al destino, estas pueden ser concretas o memorizadas y configuracionales, donde el invidente infiere su propio recorrido.

A partir de los dieciocho años de edad, cuando el usuario tiene una buena orientación y movilidad, puede solicitar un perro guía, que va donde la persona ciega le dirige. El perro sólo detecta los obstáculos, sin embargo proporciona mayor seguridad y autonomía al invidente.

1.5. Discusión

La caracterización de la ceguera, permite orientar al lector hacia el tipo de usuario que va enfocado el desarrollo de este trabajo, ellos conforman casi el 0.5% de la población mundial y al igual que el resto, tienen sus aspiraciones y necesidades intrínsecas. Sus otras capacidades como el tacto, la audición y la memoria parecen mejoradas sobre todo en ciegos tempranos, debido a las reconexiones neuronales que se producen en el transcurso del tiempo por la práctica y entrenamiento continuo en el uso de los otros sentidos.

La experiencia visual facilita la cognición del espacio; la falta de la visión a edades muy tempranas dificulta la percepción vertical del espacio, de ahí que la ceguera congénita tiene sus desventajas en cuanto al desarrollo del conocimiento espacial. Los deseos de superación de los invidentes coadyuvan en llevar una vida normal con un trabajo estable, con las limitaciones propias de la enfermedad, que se puede sobrellevar con una tecnología apropiada y discreta.

Por lo expuesto se puede decir que el gran desafío para los próximos años será trazar alternativas para la armónica convivencia entre tecnología y las necesidades individuales de los invidentes, basadas en sus otras capacidades funcionales; habrá que tomar en cuenta la necesidad de contar con herramientas sencillas y de bajo coste que permita el rápido y fácil acceso a la información no visual que se genere, además estas herramientas deberán ser lo suficientemente discretas y robustas, como ser aceptadas por los usuarios y para emplearlas con seguridad y confianza en donde se cumplan criterios concretos para su utilización.

Capítulo 2

Tecnologías de soporte para la orientación y movilidad de las personas ciegas

"Si pudiéramos empalmar los nervios de modo que la excitación de la oreja alimentara el centro del cerebro relacionado con la visión, y viceversa, "oiríamos el rayo y veríamos el trueno"" William James

RESUMEN: Este capítulo se presenta los dispositivos desarrollados hasta el momento que suplen al sentido de la visión, para facilitar la educación, el ocio, trabajo o la salud y las herramientas que apoyan la orientación y movilidad de las personas ciegas para navegar por ambientes interiores y exteriores.

2.1. Introducción

Las tecnologías inteligentes de asistencia para la discapacidad, están creciendo rápidamente. Se han desarrollado varias herramientas para apoyar las actividades diarias y mejorar la inclusión social de las personas ciegas [38], como son las ayudas durante la navegación por entornos desconocidos [39], para el mapeo cognitivo en interiores en visitas virtuales anticipadas [40] y como mecanismos de apoyo a la movilidad por exteriores, con tecnologías novedosas fundamentadas en la asistencia para la navegación, GPS, el internet de las cosas y procesamiento de señales.

Los mapas interactivos [41], maquetas y el entrenamiento con la ayuda de dispositivos de sustitución sensorial [42] son herramientas eficientes para la adquisición de conocimiento espacial; algunos presentan varias limitaciones, como es la necesidad de leer braille, que en la actualidad está siendo reemplazado por el uso de aplicaciones móviles con software de conversión de texto. Otras ayudas involucran usar el móvil para recibir asistencia de personas con visión normal, como el proyecto "By my Eyes", desarrollada por la Universidad de Stuttgart en Alemania⁶. Otros numerosos estudios demuestran las ventajas de usar entornos virtuales en el área de la cognición espacial, en la exploración de la espacialidad y como ayudas en la navegación, especialmente en poblaciones con ceguera y deficiencias cognitivas [43], debido a que permiten un control experimental más estricto que el trabajo en un entorno real y la facilidad de medir la influencia de los diferentes componentes que intervienen en cada estudio.

2.1.1. Dispositivos de Substitución Sensorial

Cada uno de los sentidos está conectado con el cerebro y su estimulación provoca una fenomenología distinta. La sustitución sensorial [44-46], consiste en aprovechar una modalidad sensorial para sustituir otra cuando esta segunda se ha deteriorado o no funciona. Requiere de un sensor que capture la señal no percibida y la transforme a otra capaz de ser percibida por el otro sentido activo o funcional. La información recibida por lo general es recabada por un sensor artificial y luego traducida en otro estímulo físico que puede ser utilizado por un sistema sensorial intacto e interpretado por el cerebro.

⁶<http://www.bemyeyes.org/>

La tecnología actual apunta a sustituir la información visual en información auditiva, estimulación táctil o su combinación; la sensación gustativa o el olfato están menos empleados, y su desarrollo es escaso [47]. Mediante los dispositivos de sustitución sensorial (SSD) se convierte la información visual en estímulos accesibles a otra tipo de modalidad sensorial. Específicamente, los dispositivos de sustitución sensorial para personas con discapacidad visual convierten la información *visual a táctil* o *visual a auditiva*.

Estudios sugieren que con el entrenamiento, los ciegos tempranos pueden lograr una representación del espacio que es equivalente a la de los videntes [42]; la sensación y la percepción proporcionadas por las SSD se han comparado con la visión real, según este estudio la corteza visual se puede estimular mediante tareas asociadas con el uso de estos dispositivos.

Fig. 5 Dispositivos de Substitución Sensorial a) Electro-Táctil. b) Hápto-acústico. (Fuente: PDP)

2.1.2. Dispositivos Hápticos⁷

El bastón para ciegos, es el primer dispositivo háptico creado para los invidentes. Tradicionalmente es una vara alargada que se construye en diferente tamaño y material, para adaptarse a las necesidades de cada persona. Ha sido utilizado desde 1930 por personas ciegas para moverse con mayor seguridad. Suele ser de aluminio o fibra de carbono, plegable o recto y tiene en la punta un sensor de textura que emite vibraciones y puede adoptar diversas formas (Fig. 6). Cuando toca el suelo, el bastón le llega a la axila del usuario. Su coste es bajo, peso ligero y con este se adquiere información sobre las regularidades del suelo y objetos cercanos; su uso le otorga un espacio personal a cada individuo que lo porta, sirve como protección, para evitar obstáculos mientras camina y para su identificación cuando son peatones.

Fig. 6 Bastón canadiense donado por la ONCE para el desarrollo del proyecto e-Glance

⁷Herbert Read (1893-1968) Háptica es el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo

Con el paso del tiempo se han popularizado otros variantes de bastones de ciego. Inventores de otros países [48], decidieron incluir sensores ultrasónicos para detectar obstáculos más allá del alcance del bastón y agregar vibraciones en el mango para advertir a los usuarios de posibles peligros en el camino. También se han desarrollado bastones virtuales portátiles que se componen de nodos de detección, que se llevan en las muñecas, la cintura y el tobillo del usuario; estos usan vibración y sonido para comunicar la proximidad del objeto al usuario, parece que su uso puede mejorar significativamente la navegación respecto al bastón blanco convencional. Los bastones con sensores de ultrasonidos [49] son más accesibles en coste que otras tecnologías para ciegos, estos codifican la distancia y ángulo en que se encuentran los objetos y proporcionan señales acústicas de presencia y proximidad. Se han patentado bastones con tecnología de ultrasonido [50,51], otros bastones usan sensores infrarrojos [52] y con menos frecuencia los que usan tecnología láser [53] para informar sobre objetos a corta distancia. Los bastones son y seguirán siendo por muchos años más el principal dispositivo háptico de soporte para la gente sin visión, porque prolonga la sensación del toque que perciben sus dedos a lo largo de su camino, en tal virtud, cualquier ayuda tecnológica, debe incluir el uso del bastón.

2.1.2.1. Interfaces hápticas (HI)

Son dispositivos robóticos que permiten interacciones manuales con entornos virtuales (EV) utilizando el sentido del tacto (Fig. 7). Los avances recientes en el desarrollo de hardware de interfaz háptica que refleja la fuerza, así como el software háptico de renderizado, han causado un gran revuelo. En la última década se han construido varias interfaces hápticas fáciles de usar para entradas 3D que proporcionan salidas proporcionales con seis grados de libertad (DOF). Empresas como Sensable.com, e immersion.com, están desarrollando dispositivos hápticos de fuerza para trabajar en entornos simulados con realidad virtual [54]. En la sección 2.8.1 (Página 49), se tratará acerca de su empleo en el entrenamiento con entornos virtuales.

Fig. 7 Interfaces hápticas para entornos simulados. (Fuente: <https://es.3dsystems.com/scanners-haptics>)

2.1.3. Dispositivos de Estimulación Electro-Táctil

Su uso se enfoca al reconocimiento de caracteres u objetos, utilizan interfaces externas ubicadas en la cabeza, dedos, estómago o lengua (Fig. 5a); donde por lo general un sensor de cámara conectado a un ordenador captura una imagen, para su procesamiento y a continuación es convertida en una matriz estimuladora, que genera la suficiente corriente para producir un cosquilleo en la persona, de tal manera que el cerebro pueda interpretar el tipo de información que originalmente es visual en sensaciones en el cuerpo, que puede ser de utilidad para compensar, en parte, la deficiencia visual de individuos invidentes [55].

2.1.4. Dispositivos de Estimulación Acústica y Hápto-Acústica

A diferencia de los dispositivos de estimulación electro-táctil, estos no generan corrientes eléctricas sobre el cuerpo del usuario, sino sonidos y vibración que dan información sobre la proximidad a un objeto, o una situación particular de peligro como el avistamiento de un obstáculo cercano (Fig. 5b). Por lo general la combinación de dos sentidos en una forma más eficiente de interiorizar la información y para la adquisición de habilidades para el aprendizaje. La generalidad de los dispositivos desarrollados para personas sin visión, recaen en esta categoría.

La mayor parte de los dispositivos y textiles inteligentes que se han desarrollado hasta el momento, pertenecen a esta clase; su uso evita los obstáculos y facilita la movilidad de las personas invidentes. Hay dispositivos electrónicos denominados vestibles que trabajan con ultrasonidos o sensores láser o infrarrojos y motores de vibración se colocan como accesorios o parte de la vestimenta del usuario ciego [56-60] y le permiten la evasión de obstáculos o el reconocimiento de objetos, dando mayor posibilidad de vida independiente al no vidente.

Hay sistemas que usan dispositivos de ecolocalización, que generan un barrido de frecuencias cuya reflexión se graban en micrófonos para ser escuchados por el oído humano, permitiendo obtener información de profundidad y elevación[61]; otros sistemas similares usan sonares de alta resolución para la detección y obtención de imágenes de objetos[62] y otro sistema usa burbujas de gas atrapadas dentro del líquido, para producir sonidos para generar mapas de profundidad mediante caminos sonificados [63].

También encontramos sistemas que incluyen motores de vibración colocados en una banda de la cintura para estimular la piel en la parte inferior de la espalda. En un estudio [64]se confirma que los patrones vibro táctiles se pueden interpretar como indicaciones direccionales o de instrucción con muy buena precisión.

Los dispositivos más recientes son las gafas 3D desarrollados por la empresa EYESYNTH [65] que convierten la información espacial y visual en audio; las gafas eSight3 [66] dispone de una cámara de alta velocidad y definición para capturar lo que el usuario está mirando y transformarla en información auditiva; estas gafas basan su desarrollo en el procesamiento en tiempo real de imágenes estereoscópicas.

Algunos diseños como las Smarth Glass⁸ desarrollado por la Universidad de Oxford en 2014, cuentan con cámara, brújula y GPS, para ayudar a los invidentes durante la navegación. En aplicaciones con sonidos espaciales se están empleando auriculares de conducción ósea, porque es una alternativa empleada para estimular el oído interno, que ocurre en una ubicación específica del hueso del cráneo o a través de la piel que cubre el hueso. Estos se fabrican en la actualidad para realizar actividades de tipo deportiva principalmente al aire libre. Los audífonos de conducción ósea disponen de transductores acústicos y electromagnéticos, y son herramientas ampliamente utilizadas en la rehabilitación auditiva para pacientes con pérdida de audición, en un estudio [39] se menciona que la dirección del sonido tiene una inclinación hacia el centro del cuerpo y la calidad es inferior comparado con los auriculares estéreo, sin embargo son útiles con sonidos 3D, en aplicaciones móviles, para la navegación, el entretenimiento o para brindar información usando realidad aumentada.

2.2. Navegación por espacios interiores y exteriores

La navegación es el movimiento que hacen las personas para ir de una posición a otra y es la acción más importante para moverse entre ubicaciones distantes, se basa en la orientación sensorial o verbal o en una representación internalizada de un entorno. La tecnología de navegación moderna inició en los 80's, con una demanda creciente [67,68]. La navegación en exteriores e interiores comparten características comunes, pero tienen diferencias únicas; el geo-posicionamiento es el corazón de las tecnologías de navegación para exteriores, que están basados principalmente en sistemas de posicionamiento global (GPS), que no juega un rol significativo en los sistemas de navegación para interiores, donde en cambio se usan las comunicaciones inalámbricas (WiFi, Bluetooth, VLC, ultrasonido, láser, infrarrojo, RFID), por esta razón la navegación interior no es afectada por factores medio ambientales, tales como las condiciones climáticas; el rango de navegación en exteriores va de pocos a muchos kilómetros, mientras el espacio físico en interiores está confinado a una extensión geométrica de la estructura de un edificio y requiere al menos de 1m de exactitud (Fig. 8). Las ondas de radio tienen deficiencias como las interferencias por multi-trayecto que son típicas en edificios con hormigón armado y entornos con gran contenido conductivo [69].

Las diferentes tecnologías e instrucciones de enrutamiento para la navegación en exteriores e interiores se deben a las diferencias en los espacios físicos donde la navegación toma lugar, el espacio físico en la navegación en exteriores consiste de redes de caminos y veredas, que se estructuran en forma estándar en casi todas las áreas geográficas; en cambio los edificios tienen diferentes estructuras, alturas, niveles y diseños. Otro asunto importante es la demanda de servicios de navegación, que es más requerido en la navegación por exteriores; en interiores a pesar de la tendencia creciente en su desarrollo, necesita justificaciones adicionales como es el caso de usuarios con diferentes capacidades o movilidad limitada.

⁸ Grupo de investigación Oxford Smart Specs. <https://www.ndcn.ox.ac.uk/research/oxford-smart-specs-research-group>

Fig. 8. Navegación a) por espacios interiores y b) por espacios exteriores (Fuente: PDP)

La tendencia actual en los servicios de navegación comerciales se caracteriza por la personalización de los servicios, provistos por proveedores, mediante dispositivos móviles que en su mayoría requieren datos y servicios remotos de asistencia. La navegación en exteriores es más compleja que la navegación en interiores e impone ciertas restricciones, tales como tomar decisiones en tiempo real y encontrar rutas óptimas de una larga lista de espacios posibles.

La navegación por exteriores está basada en principios electrónicos GPS y GIS que han tenido un tremendo impacto en el desarrollo de las modernas tecnologías de navegación y permite el posicionamiento ubicuo, en cualquier momento, con un nivel de proximidad y fiabilidad adecuada para la mayoría de las actividades de navegación en tierra; el GPS provee la posición en tiempo real y GIS usa los datos de GPS, junto con otros datos para proveer asistencia en la navegación.

Los sistemas de navegación en interiores aparecen en los 90's, estos son más significativos y prácticos en los dispositivos de servicio ubicuos como Smartphones; mientras es común que la navegación en exteriores se use durante la conducción, el ciclismo o caminar afuera, la navegación dentro de un edificio con dispositivos móviles requieren dispositivos adicionales, debido a la atenuación de la señal satelital y el nivel de precisión requerido. La construcción de modelos de información contribuye a proveer un núcleo de datos estáticos, que pueden incluir mapas y funciones para la navegación. Los sistemas desarrollados para personas con ceguera, suelen incorporar marcas de identificación en el diseño; así como modulaciones en el volumen para transmitir el sentido de dirección y distancia. Las etiquetas RFID son relativamente baratas y ampliamente utilizadas, pero no están incluidas en la mayoría de los teléfonos inteligentes, por lo tanto se requiere, hardware externo adicional. Los sensores de campos magnéticos de baja frecuencia en el móvil también pueden ser empleados, sin embargo hay poco desarrollo debido a la falta de precisión, por pérdida de la señal.

2.3. Mapas Táctiles

Los mapas táctiles son recursos que muestran información gráfica usando relieve (Fig. 9), su diseño contiene elementos morfológicos bidimensionales puntuales, líneas y áreas [70]. Los símbolos táctiles se incluyen dentro de este tipo de recursos y normalmente se usan con sus leyendas correspondientes. Los mapas táctiles ayudan a las personas con discapacidad visual a comprender las características del entorno a través del sentido del tacto y se utilizan, por ejemplo, para comunicarse y enseñar geografía o para adquirir habilidades de orientación para facilitar la movilidad en entornos específicos. Según Sanabria [71], para los ciegos, un mapa táctil es el único medio de adquirir un conocimiento estructurado para organizar espacios y lugares, describe que la creación de mapas cognitivos es una estrategia poderosa que proporciona información espacial para la movilidad de personas videntes y ciegas.

Los mapas táctiles contribuyen a la construcción correcta de un mapa cognitivo⁹ de una nueva área o ruta, es decir al aprendizaje de nuevos entornos para personas con discapacidades visuales [72]. Un mapa táctil puede usarse en contextos reales, aunque la principal ventaja para las personas con discapacidades visuales es que pueden explorar y conocer un área desconocida antes de viajar a través de ella. De hecho, los invidentes prefieren usar los mapas tranquilamente en casa, antes de emprender la ruta real, ya que de esta forma reducen la ansiedad causada por la experiencia de contacto con áreas desconocidas [73]. Se puede usar un mapa táctil antes y durante la ruta, aunque la secuencia lógica para usar un mapa táctil es, primero, aprender la ruta en casa con la ayuda de un Instructor y luego intentar seguir la ruta real con la guía del Instructor varias veces hasta que la ruta se haya aprendido. El tiempo consumido depende de la complejidad del área y las habilidades y experiencia del usuario, pero finalmente, una vez que la nueva área ha sido asimilada, el usuario con discapacidad visual se sentirá más seguro siguiendo la ruta o viajando el área solo. Una serie de estudios en la última década ha demostrado que los mapas táctiles y las estrategias tomadas por las personas ciegas mientras interactúan con el mapa cuando se enfrentan a tareas espaciales representan un papel importante en la determinación de su desempeño [74].

El uso de la sonificación 3D en mapas de relieve pre-elaborados permite la exploración temprana de espacios exteriores[75] con la desventaja de que en muchos casos estos soportes deben crearse manualmente [41]. El conocimiento espacial se puede adquirir de forma indirecta mediante la lectura háptica del mapa y de forma directa mediante la realización de la ruta; hay tres estrategias de lectura háptica en el mapa para obtener una idea temprana del entorno: la identificación de puntos de referencia (Waypoint), el reconocimiento de ruta (Wayfinding) y el conocimiento del área.

Fig. 9. Mapa táctil para reconocimiento del entorno (Fuente: Inclusión social y educativa¹⁰)

⁹ Mapa Cognitivo: Herramienta empleada para la asimilación de información, generada en función de la carga informativa que la persona recoge del contexto en el que se encuentra.

¹⁰Noticia: <http://fich.unl.edu.ar//upload/0c1e78ac7d742465c39c4d91203ebd5d625898b4.jpg>

2.4. Marcadores o emisores de frecuencia

Los sistemas que usan marcadores en una ubicación para saber cómo llegar hasta un destino, o para determinar la posición en de un objeto en un entorno real, por lo general se emplean en ambientes interiores, estas etiquetas o balizas disponen de respuestas auditivas activadas por un receptor móvil, sin embargo el costo de colocación podría ser alto y no son fáciles de adaptar en un entorno al aire libre (Fig. 10). Los desarrolladores pueden construir aplicaciones para determinar la proximidad al emisor o la ubicación de un individuo en el interior de un edificio y desencadenar acciones pre-programadas o enviar mensajes al usuario.

Fig. 10 Sistema con detección RFID (Fuente: DP)

Hancock [76] patentó una unidad de navegación portátil, con balizas de localización basadas en diodos emisores de infrarrojos, en donde se requiere una línea de visión directa entre la unidad de navegación y las balizas para la navegación.

Una solución similar, propuesta por D'Atri [77], utiliza un aparato de guiado portátil y marcadores que emiten la información de ubicación y de dirección del haz. Otros autores [50,78-80] proponen el uso de etiquetas pasivas RFID para el sistema de navegación de personas ciegas; las etiquetas RFID proporcionan marcadores de ubicación y un receptor móvil proporciona información de navegación del usuario basada en el código almacenado en cada etiqueta. Estas tarjetas se usan ampliamente para la identificación personal, porque puede almacenar gran cantidad de información.

2.5. Sistema de Visión Artificial

Requiere usar cámaras de video para adquirir, procesar y analizar imágenes, por lo general se montan en un casco de ciclismo o un par de gafas, para la captura de imágenes que luego son procesadas en tiempo casi real, usando dispositivos DSP/FPGA [81], ordenadores [82], o máquinas de aprendizaje [83], que una vez reveladas emiten señales de acción a un sistema de retroalimentación táctil y auditiva (Fig. 11). La poca discreción de estos sistemas y su dependencia con el nivel de luz del ambiente y distancia a los objetos, lo hace poco atractivo para la mayoría de los usuarios ciegos. Estos sistemas pueden complementarse con sensores inerciales o de geo-posicionamiento para ofrecer información complementaria de orientación. Algunos estudios señalan la posibilidad de sustituir la estereoscopia por el rastreo mediante láser e infrarrojos, con resultados comparables e incluso superiores en lo que se refiere al desempeño exitoso de tareas, que pueden ser realizadas en un espacio virtual.

Fig. 11 Sistema de visión artificial (Fuente: Second Sight. Gráfico P. Sánchez)

2.6. Entornos Virtuales (VE)

Un entorno virtual es una aplicación realizada por un ordenador mediante el uso de software específico y puede ser ficticio o basado en la realidad. Cuando se asemeja a un entorno real se usa con fines de aprendizaje, porque simula una experiencia real (Fig. 12). La comunidad científica puede explotar la realidad virtual para visualizar datos científicos, modelar, animar sistemas de ingeniería complejos y para aplicaciones tradicionales como medicina, educación, arte, entretenimiento, defensa y robótica [54]. Hoy en día, las tecnologías móviles basadas en la ubicación están remodelando las movi­lidades cotidianas de las personas sin visión. Muchas aplicaciones de navegación son accesibles y algunas están personalizadas para usuarios con vista parcial o nula, incluidas las aplicaciones de GPS que brindan instrucciones de audio e información sobre rutas peatonales, cruces de calles y puntos de interés. Las aplicaciones de navegación móvil se unen a tecnologías de asistencia para facilitar los viajes diarios, el acceso al transporte y la vinculación a otras actividades [84].

Varios estudios indican que el uso de interfaces haptic-acústicas en entornos virtuales, mejora la eficiencia y eficacia en el desarrollo de las habilidades de orientación y movilidad. Rodríguez [85], describe las posibilidades de guiar al usuario por una ruta, mediante realimentación navegacional; el usuario hace movimientos con los dedos sobre la pantalla táctil del móvil en regiones fijas al rededor de la esquina física del móvil, para hallar puntos de interés adaptados y personalizados al usuario. El sistema proporciona la conversión de texto a voz, vibración y la retroalimentación de audio como interfaz física de usuario.

En otro estudio [86] se informó como las aplicaciones de realidad virtual ayudaron a las personas ciegas a desarrollar habilidades de locomoción en entornos reales. Sánchez [87,88] evaluó el uso de entornos virtuales basados en sonido para el desarrollo de la cognición y el aprendizaje en usuarios ciegos, demostró que el sonido espacial en entornos virtuales (EV) puede usarse para construir significado y desarrollar el intelecto en usuarios ciegos. El entrenamiento con VEs, se usa para transferir conocimiento del mundo virtual al mundo real, la aplicación y el entorno deben diseñarse para respaldar esta transferencia; caso contrario, la sesión de entrenamiento puede ser contraproducente.

2.6.1. Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Realidad Mixta y el continuo de la Realidad

La *Realidad virtual* (RV) simula la presencia física del usuario en el entorno virtual y cuando se transmite información perceptual a través de múltiples modalidades sensoriales se denomina *Realidad Aumentada* (RA). La RA completa la percepción e interacción del usuario con el mundo real, proporcionando información que el usuario no puede detectar directamente por sus sentidos. Si por el contrario se integran objetos del entorno real dentro de un entorno virtual se conoce como *Virtualidad aumentada* (VA), con propósitos de comercio y difusión (Fig. 12).

Fig. 12 a) Entorno real; b) Entorno Virtual; c) Realidad Mixta; d) Virtualidad Aumentada (Fuente: DP)

El *Continuo de la Virtualidad* (VC) es un concepto presentado en 1994 por Milgram y Kishino¹¹, consiste en oscilar entre la realidad completamente real y la realidad completamente virtual, el área intermedia donde se encuentra la realidad y la virtualidad, se conoce como *Realidad Mixta* (MR) y abarca todas las variaciones y composiciones posibles de objetos reales y virtuales.

Los entornos virtuales de aprendizaje, donde se aplican las reglas de movimiento del mundo real en respuesta de los elementos en el mundo virtual se están utilizando para crear una conciencia espacial en las personas sin visión [72, 77, 80, 89], facilitando así la comprensión de su entorno, sea mediante visitas virtuales anticipadas [40] o como entrenamiento durante su etapa de adaptación por pérdida de la visión [90].

2.6.1.1. Sonidos 3D

Las personas ciegas usan el audio como su principal fuente de información. El sonido 3D es la convolución del dominio espacial de las ondas de sonido que usa funciones de transferencia relacionadas con la cabeza. Unity procesa el sonido 3D utilizando Audio Spatializer SDK con un HRTF genérico. Las ondas de sonido emanan de un punto en un espacio tridimensional y engañan al cerebro a través de los oídos, simulando colocar diferentes sonidos en diferentes lugares, entregando plena recepción de espacialidad. Las fuentes de sonido en el sitio son probablemente las alternativas más convenientes para guiar a las personas ciegas, sin embargo, no son discretas y pueden causar confusión cuando hay algunas fuentes activas [1].

¹¹ Paul Milgram (Canadá) y Fumio Kishino (Japón) 1994: A taxonomy of mixed reality visual display

2.6.1.2 Mapeo cognitivo del espacio mediante entornos virtuales de realidad aumentada

Los estudios sobre el desarrollo del conocimiento espacial indican que las personas ciegas pueden formar representaciones mentales del espacio, al igual que las personas con visión, cuando tienen suficiente información[91]. Establecer la posición de un objeto y la relación entre objetos o estructuras dentro de un entorno mediante mapas interactivos, o indicaciones verbales suele ser una tarea cognitivamente exigente.

El mapeo espacial en una persona con discapacidad visual debe ser integral y distintivo porque el aprendizaje es una conjunción entre las habilidades de aprendizaje cognitivo y perceptivo de un individuo [27], la asistencia verbal es muy importante para superar muchos desafíos, y las estrategias utilizadas para comprender la información del entorno deben ser diferentes porque las personas ciegas sin experiencia visual previa parecen ser más dependientes de estrategias egocéntricas para codificar y representar el espacio durante la exploración que con estrategias alocéntricas que son más útiles para las personas con experiencia visual previa [3]. Sanabria [71], describe la creación de mapas cognitivos como una poderosa estrategia que proporciona información espacial para la movilidad de personas videntes y ciegas.

De Felice [92] indica que un entorno virtual permite representar solo la parte del mundo que se considera relevante para el usuario, lo que puede simplificar enormemente los esfuerzos de percepción e interpretación requeridos por los usuarios; también utiliza metáforas de interacción para facilitar el acceso a la información utilizando herramientas de realidad virtual. Las interacciones multimodales proporcionan a los usuarios formas más naturales de manipular el espacio virtual; la combinación de información auditiva y táctil parece ser capaz de representar mejor la información y, por lo tanto, permitiría una construcción mental más eficiente del espacio.

Un enfoque común para evaluar la calidad del mapa cognitivo es probar directamente su utilidad durante la navegación por espacios reales [40,93], donde la calidad generalmente se modela como éxito o fracaso al completar un conjunto de tareas particulares. Otro enfoque es pedirles a los participantes que proporcionen una descripción verbal de la escena y otra a construir modelos realistas o esquemáticos de la escena que se está explorando.

Las aplicaciones de realidad virtual permiten a los usuarios ciegos explorar el interior de un escenario virtualmente recreado del mundo real. La combinación de diferentes interfaces sensitivas proporciona información al usuario mientras explora el entorno desconocido y les permite construir un modelo del espacio para ejecutar con éxito tareas en el mundo real.

La exploración se subdivide en dos técnicas, según las estrategias seguidas por el usuario: Exploración de proximidad y Exploración Remota.

Exploración de proximidad: La ubicación e información de un objeto se muestra cuando el usuario está cercano al objeto.

Exploración remota: La información y distancia al objeto en el espacio se muestra en relación al eje central del cuerpo del usuario. El avatar del usuario está en una posición fija dentro del escenario y cambia la dirección de su mirada a voluntad del usuario. En un trabajo a este tipo de exploración se denomina “modo observación” [94].

Las aplicaciones de realidad virtual también permiten la navegación en tiempo real por espacios desconocidos. La navegación se subdivide en dos componentes: El componente motor llamado *recorrido* y el componente cognitivo llamado *wayfinding* [95].

El recorrido es la tarea que consiste en moverse de un lugar a otro. Hay cinco metáforas comunes para las técnicas de interacción de recorrido: Movimiento físico, que usa el movimiento del cuerpo del usuario para moverse a través del entorno. Selección manual del punto de vista, que usan los movimientos de la mano del usuario para efectuar el recorrido. Dirección que usa el movimiento de la cabeza del usuario para señalar la dirección de desplazamiento del usuario. Recorrido por objetivos donde el usuario especifica el destino y el sistema maneja el movimiento real. Planificación de la ruta donde el usuario especifica la ruta que va a seguir por el entorno, para lo cual se colocan marcadores en un mapa.

Wayfinding, es el proceso cognitivo de definir un camino a través de un entorno virtual, utilizando y adquiriendo el conocimiento espacial para construir un mapa cognitivo del lugar. Según el grado de conocimiento y experiencia de cada persona, un sistema Wayfinding consiste en una sucesión de enseñanzas dirigidas para facilitar el desplazarse de forma independiente, orientada y segura, en entornos de diversa complejidad.

El uso y la adquisición del conocimiento espacial está influenciado por factores tales como el marco de referencia y la técnica de recorrido; la comprensión conceptual del ambiente, se realiza organizando mentalmente las relaciones espaciales encontradas; para orientarse adecuadamente en el espacio, debe conocer donde está, a donde debe llegar y como debe llegar al objetivo; para tomar las decisiones adecuadas durante la navegación. Estas relaciones se pueden establecer mediante tareas alocéntricas y egocéntricas. Para conocer sobre los objetos presentes en el entorno, el sistema debe facilitar una breve información del objeto y dar a conocer su posición en el espacio, para que el usuario durante un tiempo pueda explorar e internalizar esta información. A medida que los entornos se vuelven más complicados, las personas necesitan pistas adicionales como instrucciones y símbolos, para ayudarlos a llegar a sus destinos. En estos entornos a menudo de alto estrés, los sistemas de orientación efectivos contribuirían a dar una sensación de bienestar, seguridad y protección[96].

2.7. Aplicaciones de realidad virtual para la orientación y movilidad de las personas ciegas

Las aplicaciones móviles de realidad virtual y aumentada, se están utilizando en programas de Orientación y Movilidad para el entrenamiento de personas ciegas; varios estudios indican que su uso mejora la eficiencia y eficacia en el desarrollo de estas habilidades. A continuación se mencionan los estudios más relevantes, que se han publicado desde 2010.

SpaceSense [97] es un proyecto que incluye hardware de retroalimentación táctil personalizado, que usan múltiples motores de vibración conectados a diferentes lados de un dispositivo de pantalla táctil móvil, con el fin de ofrecer información de alto nivel sobre la distancia y la dirección hacia un destino.

Orly Lahav [39,40] desarrolló el sistema BlindAid, que suministra información a través de los canales sensoriales compensatorios, para ayudar a las personas ciegas con la exploración anticipada de un entorno, mediante realidad virtual, permitiendo a los participantes desarrollar mapas cognitivos integrales. El software se ejecuta en un ordenador personal equipado con un dispositivo háptico y auriculares estéreo que permite a los usuarios explorar el medioambiente virtual libremente en función de sus anteriores habilidades de orientación del espacio real. El sistema fue aplicado en dos programas de rehabilitación para personas ciegas, según los resultados su uso mejora la orientación y movilidad de los usuarios.

Picinali [98], determinó que las personas ciegas pueden construir mapas mentales, mediante el aprendizaje en un entorno de realidad virtual, a través de la escucha de eventos de audio espacial y sus posibles interacciones en espacios interiores.

Gómez [99] creó una interfaz para mejorar la percepción espacial y la inteligibilidad para usuarios ciegos a través de audio y el tacto. El núcleo de esta interfaz fue la codificación de color y profundidad de información en sonidos de instrumentos musicales, que proporcionaron la conciencia espacial y la información acerca de los límites y obstáculos. Los ciegos pudieron explorar selectivamente ambientes, descubrir lugares de interés, y desarrollar estrategias de navegación personalizados.

Rodríguez [85], describe las posibilidades de guiar al usuario por una ruta, mediante realimentación navegacional; el usuario hace movimientos con los dedos sobre la pantalla táctil del móvil en regiones fijas al rededor de la esquina física del móvil, para hallar puntos de interés adaptados y personalizados al usuario. El proceso de orientación se realiza por la combinación de DGPS, brújula e información de ruta, con una precisión alrededor de 1 a 3 metros. El sistema proporciona la conversión de texto a voz, vibración y la retroalimentación de audio como interfaz física de usuario.

De Felice [92], desarrolló EVs para proporcionar información en tres dimensiones para la adquisición de conocimientos del entorno usando metáforas de interacción, que facilitan el acceso y la inmersión del usuario con el EV. Se determinó metáforas adecuadas para usuarios con limitaciones visuales; en la que se indica que en la navegación no visual, se necesitan rutas y marcadores para suministrar la experiencia háptica con herramientas que mejoran la construcción del esquema global del EV.

Sánchez [88] evaluó el impacto del uso del software del programa Audiómetro, como herramienta que apoya la orientación y la movilidad de las personas ciegas en el sistema de metro de Santiago de Chile. Los participantes completaron una serie de tareas cognitivas relacionadas con su navegación a través del sistema de metro con la herramienta de diseño. Los resultados mostraron ser una herramienta complementaria para el desarrollo de habilidades cognitivas y sensoriales, ejes fundamentales para la orientación y la movilidad.

Guerreiro [100] estudio la interacción simultánea entre usar instrucciones paso a paso durante la navegación y el uso de puntos de interés en la ruta para representar el espacio.

En este trabajo, se utilizan aplicaciones de realidad virtual y aumentada, con interfaces vibro-táctiles-auditivas para la exploración anticipada del interior de un lugar desconocido y como ayudas para la navegación por entornos desconocidos. Parte del estudio, se enfoca en los sonidos 3D como interfaz de salida en teléfonos inteligentes.

2.8. Técnicas de interacción

Las técnicas de interacción en entornos virtuales proporciona los medios para seleccionar, posicionar y manipular objetos, su diseño tiene efecto en la calidad de la interfaz. Las tareas del usuario se dividen en a) Exploración que es la acción de investigar el entorno, b) Navegación que es la acción de ir a una ubicación de destino particular. c) Maniobra y control que se caracteriza por movimientos de corto alcance y alta precisión para realizar una tarea en particular. Las técnicas usan metáforas¹² de movimiento dentro de los EV [101], para planificar una ruta, definir como el usuario puede recorrer y explorar el EV, investigando la estructura y la posición de las entidades virtuales dentro del entorno.

¹² Metáfora: Correspondencia entre el concepto de la realidad y sus diferentes formas de representarla

Fig. 13 Técnicas de manipulación para exploración virtual. a) Apertura por RayCast; b) Apertura por ángulo; c) FoA esférico; d) FoA plano; e) FoA aumentativo. (Fuente: DP)

Varias técnicas permitir extender el alcance del usuario, para proporcionar un volumen de selección del espacio virtual; se lanza un rayo (apertura), una esfera o un prisma (foco de atención) desde la cabeza del avatar del usuario, de modo que los objetos que caen dentro del volumen pueden seleccionarse fácilmente. En este estudio (proyecto eGlance), se desarrollaron y probaron cinco técnicas de manipulación de objetos durante la exploración: Apertura por rayo y ángulo y focos de atención plano, esférico, aumentativo (Fig. 13). Hay que considerar que hay una gran variedad de técnicas de interacción para ser desarrolladas, debiéndose todas ajustar a los criterios de la investigación.

Para llevar a cabo otras acciones existen diferentes niveles de interacción como el reconocimiento de voz, la selección de opciones mediante dispositivos de entrada, el lenguaje de signos con la mano o el toque de los dedos sobre la pantalla táctil. La entrada por voz es una herramienta valiosa en las interfaces de usuario, especialmente cuando ambas manos del usuario están ocupadas. Las posibilidades de interacción de un sistema de realidad virtual están limitadas a la libre elección de trayectoria del usuario, por lo que deben ser simples y eficientes; una parte considerable del tiempo dedicado a esta investigación tuvo que ver con las interacciones en el móvil durante la exploración en una escena virtual.

2.8.1. Interacciones Hapto-Acústicas

Las interacciones háptico-acústicas en aplicaciones de realidad virtual se refieren al uso de dispositivos robóticos que permiten interacciones manuales con entornos virtuales, utilizando el sentido del tacto para recibir realimentación acústica. Se usa en el entrenamiento y en la educación de niños y en personas con limitaciones en sus capacidades visuales y cognitivas, porque coadyuvan con el aprendizaje y la adquisición de habilidades para conocer lugares desconocidos en forma anticipada. Algunos dispositivos son comercializados por compañías como Sensable Technologies¹³.

El coste de los dispositivos hápticos son generalmente altos, según la tecnología y los servicios que brindan [15, 102]. La estrategia de usar audio 3D como interfaz de salida en aplicaciones de realidad virtual reduce el entrenamiento y el número de indicaciones dadas al usuario para establecer la posición de los objetos y las estructuras del entorno. Las interfaces audio-táctiles [103] utilizan diferentes tipos de sonidos como de instrumentos musicales para codificar la información de obstáculos y los límites de un entorno, permitiendo a los usuarios con discapacidad visual desarrollar estrategias de navegación personalizadas.

¹³ <http://www.sensable.com>. En España <https://es.3dsystems.com/scanners-haptics>

2.9. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es el medio usado para comunicarse con un dispositivo; en aplicaciones informáticas hay interfaces muy diversas. Desde dispositivos tradicionales como ratones, teclados, ventanas, menús e íconos y otros componentes hasta otros menos frecuentes como rastreadores, señaladores, dispositivos hápticos o sistemas de audio espaciales.

Los dispositivos de entrada y salida (E/S) son un componente importante en la construcción de interfaces de usuario para aplicaciones VR, muchos de estos dispositivos se pueden clasificar en grupos con características comunes y criterios de diseño de interacción. Los dispositivos de entrada son las herramientas físicas que permiten transmitir las acciones del usuario en tiempo real, mediante diversas técnicas de interacción y se rigen por los grados de libertad (DOF) que tienen. Se pueden clasificar según el tipo de evento que genera: Booleano el genera un evento a la vez y se consideran dispositivos de entrada discretos. De entrada continua, los que generan una secuencia de eventos y los Híbridos que combinan eventos discretos y continuos. La combinación de diferentes entradas se denomina interacción multimodal.

Las pantallas hápticas y táctiles son interfaces de usuario muy importantes en entornos virtuales 3D, permiten a los usuarios sentir el mundo virtual y se usan para manipular objetos y detectar colisiones; las olfativas son menos comunes y permiten asociar un olor con un evento en particular [104].

Los dispositivos de salida transmiten al usuario las respuestas del sistema a sus acciones; la pantalla cuyo contenido por lo general es visual, es la más común; hay también dispositivos para los canales auditivo, háptico, táctil y olfativo [105]. Las pantallas visuales se pueden categorizar en no-inmersivas donde el usuario interactúa con otros objetos o personas, pero se mantiene fuera de la escena; semi-inmersivas que permiten al usuario ver tanto el mundo físico como el virtual y las pantallas totalmente inmersivas que por lo general ocultan el mundo real, como las montadas en la cabeza (HMD)¹⁴ donde los objetos físicos requieren una representación gráfica en el mundo virtual.

Los usuarios con ceguera encuentran dificultades al utilizar aplicaciones desarrolladas en los dispositivos móviles, que se relacionan con la interfaz de usuario; estas incluyen las dificultades físicas y las barreras cognitivas para la comprensión de los procedimientos y el manejo de la información; por ello el diseño de estas interfaces es la clave básica para desarrollar los servicios de accesibilidad.

2.9.1. Interfaz Sensitiva

Es el medio a través del cual se comunican el usuario y el dispositivo portátil, con capacidad de percibir, comprender y adaptar el contenido a los intereses y capacidades del usuario. Su base de implementación se estructura en base a un *Modelo de Información* [56]. Dado que la interfaz es una parte muy importante del éxito o fracaso de una aplicación, casi el 50% del código está dedicado a la interfaz y más del 60% del esfuerzo está dedicado a su estudio, desarrollo y pruebas con usuarios. Según algunos autores parece ser que los sentidos funcionales en las personas ciegas están mejor adaptados para percibir la información del entorno usando los sonidos y el tacto.

¹⁴https://es.wikipedia.org/wiki/Casco_de_realidad_virtual

La carga cognitiva está relacionada con el diseño de la interfaz, puesto que la manera como se presente la información y el tipo de actividades que se sugieran, puede favorecer el aprendizaje del individuo [106]. En este estudio se van a utilizar interfaces multi-modales, que contribuyan al enriquecimiento de la información que recibe el usuario, con objeto de coadyuvar en su independencia y auto-realización. En este estudio se ha considerado estudiar y emplear las salidas disponibles en un Smartphone o Tableta, como son las vibraciones, el sonido, los gestos y tonos fijos de diversas frecuencias.

2.9.2. Dispositivos de Seguimiento

Permiten detectar la posición y orientación del usuario dentro del entorno, así como sus movimientos y giros. El objetivo de estos dispositivos es proporcionar una respuesta adecuada para mantener la simulación del contexto, desencadenando eventos digitales. Sensores láser, infrarrojos, dispositivos WiFi y Bluetooth son comunes para conocer la posición del usuario con el móvil. En el presente estudio se usó el sensor de rastreo de *Occipital*, y las balizas de *Estimote*, cuyas características, constan en el Anexo 1: Equipo y dispositivos.

2.9.2.1. Estimación de la posición del usuario

La estimación de la posición es una técnica importante para los servicios basados en la ubicación. Muchos servicios y aplicaciones, como asistencia de navegación, vigilancia de pacientes y redes sociales, se han desarrollado en función de la posición de los usuarios [107]. Existen muchos algoritmos de localización que utilizan las características de las señales electromagnéticas para determinar una posición, vamos a detallar la técnica empleada durante el desarrollo del proyecto e-Glance.

Durante el desarrollo de este trabajo, se utilizaron dispositivos BLE como dispositivos de detección de posición, porque la comunicación BLE es compatible con la mayoría de los teléfonos inteligentes y se pueden configurar fácilmente. Además BLE es más eficiente que WiFi, cubre la banda de radio de 2,4 GHz, que también se amplía mediante WiFi.

2.9.2.1.1. Potencia de la señal recibida (RSS)

Esta técnica mide la potencia de la señal recibida en el móvil, en base a la atenuación que sufre la señal a medida que se aleja de la fuente emisora (Baliza) y calcula la distancia al emisor, empleando la Ec. (1):

$$d(Km) = 10^{(RRS(do) - RRS(d))/10n} \quad \text{Ec. (1)}$$

RRS(do)= es la intensidad de la señal transmitida por la baliza

RRS(d)= es la intensidad de la señal recibida en el móvil

do= es una distancia constante, generalmente (1m)

d = distancia desde la fuente (baliza) al móvil del usuario

n= es un parámetro de pérdida de ruta, que depende del entorno de propagación

Para inferir la localización del terminal móvil, se estima la distancia que separa al terminal móvil de por lo menos dos puntos de acceso (solo coordenadas x, y) o tres para emplear técnicas de *Triangulación* (Sección 2.9.2.1.2. Triangulación) o mayor número de puntos de acceso para la técnica *Fingerprinting* (Sección 2.9.2.1.3. Fingerprinting), sin embargo al haber reflexiones, difracciones o multi-trayectos hay errores en su determinación. Este método es simple y económico, porque los emisores o balizas empleadas son de bajo coste, tienen una larga duración en modo de escucha y no se necesita hardware adicional. Una de las desventajas es la variabilidad de la señal.

2.9.2.1.2. Triangulación

Consiste en determinar la posición a partir de la intersección de al menos tres circunferencias centradas en posiciones fijas conocidas (Fig. 14), cuyo radio guarda relación con el parámetro medido (RSS), en este trabajo se usó el algoritmo basado en el centro de potencia de tres círculos [108] y el método de resolución de tres sistemas de ecuaciones no lineales (Ec.(2)).

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} * \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 \end{pmatrix}^{-1} + \begin{pmatrix} x_2^2 - x_1^2 & y_2^2 - y_1^2 & z_2^2 - z_1^2 \\ x_3^2 - x_2^2 & y_3^2 - y_2^2 & z_3^2 - z_2^2 \\ x_1^2 - x_3^2 & y_1^2 - y_3^2 & z_1^2 - z_3^2 \end{pmatrix} \quad \text{Ec.(2)}$$

La exactitud de la triangulación está ligada a la precisión de cada una de las medidas realizadas. Las medidas pueden estar distorsionadas debido a la orientación de las antenas, al multi-trayecto, a la atenuación y la presencia de obstáculos.

Fig. 14 Método de triangulación para obtener las coordenadas de la posición del usuario

2.9.2.1.3. Fingerprinting

El posicionamiento se realiza a través de un mapa de radio previamente construido [109], este método compara la huella electromagnética de varias balizas instaladas en el interior de un lugar, en diferentes puntos durante diferentes horas del día; los datos que requiere el sistema para la fase de captura son: posiciones de captura, vectores de potencia e identificador de los emisores. Se puede mapear la superficie de búsqueda con N puntos, cuyas ubicaciones son conocidas y se mide la potencia recibida de cada transmisor, para cada uno de esos puntos, a esto se le denomina vector de potencias (RSSn). Habrá tantos vectores como N puntos de mapeo. Estos vectores se guardan en una base de datos, para su posterior comparación y decisión en base a las distancias de Euler, Manhattan o Chebyshev.

En este estudio se empleó el software de Awe Estimote SDK, para medir la intensidad de la señal recibida por las balizas instaladas en el laboratorio de Instrumentación y nanomedicina.

Durante el desarrollo del proyecto, se emplearon seis balizas Estimote, para testear la señal recibida en el móvil en un habitáculo de $6 \times 9 \text{m}^2$ y obtener una matriz de datos referencial, con 1500 valores de comparación en cada iteración del algoritmo (Fig. 15). Se dividieron en 6 áreas de dominio según la trayectoria del usuario. La gran variabilidad de la señal, produjo errores en las coordenadas de posición del usuario y finalmente fue descartado para el posicionamiento, pero empleado para corregir el error de arrastre del sensor láser.

Fig. 15 Huellas obtenidas con balizas Estimote en el Laboratorio de Instrumentación del Centro de Tecnología Biomédica (Fuente: DP)

2.10. Discusión

Las personas ciegas usan principalmente el oído y el tacto para obtener información del entorno, pero integran además la información de sus otros sentidos para orientarse y moverse por el entorno cercano. El uso del bastón les provee mayor seguridad y confianza cuando tienen que ir de un lugar a otro. Los dispositivos creados hasta el momento y que substituyen la visión perdida, permiten activar regiones del cerebro usando mínimas corrientes eléctricas que se aplican en diferentes partes del cuerpo, o cuando se estimulan mediante la vibración y diferentes fuentes de sonidos, con el objetivo de reconocer formas, objetos y como ayudas para la navegación.

Para la exploración de espacios interiores desconocidos y la navegación, se están empleando con éxito aplicaciones de realidad virtual y dispositivos hápticos que substituyen a los mapas a relieve. Algunos estudios señalan que las personas con ceguera pueden construir mapas cognitivos completos del entorno con entrenamiento basado en el uso de estas herramientas, que le permiten desarrollar la destreza necesaria para adquirir la información relevante del entorno. Para la navegación además se necesita localizar al usuario, que puede realizarse mediante la medición de la señal de radiofrecuencia recibida por la móvil proveniente de balizas localizadas adecuadamente dentro del entorno, sin embargo esta tecnología aún tiene que seguir desarrollándose. El reto en la actualidad consiste en mejorar los sistemas de posicionamiento en interiores, para dar a conocer con precisión la información relevante que se entrega al usuario y para facilitar su inclusión en entornos familiares y no familiares,. Se puede adecuar la tecnología existente o desarrollar otras capaces de substituir el sentido faltante, para representar el espacio que les rodea, y ellos puedan ser más autónomos en su movilidad. Además se debe evaluar continuamente la eficiencia y eficacia de las herramientas que se desarrollen durante el estudio con potenciales usuarios.

Capítulo 3

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

“No es grande el que nunca falla, sino el que no se da por vencido”
Paulo Cohelo

RESUMEN: En este capítulo se presenta las hipótesis y objetivos planteados en el trabajo de investigación, una vez que se han revisado los avances proporcionados por la comunidad científica en cuanto al tema de realidad virtual y aumentada en aplicaciones móviles para invidentes.

3.1. Hipótesis de la investigación

El propósito de este estudio es el desarrollo de una metodología para la construcción de una herramienta de realidad aumentada con interfaces sensitivas, que sea usada por usuarios invidentes para adquirir el conocimiento del espacio (distribución y ubicación de objetos y estructuras en un ambiente no familiar) y como ayuda para la navegación por el interior de entornos desconocidos.

Como se describió en capítulos anteriores, el aprendizaje en las personas invidentes es una conjunción entre aprendizaje cognitivo y perceptivo, por lo que la construcción del conocimiento espacial a través de VRA requerirá el uso de interfaces apropiadas que proporcionen información precisa y continua a nivel conceptual y perceptual [27, 40, 90].

En la primera fase del estudio se planteó emplear la estrategia de exploración denominadas exploración de proximidad (Página 46) para que el usuario adquiriera información del entorno durante las visitas virtuales al interior de lugares desconocidos. También se plantea usar cuatro interfaces sensitivas: la voz, los pitidos, la vibración para comunicar la información relevante al usuario durante la exploración y los gestos sobre la pantalla del móvil para gestionar la presentación de los objetos durante la exploración y para iniciar un modo de acción. Los participantes adquirirían el conocimiento del lugar, mientras exploran el entorno de una manera virtual, posiblemente la retroalimentación auditiva y táctil les permitirá mantener ese conocimiento para la construcción del mapa cognitivo.

- 1 Suponemos que la combinación de interfaces sensitivas utilizadas durante la exploración de proximidad de espacios virtuales no familiares, permite a los usuarios ciegos un proceso de exploración eficaz y eficiente para adquirir un mapa cognitivo de calidad del lugar visitado, con la finalidad de que el usuario pueda realizar tareas en el entorno real.
- 2 Hipotetizamos que una aplicación que utiliza: una velocidad aumentada en la reproducción de mensajes, con métricas de distancias en metros, con frecuencias bajas de pitidos para alertar sobre objetos en el escenario y que use gestos muy simples en la pantalla del móvil es mejor que otras combinaciones propuestas, ya que mejoraría la eficiencia y la eficacia del proceso de exploración.

- 3 Planteamos la hipótesis de que una mayor eficiencia estaría asociada con: una duración más corta durante la etapa de exploración general; que una mayor eficacia estaría asociada a: un mayor porcentaje de objetos y estructuras detectados en esta etapa de exploración.
- 4 También planteamos la hipótesis de que las interfaces sensitivas utilizadas durante la exploración de proximidad proporciona suficiente información para que el usuario construya una representación mental del espacio interior desconocido, aumentando el porcentaje de éxito en la realización de tareas en el espacio real. En particular formulamos la hipótesis de que un mapeo cognitivo óptimo estaría asociado con: la identificación correcta de los obstáculos y con una precisión razonable en la ubicación de los obstáculos. Finalmente, planteamos la hipótesis de que la utilidad del mapa cognitivo estaría asociada al éxito para alcanzar los puntos objetivos en un entorno real.

En la siguiente fase del proyecto, se planteó emplear la voz femenina espacial, un tono de 440Hz espacial y el sonido virtual de un instrumento musical en 3D con tres respuestas auditivas de salida: lineal, logarítmica y personalizada, como interfaces sensitivas durante la navegación por espacios interiores no familiares usando aplicaciones de realidad aumentada. Además se planteó usar fuentes de sonido en el sitio como medio para guiar al usuario durante su recorrido y determinar las diferencias respecto a eficiencia y precisión de los sonidos virtuales; creemos que los sonidos virtuales pueden reemplazar al sonido en el sitio durante la navegación y mantener la precisión necesaria para alcanzar diferentes puntos objetivos.

- 1 Planteamos la hipótesis que los sonidos en el sitio pueden ser reemplazados por sonidos 3D durante la navegación en interiores, para alcanzar puntos objetivos en el interior de entornos desconocidos.
- 2 Planteamos la hipótesis que los sonidos 3D con respuesta personalizada utilizados durante la navegación en tiempo real son mejor discriminados por los usuarios que los sonidos 3D con respuesta lineal o logarítmica. En particular formulamos la hipótesis que la voz con respuesta personalizada alcanzaría mayor precisión y eficiencia durante la navegación de los invidentes por el interior de un entorno real.
- 3 También planteamos la hipótesis de que la utilidad de usar aplicaciones de realidad aumentada durante la navegación estará asociada al éxito para alcanzar los puntos objetivos en un entorno real.

En la tercera fase del proyecto, se plantea emplear las interfaces que obtuvieron significancia estadística en las fases uno y dos, como interfaces sensitivas durante la navegación por espacios interiores no familiares; suponemos que las personas ciegas pueden ser guiados usando las aplicaciones de realidad aumentada para la navegación en interiores desconocidos, con una reducción en su carga cognitiva.

- 1 Hipotetizamos que los usuarios son capaces de navegar eficientemente por un entorno desconocido con una reducción en la carga mental, cuando utilizan una aplicación de realidad aumentada que proporciona una ruta guiada por zonas libre de obstáculos.

3.2. Objetivos de la investigación

El desarrollo de las aplicaciones está enfocado a facilitar el uso de las herramientas de realidad virtual y aumentada de los usuarios con ceguera durante el entrenamiento para las visitas virtuales a entornos desconocidos y durante la navegación por espacios interiores desconocidos; para comprobar las hipótesis del estudio, se han planteado los siguientes objetivos principales.

Fase Uno:

- 1 Desarrollar aplicaciones de realidad virtual y aumentada combinando distintas interfaces sensitivas, como la voz, los sonidos, la vibración y los gestos, para comunicar al usuario la presencia y ubicación de objetos y estructuras en el entorno, mientras el avatar del usuario camina por una sala virtual.
- 2 Establecer un mínimo de tres configuraciones de prueba para cada interface sensitiva, para la construcción de cada aplicación de realidad aumentada.
- 3 Determinar la eficiencia y eficacia del proceso de exploración efectuada por los usuarios invidentes, cuando se ha empleado cada interfaz sensitiva en una de las aplicaciones de realidad aumentada y asociar los resultados de la evaluación para la contrastación de la hipótesis.
- 4 Determinar la calidad del mapa cognitivo desarrollado por los participantes invidentes, cuando emplean herramientas de realidad aumentada en visitas virtuales anticipadas al interior de espacios desconocidos, en base al número de objetos correctamente identificados y correctamente ubicados en un modelo a escala, para emplearlo durante la realización de tareas egocéntricas, allocéntricas y de orientación en un espacio real.

Fase dos:

- 1 Desarrollar aplicaciones de realidad aumentada utilizando como interfaces sensitivas: la voz femenina 3D, un tono de 440Hz 3D y el sonido de un instrumento musical 3D producidos virtualmente mediante software, con tres respuestas auditivas para cada sonido: lineal, logarítmica y personalizada, para que los usuarios con ceguera puedan emplearlos durante la navegación por una casa inteligente.
- 2 Determinar la eficiencia, eficacia y utilidad del proceso de navegación empleando sonidos 3D en aplicaciones de realidad aumentada.
- 3 Determinar la utilidad de las aplicaciones de realidad aumentada durante la navegación.

Fase tres:

- 1 Desarrollar aplicaciones de realidad aumentada, para guiar al usuario dentro de un laberinto, utilizando sonidos 3D.
- 2 Determinar la carga cognitiva empleada por los participantes durante la navegación, estableciendo el número de usuarios que tienen leve o moderada pérdida cognitiva antes de iniciar la navegación, usando un test de memoria y recuerdos diferidos.

Sección II: Trabajo de Investigación

Capítulo 4: Interfaces sensitivas en aplicaciones de
Realidad Virtual y Aumentada para
invidentes

Capítulo 5: Discusión, Conclusiones y Trabajos futuros

Capítulo 4

Interfaces sensitivas en Aplicaciones de Realidad Virtual y Aumentada para invidentes en dispositivos portátiles

“Nuestra memoria no es más que una imagen de la realidad, por lo que
nuestra realidad es sólo nuestra imaginación”
Ende Michael

Resumen: Este capítulo presenta la metodología para el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual y aumentada y se describen las interfaces sensitivas empleadas durante la exploración virtual a espacios interiores desconocidos.

Introducción

Las aplicaciones de realidad virtual y aumentada hoy día se están utilizando en varios ámbitos, como la salud, educación, ocio y trabajo. La industria de los videojuegos ha permitido el desarrollo y la interconectividad entre las aplicaciones y dispositivos externos, para lograr experiencias más inmersivas. Uno de los problemas más importantes en la interacción entre el usuario invidente y los dispositivos portátiles es la comunicación, porque la información es principalmente visual, de ahí la necesidad de desarrollar el tema de interfaces sensitivas.

El proyecto e-Glance (Anexo 2: Proyecto e-glance), permitió evaluar herramientas de realidad virtual y aumentada con veinte y cuatro voluntarios de la Fundación ONCE y un estudiante de la Universidad Politécnica de Madrid, seis tenían severa limitación visual y diecinueve ceguera total. Se desarrollaron un total de ciento treinta y seis aplicaciones, de las cuales las últimas dieciséis corresponden a aplicaciones para la ayuda durante la navegación por entornos desconocidos y las primeras para realizar visitas virtuales anticipadas a espacios interiores desconocidos. Sobre estas últimas aplicaciones se probaron con usuarios cuatro tipos de interfaces sensitivas, que serán descritas en la sección 4.4.4.

4.1. Interfaz Sensitiva

Una comunicación óptima entre el individuo ciego y el dispositivo móvil, permite responder a las intenciones del usuario mientras utiliza la aplicación e informa lo relevante del lugar mientras explora el espacio virtual. Este trabajo propone informar al usuario y responder a sus intenciones a través de medios verbales, sonidos de diferentes frecuencias y vibraciones que pueden ser generados en su propio dispositivo móvil o tableta y además para que el usuario pueda cambiar de objeto o seleccionar una acción, se emplearon gestos en la pantalla del dispositivo portátil. Con respecto a la generación de los medios verbales y sonidos, se utilizará un SDK especializado denominado RTVoice, que convierte el texto en voz y reproduce los pitidos que se hayan programado, según aparezcan los objetos y estructuras en la escena y colisionen con el avatar del usuario. La generación de la vibración y el reconocimiento de gestos se programan en C# usando Unity3D [110] como motor de juego para diferentes plataformas de trabajo, como Androide e iOS, que emplean la mayoría de dispositivos portátiles.

4.2. Modelo de Información

Se desarrollaron dos modelos de información para el intercambio de datos entre usuario y dispositivo. La Fig. 16a, establece las relaciones con los objetos, en un entorno básico que está

compuesto de una sola habitación y pocos objetos dispersos, La Fig. 16b presenta las relaciones en ambientes más complejos con mayor cantidad de objetos y estructuras donde:

Fig. 16 Modelo de Información a) Entornos sencillos, b) Entornos complejos

Las zonas de seguridad “SZ” son construidas como objetos que se mueven y rotan con el avatar del usuario, su propósito es alertar al usuario de la presencia de objetos mientras el avatar está caminando. Se utiliza durante la exploración de proximidad.

El foco de atención “FoA” es un objeto que apunta en la dirección que el usuario está mirando y se mueve cuando el usuario cambia su orientación. Se utiliza durante la exploración remota. En este trabajo se emplearon dos focos: Foco de Atención Plano y foco de atención esférico (Ver Fig. 17), sin embargo en forma previa, varias otras opciones fueron implementadas (Página 48).

Notificaciones se manejan por instrucciones asociadas a objetos dentro de la escena. Proveen alertas e información al usuario durante el entrenamiento.

Avatar representa la persona ciega dentro de la aplicación; su orientación y dirección de movimiento se obtienen de los sensores inerciales del móvil.

Fig. 17 Foco de atención a) Plano (pFoA), b) Esférico (sFoA). (Fuente: DP)

Ítem representa a cada objeto y estructura dentro del escenario, estos se pueden agrupar usando características comunes.

Lugar representa cada espacio al cual puede acceder el avatar, cuando el usuario selecciona desde un menú, una vez seleccionado este adiciona los objetos contenidos en una entidad del juego.

4.3. Casos de Usos

Un adecuado diseño de interfaces, permite a los usuarios comprender los procedimientos y el contenido. En esta investigación se ha planteado un conjunto de actividades denominadas *casos de uso* que el usuario puede resolver con la aplicación, estas se presentan en la **¡Error! o se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 1 Casos de uso para desarrollar el modelo de información

Necesidades	Casos de uso
Evitar obstáculos	Detectar obstáculos en la ruta
Localizar un objeto específico	Localizar objeto en el entorno
Obtener información de objetos distantes	Explorar los alrededores

4.3.1. Detectar obstáculos en la ruta

La presencia de obstáculos, según el tipo de exploración que realiza el usuario (Página 46) puede ser notificada cuando el obstáculo colisiona con las zonas de seguridad. El diagrama de secuencia de la detección de obstáculos se muestra en la Fig. 18.

Fig. 18 Diagrama de secuencia del caso de uso "Detectar Obstáculos"

El usuario adquiere conocimiento del espacio, mientras el avatar camina por el entorno virtual, los objetos que aparecen delante o a los lados del avatar, son percibidos y notificados al usuario, según su avatar vaya acercándose al objeto. Mientras camina el avatar, el usuario puede recibir realimentación auditiva o vibratoria. Sonidos, pitidos o vibraciones se deben validar con los usuarios de la aplicación.

4.3.2. Localizar objeto en el entorno

Fig. 19 Diagrama de secuencia del caso de uso "Localizar objeto en el entorno"

Los objetos que caen dentro del foco de atención se almacenan en una matriz que se actualiza conforme el usuario cambia de orientación, se organizan por la distancia del objeto al avatar (Fig. 19)

Para obtener información de la localización del objeto, el usuario inicia la acción de búsqueda mediante gestos en la pantalla, también puede seleccionarlos a partir de un menú descrito verbalmente. Comandos vocales son empleados para informar el nombre del objeto y la distancia a la que se encuentra.

4.3.3. Explorar los alrededores

Durante la exploración remota (Página 46), se obtiene información de los objetos que se encuentran delante del usuario. El diagrama de secuencia se muestra en la Fig. 20.

Fig. 20 Diagrama de secuencia del caso de uso "Explorar los alrededores"

Quando el usuario cambia de orientación, sea girando sobre su propio eje o sea manipulando el móvil, adquiere el conocimiento de la distribución de las estructuras y objetos en el interior del entorno virtualizado. Cuando ha girado 360 grados regresa al primer objeto y puede reforzar su conocimiento, con mayor entrenamiento. El uso de gestos permite pasar a los siguientes objetos, alineados en la línea de vista del usuario.

4.4. Modelo de Interacción con la aplicación

Permite al usuario activar las interfaces de salida, según la actividad que realiza, la interfaz de entrada constituyen los gestos que el usuario realiza en la pantalla del móvil o el accionamiento de botones en el bastón (Ver Tabla 2).

Tabla 2 Modelo de interacción del usuario con la aplicación

Modo Exploración	Foco de Atención	
	Interfaz cognitiva	Interfaz
Remota	Plano y esférico	Voz, gestos y vibración
Proximidad	No-FoA	Voz, pitidos, gestos y vibración

4.4.1. Modo Exploración Remota

El avatar está en una posición fija dentro del escenario y cambia su orientación a voluntad del usuario. La aplicación brinda información sobre el objeto más cercano, el usuario pasa al siguiente objeto trazando gestos en la pantalla táctil. En este modo se activa el foco de atención y desactivan las zonas de seguridad.

4.4.2. Modo Exploración de proximidad

Se activan las zonas de seguridad que se mueven en forma solidaria con el movimiento del avatar. El usuario permite que el avatar camine dando toques en la pantalla y conforme avanza recibe continuamente información acerca de los objetos y estructuras cercanos. En este modo se desactiva el foco de atención. Cuando el avatar está a 1m de un obstáculo se desactiva el modo caminar.

4.5. Software de Desarrollo

El Motor de Juego permite el desarrollo de las aplicaciones móviles, integrando la información de la aplicación con las entradas provistas por el usuario; aquí se define la actuación del avatar, la detección de colisiones y el envío de notificaciones al usuario, además se gestiona la interfaz gráfica mediante menús y ventanas, que en el proyecto se emplearon únicamente con criterios de depuración. El software (SW) debe poder modelar la física de los objetos, suministrar la posibilidad de scripting para el control de la aplicación, disponer de editores interactivos de escenas y tener soporte para redes. El SW posibilita el desarrollo de los casos de uso, empleando varios lenguajes de programación. Las aplicaciones se prevén instalarse en los sistemas operativos Androide e iOS, por tanto la elección es que este motor sea multiplataforma y que exista la facilidad de exportar objetos creados desde otros programas y para la inter-conexión con otros dispositivos externos.

Tabla 3 software de soporte nativo a plataformas móviles

	Unity 3D	OpenSim
Soporte modo multi-jugador	Si	Si
Soporte modo stand-alone	Si	Si
Soporte Androide nativo	Si	No
Soporte iPhone nativo	Si	No
Open source	No	Si
Free ware	Si*	Si

Los entornos comerciales de desarrollo suelen ser costosos y tienen limitaciones en cuanto a las licencias para la distribución de la aplicación, sin embargo Unity 3D ofrece licencias personales libres para construir aplicaciones de realidad virtual. Hay disponible software libre de código abierto como OpenSim, que está bien documentado, por lo que se hizo una tabla comparativa entre estos dos sistemas (Tabla 3).

La elección fue Unity 3D, porque es un motor de videojuego multiplataforma, está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows y OSX, y permite crear juegos para Windows, OS X, Linux, Xbox 360, PlayStation 3; puede usarse junto con otros programas en 3ds como Max, Blender, Modo, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks, entre otros, soporta 4 lenguajes de programación para el desarrollo de scripting: JavaScript extendido, C#, Boo y un derivado de Python. Además permite la actualización automática de los cambios realizados a los objetos en todas las instancias del proyecto sin la necesidad de volver a importarlos.

Complementario al desarrollo de las aplicaciones se requiere un servidor desde donde se descargan las aplicaciones y almacenan los datos de las experiencias con usuarios, un servidor de página WEB informativa; Windows Server 2012, fue instalado en el servidor de tifo-juegos y PHP para página web, ambos tienen buenas prestaciones para la conectividad y la administración de servicios, el almacenamiento y la protección de la información; además se puede actualizar el sistema con facilidad según se requiera durante el desarrollo del proyecto.

4.6. Metodología de Desarrollo

Para evaluar las interfaces sensitivas en las aplicaciones desarrolladas, se realizaron ocho talleres de trabajo (grupos focales) con los participantes, que se describirán en las siguientes sub-secciones, en cada taller se estableció un protocolo de trabajo general que incluye la bienvenida, la socialización del trabajo, los objetivos del taller y las actividades a desarrollar. Durante el entrenamiento se usaron entornos virtuales ficticios. Para evaluar los resultados, se utilizaron cuestionarios posteriores a las experiencias, registros de observación y videos. Los usuarios luego de las experiencias, realizaron diversas actividades, como la ubicación de objetos dentro de una maqueta que fueron contruidos a escala reducida y tareas en el entorno real que serán descritas en cada taller de trabajo. Se establecieron métricas de análisis estadístico, para validar la eficiencia, eficacia, utilidad y usabilidad de las interfaces aplicadas en las VRA.

4.6.1. Workshop

Un total de quince participantes, siete ciegos y ocho personas con impedimento visual, trabajadores de la Fundación ONCE, (Tabla 4) afiliados a la Fundación y un estudiante de la Universidad Politécnica de Madrid fueron reclutados (edad promedio 44años, SD=22 años), para colaborar en el proyecto denominado “*e-Glance*”. Los participantes aceptan firmar un acuerdo de confidencialidad y para el registro de observación de las actividades dentro de los talleres (Anexo 3).

En esta etapa diagnóstica se determinó que todos los participantes usaban móvil, once tenían conocimiento en el uso de un ordenador, los participantes usan la opción de accesibilidad que les permite cambiar el texto a voz y reconocer gestos en el móvil para cambiarse entre aplicaciones; el 66% se conectan a redes sociales y un 13% usan otro tipo de tecnologías. Uno de los participantes tenía una ligera sordera y los demás ningún otro impedimento notorio.

Tabla 4 Participantes en el primer taller de trabajo del proyecto e-Glance

	Condición de los participantes					
	Ciego	Impedido visual	Edad (años)	Trabaja (%)	Estudia (%)	Retirado (%)
Hombres	5	3	31-66	13,3	6,6	33,3
Mujeres	2	5	21-48	33,3	6,6	6,6

Sobre la base de la información obtenida de los participantes y las opiniones del grupo, se planeó desarrollar una primera aplicación basada en voz y vibración.

4.6.2. Workshop II

Cuatro participantes ciegos y deficientes visuales cuya edad promedio fueron 41 años, con SD = 16.5 años, participan en la validación de la primera aplicación de realidad virtual. La aplicación incluye tres SZ frontales localizadas a 1, 2 y 3 metros del usuario (Fig. 21).

Fig. 21 Zonas de seguridad establecidas en la primera aplicación de realidad virtual. (Fuente: DP)

Se construyeron dos VRA, una para explorar en forma remota un entorno ficticio y otra para la exploración de proximidad. Se usó el SDK TTS para traducir el texto en voz femenina e informar sobre la presencia de un obstáculo. La vibración se empleó durante la exploración de proximidad, para informar que el avatar está caminando por el entorno virtual, la variación en la intensidad de la vibración informó que el avatar se está acercando o alejando del objeto o la estructura interior.

El entorno se correspondió con una habitación de 6x9m², con seis objetos interiores dispersos: 2mesas, 2 sillas, florero, estantería (Ver Fig. 22); además la habitación virtual tenía dos puertas y dos ventanas. Durante la exploración remota el avatar está fijo en el centro del escenario y durante la exploración de proximidad el avatar caminó por el entorno partiendo de la puerta de entrada a la habitación.

Fig. 22 Objetos a escala distribuidos en el modelo de habitación empleada en el segundo Taller (Fuente: DP)

El FoA utilizado durante la exploración remota fue una esfera de 1 metro de diámetro con dos grados de libertad (arriba-abajo, derecha-izquierda) que salía desde el centro del usuario y permitía detectar objetos y estructuras, con dificultades en la detección de esquinas, debido a que la esfera colisionaba con la pared, antes de hacer contacto con la esquina. Los usuarios sugirieron numerar las paredes y agregar pitidos cuando el avatar estaba cerca de un objeto.

Durante la evaluación de la aplicación empleada en la exploración de proximidad, los usuarios no estuvieron seguros de si el avatar se había quedado quieto o seguía caminando luego de establecer contacto con un objeto, porque cuando los componentes de colisión (*Collider*) de la SZ colisionó con el Colisionador de los objetos, el avatar se detuvo, sin embargo el móvil seguía vibrando. Para evaluar la calidad de la información proporcionada a los participantes y la usabilidad de la aplicación, se realizó un cuestionario posterior a la exploración, donde se evaluaron parámetros de rendimiento, usabilidad y satisfacción del usuario.

Fig. 23 Resultados Workshop II (Fuente: DP)

Los resultados logrados durante este taller se presentan en la Fig. 23, los cuestionarios posteriores a las experiencias se basaron en la escala de Likert: 5 representa estar totalmente de acuerdo, 4 muy de acuerdo, 3 de acuerdo, 2 poco de acuerdo y 1 completamente en desacuerdo.

Posterior al análisis de los primeros resultados y las sugerencias de los participantes, se plantearon realizar cuatro modificaciones en las siguientes aplicaciones, que son: la eliminación de una zona de seguridad frontal para limitar la cantidad de información que se entrega al usuario; dar a conocer la numeración de las paredes y esquinas; usar tres pitidos de

100Hz, 1KHz y 4KHz para avisar que el avatar está cerca de un objeto bajo, medio o alto; y finalmente la integración de la exploración y el recorrido en una sola aplicación.

4.6.3. Workshop III

Cinco participantes ciegos y de baja visión (edad media 40 años, SD = 14,4 años), participaron en la validación de la segunda VRA. La aplicación incluye dos SZ frontales localizadas a 1 y 2 metros del usuario (Fig. 24).

Fig. 24 Zonas de Seguridad Frontal usadas en la segunda VRA (Fuente: DP)

Las aplicaciones estaban basadas en la misma habitación de $6 \times 9 \text{m}^2$ del primer taller con los seis objetos interiores cambiados de posición y una habitación sin objetos. El usuario puede elegir caminar o explorar en la misma aplicación mediante gestos en la pantalla del móvil. Para dar información sobre el tipo de objeto que entra en la SZ, se programan tonos de frecuencia alta, media y baja, que reemplaza a la vibración variable utilizada en el Taller II. La vibración tiene un patrón fijo y se utiliza para informar al usuario que el avatar está caminando por el entorno virtual.

El reconocimiento de la estructura se evalúa en una VRA sin objetos, donde el avatar del usuario se coloca en el centro de la habitación y el usuario explora toda la habitación girando 360 grados desde su posición actual frente a la pared hasta regresar nuevamente a esa posición en su silla giratoria. A continuación los participantes probaron otra VRA con objetos colocados en diferente posición para explorar la habitación; en esta experiencia, alcanzaron un 83.5% de éxito en la identificación de objetos y estructuras. Posteriormente los participantes contestaron un cuestionario de usabilidad y a continuación les fue entregada una maqueta y objetos a escala para la reconstrucción del escenario, hubo un 100% de éxito en el reconocimiento y ubicación de los objetos dentro del modelo. Los resultados se muestran en la Fig. 25. Finalmente los participantes realizaron tres tareas que consistieron en dirigir a su avatar a tres diferentes posiciones en el entorno de RV con un 94.4% de éxito, pero el 42% de las veces necesitaron la ayuda de los investigadores.

Durante la evaluación, el avatar de los participantes estuvo colisionando continuamente con los objetos, porque no estaba incluida la acción de “parar” que podría ser empleado por los participantes cuando se escucha las alertas auditivas de objeto cercano y hacer un cambio de orientación. Por esta razón, se plantea incluirla en la siguiente aplicación. Además los usuarios sugieren que la aplicación informe sobre los objetos que están a su derecha o a su izquierda, para poder hacer giros con seguridad y que la activación y desactivación de los modos de trabajo que se realiza con gestos, sean reforzadas con sonidos.

Fig. 25 Resultados del III taller con usuarios ciegos (Fuente: DP)

4.6.4. Workshop IV

Tres mujeres, dos ciegas y una con deficiencia visual (edad promedio 42 años, SD = 8.1 años) participaron en la validación de las terceras aplicaciones de realidad virtual y para la selección de tres patrones para voz, tonos, gestos y vibración que se utilizarán en el desarrollo de las siguientes aplicaciones. La aplicación de exploración incluye una SZ frontal de $0.75 \times 3 \times 1 \text{m}^3$ y dos SZ laterales una izquierda y una derecha de $1 \times 3 \times 0.75 \text{m}^3$ (Fig. 26).

Fig. 26 Zonas de Seguridad establecidas para la exploración en el IV taller (Fuente: DP)

En la aplicación de exploración se incluyeron gestos para caminar y parar, un sonido para reforzar la acción de exploración o caminar virtualmente por el entorno. Se desarrollaron cuatro aplicaciones para limitar el número de patrones en las interfaces sensitivas que iban a ser incluidas en las siguientes aplicaciones, la primera contenía veinte patrones de vibración (Tabla 5), la siguiente treinta y seis patrones de tonos de frecuencia fija (Tabla 6), la siguiente diez patrones de gestos (tabla 15) y la última veinticinco patrones de voz (tablas 8 a tabla 14). Para la generación de la vibración en el móvil, se activaron 20 secuencias, 10 secuencias estándar y 10 secuencias combinadas, cambiando la duración del ciclo de trabajo, según se observa en la Tabla 5.

Tabla 5 Patrones de vibración, evaluados durante el IV taller con usuarios ciegos

Acción Caminar	Vibración estándar	Descripción	Vibración comb.	Descripción
Patrón 1-11	$\delta=50\text{ms}$ $d=100\text{ms}$	pulsos cortos y rápidos, sensación de bienestar	$\delta=50\text{ms}; d=100\text{ms}$ $\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$	saltos de alegría
Patrón 2-12	$\delta=100\text{ms}$ $d=200\text{ms}$	pulsos cortos y rápidos molestos	$\delta=50\text{ms}; d=100\text{ms}$ $\delta=200\text{ms}; d=400\text{ms}$	latido del corazón invertido
Patrón 3-13	$\delta=200\text{ms}$ $d=400\text{ms}$	sensación de caminar rápido	$\delta=50\text{ms}; d=100\text{ms}$ $\delta=500\text{ms}; d=1000\text{ms}$	Punto/raja en Morse.
Patrón 4-14	$\delta=500\text{ms}$ $d=1000\text{ms}$	pausado normal	$\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$ $\delta=200\text{ms}; d=400\text{ms}$	latido acelerado
Patrón 5-15	$\delta=1000\text{ms}$ $d=2000\text{ms}$	pausado algo lento	$\delta=500\text{ms}; d=1000\text{ms}$ $\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$	latido del corazón
Patrón 6-16	$\delta=50\text{ms}$ $d=1000\text{ms}$	corto semejante al latido cardíaco	$\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$ $\delta=50\text{ms}; d=1000\text{ms}$	dar pasos sensación caminar con tacos
Patrón 7-17	$\delta=100\text{ms}$ $d=400\text{ms}$	corto más acelerado	$\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$ $\delta=100\text{ms}; d=400\text{ms}$	
Patrón 8-18	$\delta=200\text{ms}$ $d=200\text{ms}$	latido acelerado	$\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$ $\delta=200\text{ms}; d=200\text{ms}$	zumbido
Patrón 9-19	$\delta=500\text{ms}$ $d=100\text{ms}$	alerta	$\delta=100\text{ms}; d=200\text{ms}$ $\delta=500\text{ms}; d=100\text{ms}$	aviso de ingreso
Patrón 10-20	$\delta=1000\text{ms}$ $d=50\text{ms}$	aviso de ingreso mar	$\delta=200\text{ms}; d=400\text{ms}$ $\delta=500\text{ms}; d=1000\text{ms}$	motor de auto en espera

Nota: δ representa la duración de la vibración y " d " el espaciado entre vibraciones.

Las participantes eligen los patrones estándar P5 y P8 y el patrón combinado P3 como más representativos para las siguientes aplicaciones.

Para la generación de pitidos, se emplearon seis frecuencias: $f_1=100\text{Hz}$, $f_2=200\text{Hz}$, $f_3=500\text{Hz}$, $f_4=1\text{KHz}$, $f_5=2\text{KHz}$ y $f_6=5\text{KHz}$, con una duración: $\delta_1=100\text{ms}$ y $\delta_2=200\text{ms}$ y un espaciado: $d_1=100\text{ms}$, $d_2=200\text{ms}$ y $d_3=300\text{ms}$, según la Tabla 6.

Tabla 6 Patrones de tonos fijos según el tipo de objeto

Detección obstáculo	Obst. alto	Obst. medio	Obst. bajo	Obst. Alto	Obst. medio	Obst. bajo	Obst. Alto	Obst. medio	Obst. Bajo
P 1-11-21	f_1, δ_1, d_1	f_3, δ_1, d_1	f_5, δ_1, d_1	f_2, δ_1, d_1	f_4, δ_1, d_1	f_6, δ_1, d_1	f_1, δ_1, d_1	f_4, δ_1, d_1	f_5, δ_1, d_1
P 2-12-22	f_1, δ_2, d_1	f_3, δ_2, d_1	f_5, δ_2, d_1	f_2, δ_2, d_1	f_4, δ_2, d_1	f_6, δ_2, d_1	f_1, δ_2, d_1	f_4, δ_2, d_1	f_5, δ_2, d_1
P 3-13-23	f_1, δ_1, d_2	f_3, δ_1, d_2	f_5, δ_1, d_2	f_2, δ_1, d_2	f_4, δ_1, d_2	f_6, δ_1, d_2	f_1, δ_1, d_2	f_4, δ_1, d_2	f_5, δ_1, d_2
P 4-14-24	f_1, δ_2, d_2	f_3, δ_2, d_2	f_5, δ_2, d_2	f_2, δ_2, d_2	f_4, δ_2, d_2	f_6, δ_2, d_2	f_1, δ_2, d_2	f_4, δ_2, d_2	f_5, δ_2, d_2
P 5-15-25	f_1, δ_1, d_3	f_3, δ_1, d_3	f_5, δ_1, d_3	f_2, δ_1, d_3	f_4, δ_1, d_3	f_6, δ_1, d_3	f_1, δ_1, d_3	f_4, δ_1, d_3	f_5, δ_1, d_3
P 6-16-26	f_1, δ_2, d_3	f_3, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_3	f_2, δ_2, d_3	f_4, δ_2, d_3	f_6, δ_2, d_3	f_1, δ_2, d_3	f_4, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_3
P 7-17-27	f_2, δ_1, d_1	f_5, δ_1, d_1	f_6, δ_1, d_1	f_1, δ_1, d_1	f_5, δ_1, d_1	f_6, δ_1, d_1	f_2, δ_2, d_3	f_1, δ_1, d_1	f_5, δ_1, d_1
P 8-18-28	f_2, δ_2, d_1	f_5, δ_2, d_1	f_6, δ_2, d_1	f_1, δ_2, d_1	f_5, δ_2, d_1	f_6, δ_2, d_1	f_3, δ_2, d_3	f_6, δ_1, d_1	f_3, δ_1, d_2
P 9-19-29	f_2, δ_1, d_2	f_5, δ_1, d_2	f_6, δ_1, d_2	f_1, δ_1, d_2	f_5, δ_1, d_2	f_6, δ_1, d_2	f_1, δ_2, d_3	f_4, δ_2, d_1	f_6, δ_2, d_2
P 10-20-30	f_2, δ_2, d_2	f_5, δ_2, d_2	f_6, δ_2, d_2	f_1, δ_2, d_2	f_5, δ_2, d_2	f_6, δ_2, d_2	f_5, d_1, d_2	f_4, δ_2, d_3	f_6, δ_1, d_1
P 31-32-33	f_2, δ_1, d_3	f_5, δ_1, d_3	f_6, δ_1, d_3	f_1, δ_1, d_3	f_5, δ_1, d_3	f_6, δ_1, d_3	f_3, δ_1, d_3	f_4, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_3
P34- 35-36	f_2, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_3	f_6, δ_2, d_3	f_1, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_3	f_6, δ_2, d_3	f_3, δ_2, d_3	f_5, δ_2, d_2	f_6, δ_2, d_3

Los pitidos de mayor frecuencia son elegidos para objetos altos y los menores para objetos bajos, los participantes sugieren modificar los patrones en función de la distancia, según se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Patrones de tonos fijos elegidos y sugeridos por los participantes durante el IV taller

Participantes	1	2	3	Observación
Objeto alto	P28 más lejos	P25	P27	1 elige P31 para objetos más cercanos
Objeto medio	P16 más lejos	P14	P21	1 elige P19 para objetos más cercanos
Objeto bajo	P4 más lejos	P9	P1	1 elige P7 para objetos más cercanos

Para la generación de voz, se consideraron seis patrones y tres velocidades de reproducción, para cuando se el usuario inicia el modo de exploración de proximidad, denominado Modo1 y para cuando el usuario inicia el modo de exploración remota, denominado Modo2 (Tabla 8).

Tabla 8 Patrones de voz para activación de modo de exploración remota y de proximidad

Acción	Modo Exploración = Modo1 / Modo Caminar = Modo 2						Velocidad reproducción
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
Patrones de voz							
Activación de exploración	Modo 1 activado	Inicia 1	1 activada	Explorar	Sin voz, pitido de 1 segundo	Sin voz, vibración de 1 segundo	x/2x/3x
Desactivación de exploración	Modo 1 desactivado	Finaliza 1	1 desactivada	No explora	Sin voz, pitido de 1 segundo	Sin voz, vibración de 1 segundo	x/2x/3x
Activación de caminar	Modo 2 activado	Inicia 2	2 activado	Caminar	Sin voz, vibración de 1 segundo	Sin voz, pitido de 1 segundo	x/2x/3x
Desactivación de caminar	Modo 2 desactivado	Finaliza 2	2 desactivado	Parar	Sin voz, vibración de 1 segundo	Sin voz, pitido de 1 segundo	x/2x/3x

Los patrones P1 y P3 son elegidos por los participantes para activar y desactivar la exploración y el P3 para activar y desactivar la función de caminar del avatar en el escenario virtual, no se pudo evaluar la velocidad de reproducción, eso se deja para el siguiente taller.

Para la generación de voz, durante el reconocimiento de ventanas (Tabla 9), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para las sugerencias de los participantes.

Tabla 9 Patrones de voz para el reconocimiento de una o dos ventanas dentro del FoA

Patrones de voz ventana	P1	P2	P3	P4	P5
Una cerrada	Ventanal/ ventana ancha/estrecha	Ventana grande/ mediana/pequeña	Ventana de alto x ancho cm ²	Ventana junto a /al lado de/	Ventana
Una abierta	Ventana ancha abierta/ ventana estrecha abierta	Ventana grande abierta/ ventana pequeña abierta	Ventana de alto x ancho cm ² , abierta	Ventana junto a/al lado de/ está abierta	Ventana abierta
Dos en la misma pared	Ventana 1 está cerca de ventana 2	Ventana 1 izquierda Ventana 2 derecha	Ventana 1 separada distancia cms de ventana 2	Hay dos ventanas a en la pared	Dos ventanas
Dos iguales en ≠ paredes	Ventana 1 en pared 1 ventana 2 en pared 2	Ventana 1 izquierda Ventana 2 derecha	Hay 1 ventana en cada pared	Hay 2 ventanas, 1 en cada pared	Hay 2 ventanas en diferentes paredes
Dos ≠ en ≠ paredes	Ventana 1 en pared 1 y ventana 2 en pared 2 tamaños diferentes	Ventana 1 pared izquierda Ventana 2 pared derecha son diferentes	Ventana 1 grande en pared 1 y ventana pequeña en pared 2.	Ventana 1 en pared izquierda es más grande que Ventana 2 en pared derecha	Hay 2 ventanas de diferente tamaño en 2 paredes
Una está obstruyendo el paso	Ventana 1 abierta, ventana 2 cerrada	Ventana izquierda obstruye paso, ventana derecha cerrada	Ventana en pared izquierda obstruye el paso, la ventana de pared derecha libre	Hay 2 ventanas, la izquierda obstruye el paso	Hay 2 ventanas, 1 obstruye el paso
Las dos obstruyen el paso	Hay 2 ventanas abiertas	Las ventanas 1 y 2 obstruyen el paso	Ventana 1 y 2 obstruyendo el paso	Hay 2 ventanas obstruyendo el paso	Precaución ventanas abiertas

No existe homogeneidad en la evaluación de los resultados, las participantes no se interesan por la numeración de la ventana, a una le interesa su tamaño, todas coinciden en que interesa su ubicación y si está abierta o cerrada.

Para la voz, durante el reconocimiento de una puerta que cae dentro del FoA (Tabla 10), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para sugerencia de los participantes.

Tabla 10 Patrones de voz para el reconocimiento de una pared

Patrones de voz puerta	P1	P2	P3	P4	P5
Una cerrada	Puerta 1 cerrada	Puerta 1 en pared 1 está cerrada	Puerta cerrada	Puerta	Puerta 1
Una abierta	Puerta 1 abierta hacia dentro/fuera	Puerta 1 en pared 1 está abierta	Puerta abierta/paso obstruido/paso libre	Puerta de salida/entrada abierta	Puerta abierta

Los patrones selectos en todos los casos son diferentes, por tanto se considera que la forma en cómo se indique que la puerta está abierta o cerrada, no tiene relevancia.

Para indicar que un objeto está dentro de la SZ frontal del avatar (Tabla 11), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para sugerencia de los participantes.

Tabla 11 Patrones de voz para avisar sobre objetos que se sitúan en la zona de seguridad frontal del avatar

Voz objeto	P1	P2	P3	P4	P5
Menos de 1m	está muy cerca	está a X(cm)	está a un paso	la tienes al alcance	está a < 1 metro
Entre 1 y 2 m	está próximo	está a Y(cm)	está a tres pasos	lo tienes algo cerca	está a < 2 metros
Entre 2 y 3m	está un poco alejado	está a Z(cm)	está a cinco pasos	lo tienes a regular dist.	está a < 3 metros
Está a 3m	está alejado	está a 3m	está a seis pasos	lo tienes a buena dist.	está a 3metros

Los patrones P2, P3 y P5 se consideraron más adecuados para brindar esta información, sin embargo el tamaño de los pasos es variable y podría acarrear algo de error en describir la distancia. Finalmente de las experiencias anteriores, se considera inadecuado usar 3 zonas de seguridad frontales, por el exceso de información que se puede generar y para evitar la confusión del usuario; en tal virtud se resuelve, solo informar sobre el primer objeto que se localice a 1m del avatar y que se complementa con el pitido de alerta.

Para la generación de voz, durante el reconocimiento de objetos que caen dentro de las SZ laterales (Tabla 12), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para sugerencia de los participantes.

Tabla 12 Patrones de voz para el reconocimiento de objetos que entran y salen de las zonas de seguridad laterales

Patrones de voz objetos	P1	P2	P3	P4	P5
entra un objeto SZ izquierda	aparece <i>objeto</i> a su izquierda	entra <i>objeto</i> por la izquierda	<i>objeto</i> entra por lado izquierdo	izquierda obstruida	ha ingresado objeto por la izquierda
sale un objeto SZ izquierda	desaparece <i>objeto</i> a su izquierda	sale <i>objeto</i> por la izquierda	<i>objeto</i> sale por lado izquierdo	izquierda libre	ninguna cosa a la izquierda
entra un objeto SZ derecha	aparece <i>objeto</i> a su derecha	entra <i>objeto</i> por la derecha	<i>objeto</i> entra por lado derecha	derecha obstruida	ha ingresado objeto por la derecha
sale un objeto SZ derecha	desaparece <i>objeto</i> a su derecha	sale <i>objeto</i> por la derecha	<i>objeto</i> sale por lado derecho	derecha libre	ninguna cosa a la derecha

Los patrones P2 y P4 son elegidos por los participantes para objetos que entran a las zonas laterales, además sugieren un nuevo patrón, llamado P6 (*objeto* paso izquierda/derecha), que se va a considerar en el desarrollo de la siguiente aplicación; también P4 también fue elegido para los objetos que van saliendo de las zonas de seguridad.

Para la generación de voz, para el cambio de orientación del usuario (Tabla 13), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para sugerencia de los participantes.

Tabla 13 Patrones de voz para la orientación del usuario

Patrones voz orientación	P1	P2	P3	P4	P5
Girar a la izquierda menos de 90°	gire ligeramente hacia su izquierda y continúe	gire $\underline{x}$ grados hacia su izquierda y continúe	gire en sentido noroeste y continúe	gire en dirección norte $\underline{x}$ grados oeste y continúe	rote su cabeza $\underline{x}$ grados hacia la izquierda y vaya en esa dirección
Girar a la izquierda más de 90°	gire completamente hacia su izquierda y continúe	gire $\underline{x}$ grados hacia su izquierda y continúe	gire en sentido suroeste y continúe	gire en dirección sur $\underline{x}$ grados oeste y continúe	rote completamente su cabeza hacia la izquierda y vaya en esa dirección
Girar a la derecha menos de 90°	gire ligeramente hacia su derecha y continúe	gire $\underline{y}$ grados hacia su derecha y continúe	gire en sentido noreste y continúe	gire en dirección norte $\underline{y}$ grados este y continúe	rote su cabeza $\underline{y}$ grados hacia la derecha y vaya en esa dirección
Girar a la derecha más de 90°	gire completamente hacia su derecha y continúe	gire $\underline{y}$ grados hacia su derecha y continúe	gire en sentido suroeste $\underline{y}$ grados y continúe	gire en dirección sur $\underline{y}$ grados y continúe	rote completamente su cabeza hacia la derecha y vaya en esa dirección

Los participantes seleccionados fueron P1 y P2 pero sugieren hacer modificaciones a P2 para no introducir la palabra grados. Los participantes explican durante su aprendizaje se les enseña a orientarse según la posición de las agujas del reloj para cambiar de sentido, por lo que se debería utilizar esta técnica en las aplicaciones que impliquen la navegación por interiores.

Para la generación de voz, haciendo referencia a la presencia de dos objetos (Tabla 14), se utilizaron cinco patrones y se dejó un espacio para sugerencia de los participantes.

Tabla 14 Patrones de voz para referenciar dos objetos cercanos en el entorno virtual

Patrones de voz objetos	P1	P2	P3	P4	P5
El objeto 1 se encuentra a la izquierda del	obj1 está a la izquierda de obj2	obj1 está hacia el este de donde está obj2	obj1 está hacia el occidente de donde está obj2	obj1 está 1ro, obj2 después, viniendo por la izquierda	obj1 izquierda, obj2 derecha
El objeto 1 se encuentra a la derecha del objeto	obj1 está a la derecha de obj2	obj1 está hacia el oeste de donde está obj2	obj1 está hacia el oriente de donde está obj2	obj1 está 1ro, obj2 después, viniendo por la derecha	obj1 derecha, obj2 izquierda
El objeto 1 se encuentra frente al objeto 2	obj1 está al frente de obj2	Obj1 está hacia el norte y obj2 hacia el sur	obj 1 está en dirección 90 grados de obj2	obj1 está 1ro, obj2 después, viniendo desde arriba	obj1 arriba, obj2 abajo
El objeto 1 se encuentra en diagonal izquierda	obj1 está en diagonal izquierda de obj2	obj1 está hacia el noroeste de donde está obj2	obj1 está en dirección 135 grados de obj2	obj1 está 1ro, obj2 después, viniendo por la izquierda y hacia	obj1 arriba izquierda, obj2 abajo derecha

P1 es elegido por los participantes, los participantes indican que P5 también podría ser utilizado para objetos que entran a las zonas laterales, además sugieren un nuevo patrón, llamado P6 (objetos a los lados), que se va a considerar en el desarrollo de la siguiente aplicación.

Los patrones de gestos (Tabla 15), se evaluaron cinco patrones y se dejó un espacio para cualquier sugerencia de los participantes.

Tabla 15 Patrones de gestos

Patrones de gestos	P1	P2	P3	P4	P5
Inicia/ finaliza acción	Toque 1 dedo	Doble toque con 1 dedo	Toque sostenido	Toque 1 dedo más sonido	Toque 2 dedos
Paso a siguiente/ anterior objeto	Trazo vertical	Trazo horizontal	Trazo en L	Trazo diagonal	Trazo más sonido

El doble toque con un dedo (P1) es preferido por los participantes para iniciar y finalizar una acción, similar al gesto de práctica realizada durante la evaluación. Para obtener información del objeto siguiente o regresar al anterior prefieren P1 o P2.

Durante la evaluación, el avatar de los participantes podía realizar la exploración remota y de proximidad con la misma aplicación, a voluntad del usuario, dando dos toques sobre la pantalla, que a veces se confundía con el trazado horizontal y el usuario no notaba que estaba en otro modo de acción, por esta razón, se plantea que después de cada gesto se especifique mediante voz, cual es la acción que se ha iniciado en el juego. Además de que las paredes y puertas estaban numeradas, nos sugirieron que el número de pared y puerta coincidan, para evitar confusiones.

Se decide separar el modo de exploración remota y de proximidad en las aplicaciones para la validación final con todos los participantes.

4.6.5. Workshop V

Veinte participantes ciegos (11 hombres, 9 mujeres, edad promedio 52,2, DE = 14,1) realizan la validación de 81 aplicaciones (Página 77), divididos en doce experiencias individuales; se construyen tres aplicaciones de práctica. Un servidor Web TS140 (Apache, MySQL, PhpMyAdmin) con arquitectura cliente-servidor controla el registro y etiquetado de usuarios y la base de datos donde se descargan los registros de cada experiencia. Los teléfonos inteligentes BQ Aquaris E5, SAMSUNG Galaxy S4 y S5, con Android OS 4.4.4 y 5.0, 1 se utilizan para probar las aplicaciones durante la cartografía en interiores. Los datos sobre el recorrido en el mundo virtual, son enviados a una dirección de correo electrónico y luego almacenados en el servidor SQL. Las aplicaciones tienen zonas de seguridad laterales y 2 zonas de seguridad frontal de 1m y 1,5m. (Fig. 27).

Fig. 27. Esquema gráfico del V taller. a) Izquierda: zonas de seguridad durante la exploración de proximidad, b) Centro: Usuario, c) Derecha: Sistema de recolección de datos. (Fuente: DP)

Se consideraron dos tipos de interfaces: interfaces sensitivas e interfaces cognitivas. Las interfaces sensitivas se refieren a la voz, pitidos, gestos y vibraciones usados para adquirir y entregar información del entorno, mientras el usuario interactúa con la aplicación. Las interfaces cognitivas se refieren a la forma en que el usuario explora el entorno virtual. Las personas ciegas tienden a emplear interfaces tradicionales [5,111], por lo que implementamos interfaces sencillas que fueron definidas en el taller IV, estas se describen a continuación.

4.6.5.1. Interfaces sensitivas

B1-B2-B3: Se utilizaron tres pitidos de diferente frecuencia (f), duración ($0.1\text{ms} < \delta < 0.2\text{ms}$) y espaciamiento ($0.1\text{ms} < d < 0.3\text{ms}$), para alertar que hay objetos localizados a 1.5m y 1m frente al avatar, dentro de la zona de seguridad frontal; estas ondas difieren en intensidad según la altura y la distancia del objeto al avatar (Tabla 16).

Tabla 16 Interfaces s de pitido

Interfaz pitido	Distancia (m)	Objeto alto	Objeto medio	Objeto bajo
B1	1,5	f5*, $\delta 2$, d2	f3*, $\delta 2$, d2	f1*, $\delta 2$, d2
B1	1	f6*, $\delta 1$, d1	f4*, $\delta 1$, d1	f2*, $\delta 1$, d1
B2	1,5	f5*, $\delta 1$, d1	f4*, $\delta 2$, d1	f2*, $\delta 1$, d2
B2	1	f4*, $\delta 2$, d3	f3*, $\delta 1$, d1	f1*, $\delta 2$, d1
B3	1,5	f3*, $\delta 1$, d3	f4*, $\delta 1$, d2	f2*, $\delta 1$, d1
B3	1	f3*, $\delta 1$, d2	f4*, $\delta 2$, d2	f2*, $\delta 1$, d3

*f1=100Hz, f2=200Hz, f3=500Hz, f4=1KHz, f5=2KHz, f6=5KHz

V4-V5-V6: Tres patrones de voz con diferentes medidas de distancia y velocidad de reproducción de mensajes (Tabla 17); permiten a los usuarios conocer el nombre de los objetos y estructuras que entran y salen de las zonas de seguridad laterales y frontales del avatar. Reproducen la distancia del objeto al avatar, y la activación o desactivación de un modo de acción (caminar, parar, explorar). Se intentó evitar la información auditiva excesiva [112] usando funcionalidades del software.

Tabla 17 Interfaces s de voz

Interfaz de voz	Medida de distancia	Velocidad de reproducción	Modo de acción	Objetos en las SZ
V4	Pasos	Normal (x)	Activada/desactivada	Objeto* a la derecha/izq.
V5	Metros	Rápido (2x)	Inicia/termina	Vía libre derecha/izquierda
V6	Más cerca/más lejos	Muy rápido (3x)	Habilitada/deshabilitad	Ninguna cosa derecha/izq.

* Se refiere al nombre del objeto

G7-G8-G9-G10: los gestos en la pantalla del móvil permiten iniciar las acciones de exploración, marcha y parada (ver Tabla 18). También permiten al usuario ir al siguiente objeto en una lista que se actualiza con el cambio de orientación del avatar. El gesto es reconocido en cualquier espacio libre de la pantalla táctil, con una variación significativa en la velocidad de trazo, independientemente de la inclinación del móvil [113].

Tabla 18 Interfaces s de gestos

Interfaz gesto	Caminar/Parar	Active/Desactive Exploración	Cambio de objeto
G7	Toque simple	Trazo horizontal	Trazo vertical
G8	Doble toque	Trazo vertical	Trazo horizontal
G9	Un toque con sonido	Trazo horizontal con sonido	Trazo vertical con sonido
G10	Toque sostenido de 1,5 s.	Trazo vertical con sonido	Trazo horizontal con sonido

Además de las tres interfaces anteriores, se utilizó el patrón de vibración P3, detallado en el taller IV, para informar al participante que el avatar está caminando a través del entorno virtual.

4.6.5.2. Interfaces cognitivas

Foco de atención plano (fFoA): Consiste en un prisma rectangular que tiene las medidas (x, y) del avatar y 30 metros de profundidad; Cambia su orientación según el lugar que el usuario esté mirando. Este permite obtener el nombre y la distancia de cada objeto dentro del prisma con respecto a la posición del avatar. El avatar no se mueve dentro del escenario, pero cambia su orientación para explorar el entorno.

FoA Esférico (sFoA): se basa en una esfera de un metro de diámetro que se mueve desde la cabeza del avatar a través del vector que representa la dirección (coordenadas X, Y y Z) que la persona está mirando. Al igual que el modo anterior, la esfera colisiona con los objetos en esa dirección y obtiene sus nombres y distancias. Las SZ laterales no están activas. El avatar no se mueve en el entorno, por lo que el usuario siempre explora desde la misma posición.

No-FoA: las dos zonas de seguridad laterales y las dos zonas frontales están activas. El usuario recibe información sobre el entorno mientras el avatar camina por este.

4.6.5.3. Variables de estudio

Las variables en la Tabla 19 se evaluaron para dos estrategias de exploración: una exploración de proximidad (que usa No-FoA) y otra exploración remota (que usan fFoA y sFoA).

Exploración remota: el avatar se encuentra en una posición fija en el escenario mira en la dirección que el usuario está mirando, para extraer información del entorno. El usuario permanece sentado en una silla y puede girar fácilmente en todas las direcciones para cambiar la orientación del avatar. Los gestos en la pantalla táctil le permiten conocer objetos y estructuras que están fuera del alcance de su bastón. Puede obtener retroalimentación sobre los obstáculos sin tener que hacer que el avatar camine por el espacio virtual.

Exploración de proximidad: El usuario recibe realimentación auditiva y táctil mientras su avatar camina a través de la sala virtual. La vibración informa al usuario que el avatar está caminando. Cuando los objetos y las estructuras caen dentro de las zonas de seguridad del avatar, se alerta al usuario de su presencia. La ubicación de los objetos se referencia de acuerdo con la ubicación de las zonas de seguridad laterales y frontales (ver Fig. 27).

Los participantes llevaron a cabo tres actividades principales: 1) La exploración del espacio virtual utilizando un móvil inteligente o una tableta. Con esta actividad se determinó la "Eficacia" y la "Eficiencia" de la aplicación, medidos como el tiempo usado en la detección de obstáculos y el número de obstáculos detectados. El tiempo empleado en la detección de obstáculos se determinó midiendo el tiempo usado y el tiempo de "inactividad" durante la exploración. 2) El mapeo cognitivo del espacio utilizando una maqueta de cartón y objetos a escala, para determinar la calidad de la información que el usuario adquirió con la aplicación y finalmente, 3) La utilidad del mapa, mediante la realización de tres tipos de tarea en el equivalente real de la sala virtual explorada previamente (tareas absoluta o egocéntrica, relativa o alocéntricas y de orientación).

Tabla 19 Variables evaluadas durante el V taller

Actividad	Variables	
Exploración	Eficiencia	Eficacia
Mapeo cognitivo	Calidad del mapa cognitivo	
Utilidad	Éxito en completar las tareas	

4.6.5.4. Tareas de Exploración

La eficiencia se definió como el tiempo dedicado a descubrir todos los obstáculos que se detectan (estructuras y objetos) durante una sesión de exploración determinada. En cada sesión hubo un tiempo de inactividad, el cual no proporcionaba información útil al participante y fue sustraído del tiempo total usado para la exploración. Ver Ec. (3). Es posible que durante este tiempo no se hayan detectado todos los obstáculos en la escena, solo un número máximo de ellos, que puede ser menor que el número total.

$$time_{used\ on\ detecting} = (time_{exploration\ spend} - downtime) \quad Ec. (3)$$

La efectividad se definió como el porcentaje de objetos y estructuras detectados durante la exploración de una sala virtual. Mientras mayor sea el número de obstáculos detectados, más efectivo será el proceso de exploración.

4.6.3.1 Mapeo del Espacio

Tabla 20 Nomenclatura y variables de estudio para el mapeo del espacio

Nomenclatura	Descripción	Valor
I1*	Identificación correcta de obstáculos	Entre 0 y 1. Variable continua
I2*	Objetos correctamente ubicados	Entre 0 y 1. Variable continua
IS*	Identificación del escenario vacío	1 (éxito al escoger escenario correcto); 0 (falla). Variable dicotómica
N	Número total de obstáculos	Máximo 16. Discreto. Objetos y estructuras.
n1	Número total de objetos	Discreto, n1=6
n2	Número total de estructuras internas	Discreto, n2=9 o 10, según habitación
n3	Obstáculos correctamente identificados	Discreto, máximo 16
n4	Objetos correctamente identificados	Discreto, máximo 6
n5	Pares de objetos correctamente ubicados	Discreto, máximo 15
E1	Error en la identificación de objetos	Entre 0 y 1. Variable continua
EO1	error-omisión	Entre 0 y 1. Continua=total omisiones/n1
EO2	error-inserción	Entre 0 y 1. Continuas=total inserciones/n1
EA	Error de ubicación absoluta de objetos	1 (cae en el cuadrante asignado) = 0 (fuera). Variable dicotómica.
ER	Error de ubicación relativa de pares de	1 (la ubicación de 2 objetos miniatura es
Q*	Calidad de la información obtenida (mapa cognitivo)	Entre 0 y 1. Variable continua

* Variables evaluadas

El mapeo del espacio se evaluó con la calidad de la información obtenida por cada participante. Las variables examinadas fueron el número correcto de obstáculos identificados (tanto objetos como estructuras), el número de obstáculos insertados u omitidos por error y la correcta ubicación de los objetos en la escena (Tabla 20). La maqueta se dividió en cuatro cuadrantes para conocer la ubicación correcta de los objetos y los pares de objetos a pequeña escala. La calidad del mapa cognitivo se obtuvo como resultado de la identificación correcta de: el escenario y los obstáculos internos, así como la distribución adecuada de los objetos dentro del espacio.

Donde I1 puede ser obtenido mediante la ecuación 4:

$$I1 = \frac{n3}{N} \quad \text{Ec.(4)}$$

En el caso de la identificación incorrecta de obstáculos, el error de identificación (E1) se puede obtener por medio de la Ec. (5):

$$E1 = \frac{(EO1 + EO2)}{2} \quad \text{Ec. (5)}$$

En el caso de la ubicación de los objetos en el interior de la habitación, se puede obtener utilizando la Ec. (6):

$$I2 = \frac{\sum_1^{n4} EA}{2*n4} + \frac{\sum_1^{n5} ER}{2*n5} \quad \text{Ec. (6)}$$

La calidad del mapeo del espacio puede ser obtenida, usando la Ec. (7).

$$Q = \frac{(I1 + I2)}{2} + \frac{E1}{2} \quad \text{Ec. (7)}$$

4.6.5.5. Utilidad

La utilidad del mapa cognitivo fue evaluado como el éxito en completar tres tareas asignadas al participante. Cada tarea fue modelada como una variable dicotómica, **1** se asignó cuando el participante alcanzó el objetivo, **0** de otra manera.

- Tarea absoluta: El participante camina desde el punto de exploración inicial hacia el objetivo; se evalúa la utilidad del mapa en la ubicación absoluta.
- Tarea relativa: El participante camina desde un punto objetivo hasta el siguiente punto objetivo; se evalúa la utilidad del mapa en la ubicación relativa.
- Tareas de Orientación: el participante camina de regreso al punto de salida, desde donde se encuentra; se evalúa la habilidad de actualizar el mapa cognitivo mientras camina en la habitación real.

4.6.5.6. Diseño del Estudio

Se realizó un estudio transversal dentro de los sujetos. Los sujetos elegibles se habían quedado ciegos al menos dos años antes del comienzo del estudio, sufrían ceguera total y tenían más de dieciocho años.

4.6.5.6.1. Implementación de Escenarios Virtuales

Dado que los espacios grandes son difíciles de controlar, mientras que el diseño de las experiencias requiere suficiente tiempo en el ambiente para que un sujeto pueda tener un conocimiento actual del entorno [72], se definieron tres entornos de trabajo adecuados para desarrollar esta investigación, una oficina, un bar y una habitación. Cada espacio contiene 6 objetos, tiene 4 paredes, 2 ventanas, una columna y dos puertas, pero el bar tiene 3 puertas. Este número de obstáculos permitiría a los usuarios recordar el nombre de los objetos y su ubicación en el espacio [114]. Para las experiencias con los usuarios, los objetos se cambiaron de posición y orientación, de acuerdo con un código de color asignado, se virtualizaron un total de doce combinaciones de escenarios (Ver Fig. 28).

Fig. 28 Vista cenital- escenarios virtuales. (Fuente: DP)

Estas aplicaciones se instalaron en teléfonos inteligentes con las versiones de Android 4.4.4 y 5.0.2. Los sensores integrados del móvil determinaron la orientación y posición del avatar en el mundo virtual y produjeron la vibración cuando el avatar del usuario caminó a través del espacio virtual. Sweet home and Unity 3D fueron elegidos para Virtualizar y construir las aplicaciones debido a la facilidad en el desarrollo y modificación de estructuras interiores como puertas, ventanas y columnas.

4.6.5.6.2. Configuración de las aplicaciones del usuario

La configuración no-FoA para la exploración de proximidad permite probar las interfaces de pitidos (B1-B2-B3). Se construyeron nueve aplicaciones, una por cada sala virtual. Se le asignó el código de color negro para su identificación.

Las configuraciones fFoA y sFoA para exploración a distancia son responsables de detectar obstáculos mientras los participantes exploran una sala virtual, para comparar estas configuraciones con la configuración no-FoA se construyeron nueve aplicaciones. Se les asignó el código de color rojo para su correcta identificación.

Las interfaces de voz (V4-V5-V6) se pueden probar con noFoA, fFoA, sFoA, se construyeron veintisiete aplicaciones. Se le asignó el código de color amarillo.

Las interfaces de gestos (G7-G8-G9-G10) se pueden probar con noFoA, fFoA, sFoA, se construyeron treinta y seis aplicaciones. Se les asignó el código de color blanco.

Tabla 21 Configuración de las aplicaciones de usuario

Experiencia	Interfaces s x = 1 a 3, y= 4 a 6, z= 7 a 10		
Primera (pitido)	Bx-noFoA-Oficina-negro	Bx-noFoA-pub-negro	Bx-noFoA-Habitación-negro
Segunda (focos)	V4-noFoA-Habitación-rojo	V4-sFoA-Oficina-red	V4-fFoA-Pub-rojo
Tercera (voz)	Vy-sFoA-Pub-amarillo	Vy-fFoA-Habitación-yellow	Vy-noFoA-Oficina-amarillo
Cuarta (gesto)	Gz-sFoA-Habitación-blanco	Gz-noFoA-Pub-white	Gz-fFoA-Oficina-blanco

Los participantes estuvieron involucrados en cuatro experiencias. Durante cada experiencia, exploraron una habitación diferente (oficina, bar o dormitorio), utilizando una configuración diferente de exploración para cada habitación. Con el fin de minimizar el impacto de los posibles efectos de arrastre, se aleatorizaron pares de habitaciones y focos, junto con la secuencia de ejecución, de acuerdo con la Tabla 21.

4.6.5.6.3. Procedimiento

La duración promedio de cada sesión de trabajo toma alrededor de 40 minutos, cada participante debe realizar doce sesiones de trabajo. En cada sesión, un participante realiza cinco actividades: entrenamiento, explorar una sala virtual, responder un cuestionario, construir un modelo del sitio y realizar tareas en un espacio real. Las actividades fueron grabadas con una cámara, a través de hojas de observación y mediante registros enviados a través de la red. Durante cada sesión, se asigna una persona para resolver problemas técnicos y dos para verificar la secuencia del proceso y el registro de la información.

Al comienzo de la sesión, cada participante recibe la bienvenida y un miembro del equipo de investigación resumió los objetivos del estudio, a continuación se estableció el siguiente protocolo de trabajo para el participante:

- a. Entrenamiento: el participante debía practicar en una sala de entrenamiento virtual con pocos obstáculos para familiarizarse con las interfaces utilizadas. Recibía ayuda de un miembro del equipo, no se dio restricciones de tiempo.
- b. Etapa de exploración: El participante exploró una de las tres salas virtuales (oficina, pub o dormitorio) usando una de las configuraciones mostradas en la Tabla 21. Se le pidió que exploraran la sala hasta que sintieran que podían describir sus estructuras y los objetos en ella. Dentro de la aplicación, el avatar estaba quieto y cerca de una de las puertas de la habitación y luego el participante deslizó el dedo hacia la derecha o hacia la izquierda en la pantalla táctil para iniciar una acción; y finalizó cuando el participante notificó al investigador, quien era el responsable de cerrar la pantalla de exploración para enviar los datos al servidor. Los participantes no tuvieron restricciones de tiempo. En esta etapa se registró (a) la duración de la exploración, (b) el tiempo de inactividad que corresponde al tiempo que no se provee información útil al participante, (c) el tipo de obstáculo, y d) la distancia entre el avatar y el obstáculo.
- c. Cuestionario posterior a la prueba: A cada participante se le pidió que indicara la cantidad de paredes, ventanas, puertas y columnas que recordaba de la etapa de exploración anterior. Las respuestas fueron registradas manualmente por un miembro del equipo de investigación.
- d. Selección y elaboración del modelo: El usuario con ceguera selecciona un modelo de cartón de tres opciones, solo una corresponde a la sala virtual vacía explorada durante la etapa de exploración; luego se entregaron doce objetos uno por uno al participante, seis corresponden con los objetos presentes en el lugar y otros seis no corresponden; finalmente, el participante coloca los objetos a escala dentro del modelo. En esta etapa se registró (e) identificación del modelo (f) identificación de objetos, (g) tiempo dedicado a la identificación, y (h) ubicación de objetos dentro del modelo. Una fotografía del modelo resultante fue tomada al final (Vea Fig. 29d).
- e. Tareas en el espacio real: El participante fue conducido a la sala real equivalente al cuarto virtual. Al inicio fue puesto en la misma posición y orientación que el avatar en la aplicación y entonces se le pidió que completara tres tareas: Una tarea absoluta, otra relativa y una de orientación. Un miembro del equipo de investigación le indicó cual era el punto al que debía llegar. En esta etapa se registró: (i) duración de la tarea y (j) el éxito o falla en completar cada tarea.

Fig. 29 Procedimiento: a) Habitación real b) Habitación virtual c) exploración d) modelo e) tareas

4.6.5.7. Evaluación y Resultados

4.6.5.7.1. Exploración

Durante esta etapa se estima la duración en segundos empleada por los usuarios durante la exploración y el número de objetos detectados. Para el análisis se utilizó la configuración no-FoA, porque todas las interfaces fueron analizadas durante la exploración de proximidad, dado que la exploración remota no permite probar los pitidos, solo la voz y los gestos.

4.6.5.7.2. Eficiencia del proceso de exploración

La eficiencia se modeló como el tiempo utilizado en la detección de los obstáculos, que se definió en la sección 4.4.5.4. Los valores se presentan en la Fig. 30.

Fig. 30 Duración de la exploración

Interfaz Pitido: La dependencia de la eficiencia durante la exploración de proximidad, con las interfaces de pitido se evaluó con la prueba de Friedman. Los datos de los tres grupos no mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk (Prob-B1 = 0, Prob-B2 = 0,29; Prob-B3 = 0,002); tampoco homocedasticidad según la prueba de Bartlett (chisqstat = 6.68, df = 2, valor de p = 0.03). El resultado no fue estadísticamente significativo (Friedman Chi-cuadrado = 0.77, DF = 2, p-valor = 0.84). Con la interfaz B2 el tiempo de exploración fue menor.

Interfaz de voz: La dependencia de la eficiencia con las interfaces de voz con la configuración noFoA se evaluó con la prueba de Friedman que resultó estadísticamente significativa (Friedman Chi-cuadrado = 6.33, DF = 2, p-valor=0.0421). Los datos de los tres grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk (Prob-V4 = 0,94, Prob-V5 = 0,88; Prob-V6 = 0,26). Múltiples comparaciones por pares fue realizado empleando la prueba de Tukey. Hubo una reducción del 39.72% en el tiempo de detección empleando la interfaz V5 comparado con la interfaz V6 (p=0.043). No hubo significancia estadística entre V4 y V5 (p-valor=0.114), ni entre V4 y V6 (p-valor=0.92).

Interfaz de gesto: La dependencia de la eficiencia con las interfaces de gestos y configuración no-FoA se evaluó con la prueba de Friedman, (F=8.4, DF=3, p-valor=0,038), que resultó estadísticamente significativa. Los datos de los cuatro grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk (Prob-G7=0.99, Prob-G8=0.71; Prob-G9=0.82; Prob-G10=0.78). La comparación por pares se realizó aplicando la prueba de Tukey. La interfaz sensitiva G7 conlleva una reducción del 34,28% en la duración de la exploración, en comparación con G9 (p-valor= 0,0019). La interfaz G8 conlleva a una reducción del 31,1% en la duración del descubrimiento, en comparación con G9 (p-valor=0,0028). La interfaz G10 conlleva a una reducción del 26,59% en la duración del descubrimiento, en comparación con G9 (p-valor=0,007). No existe una diferencia estadísticamente significativa entre las interfaces sensitivas G7, G8 y G10 en la configuración no-FoA. Sin embargo, esta tendencia debe estudiarse con una muestra de mayor tamaño.

4.6.5.7.3. Eficacia del proceso de exploración

Se definió como el porcentaje de objetos y estructuras detectados durante la exploración de proximidad de una sala virtual (Ver Tabla 22).

Tabla 22 Efectividad del proceso de exploración (%)

Configuración no-FoA	Pitido (%)				Voz femenina (%)				Gestos (%)	
	B1	B2	B3	V4	V5	V6	G7	G8	G9	G10
Detección obstáculos	82.16	80.12	81.11	89.61	94.04	88.24	90.14	93.33	90.27	97.22

Interfaz-pitido: La dependencia de la efectividad con las interfaces pitido se evaluó con la prueba de Friedman (Friedman Chi-cuadrado = 0,87, DF = 2, p-value = 0,63), cuyo resultado no fue estadísticamente significativo. La interfaz B1 alcanzó el mayor porcentaje en la detección de obstáculos.

Interfaz-voz: La dependencia de la eficacia con las interfaces de voz se evaluó con una prueba de Friedman (Friedman Chi-cuadrado = 6.816, DF = 2, p- valor= 0.033), que resultó estadísticamente significativa; donde la interfaz V5 alcanzó el porcentaje más alto en la detección de obstáculos. Se realizaron comparaciones múltiples con el procedimiento de Nemenyi; hubo diferencias entre los grupos V4-V6 (grupo A) y V4-V5 (grupo B). La interfaz V5 implica un aumento del 5,9% en el porcentaje de detección de obstáculos, en comparación con V6 (p- valor=0,032); y un aumento de 4.6% comparado con V4 (p- valor=0.033). No hubo significancia estadística entre V4 y V6 (p-valor=0.17).

Interfaz-gesto: la dependencia de la efectividad con la interfaz de gestos se evaluó con una prueba de Friedman, (Friedman Chi-cuadrado = 1.5, DF = 3, p- valor= 0.682), no fue estadísticamente significativa, donde la interfaz G10 alcanzó el porcentaje más alto en la detección de obstáculos.

4.6.5.7.4. Proceso de Mapeo

Los participantes llevaron a cabo un cuestionario posterior a la exploración, la selección del modelo, la selección de objetos en miniatura y la ubicación de estos objetos dentro del modelo para evaluar la calidad del mapa cognitivo construido por los participantes. El resumen se muestra en las Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 23 Resultados en la selección del modelo, identificación y ubicación de obstáculos

Interface	I1			I2		
	To (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T6 (%)
B1	73,68	97,37	75,88	88,95	68,42	59,26
B2	52,63	90,79	84,21	77,63	68,42	75,44
B3	68,42	96,05	76,32	73,68	50,00	71,93
V4	60,32	95,99	76,42	71,11	67,20	80,73
V5	66,67	98,81	83,25	77,79	85,71	86,51
V6	65,56	97,22	88,00	88,33	97,22	75,93
G7	48,33	94,17	70,28	86,94	76,67	75,56
G8	70,00	93,75	83,75	98,33	96,67	83,33
G9	86,67	98,33	95,00	93,33	93,33	87,78
G10	70,00	91,67	72,53	77,55	81,67	77,55

T0: Selección del modelo de cartón

T1-T5: Identificación de paredes, puertas, ventanas, columnas y objetos interiores.

T6: Ubicación de objetos. Promedio entre el número de objetos colocados correctamente en el cuadrante del modelo (ubicación absoluta) y el número de pares de objetos correctamente ubicados (ubicación relativa).

El error en la identificación de objetos fue obtenido utilizando la Ec. (3), los resultados se muestran en la tabla 24.

Tabla 24 Porcentaje de objetos que han sido identificados incorrectamente

B1	B2	B3	V4	V5	V6	G7	G8	G9	G10
9.17	8.33	7.46	4.82	3.57	6.94	3.33	3.33	4.17	5.0

4.6.5.7.4.1. Identificación de obstáculos (I1)

Este parámetro fue calculado por medio de la Ec.(4). Se usó la prueba de Friedman para evaluar las interfaces de pitido y gestos y la prueba de ANOVA de medidas repetidas para la voz, para evaluar la dependencia en la identificación de obstáculos con las interfaces sensitivas. Los resultados no mostraron significancia estadística. Vea la tabla 25.

Tabla 25 Results: Identification of obstacles

Interfaces de pitido	Interfaces de voz	Interfaces de gesto
Q=0.287, DF=2, p=0.752	F=4.434, DF=2, p-value=0.0418 Mauchly-W=0.63, p=0.4; Shapiro-W: pV4=0.26149; pV5=0.167; pV6=0.48819 Bartlett's statistic=2.85, p-value=0.23	Q=0.85, DF=3, p-value=0.837

Con las interfaces de voz se realizó una comparación por pares aplicando la prueba de Tukey. La interfaz V5 mostró una diferencia significativa con V4. Hay un 10.7% de mejora en la identificación de obstáculos de V5 comparado con V4 (p- valor =0.033). No hubo significancia estadística entre V4 y V6 (p- valor= 0.30), ni entre V5 y V6 (p- valor=0.37).

4.6.5.7.4.2. Ubicación de objetos (I2)

El valor de esta variable se obtuvo por medio de la Ec. (6). Para determinar la dependencia con las interfaces sensitivas empleadas, se usó la prueba de Friedman; los resultados no fueron estadísticamente significativos (Vea la Tabla 26).

Tabla 26 Resultados de la prueba de Friedman (ubicación de objetos)

Interfaces de pitido	Interfaces de voz	Interfaces de gesto
Q=2, DF=2, p-value=0.368	Q=1.4, DF=2, p-value=0.497	Q=4.515, DF=3, p-value=0.211
S1 > % achieved	S5 > % achieved	S9 > % achieved

4.6.5.7.4.3. Ubicación de estructuras (Is)

La identificación del modelo de habitación vacía fue modelada como una variable dicotómica. Los resultados fueron evaluados con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel. No se encontró significancia estadística (Vea la Tabla 27).

Tabla 27 Ubicación de estructuras: Mantel-Haenszel's Test

Interfaces de pitido	Interfaces de voz	Interfaces de gesto
M ² =2, DF=2, p-value=0.36	M ² =4.33, DF=2 p-value=0.11	M ² =2.4, DF=3, p-value=0.494

La falta de dependencia estadística en la ubicación de los objetos y estructuras fue curiosa, porque en la sección 4.4.5.8.1.2 se halló dependencia de la eficiencia en la detección de obstáculos con las interfaces de voz. Porque razón no se preservaba esta dependencia, llevó a revisar los datos obtenidos y entonces se observó que en la Tabla 23 había un porcentaje alto en la identificación de paredes respecto a las otras estructuras reconocidas, sin embargo en la Tabla 22 el porcentaje de detección de obstáculos era más bajo (Ver Fig. 32).

Los estados de detección e identificación de paredes se modelaron como variables dicotómicas. En el caso del estado de detección, las paredes pueden contar como detectadas o faltantes. En el caso del estado de identificación, pueden contar como identificados u omitidos. Las dependencias de ambos estados de detección e identificación con las interfaces de voz se evaluaron cada una con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel, que resultó significativa en el caso del estado de detección (Cochran-Mantel-Haenszel $M^2 = 7.8$, $df = 2$, $p\text{-valor} = 0.019$); pero no significativo para el estado de identificación (Cochran-Mantel-Haenszel $M^2=2.2$, $DF=2$, $p\text{-valor} = 0.33$). Existe una relación de riesgo entre la identificación correcta de obstáculos y la identificación correcta de la habitación vacía. El resultado muestra que el 72% de las identificaciones completamente correctas son independientes del número de paredes detectadas durante la exploración.

4.6.5.7.4.4. Calidad del mapa cognitivo

Fig. 31 Calidad del mapa cognitivo usando interfaces sensitivas de pitidos, voz y gestos

La calidad de la información espacial recopilada durante una exploración de proximidad se evaluó con la ecuación 7. Cuanto mayor sea el valor de Q, mejor será la calidad del mapa cognitivo. La Fig. 31 resume la calidad general media de las puntuaciones de mapas cognitivos para las interfaces sensitivas en estudio.

Interfaz de pitido: Se utilizó ANOVA de medidas repetidas para evaluar el mapa cognitivo, después de verificar las suposiciones para este tipo de prueba. Los datos de los tres grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($p\text{-B1} = 0.9207$; $p\text{-B2} = 0.0579$; $p\text{-B3} = 0.4364$). La Esfericidad se evaluó con la prueba de Mauchly ($W=0,812$, $p=0,17$). La homocedasticidad se evaluó con la prueba de Bartlett (estadística de Bartlett = 0.6799, $DF=2$, $p\text{-valor}=0.71$). ANOVA resultó estadísticamente significativa ($F= 8.02$, $DF=2$, $p=0.0013$). La comparación por pares entre las tres interfaces sensitivas se realizó mediante la aplicación de la prueba de comparación por pares de Tukey. La interfaz sensitiva B2 conllevó un mejoramiento del 8.9% en el mapeo cognitivo, en comparación con la interfaz B1 (valor $p = 0.00085$); no hubo una diferencia estadísticamente significativa con la interfaz B3 (valor $p = 0,162$); ni entre las interfaces B1 y B3 (valor $p = 0,097$).

Interfaz de voz: Se utilizó ANOVA de medidas repetidas para evaluar el mapa cognitivo, después de verificar las suposiciones para este tipo de prueba. Los datos de los tres grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($p-V4=0,39$; $p-V5=0,88$; $p-V6=0,73$). Se encontró Esfericidad con la prueba de Mauchly ($W=0.6$, $p=0.279$). La homocedasticidad también se cumplió con una prueba de Bartlett (estadística de Bartlett = 1.002, $DF=2$, $p\text{-valor}=0.605$). Esta prueba ANOVA de medidas repetidas resultó estadísticamente significativa ($F=4.1$, $DF=2$, $p=0.043$). La comparación por pares entre las tres interfaces sensitivas se realizó mediante la aplicación de una prueba de comparación por pares de Tukey. La interfaz sensitiva V5 implica un 6% de mejora en el mapeo cognitivo, en comparación con la interfaz sensitiva V6 (valor de $p = 0,0492$). No existe una diferencia estadísticamente significativa con la interfaz sensitiva V4 (valor $p = 0,107$), ni entre V4 y V6 (valor $p = 0,892$).

Interfaz de gesto: Se utilizó ANOVA de medidas repetidas para evaluar el mapa cognitivo, después de verificar las suposiciones para este tipo de prueba. Los datos de los tres grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($p-G7 = 0,85$; $p-G8 = 0,49$; $p-G9 = 0,802$; $p-G10 = 0,32$). La Esfericidad se encontró con una prueba de Mauchly ($W = 0.3913$, $p = 0.768$). La homocedasticidad también se cumplió con una prueba de Bartlett (estadística de Bartlett = 1,34, $DF=3$, $p\text{-valor} = 0,7186$). Esta prueba no resultó estadísticamente significativa ($F=0.328$, $DF=3$, $p= 0.8049$).

4.6.5.7.5. Utilidad del Mapa Cognitivo

La utilidad en el uso del mapa cognitivo se evaluó con el éxito en la realización de las tareas absolutas, relativas y de orientación dentro del escenario real.

4.6.5.7.5.1. Éxito en las tareas

El éxito se modeló como una variable dicotómica para cada tipo de tarea. La dependencia del éxito con cada interfaz sensitiva se evaluó con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel. Los resultados se muestran en la Tabla 28.

La dependencia del éxito con la interfaz sensitiva al pitido no resultó significativa para ninguna de las tareas.

Tabla 28 Cumplimiento de las tareas

Tarea	Interfaces de pitido	Interfaces de voz	Interfaces de gestos
Absoluta	$M^2=11.39, df=2, p\text{-value}=0.57$	$M^2=22.4, df=2, p\text{-value}=0.049$	$M^2=18.48, df=3, p\text{-value}=0.071$
Relativa	$M^2=19.40, df=2, p\text{-value}=0.11$	$M^2=20.38, df=2, p\text{-value}=0.08$	$M^2=16.81, df=3, p\text{-value}=0.0113$
Orientación	$M^2=17.89, df=2, p\text{-value}=0.16$	$M^2=19.58, df=2, p\text{-value}=0.10$	$M^2=19.80, df=3, p\text{-value}=0.051$

En el caso de tareas absolutas, las interfaces sensitivas a la voz resultaron estadísticamente significativas. La interfaz sensitiva V5 implica un 24% ($p\text{-valor}=0,048$) mejorado en la realización de la tarea absoluta, en comparación con la interfaz sensitiva V4 y un 17,5% ($p\text{-valor}=0,049$) en comparación con la interfaz sensitiva V6. No hay diferencias estadísticamente significativas entre V4 y V6 ($p\text{-valor} = 0,67$).

En el caso de las tareas relativas, las interfaces sensitivas al gesto resultaron estadísticamente significativas. La interfaz sensitiva G9 implica un 28.57% (p-valor = 0.018) de mejora en la realización de la tarea, en comparación con la interfaz sensitiva G7 y un 16.6% (p-valor = 0.003) en comparación con la interfaz sensitiva G10. En el caso de las tareas de orientación, la interfaz sensitiva al gesto no resultó estadísticamente significativa. No hubo tampoco significancia estadística entre G8 y G9 (p-valor = 0.23).

4.6.5.8. Discusión taller V

Este es uno de los primeros trabajos que compara el uso de interfaces sensitivas durante la exploración de proximidad en aplicaciones de realidad virtual para personas ciegas.

Al finalizar este estudio, se encontró que una mayor eficiencia asociada con la exploración de proximidad se evidencia empleando aplicaciones de realidad aumentada con interfaces sensitivas de voz y de gestos. La interfaz de voz V5 redujo el tiempo de exploración en un 39.72% (p=0.042) y la interfaz de gesto G7 redujo este tiempo en un 34.28% (p=0.019). Esta evidencia respalda nuestra hipótesis inicial de una mayor eficiencia asociada a mayores velocidades de reproducción de voz, distancia en metros y a patrones de gestos simples. Las interfaces de pitido no evidenciaron ninguna reducción en el tiempo de exploración. Es importante mencionar que velocidad de reproducción superior al doble de la normal, no evidenció mayor eficiencia, sino todo lo contrario. Esto se debió a que un incremento superior al doble deteriora la calidad del mensaje recibido. De hecho el 85% de los participantes ciegos no tuvieron problemas en entender los mensajes cuando se reprodujeron al doble de la velocidad estándar, pero solo el 45% pudieron entender el mensaje de primera mano, cuando se reprodujo al triple de la velocidad estándar. Por lo tanto, creemos las posibilidades de un estudio de mayor tamaño de muestra que corrobore esta afirmación.

Fig. 32 Reconocimiento e Identificación de paredes, usando las interfaces sensitivas de voz

Una mayor eficacia asociada a la exploración de proximidad fue evidenciada con las interfaces sensitivas de voz. La interfaz V5 mostró un aumento en la detección de obstáculos del 5.9% ($p= 0.032$). A pesar de mostrar una mejor efectividad, la dimensión de error en la ubicación de objetos y en la selección de la maqueta que representa a la habitación vacía no mostró diferencias significativas para las interfaces de voz. Se observó un deterioro en la conversión de detecciones de paredes con respecto a su correcta identificación con todas las interfaces sensitivas, lo que no ocurre con puertas y ventanas. La tasa de conversión para paredes fue superior al 100%. Esto lo interpretamos como que las personas ciegas tienden a confiar en sus ideas preconcebidas con respecto a la estructura habitual de una habitación [115], de ahí que ellos informaron la cantidad correcta de paredes independientemente de cuántas de ellas realmente detectaron durante la exploración (Ver Fig. 32).

Aunque, la interfaz de pitidos no mostró significación estadística durante el proceso de exploración, una mejor calidad del mapa cognitivo estuvo asociada con este tipo de interfaz y a pesar de la limitada potencia de la muestra, lo hace con una significación estadística bastante fuerte (interfaz de pitido B2 evidencia un 8.9% de mejora con un valor $p= 0.00085$). Esto lo interpretamos como que la variación en frecuencia para generar avisos durante la exploración de proximidad, tiene un impacto positivo en la reducción de errores en la identificación de objetos ya sea por inserción o por omisión. También corrobora nuestra hipótesis de que las frecuencias medias reproducidas con la interfaz B2 podrían ser mejores aceptadas y diferenciadas por los participantes, cuando se trata de informar sobre obstáculos en la zona de seguridad frontal del avatar. Por tanto creemos que un estudio de mayor tamaño corroboraría que una mejor calidad del mapa cognitivo debido al uso de estas frecuencias es alta.

Se observó una dependencia de la calidad del mapa cognitivo con las interfaces de voz ($p=0.043$) durante la exploración de proximidad, apoyando la hipótesis previamente observada. Esta interfaz permitió a las personas ciegas adquirir mayor información sobre obstáculos con mayor eficiencia en el proceso de exploración y aunque el error de identificación es razonablemente bajo, no se obtuvo un adecuado porcentaje de aciertos en la ubicación de los objetos dentro del modelo. El uso de interfaces sensitivas para la exploración de proximidad puede requerir períodos de entrenamiento más largos para capturar mejor la naturaleza de la información con respecto a la ubicación de obstáculos; o también otras configuraciones de retroalimentación podrían usarse para reducir este error.

El éxito en las tareas absolutas muestra una dependencia con la interfaz sensitiva V5 ($p = 0.049$) y en las tareas relativas una dependencia con la interfaz sensitiva G9 ($p = 0.011$). No se observa dependencia para las tareas de orientación. Las tareas de orientación son el resultado de caminar físicamente por la habitación real y ayudar a actualizar el mapa cognitivo de las personas ciegas. Algunos usuarios recordaron el punto de partida, que también explica la mayor cantidad de tareas de orientación exitosas. Se observa una tendencia en cuanto a que las tareas relativas también podrían alcanzar el éxito con la interfaz sensitiva de voz V5 ($p=0.08$), al igual que las tareas absolutas y de orientación con la interfaz sensitiva al gesto G9 ($p=0.071$), que debería ser probada con un mayor número de usuarios y otras configuraciones de exploración.

En un estudio de exploración que usa entornos virtuales multisensoriales para personas que son ciegas, Lahav y Mioduser [116] informaron que los usuarios emplearon tiempos de exploración medios de 38 minutos para una sala de tamaño y complejidad similar a uno de nuestros tres espacios. Dichos tiempos medios de exploración son mayores a los encontrados en nuestro estudio (interfaces de pitidos=10minutos, interfaces de voz=14minutos, interfaces de gestos=12minutos). La principal diferencia en los mecanismos de exploración de proximidad entre los dos estudios fue que, mientras que en el primero, los participantes tenían que identificar obstáculos y mover su avatar por el escenario usando un Joystick de retroalimentación háptica, en nuestro estudio la interfaz de voz informaba directamente sobre el objeto o estructura dentro de la zona de seguridad del avatar. Las identificaciones de obstáculos en nuestro estudio son similares o mejores que las informadas en Lahav [16]: objetos (84% vs. pitido=81%, voz=89%, gesto=90%), puertas (46% vs. pitido=79%, voz=83%, gesto=80%), ventanas (25% vs. pitido=80%, voz= 79%, gesto=89%) and columnas (48% vs. pitido=62.28%, voz=83.37 , gesto=87%); no informan cifras para la detección de pared. En cuanto a la elección del modelo se tiene un porcentaje más bajo (95% vs. pitido=65%, voz=64%, gesto=68.75%), dado que entre los dos estudios el primero ofrecía tres opciones con diferentes formas y tamaños, mientras que en nuestro estudio la forma y los tamaños permanecen iguales y los cambios observables son la disposición de puertas y ventanas solamente. También informan sobre una mejor ubicación de las miniaturas dentro de los modelos (46% vs. pitido =4% , voz =16% , gesto =26%) y similar éxito en tareas reales: absoluta (81% vs. pitido =51% , voz =77% , gesto =87%), relativa (71% vs. pitido =54% , voz =75% , gesto =87%). Otros estudios previos no emplean espacios de tamaño y complejidad comparables. Viniendo de un diseño dentro de los sujetos, los resultados son adecuados para eliminar las diferencias individuales entre los participantes como una fuente de error. Decidimos elegir un tamaño de muestra adecuado para preservar el orden de magnitud identificado en estudios previos basados en proximidad. Sin embargo, un estudio con una muestra más grande y un diseño entre sujetos serían apropiados para abordar los inconvenientes de las restricciones impuestas por la disponibilidad de espacios físicos y el tamaño del equipo de investigación.

La vibración utilizada para advertir sobre el movimiento del avatar en el mundo virtual se volvió transparente para varios usuarios durante la exploración de proximidad, ya que su interés se mantuvo centrado en la interfaz de voz [103].

4.6.5.9. Conclusiones taller V

La combinación de interfaces en aplicaciones de realidad aumentada, permitieron usar todos los otros sentidos funcionales de los participantes ciegos, para obtener el conocimiento del espacio explorado. Es importante tener en cuenta las preferencias de los participantes antes del inicio del estudio, para desarrollar herramientas de realidad aumentada sencillas, que les sean fáciles de utilizar y de comprender durante las pruebas con usuarios.

El conocimiento previo de los usuarios [5] influenció en los resultados del proceso de identificación de obstáculos, luego de la exploración virtual. A pesar de la familiarización inicial con la herramienta desarrollada, las formas de interacción planteadas en la investigación requieren un mayor esfuerzo y capacitación por parte de los participantes.

Los resultados de este estudio muestran que una aplicación de realidad aumentada que usa la reproducción de voz al doble de velocidad que la velocidad normal, con métricas de distancia en metros, con frecuencias menores de 500Hz en la generación de pitidos de alerta y un simple gesto para cambiar de objeto y de modo de acción, fue mejor y más útil para los participantes ciegos, que otras combinaciones probadas; ellos lograron mayores tasas de éxito, con una duración más corta en las tareas de exploración que usando otras combinaciones.

La información auditiva inicial o el uso de sonidos espaciales podrían ayudar con la percepción del espacio durante la exploración, para ubicar objetos y elementos estructurales dentro de la habitación de forma más acertada, dado que en nuestro estudio, el porcentaje alcanzado en cuanto a la ubicación de objetos en el modelo fue muy bajo. Un estudio con una muestra más grande y un diseño entre sujetos sería apropiado para probar este punto.

En comparación con otros estudios que trabajan con aplicaciones móviles para personas ciegas, donde se usan dispositivos táctiles y de voz convencionales como interfaces físicas para comprender el mundo que los rodea, este estudio se enfocó en identificar un conjunto de interfaces sensitivas con las cuales las aplicaciones de visitas virtuales por adelantado no requieren el uso de dispositivos externos además del móvil. Estas herramientas fueron útiles y fáciles de entender por los usuarios y requieren una actualización asíncrona según los cambios que se produzcan en el entorno.

La vibración que se empleó para informar que el avatar está caminando podría considerarse como otra variable para la formación de nuevos patrones y para extender el número de combinaciones posibles.

4.6.6. Workshop VI

En este taller, el equipo de trabajo construyó tres aplicaciones de realidad aumentada con sonidos espaciales o 3D (Fig. 33), como ayudas para la navegación en el interior de una casa inteligente, estos sonidos se reprodujeron en auriculares de conducción ósea.

Fig. 33 Sonidos 3D empleados en el VI taller: a) Salida de potencia, b) Salida temporal (Fuente: DP)

Seis participantes ciegos (5 hombres y 1 mujer, con una edad media de 48.83, SD = 14.95) con condiciones auditivas normales participaron en seis experiencias, durante tres experiencias usaron aplicaciones de realidad aumentada con sonidos 3D y durante las siguientes tres experiencias usaron una fuente de sonido.mp3 en el sitio. Cada experiencia se corresponde con la ubicación de tres puntos de interés utilizando una interfaz de salida auditiva. Las aplicaciones de realidad aumentada agregaron sonidos virtuales creados artificialmente en las escenas, de modo que los sonidos virtuales se reproducen en los auriculares óseos y se mezclan con los naturales y el participante ciego puede diferenciar entre los dos sonidos, para navegar por el entorno, mientras escucha lo que sucede a su alrededor (Ver Fig. 34).

Fig. 34 Casa inteligente virtualizado para el taller VI

4.6.6.1. Sistema

Se diseñaron tres aplicaciones de realidad virtual con Unity 3D a partir de una casa inteligente propiedad de la Universidad Politécnica de Madrid [117] de $10 \times 7.5 \times 3 \text{ m}^3$, con cuatro ambientes: cocina, sala de estar, dormitorio y baño; en cada espacio hay varios objetos físicos en diferentes posiciones (Ver Fig. 34). Las aplicaciones se instalaron en un Iphone 6S con sistema operativo 10.2.1. Un sensor de estructura [118] compuesto por un láser e infrarrojo se utiliza para añadir la visión 3D al móvil, la cartografía en interiores y las experiencias de realidad aumentada; este rastreaba el avance del participante en el mundo real, que se actualizaba dinámicamente en el mundo virtual; el sensor hacía un seguimiento continuo de objetos y estructuras que iban apareciendo durante el recorrido. Los datos del movimiento del usuario se enviaron a través del móvil al final de cada aplicación. Para evitar errores debido a la manipulación de la cámara móvil o del sensor de estructura durante las experiencias, ambos dispositivos se colocaron en una riñonera a la altura del pecho del usuario (Ver Fig. 35). Además, se utilizó un control remoto de video juegos, para cambiar la respuesta de salida de audio del móvil, cada vez que el participante completaba un recorrido.

Fig. 35 Tecnología aplicada en el VI taller

4.6.6.2. Procedimiento

Al comienzo de la sesión, cada participante recibió una cordial bienvenida y un miembro del equipo de investigación resumió los objetivos del estudio. Otro miembro del equipo explicó al participante el uso de la aplicación y colocó el teléfono móvil con el sensor en el pecho del participante. Dos colaboradores verificaron la secuencia del proceso y el registro de la información mediante cámaras y hojas de observación. El participante realizó seis experiencias con una duración promedio de sesenta minutos, las primeras tres experiencias las realizó con la aplicación y las siguientes tres sin usar la aplicación; en cada experiencia debía alcanzar tres puntos de interés uno a uno, como se describe más abajo. Un total de nueve puntos diferentes debían ser alcanzados.

- a. *Primera experiencia:* Se utilizó como guía el sonido la voz femenina proveniente de los auriculares óseos enlazados al móvil vía bluetooth. El participante estaba en la puerta de entrada y caminó con su bastón guiado por el sonido de la aplicación, sorteando los obstáculos en su camino. Durante el primer recorrido se reprodujo la voz con una respuesta lineal de potencia con respecto a la distancia recorrida. Una vez alcanzado el primer punto, el investigador cambió la respuesta de audio a logarítmica, para lo cual envió un código a la aplicación utilizando un control remoto de videojuegos; cuando el usuario alcanza el segundo punto objetivo, nuevamente el investigador cambió la respuesta de sonido a personalizada. Cuando el usuario alcanzó el tercer punto objetivo, hubo un descanso de pocos minutos, durante el cual un miembro del equipo verificó la capacidad de carga del móvil y seleccionó la siguiente aplicación. A continuación, se le pidió al usuario respondiera a un cuestionario relacionado con la experiencia previa. Una vez completado el cuestionario, el usuario pasó a la siguiente experiencia.
- b. *Segunda experiencia:* Se utilizó como guía un pitido de 440Hz proveniente de los auriculares óseos. Al igual que en la primera experiencia, el investigador fue cambiando el tipo de respuesta de salida, de lineal a logarítmico y finalmente a personalizado durante cada recorrido. A continuación, el usuario respondió un cuestionario y luego pasó a la siguiente experiencia.

- c. *Tercera experiencia:* Se utilizó como guía el sonido de un instrumento musical proveniente de los auriculares óseos. El investigador cambió el tipo de respuesta de salida, de lineal a logarítmico a personalizado durante cada recorrido. Al finalizar el tercer recorrido, la riñonera con el móvil, los auriculares inalámbricos y el sensor fueron retirados. El usuario respondió el cuestionario y luego continuó con el trabajo previsto.
- d. *Cuarta experiencia:* No se utilizó la aplicación móvil, se distribuyeron fuentes de sonido en los tres puntos de destino programados. Un miembro del equipo activó una fuente de sonido a la vez. En esta experiencia, se usó el sonido de la voz femenina. El participante caminó por el lugar con su bastón blanco desde la puerta hasta alcanzar el primer objetivo establecido a una distancia de alrededor de 5.3 m; a continuación un miembro del equipo desactivó el sonido proveniente del primer punto y activó la fuente de sonido de la voz femenina localizada en el siguiente punto. El participante caminó hacia el siguiente objetivo, cuando se alcanzó el segundo punto, un miembro del equipo desactivó la segunda fuente de sonido y activó la siguiente localizada en el tercer punto. Cuando alcanza el último punto, hubo una pausa de unos minutos y se le pidió al usuario que responda un cuestionario relacionado con la experiencia previa; una vez completado, el usuario pasó a la siguiente experiencia.
- e. *Quinta experiencia:* Es similar a la experiencia cuatro, pero se utilizó como fuentes de sonido, el pitido de 440Hz, un miembro del equipo activó y desactivó una fuente de sonido a la vez después de cada recorrido. Cuando el participante alcanzó el tercer punto objetivo, respondió a un cuestionario y pasó a la siguiente experiencia, después de un descanso de pocos minutos.
- f. *Sexta experiencia:* En forma análoga a la experiencia anterior, pero usando el sonido de un instrumento musical, que se activó después de cada recorrido. El participante caminó por el lugar con su bastón blanco para alcanzar cada punto objetivo. Cuando el participante llegó al último objetivo, respondió a un cuestionario.

4.6.6.3. Variables de estudio

Durante la navegación se registró: la duración de cada recorrido, el tipo de trayectoria, la cercanía al punto objetivo y el éxito para completar la tarea de navegación. Además, a través de cuestionarios (uno basado en la escala de Likert y el otro abierto), se registró información sobre la usabilidad de la aplicación, los datos provistos se dividieron en: facilidad de uso, satisfacción del usuario, utilidad y comodidad. Las variables se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29 Variables de estudio en el VI taller

Actividad	Variables		
Navegación	Eficiencia	Efectividad	Utilidad
Cuestionario posterior	Usabilidad		

La eficiencia se definió como el tiempo de navegación dedicado a alcanzar un punto objetivo durante un recorrido específico.

La efectividad se definió como la cercanía al punto objetivo alcanzado después de cada recorrido, usando trayectorias directas.

La utilidad fue evaluada con el éxito en alcanzar el punto objetivo, después de la navegación.

La usabilidad se evaluó con la relación promedio entre la facilidad de uso, la satisfacción del usuario, la utilidad de la herramienta y la comodidad del usuario durante las pruebas de navegación.

4.6.6.3.1 Configuración de las aplicaciones

Se desarrollaron tres aplicaciones que emplearon la voz femenina, el pitido y el sonido de un instrumento musical, para llegar a tres puntos objetivos con cada aplicación (Ver Tabla 30).

Tabla 30 Configuración de las aplicaciones de navegación

ID	Experiencias		
1	Voz con respuesta lineal	Voz con respuesta logarítmica	Voz con respuesta personalizada
2	Pitido con respuesta lineal	Pitido con respuesta logarítmica	Pitido con respuesta personalizada
3	Sonido con respuesta lineal	Sonido con respuesta logarítmica	Sonido con respuesta personalizada

Una vez completadas las tres primeras experiencias, los usuarios debían llegar a los mismos puntos objetivos, empleando fuentes de sonido en el sitio, los archivos reproducidos tenían el formato mp3.

4.6.6.4. Evaluación y Resultados

Eficiencia:

El tiempo empleado en segundos por el usuario para completar cada recorrido, se muestra en la Fig. 36. La duración de tiempo más corta en alcanzar el objetivo se considera la más eficiente.

Fig. 36 Tiempo de navegación por recorrido, con tres interfaces de sonido y tres respuestas de potencia

La dependencia de la eficiencia con la interfaz de voz se evaluó con el análisis de varianza ANOVA de una vía. El resultado fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0,03614$). La comparación por pares se realizó aplicando la prueba de comparación de Tukey. La voz en el sitio implicó una reducción del 20.51% en la duración del recorrido en comparación con la voz con respuesta logarítmica (valor $p = 0.02653$). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre las otras combinaciones.

La dependencia de la eficiencia con las interfaces de pitido se evaluó con el ANOVA de una vía. El resultado fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0,0207$). La comparación entre las interfaces de pitido se realizó aplicando una prueba de comparación de pares Tukey. El pitido en el sitio implicó una reducción del 43.58% en la duración del recorrido en comparación con un pitido con respuesta logarítmica (valor $p = 0.01506$). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre las otras combinaciones.

La dependencia de la eficiencia con el sonido del instrumento musical se evaluó con el ANOVA de una vía. El resultado no fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0.10996$).

El sonido en el sitio fue estadísticamente significativo para la navegación. Cuando el sonido se reprodujo en el sitio, los participantes fueron directamente a la fuente, mostrando mayor seguridad y superando los obstáculos como lo hacen en su vida diaria. El tiempo promedio para abordar cada uno de los puntos fue de 12.22 segundos. El tiempo más bajo se obtuvo usando la voz.

Al comparar los resultados de usar sonidos 3D en la aplicación móvil, se observó que los tiempos más cortos para alcanzar el objetivo ocurrieron en las respuestas de audio personalizadas y los tiempos más largos se alcanzaron con la respuesta de audio logarítmica. Esto parece estar directamente relacionado con la potencia de salida (ver Fig. 33); para distancias alrededor de 5.3 m, la señal de potencia más baja es la señal logarítmica.

La menor desviación estándar de 2,8 segundos se logró cuando se usó un tono de 440 Hz como fuente de sonido, lo que nos hace suponer que el pitido siempre se escucha con claridad.

Eficacia:

Para determinar la eficacia, se asignó un valor entre uno y cuatro al tipo de trayectoria realizada, y otro valor entre uno y tres a la precisión alcanzada; estos dos valores se normalizaron, antes de promediarlos y así obtener un único valor llamado efectividad. La Tabla 31 muestra el valor de la trayectoria y la precisión para alcanzar el punto objetivo, utilizando las interfaces de voz, el pitido y el sonido musical.

Tabla 31 Resultados de trayectorias y precisión

	Voice			Beep			Musical Sound		
	Lineal	Logarítmica	Custom	Lineal	Logarítmica	Custom	Lineal	Logarítmica	Custom
Trayectoria	d	d	d	d	d	d	d	d	dp
	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	d	dp	d	i	d	d	d	i	d
	d	dp	d	d	d	r	d	i	r
	d	d	d	d	d	i	d	r	d
	d	i	d	d	i	d	r	dp	d
Precisión	a	n	a	a	n	a	a	n	a
	n	ar	a	n	n	a	a	n	a
	a	a	a	a	ar	a	n	a	n
	n	a	a	n	ar	ar	n	n	ar
	a	a	a	n	ar	n	a	n	n
	a	n	n	n	n	n	n	ar	ar

d= directa=4; dp= directa con pausa=3; i= indirecta=2; r= randómico=1

a=en el punto=4; n=cerca del punto=3; ar=alejado del punto=2.

La dependencia de la eficacia con la interfaz de voz se evaluó con el ANOVA de una vía. El resultado fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0.0053$). La comparación por pares entre las interfaces de pitido se realizó aplicando una prueba de comparación por pares de Tukey. El sonido de la voz en el punto objetivo implica una mejora del 13.33% en comparación con la salida de voz con respuesta logarítmica en la aplicación (valor de $p = 0.00607$). La voz con respuesta personalizada mejoró en 11.86% la efectividad en comparación con una voz con respuesta logarítmica (valor de $p = 0.0173$). La voz con respuesta lineal mejoró un 10.34% la efectividad en comparación con la voz con respuesta logarítmica (valor de $p = 0.04707$). No hubo significación estadística entre otras combinaciones.

La dependencia de la eficacia con la interfaz de pitido se evaluó con el ANOVA de una vía. El resultado fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0,03244$). La comparación por pares con la prueba de Tukey, indica que el pitido en el sitio implica una mejora del 18.33% en la eficiencia en comparación con un pitido con respuesta logarítmica (valor de $p = 0.0233$). No hubo significación estadística entre otras combinaciones.

La dependencia de la efectividad con el sonido del instrumento musical se evaluó con un ANOVA de una vía. El resultado no fue estadísticamente significativo (valor $p = 0.077$).

Se observa mayor número de trayectorias directas usando la respuesta lineal del sonido. Las respuestas lineal y personalizada alcanzaron una mayor precisión. Con la respuesta personalizada de voz se alcanzó la mayor proximidad al punto objetivo. Dos participantes mencionaron que el audio debería indicar a dónde van y el pitido de 440 Hz para guiar hacia el punto objetivo.

4.6.6.5. Utilidad

La utilidad se definió como el éxito en llegar al punto objetivo, utilizando las interfaces de voz, pitido y el sonido musical. La utilidad se modeló como una variable dicotómica para cada punto objetivo. Uno fue asignado cuando el participante alcanzó el punto objetivo y cero de lo contrario. Los resultados se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32 Utilidad de la herramienta de navegación

Voz Femenina			Pitido			Sonido Musical		
Lineal	Logarítmica	Custom	Lineal	Logarítmica	Custom	Lineal	Logarítmica	Custom
f	f	f	f	f	f	f	f	f
f	f	f	f	f	f	f	f	f
f	f	f	f	u	f	f	f	f
f	f	f	f	f	u	f	u	u
f	f	f	f	f	f	f	u	f
f	f	f	f	f	f	f	u	u

f=finaliza el recorrido=1; u=no completa el recorrido=0

La dependencia de la utilidad con la interfaz voz se evaluó con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel. El resultado fue estadísticamente significativo (valor $p = 0$). No fue posible hacer una comparación, porque todos los resultados fueron significativos con $p\text{-value} = 0$.

La dependencia de la utilidad con la interfaz del pitido se evaluó con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel. El resultado no resultó estadísticamente significativo (valor de $p = 0.5823$).

La dependencia de la utilidad con el sonido del instrumento musical se evaluó con una prueba Mantel-Haenszel de asociación general. El resultado no fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0,076$).

Se observa que todas las tareas se cumplieron con éxito, cuando se usó la respuesta lineal utilizando voz, sonido y el sonido de un instrumento musical. La interfaz de voz fue significativa con todas las respuestas de audio; esto se debe posiblemente porque la voz en los auriculares óseos proporciona información complementaria del lugar hacia donde se dirigen, pero algunos participantes mencionaron que resultaba molesta escucharla todo el tiempo, lo que no ocurrió con el pitido de 440Hz.

4.6.6.6. Usabilidad

Para determinar la usabilidad, se usaron dos cuestionarios que evaluaron la facilidad de uso, la satisfacción con el uso de la aplicación, la utilidad de la herramienta, la comodidad con la herramienta. Sus resultados se basan en la escala Likert, donde 5 es muy de acuerdo, 4 de acuerdo, 3 neutral, 2 en desacuerdo, 1 muy en desacuerdo. El promedio entre estos cuatro parámetros fue usado para obtener el parámetro facilidad de uso (Vea Tabla 33).

Tabla 33 Resultados, cuestionarios sobre usabilidad

Voz	Fácil	Satisfecho	Útil	Confort
Lineal	3,67	3,67	4,0	3,67
Logarítmica	3,67	3,67	4,0	3,67
Personalizada	4,50	3,67	4,0	3,67

Pitido	Fácil	Satisfecho	Util	Confort
Lineal	3,58	4,33	4,3	4,33
Logarítmica	3,00	4,33	4,3	4,33
Personalizada	3,33	4,33	4,3	4,33

Sonido musical	Fácil	Satisfecho	Util	Confort
Lineal	3,67	4,00	3,8	4,00
Logarítmica	3,25	4,00	3,8	4,00
Personalizada	3,00	4,00	3,8	4,00

La dependencia de la usabilidad con el sonido de la voz se evaluó con el ANOVA de una vía. El resultado no fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0.69173$).

La dependencia de usabilidad con la interfaz de pitido se evaluó con un ANOVA de una vía. El resultado no fue estadísticamente significativo (valor de $p = 0.92306$).

La dependencia de la utilidad con el sonido del instrumento musical se evaluó con un ANOVA de una vía. El resultado no fue estadísticamente significativo ($p\text{-value} = 0.08553$).

A pesar de la falta de significancia en los resultados de usabilidad con las interfaces implementadas en este estudio, los usuarios percibieron la voz como una interfaz más fácil de usar durante la navegación, pero sintieron que el pitido era más útil y cómodo y por lo tanto el grado de satisfacción de los usuarios con esta interfaz fue mayor.

4.6.6.7. Discusión taller VI

Los participantes ciegos que utilizaron aplicaciones de realidad aumentada para navegar en un entorno desconocido utilizando sonidos 3D lograron ir directamente al punto de interés el 81.48% del tiempo con una muy buena precisión. Otros estudios previos no usaron tecnología, tamaños de espacios o complejidad comparables, según nuestro conocimiento, este es el primer trabajo que compara la interfaz de voz, pitidos y el sonido de un instrumento musical para la navegación en espacios interiores, usando tres respuestas auditivas diferentes. En otros estudios de navegación al aire libre, la precisión es el problema principal, porque el sistema depende del GPS [119] [114]. En un estudio [115], informaron que el porcentaje de 18.5% de oyentes no puede discriminar sonidos virtuales usando la voz femenina y el porcentaje aumentó a 24.2% cuando usaron los sonidos de un instrumento musical; en nuestro estudio, todos los participantes pudieron discriminar sonidos virtuales usando la voz femenina, sin embargo, el 16.6% de los participantes no pudieron discriminar el sonido de un instrumento musical. A los participantes les tomó menos tiempo en llegar al punto objetivo, cuando utilizaron la respuesta de audio personalizada y lograron una mayor precisión con un pitido de 440 Hz y el sonido de la voz femenina.

Algunos participantes recomendaron usar la voz para proporcionar información complementaria y usar el pitido de 440 Hz para guiarlos desde el punto de inicio hasta el punto de destino, esto consideramos ocurre porque el pitido es un sonido confortable de baja frecuencia y se escucha con mucha claridad todo el tiempo. Creemos que un estudio con un mayor número de usuarios confirmaría este hecho.

Todos los participantes navegaron haciendo una trayectoria directa al punto de destino con mayor confianza y seguridad cuando se utilizó la fuente de sonido en el lugar; porque están entrenados para hacerlo de esta manera en su día a día. Debe notarse que durante el experimento se generó una fuente cada vez, sin que se agreguen o interfieran otros sonidos durante el recorrido del participante dentro del entorno donde se llevó a cabo la investigación.

Aunque no hubo significancia estadística de usabilidad con las interfaces de voz, pitido y sonido musical; se observó que existe una tendencia en términos de sonido musical que debería estudiarse con un mayor número de usuarios.

Según los participantes, el uso de sonidos 3D es adecuado para la navegación en espacios interiores desconocidos, en comparación con otras aplicaciones probadas previamente. No hubo otro estudio similar para comparar esta afirmación.

4.6.6.8. Conclusiones taller VI

Un sonido virtual 3D se puede ajustar en términos de respuesta de potencia auditiva, para comunicar al usuario la localización de un punto objetivo dentro de un entorno no familiar y brindar suficiente información para la comodidad del usuario durante la navegación con aplicaciones de realidad aumentada. En este estudio se definieron tres interfaces de sonido que fueron la voz, el pitido y el sonido de un instrumento musical y tres respuestas de salida: lineales, logarítmicas y personalizadas

La voz fue la interfaz más relevante durante la navegación, la respuesta lineal y personalizada fueron más eficientes, efectivas y útiles.

El sonido musical parecía complacer a los usuarios como una interfaz de salida, pero no obtuvo significación estadística. Según algunos participantes, esto fue porque el sonido de un instrumento musical es muy agradable para el oído. La respuesta logarítmica fue la menos puntuada.

Las aplicaciones de realidad aumentada permitieron que los usuarios alcancen el punto objetivo con buena precisión cuando se empleó un pitido de 440 Hz como interfaz de salida. Como mencionan algunos de ellos, el pitido se mantiene despejado a pesar de la distancia. La interfaz de pitido fue estadísticamente significativa en el análisis de efectividad durante la navegación.

Se observó que la respuesta personalizada alcanzó mayor eficacia y eficiencia durante las pruebas así como en los cuestionarios realizados por los participantes. Por lo tanto, creemos que las posibilidades de un estudio más amplio con mayor número de usuarios deberán corroborar que la voz virtual femenina con respuesta personalizada en aplicaciones de realidad aumentada es más eficiente, efectiva y útil durante las actividades de navegación de personas ciegas. Una combinación de voz y pitido podría mencionarse como una mejor solución a la utilizada durante este taller.

4.6.7. Workshop VII

Cinco participantes con ceguera y sin ningún otro impedimento (edad promedio= 47,8 años y DS=13,29 años), participan en el entrenamiento y la valoración de una aplicación de realidad aumentada, donde se integraron las actividades de exploración de proximidad y remota.

Escenario:

Se virtualizó la planta baja del Hotel Ilusión, ubicado en la calle San Romualdo, con una base frontal de $56 \times 14 \text{ m}^2$ y laterales de $25 \times 15 \text{ m}^2$, compuesto por 6 salones principales: recepción, cafetería, sala de descanso, sala de espera, salón de recepciones, aseos, tiene dos puertas de acceso, 2 ascensores al este y 2 al oeste (Ver Fig. 37). La aplicación se instaló en varios móviles iPhone de los usuarios modelos 5, 6 y 6S.

Fig. 37 Hotel Ilunion virtualizado (Fuente: DP)

Objetivos

Evaluar la utilidad de la aplicación de realidad aumentada, mediante tareas absolutas, relativas y de orientación, efectuada por cinco participantes del proyecto e-Glance en las instalaciones del Hotel Ilunion de la Fundación ONCE.

Procedimiento

Un taller inicial, para explicar el uso de la herramienta y para instalar la aplicación en los móviles de los usuarios. Posteriormente los usuarios deben realizar por su cuenta el entrenamiento necesario, para explorar toda la planta baja del Hotel ILUNION.

Se estableció el siguiente protocolo:

Protocolo Previo a la Visita al Hotel

- a. Bienvenida y agradecimientos
- b. Cargar la aplicación en el móvil de cada participante
- c. Verificación de funcionamiento
- d. Entrenamiento in situ
- e. Recomendaciones para la visita
- f. Repaso individual, durante los tres días siguientes
- g. Visita al hotel sin la aplicación

Protocolo durante la Visita al Hotel

Al inicio se pidió a los participantes permanezcan en la puerta de acceso principal. A continuación el primer participante es informado que se dirija a recepción, una vez alcanzado recepción, se pide se dirija a salón de descanso y por último a cafetería. No hay restricción de tiempo, para llegar a los puntos escogidos. Una vez que ha completado el recorrido, se llena un cuestionario y se repite el procedimiento con el resto de participantes. Los participantes son grabados durante el recorrido por el hotel, se usan hojas de observación para registrar tiempo y recorrido.

Cuando se han completado todas las tareas, el investigador registra las observaciones generales del proceso y agradece a los participantes.

Resultados Obtenidos

Los participantes no siguieron las recomendaciones previas a la visita al Hotel y por tanto, no se pudo evaluar la herramienta de exploración anticipada. Los usuarios dijeron que no pudieron realizar el repaso según lo acordado en el último encuentro, y por tanto la visita al Hotel, no se llevó a efecto conforme el protocolo previsto. Sin embargo se les pidió usar la aplicación dentro de las instalaciones, para tener alguna realimentación sobre el uso de la aplicación, y los participantes comentaron lo siguiente:

Las paredes en la aplicación debería indicar el tipo de material, si están cerca de una sala y en qué lado de la sala está, para reconocerlas, cuando están en el sitio.

Para la orientación en el lugar, se debe indicar si el usuario está pegado a una pared por el lado izquierdo o por el lado derecho.

Como hay dos puertas de acceso y la aplicación solo menciona una entrada, debería indicarse que en el centro hay dos puertas casi juntas.

Requieren una descripción inicial, no en cualquier momento. Para dar una descripción el ciego debe estar situado en un punto de referencia, de tal forma que desde allí se haga a la idea del lugar; uno de ellos menciona que por ejemplo el hall o los espacios amplios, puede decirse que es un rectángulo con derivaciones a los lados. Un técnico en orientación y movilidad podría ayudar a encontrar mejores términos.

Iniciar en un punto al cual pueda hacer referencia la aplicación.

Conclusiones:

No se alcanzaron los objetivos del taller, debido a la falta de entrenamiento que debió ser realizada por cuenta de los usuarios con la aplicación que se instaló en sus móviles. Algunas recomendaciones fueron mencionadas y que se consideraron para actualizar la herramienta y ofrecer una mayor comprensión del entorno.

4.6.8. Workshop VIII

Catorce participantes ciegos (9 hombres, 5 mujeres, edad promedio 49,14 DE = 14,66) utilizan 4 aplicaciones de realidad aumentada, para navegar por un laberinto confeccionado en una de los laboratorios de la Universidad Politécnica de Madrid. Los teléfonos inteligentes iPhone 6S, con iOS 10.2.1, se utilizaron para probar las aplicaciones desarrolladas. Los datos sobre el recorrido son grabados por dos cámaras. Se utilizó el test de Montreal (**Montreal Cognitive Assessment**) previo a la experiencia de navegación y se completó el test al finalizar la experiencia, con el objetivo de valorar, la memoria y los recuerdos diferidos de los participantes. El esquema gráfico del taller se muestra en la Fig. 38.

Fig. 38 Esquema gráfico VIII taller (Fuente: DP)

Se consideraron dos tipos de ayudas de navegación: Con rutas predefinidas y sin rutas predefinidas, usando zonas de seguridad.

Navegación con ruta predeterminada: el usuario se encuentra en una posición fija en el escenario, el avatar mira en la misma dirección que el usuario está mirando y se mueve en forma solidaria a los movimientos del usuario. La aplicación genera sonidos virtuales necesarios para el guiado, usando pitidos de 440Hz. El usuario camina siguiendo el sonido que se genera en auriculares de conducción ósea, hasta escuchar la voz que le indica que ha llegado a uno de los puntos objetivos; adicionalmente el investigador dice la primera de cinco palabras que el participante deberá recordar al llegar al punto final. A continuación se genera el pitido para que el usuario camine al siguiente punto y posteriormente al siguiente hasta completar la ruta; en cada punto objetivo el investigador expresa verbalmente la palabra que debe ser recordada por el usuario.

Navegación sin ruta predeterminada: el usuario se encuentra en una posición fija en el escenario, el avatar mira en la misma dirección del usuario y se mueve en compás con los movimientos del usuario. Se emplea la interfaz pitido de 440Hz, para indicar al usuario el punto final del recorrido. También se usa la interfaz de voz para notificar al usuario que hay paredes a la izquierda, derecha o en frente del usuario. El usuario camina con su bastón, orientándose por el sonido; durante el recorrido encuentra obstáculos, que son notificados mediante alertas o tonos de 1KHz. El investigador va tomando en cuenta el avance del participante y cuando se encuentra cerca de una zona libre le comunica una palabra clave, que debe ser recordada por el participante al llegar al destino. Cuando finaliza el recorrido, se genera una voz que le comunica que ha llegado.

4.6.8.1. Variables de estudio

Las variables en la Tabla 34 se evaluaron para dos estrategias de navegación: una con ruta predeterminada, a través de zonas libres de obstáculos y la otra sin ruta, usando avisos de obstáculos en el camino.

Previo a la navegación se consideró el test de Montreal que prueba: 1) Memoria y recuerdos diferidos. Durante la navegación se consideró: 2) Tiempo de navegación y 3) Éxito en llegar a una zona. Después de la navegación se consideró completar el test de Montreal: 4) Recuerdo diferido.

Con estas actividades se determinó la "Eficacia" y la "Eficiencia" de la herramienta y la "Carga mental" de los participantes. La eficiencia fue determinada en función del tiempo usado durante la navegación para ir de un punto objetivo a otro punto objetivo. La eficacia se determinó como el éxito en llegar al punto objetivo. La carga mental se determinó en función del trabajo mental para recordar las palabras proporcionadas durante la navegación.

Tabla 34 Variables evaluadas durante el VI taller

Variables de navegación		
Eficiencia	Eficacia	Carga Cognitiva

4.6.8.2. Diseño del Estudio

Se realizó un estudio transversal dentro de los sujetos. Los catorce sujetos participantes ya habían participado anteriormente en los anteriores talleres.

4.6.8.2.1. Implementación de Escenarios Virtuales

Dada la disponibilidad de una oficina vacía en la primera planta del Centro de Tecnología Biomédica, se definió y construyó un laberinto de tres pistas como un entorno de prueba, de dimensiones 16.75x5.63x2.25m³ (Ver Fig. 39). Para definir las configuraciones de las aplicaciones con los usuarios, los recorridos pueden ir en los dos sentidos (ida-regreso), se virtualizaron un total de cuatro combinaciones de escenarios, dos para la ida usando ruta guiada y dos para el regreso usando la ruta no guiada.

Fig. 39 Laberinto construido para el VIII taller con usuarios

4.6.8.2.2. Configuración de las aplicaciones del usuario

Los participantes estuvieron involucrados en dos experiencias. Durante cada experiencia, navegaron desde diferentes puntos de partida, utilizando una de las cuatro configuraciones mostradas en la Tabla 35. Con el fin de minimizar el impacto de los posibles efectos de arrastre, en el diseño se divide a los sujetos en dos grupos, según el cuadrado latino que se muestra a continuación:

Tabla 35 Configuración de las aplicaciones de usuario

ID	Primera Experiencia	Segunda Experiencia
1	Ida sin ruta guiada	Vuelta con ruta guiada
2	Vuelta con ruta guiada	Ida sin ruta guiada
3	Ida con ruta guiada	Vuelta sin ruta guiada
4	Vuelta sin ruta guiada	Ida con ruta guiada

4.6.8.2.3. Procedimiento

La duración promedio de cada sesión de trabajo es de 45 minutos, cada participante debe realizar dos sesiones de trabajo. En cada sesión, un participante realiza seis actividades: 1) test de evaluación cognitiva de Montreal, 2) entrenamiento con una aplicación general, 3) navegación en laberinto primera experiencia, 4) test de recuerdo diferido posterior a la experiencia, 5) navegación en laberinto segunda experiencia y 6) test de recuerdo diferido. Las actividades fueron grabadas con dos cámaras y a través de hojas de observación y registro. Durante cada sesión, se asigna dos personas para resolver problemas técnicos, verificación de la secuencia del proceso y el registro de la información.

Al comienzo de la sesión, cada participante recibió una cordial bienvenida y un miembro del equipo de investigación resumió los objetivos del estudio, a continuación se estableció el siguiente protocolo de trabajo para el participante:

Test de evaluación cognitiva: Siguiendo el protocolo del test de memoria y recuerdos diferidos establecido en este estudio, se pronuncian cinco palabras haciendo una breve pausa en la pronunciación de cada uno de ellas; el usuario debe repetirlas sin importar el orden. No se registra ningún puntaje. A continuación se repiten una secuencia de letras de forma continua, y se le pidió al usuario toque con el dedo sobre la mesa cada vez que escuche la letra A; una vez que el participante se ha entregado de lleno a esta tarea y han transcurrido alrededor de cinco minutos, se pide al participante repita las palabras descritas al inicio del test, se asigna un punto por cada palabra recordada.

Entrenamiento: Un miembro del equipo, se coloca al lado del participante, coloca los auriculares óseos en la cabeza del participante y abre una aplicación general con sonidos 3D. El usuario debe seguir el sonido girando sobre su propio eje, a continuación el usuario se mueve por el escenario hasta llegar a un punto de prueba programado dentro del escenario virtual, cuando lo alcanza finaliza el entrenamiento.

Etapas de navegación: El participante camina por la sala real usando una de las configuraciones mostradas en la Tabla 34. Se les pidió a los participantes que navegaran por la sala hasta que la aplicación les indicara que han llegado y que además grabaran en su memoria las palabras expresadas durante el recorrido. En la aplicación de ida, el avatar estaba quieto y cerca de la puerta de entrada y en la aplicación de regreso, el avatar está quieto y cerca de una pared y ventana. Mientras el usuario avanza por el lugar, el investigador pronuncia una palabra cada vez que el usuario alcanza una zona libre de obstáculos. La navegación finaliza cuando el usuario llega al destino o cuando el investigador considera que el participante no es capaz de alcanzar el destino debido a que está perdido en la sala y/o no puede superar los obstáculos presentes. En esta etapa se registró (a) el tiempo de navegación por zonas, (b) el número de zonas alcanzadas (c) el éxito en llegar al destino.

Test posterior a la prueba: A cada participante se le pidió indicara el nombre de los elementos que había escuchado durante el recorrido. Las respuestas fueron registradas manualmente. En esta etapa se registró: (i) nombre de elementos recordados correctamente y (j) número de elementos insertados u omitidos.

4.6.8.3. Evaluación y Resultados

4.6.8.3.1. Test de Montreal- Diagnóstico Inicial

Durante esta etapa se estima la capacidad de memoria y recuerdos diferidos de los participantes. Si los usuarios no alcanzan el 80% en la evaluación, se considera que sufren un deterioro cognitivo leve, si superan este porcentaje su estado es normal. En la Fig. 40, se observa que el 50% de los participantes tienen una valoración normal en memoria y recuerdos diferidos.

Fig. 40 Test de Montreal aplicado a los usuarios del VIII Taller

4.6.8.3.2. Proceso de navegación

4.6.8.3.2.1. Eficiencia del proceso de navegación

La eficiencia se modeló como el tiempo utilizado durante la navegación, por las zonas programadas, hasta llegar al destino. Los valores se presentan en la Fig. 41.

Fig. 41 Tiempo de navegación a través del laberinto

La dependencia de la eficiencia con el tipo de navegación usando la interfaz de pitido se evaluó con ANOVA de medidas repetidas, luego de comprobar los criterios para este tipo de prueba. La distribución fue normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($P1=0.057$; $P2=0.9$). El resultado fue estadísticamente significativo (Friedman Chi-cuadrado = 6.3858, $DF = 1$, $p\text{-valor} = 0.02812$).

La navegación mediante ruta guiada provee una mejora del 53.07% en la reducción del tiempo destinado a la navegación, comparado con la navegación mediante ruta no guiada y con zonas de seguridad activadas.

4.6.8.3.2.2. Eficacia del proceso de navegación

Se definió como el éxito en alcanzar el destino empleando los dos tipos de navegación, cuyos resultados aparecen en la Tabla 36.

Tabla 36 Efectividad del proceso de navegación (%)

	Sin ruta guiada	Con ruta guiada
Ida	75%	100%
vuelta	66.66%	87.5%

La dependencia de la efectividad de la navegación se evaluó con una prueba de asociación general de Mantel-Haenszel. No se encontró diferencia significancia ($M^2=21$, $p\text{-valor}=0.08$), sin embargo un lazo de dependencia es observado que debería estudiarse con mayor número de usuarios. La ruta guiada alcanza un mayor porcentaje de éxitos que la no guiada.

Se analizó por separado entre usuarios sin deficiencia cognitiva y con deficiencia cognitiva, la eficiencia en el proceso de navegación, usando la prueba de asociación general de Mantel Haenszel. No se encontró significativa en los usuarios sin deficiencia cognitiva; sin embargo los usuarios que no superaron el test de Montreal, presentaron una diferencia estadística significativa ($M^2=25.4$, $p\text{-valor}= 0.024$); la ruta guiada fue un 50% más efectivo que la ruta no guiada.

4.6.8.3.2.3. Carga cognitiva

La cantidad de palabras que recuerdan los participantes, con respecto al número de palabras entregadas durante la navegación, está en relación directa con el uso de la memoria de trabajo. Cuanto mayor sea el número de palabras recordadas menor será la carga cognitiva utilizada por el usuario durante la navegación. La Fig. 42 presenta los recuerdos diferidos de los participantes durante las cuatro trayectorias realizadas.

Fig. 42 Recuerdos diferidos de los participantes, durante el octavo taller a) Todos los participantes, b) Participantes con deterioro cognitivo

Se utilizó ANOVA de medidas repetidas para evaluar la carga cognitiva, después de verificar las suposiciones para este tipo de prueba. Los datos de los cuatro grupos mostraron una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk ($p\text{-ida_guiada} = 0.775$; $p\text{-vuelta_guiada} = 0.1218$; $p\text{-ida_noguiada} = 0.3137$; $p\text{-vuelta_noguiada} = 0.1912$). La Esfericidad se evaluó con la prueba de Mauchly ($W=0.15207$, $p=0.0559$). La homocedasticidad se evaluó con la prueba de Bartlett (estadística de Bartlett = 1.3, $DF=3$, $p\text{-valor}=0.7$). ANOVA no resultó estadísticamente significativa ($F= 2.27$, $DF=3$, $p=0.109$).

Se analizó por separado la carga cognitiva de las personas que no superaron el test de Montreal y de aquellos que lo superaron. Para los participantes que presentaron normalidad en la memoria y recuerdos diferidos la prueba no resultó estadísticamente significativa ($F=0.41$, $DF=3$; $p\text{-valor}=0.608$ con la corrección de GreenHouse) . Para los participantes que no presentaron normalidad en el test de memoria y recuerdos diferidos la prueba resultó estadísticamente significativa ($F=3.54$, $DF=3$, $p\text{-valor} = 0.031$). Haciendo una comparación por pares con la prueba de Tukey, se encontró que la vuelta guiada presenta un 70.7% de reducción en la carga cognitiva, respecto a la vuelta no guiada ($p\text{-valor}=0.031$).

4.6.8.4. Discusión taller VIII

La navegación independiente para personas ciegas puede ser extremadamente difícil debido a la incapacidad de reconocer y evitar obstáculos. Para probar si una aplicación de realidad aumentada podría usarse para navegar por un laberinto basado en obstáculos, construimos una aplicación móvil con sonidos 3D y usamos un sensor láser e infrarrojo para detectar los objetos cercanos y el avance del usuario en el mundo real. Un grupo de catorce participantes invidentes fueron grabados mientras navegaban por el laberinto. El 93.75% de los participantes ciegos pudieron hacerlo usando la aplicación de ruta guiada, y el 71% usando la aplicación sin ruta guiada, debido a la presencia de obstáculos en su camino, que debían ser sorteados con la ayuda de su bastón y alertas emitidas por el móvil. El tiempo y la carga mental se redujo empleando la ruta guiada, con un adecuado nivel de significación ($p\text{-valor}=0.028$ y 0.03); la eficacia de la navegación con ruta guiada fue mayor en un 50% respecto a la ruta no guiada, además fue estadísticamente significativa respecto a la navegación sin ruta guiada ($M^2=25.4$, $p\text{-valor}= 0.024$) para el caso de usuarios que no superaron el test de Montreal propuesto durante la evaluación. Este estudio proporciona evidencia del potencial de las aplicaciones de realidad aumentada con el fin de evitar obstáculos y navegar por el interior de entornos desconocidos, en personas con ceguera. Un refinamiento en la función del sonido respecto al movimiento de la cabeza del usuario podría ser implementado para mejorar aún más la discriminación del sonido por parte de los usuarios; dicha aplicación podría proporcionar soluciones de navegación óptimas para invidentes, que en la actualidad está limitada a solo usuarios con visión.

4.6.8.5. Conclusiones taller VIII

Aplicaciones de realidad aumentada con sonidos 3D pueden usarse como ayudas de navegación de usuarios que son ciegos. En este estudio se definieron cuatro aplicaciones para ir y regresar por un laberinto en forma guiada y no guiada.

La eficiencia fue notoria usando la aplicación de ruta guiada y aunque no hubo significancia estadística respecto a la eficiencia entre la guiada y no guiada con respecto a todos los usuarios, si hubo significancia estadística cuando se analizó únicamente a los usuarios que no superaron el test de Montreal propuesto. Se encontró que el mayor porcentaje de éxito en llegar al objetivo, lo tuvieron los usuarios que usaron la ruta guiada.

Se observó que la reducción en la carga cognitiva para los participantes que no superaron el test de Montreal, fue significativo, un estudio con una muestra de estudio más amplio deberá corroborar este resultado.

4.6.9. Difusión de los resultados de la Investigación

La metodología desarrollada durante la primera fase de la investigación se presentó en:

- Methodology for the development of virtual reality applications for blind people , N. GUERRÓN, J. SERRANO, International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, ISSN: 2320-2084 Volume-5, Issue-6, Jun-2017 (no indexada en JCR)
- Methodology for building virtual reality mobile applications for blind people on advanced visits to unknown interior spaces, 14th International Conference in Mobile Learning, Lisbon 14-16th April, 2018, Lisbon. Obtuvo el premio de la conferencia a la mejor contribución escrita. Esta conferencia es B3 en el ranking Qualis.

Resultados de la primera fase se publicaron en la Revista Computers in Human Behavior, de la editorial Elsevier en Abril 2017, doi: 10.1016 / j.chb.2017.09.007.

Capítulo 5

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

“Las cualidades del éxito, están en función del trabajo desarrollado”

Anónimo

RESUMEN: En este capítulo se resumen los resultados obtenidos en el trabajo de investigación y su comparación con otros obtenidos en estudios similares

5.1. Discusión de la investigación

Durante los talleres V, VI y VIII; se realizaron diseños de estudio transversales dentro de los sujetos, con el objetivo de evaluar la eficacia, eficiencia, utilidad y usabilidad de las aplicaciones de realidad aumentada, usadas durante la exploración anticipada al interior de entornos desconocidos, y como ayudas para la navegación por el interior de entornos desconocidos. Cada diseño tuvo sus propios objetivos de investigación, por lo que la discusión para cada taller, se presenta por separado, en las siguientes sub-secciones.

5.1.1. Discusión taller V

Se encontró que una mayor eficiencia durante la exploración de proximidad se produjo empleando las interfaces sensitivas de voz y de gestos. La interfaz V5 descrita en la sección [4.6.5.1](#). Interfaces sensitivas consiguió reducir el tiempo de exploración en un 39.72% ($p=0.042$) comparado con la interfaz V6; la interfaz de gesto G7 redujo este tiempo en un 34.28% ($p=0.019$) comparado con la interfaz G9. Esta evidencia respaldó la hipótesis inicial de una mayor eficiencia asociada a mayores velocidades de reproducción de voz, distancia en metros y a patrones de gestos simples. El 85% de los participantes ciegos entienden los mensajes cuando se reproducen al doble de la velocidad estándar y el 45% cuando se reproducen al triple de la velocidad estándar.

Una mayor eficacia asociada a la exploración de proximidad también se evidenció con las interfaces sensitivas de voz. La interfaz V5 mostró un aumento del 5.9% en el número de obstáculos detectados ($p=0.032$) comparado con la interfaz V6. A pesar de mostrar una mejor efectividad, la dimensión de error en la ubicación de objetos y en la selección de la maqueta que representa a la habitación vacía no mostró diferencias significativas para las interfaces de voz. Además se observó un deterioro en la conversión de detecciones de paredes con respecto a su correcta identificación, con todas las interfaces sensitivas, lo que no ocurre con puertas y ventanas. La tasa de conversión para paredes fue superior al 100% (Ver Fig. 32).

Una mejor calidad del mapa cognitivo estuvo asociada a la interfaz de pitido y a pesar de la limitada potencia de la muestra, lo hizo con una significación estadística bastante fuerte ($p\text{-valor}=0.00085$). Esto lo interpretamos como que la variación en frecuencia para generar avisos durante la exploración de proximidad, tiene un impacto positivo en la reducción de errores en la identificación de objetos ya sea por inserción o por omisión. Con la interfaz B2 se alcanzó un 6% de mejora en la construcción del mapa cognitivo respecto de B1 ($p\text{-value}=0.0013$). Este resultado también corrobora nuestra hipótesis de que las frecuencias menores de 500Hz fueron mejor diferenciadas y aceptadas por los participantes.

También se observó una dependencia de la calidad del mapa cognitivo con las interfaces de voz ($p=0.043$) durante la exploración de proximidad, apoyando la hipótesis previamente discutida. La interfaz de voz V5 mejoró la calidad del mapa cognitivo en un 4.9% comparado con V4 ($p= 0.042$).

El éxito en las tareas absolutas estuvo asociada a la interfaz sensitiva de voz ($p= 0.049$) y en las tareas relativas con la interfaz sensitiva de gestos ($p= 0.011$). No se observó ninguna dependencia en las tareas de orientación con el uso de las interfaces en las aplicaciones de realidad aumentada. Siendo que este tipo de tarea ayuda con la actualización del mapa cognitivo de las personas ciegas; creemos que algunos usuarios recordaron el punto de partida, lo que explicaría una mayor cantidad de tareas de orientación exitosas. Se observa una tendencia en cuanto a la dependencia de las tareas relativas con la interfaz sensitiva de voz ($p=0.08$), y de las tareas absolutas y de orientación con la interfaz sensitiva de gesto ($p=0.071$), que debería ser probada más adelante con un mayor número de usuarios y otras configuraciones de exploración.

En un estudio de exploración que usó entornos virtuales multisensoriales para la exploración de proximidad con personas que son ciegas, Lahav y Mioduser [116] informaron que los usuarios emplearon tiempos de exploración medios de 38 minutos para una sala de tamaño y complejidad similar a uno de nuestros tres espacios. Dichos tiempos son mayores a los encontrados en nuestro estudio (con pitidos=10minutos, con voz=14minutos, con gestos=12minutos). La principal diferencia en los mecanismos de exploración de proximidad entre los dos estudios fue que, mientras que en el primero, los participantes tenían que identificar obstáculos y mover su avatar por el escenario usando un Joystick de retroalimentación háptica, en nuestro estudio la interfaz de voz informaba directamente sobre el objeto o estructura dentro de la zona de seguridad del avatar. Las identificaciones de obstáculos en nuestro estudio son similares o mejores que las informadas en Lahav [16]: objetos (84% vs. pitido=81%, voz=89%, gesto=90%), puertas (46% vs. pitido=79%, voz=83%, gesto=80%), ventanas (25% vs. pitido=80%, voz= 79%, gesto=89%) y columnas (48% vs. pitido=62.28%, voz=83.37 , gesto=87%). En cuanto a la elección del modelo nuestro estudio tiene un porcentaje más bajo (95% vs. pitido=65%, voz=64%, gesto=68.75%), dado que entre los dos estudios el primero ofrecía tres opciones con diferentes formas y tamaños, mientras que en nuestro estudio la forma y los tamaños permanecen iguales y los cambios observables son la disposición de puertas y ventanas solamente. También informan sobre una mejor ubicación de las miniaturas dentro de los modelos (46% vs. pitido =4%, voz =16%, gesto =26%) y similar éxito en tareas reales: absoluta (81% vs. pitido =51% , voz =77% , gesto =87%), relativa (71% vs. pitido =54% , voz =75% , gesto =87%). Otros estudios previos no emplean espacios de tamaño y complejidad comparables. Viniendo de un diseño dentro de los sujetos, los resultados son adecuados para eliminar las diferencias individuales entre los participantes como una fuente de error. Decidimos elegir un tamaño de muestra adecuado para preservar el orden de magnitud identificado en estudios previos basados en proximidad. Sin embargo, un estudio con una muestra más grande y un diseño entre sujetos serían apropiados para abordar los inconvenientes de las restricciones impuestas por la disponibilidad de espacios físicos y el tamaño del equipo de investigación.

5.1.2. Discusión taller VI

Se encontró una mayor eficiencia y eficacia asociada a las respuestas personalizadas. Se observa que los tiempos se reducen y la precisión se incrementa cuando la potencia del sonido es suficiente para ser percibido claramente por el usuario. La voz femenina en el sitio redujo el tiempo de navegación en un 20.51% (p -valor=0.026) comparado con la voz femenina generada en la aplicación, con respuesta logarítmica. La interfaz de pitido también fue estadísticamente significativa cuando se reprodujo en el sitio (p -valor=0.0207). El sonido del instrumento musical no fue significativo.

La voz con respuesta personalizada mejoró en 11.86% la efectividad comparada con la voz con respuesta logarítmica (p -valor=0.017); la voz con respuesta lineal mejoró en un 10.34% comparado con la voz con respuesta logarítmica (p -valor=0.047). El pitido en el sitio fue más eficiente en un 18.33% comparado con el de respuesta logarítmica (p -valor=0.0233).

Las interfaces de voz y pitidos con todas las respuestas auditivas fueron útiles, porque todos permitieron a los participantes llegar al objetivo, eso nos hace pensar que una aplicación de realidad aumentada como ayuda de navegación de espacios interiores para ciegos, tiene una ventaja sobre los sistemas de guiado que usan balizas, porque son más discretos y no se ven afectados por otros sonidos, cuando se activan más de una fuente de sonido a la vez, que si ocurre, en los sistemas con balizas.

Härmä Aki et al [120], informaron que el 18.5% de oyentes no pudo discriminar los sonidos virtuales que usaron la voz femenina y que el porcentaje aumentó a 24.2% cuando usaron los sonidos de un instrumento musical; en nuestro estudio, todos los participantes pudieron discriminar sonidos virtuales usando la voz femenina y un 16.6% de los participantes no pudieron discriminar el sonido de un instrumento musical. A los participantes les tomó menos tiempo en llegar al punto objetivo, cuando utilizaron la respuesta de audio personalizada y lograron una mayor precisión con un pitido de 440 Hz y el sonido de la voz femenina. Los participantes recomendaron usar la voz para proporcionar información complementaria y usar el pitido de 440 Hz para guiarlos desde el punto de inicio hasta el punto de destino.

Todos los participantes navegaron haciendo una trayectoria directa al punto de destino con mayor confianza y seguridad cuando se utilizó la fuente de sonido en el lugar; porque los participantes están acostumbrados a hacerlo de esta manera en la mayoría de situaciones de su vida cotidiana. Debe notarse que durante el experimento se generó una fuente cada vez, sin que se agreguen o interfieran otros sonidos durante el recorrido del participante por el entorno de navegación donde se llevó a cabo la investigación.

Aunque no hubo significancia estadística de usabilidad con las interfaces de voz, pitido y sonido musical; se observó que existe una tendencia en términos del sonido musical que debería estudiarse con un mayor número de usuarios.

5.1.3. Discusión taller VIII

La navegación independiente para personas ciegas puede ser extremadamente difícil debido a la incapacidad de reconocer y evitar obstáculos. El uso de aplicaciones de realidad aumentada con sonidos 3D, permitieron que el 93.75% de los participantes ciegos llegaran al objetivo cuando emplearon la aplicación de ruta guiada. El 71% de los participantes llegaron al objetivo cuando usaron la aplicación sin ruta guiada y con zonas de seguridad para dar avisos sobre obstáculos durante el recorrido del usuario, que debían ser sorteados con la ayuda de su bastón y las alertas emitidas. La eficiencia en la navegación fue significativa cuando se usó la ruta guiada (valor de $p=0,028$), así como la carga mental (valor de $p=0,03$), que se redujeron empleando la ruta guiada. Este estudio proporciona evidencia del potencial de las aplicaciones de realidad aumentada con el fin de navegar por el interior de entornos desconocidos, evitando los obstáculos y dirigiéndose al punto objetivo de forma eficiente y con una reducción en la carga mental, en personas con ceguera.

En un estudio del uso de la carga cognitiva utilizada durante la navegación en interiores por usuarios ciegos [34], se encontró que los ciegos expertos son capaces de comprender y trabajar de manera eficiente con solo retroalimentación de sonido virtual como guía. Se encontró los usuarios ciegos expertos sienten menos carga mental que las personas no expertas en el uso de tecnología de asistencia basada en teléfonos inteligentes. En el estudio realizado en el taller VIII no hubo una clasificación entre expertos o inexpertos, sino entre aquellos que tienen un ligero deterioro cognitivo y los que no lo tienen. La reducción en la carga cognitiva para las personas con leve deterioro cognitivo fue significativo y alcanzó el 70% comparado con la aplicación de ruta no guiada, lo que no ocurrió con el resto de participantes; lo que nos hace suponer que esta aplicación podría emplearse en la ayuda de otro grupo de personas, posiblemente de personas mayores o con otro tipo de discapacidad.

5.2. Conclusiones

Se ha obtenido un conjunto de interfaces sensitivas que presentaron significancia estadística, durante el contraste de las hipótesis. Estas interfaces sensitivas de voz, gestos, vibración y pitidos, comunicaron en forma eficiente y eficaz la información relevante sobre el entorno, a los usuarios con discapacidad visual y les permitieron construir un mapa cognitivo del sitio, al explorar en forma anticipada el entorno virtual desconocido. El uso de las interfaces sensitivas dotó a los usuarios de información perceptual suficiente, que junto con la técnica de exploración implementada, permitió a los participantes representar mentalmente el interior de un espacio no familiar, en forma análoga a como lo han realizado en otros estudios previos, que utilizaron dispositivos hápticos o mapas interactivos para la exploración y con similares porcentajes en el reconocimiento de obstáculos.

Los aspectos que se consideraron en la implementación de las interfaces sensitivas fueron: Las salidas por sonidos verbales responden a las intenciones del usuario y brindan la suficiente información del entorno; las salidas por sonidos no verbales advirtieron de la presencia de obstáculos; los gestos para recuperar la información fueron simples y se reconocieron en cualquier región física de la pantalla del móvil o tableta; la vibración avisó del movimiento del avatar en la escena. La interfaz de pitido B2, de voz V5 y de gesto G7, lograron una mayor eficiencia, eficacia y utilidad durante la exploración de proximidad.

La interfaz de voz femenina V5, que reprodujo la información al doble de la velocidad normal, usando métricas de distancia en metros y terminología adecuada para el inicio y finalización de la experiencia de exploración y para informar de objetos que entran y salen de las zonas de seguridad del avatar, alcanzó significancia estadística en los parámetros de eficiencia, eficacia, calidad del mapa cognitivo y utilidad en las tareas absolutas, establecidos dentro de las variables de trabajo.

La interfaz de gestos con un solo toque G7-G9 si bien fueron significativas en eficiencia y en las tareas relativas, no lo fueron en la adquisición del mapa cognitivo, esta interfaz permitió la interacción del usuario con la aplicación de allí su relevancia en cuanto a la utilidad y eficiencia.

La interfaz de pitidos B2 fue significativa en la adquisición del mapa cognitivo, esto implica que los pitidos son necesarios para identificar y localizar los objetos durante la exploración de proximidad del entorno virtual.

Siendo la locución la mejor forma de describir un espacio, la voz femenina fue usada como una interfaz eficiente, eficaz y útil en todas las pruebas realizadas; sin embargo hallamos que un pitido de baja frecuencia puede sustituirla durante largos recorridos, donde la persistencia de la voz puede causar malestar al usuario.

La participación de los usuarios durante los talleres efectuados, permitió que el trabajo efectuado con los participantes se lleve en un clima de confianza y seguridad y aunque hubo intensas jornadas de trabajo, se cumplió el 98% de las experiencias planificadas con los usuarios. La importancia de trabajar continuamente con un grupo de personas con ceguera y baja visión se refleja en el alto nivel de satisfacción registrado en las encuestas, que alcanzó un 4.33/5 en la escala de Likert, donde 4 se considera muy satisfecho y 5 completamente satisfecho.

Interfaces sensitivas de voz y pitidos en aplicaciones de realidad aumentada, utilizadas durante la navegación por interiores de espacios no familiares, permitieron que los usuarios alcanzaran el punto objetivo guiados mediante sonidos espaciales y sin la necesidad de memorizar gran cantidad de información, lo que conllevó a una reducción en la carga cognitiva de los participantes.

El uso de sonidos 3D en aplicaciones de realidad aumentada alcanzó mayor eficiencia usando la voz femenina y mayor eficacia con el tono de 440Hz, durante la navegación en espacios interiores desconocidos. No hubo otro estudio similar para discutir sobre el tema, por lo que debería diseñarse otro estudio con mayor número de usuarios y con otro tipo de sonidos para su comprobación.

Es necesario realizar una evaluación final con un mayor número de usuarios, integrando todas las mejoras aprendidas durante el desarrollo de estas experiencias, y usando un diseño entre sujetos, para verificar todas las conclusiones señaladas anteriormente.

5.3. Trabajos futuros

Si bien hasta el momento, no se ha logrado integrar las herramientas de navegación con las de exploración; dado que la exploración no requería realizarse en tiempo real, en cambio la navegación requiere de un ambiente instrumentado y virtualizado para ejecutarse en tiempo real; juntar estas herramientas y probarlas con usuarios sería el primer siguiente paso a dar, de esta forma los usuarios usarían la misma aplicación, tanto para adquirir el conocimiento del espacio in situ, como para recibir apoyo verbal y sonidos no verbales para alcanzar un punto objetivo escogido.

Dada la falta de madurez tecnológica a precios razonables, para alcanzar una buena precisión con los dispositivos de posicionamiento en interiores actuales, el siguiente paso sería reemplazar los sensores láser e infrarrojos empleados durante la navegación y reemplazarlos por un dispositivo de control Bluetooth o Wifi en el bastón del usuario, que pueda determinar con exactitud las coordenadas (x, y) del usuario y pasarlas al juego de realidad aumentada, eliminando la dificultad del uso de la otra mano del usuario durante las prácticas y posiblemente para la selección de un área de búsqueda en el juego.

Durante las pruebas con usuarios se encontró que las aplicaciones de realidad aumentada tienen una ventaja en cuanto a la reducción de la carga mental de los participantes que presentaron leve deterioro cognitivo. Dado que las personas mayores en la actualidad tienen una mayor esperanza de vida, pero afrontan una serie de dificultades propias de la edad que limitan la movilidad, las habilidades motrices y las capacidades mentales, que coexisten con la pérdida visual, se podría iniciar un programa de soporte para la gente mayor y de rehabilitación para los invidentes con aplicaciones de realidad aumentada, para la realización de actividades cotidianas y como soporte emocional durante su estancia en centros de acogida. Este tipo de aplicaciones se podrían extrapolar a sistemas de soporte para mejorar el nivel mental y funcional de los usuarios como ayudas de viaje, ajustes sociales que vayan transformando los entornos no familiares en entornos más familiares, de manera más segura y cómoda; este programa debería contar con el apoyo de otros profesionales no técnicos como psicólogos y médicos.

El bastón que está pensado para evitar obstáculos durante el recorrido que realiza una persona con ceguera, lo usan también las personas mayores para apoyarse durante su desplazamiento, sería importante dotar al bastón de los ciegos y de las personas mayores con diversas funcionalidades inteligentes, como es el establecimiento de una comunicación efectiva entre el usuario y el medio, para brindarle apoyo emocional durante sus recorridos y reducir el estrés, que conlleva la falta de movilidad y autonomía personal.

Referencias

- [1] Nilsson ME, Schenkman BN. Blind people are more sensitive than sighted people to binaural sound-location cues, particularly inter-aural level differences. *Hear.Res.* 2016 feb;332:223-32.
- [2] Tönnis M, Plecher DA, Klinker G. Representing information- Classifying the Augmented Reality presentation space. *Computers and Graphics* 2013 dec;37(8):997-1011.
- [3] Pasqualotto A, Spiller MJ, Jansari AS, Proulx MJ. Visual experience facilitates allocentric spatial representation. *Behav.Brain Res.* 2013 jan;236(1):175-9.
- [4] DOCE. DISCAPACIDAD VISUAL D.O.C.E. (DISCAPACITADOS OTROS CIEGOS DE ESPAÑA). Available at: <https://asociaciondoce.com/que-es-la-ceguera-legal/>, 2017.
- [5] Blind people and mobile touch-based text-entry. The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS '11 New York, New York, USA: ACM Press; 2011.
- [6] AFB. No Limits Working. Available at: <http://www.afb.org/info/publications/annual-report-2017/no-limits-working/135>, 18.
- [7] WHO. Blindness and vision impairment prevention. Available at: <http://www.who.int/blindness/en/>, 2017.
- [8] Monacelli AM, Cushman LA, Kavcic V, Duffy CJ. Spatial disorientation in Alzheimer's disease: the remembrance of things passed. *Neurology* 2003 dec;61(11):1491-7.
- [9] Jiménez A, Huete Agustín. Informe Olivenza 2016, sobre la situación de la discapacidad en España. 2016;:697.
- [10] Koberlein J, Beifus K, Schaffert C, Finger RP. The economic burden of visual impairment and blindness: a systematic review. *BMJ open* 2013 nov;3(11):e003471.
- [11] Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, et al. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta analysis. 2017 sep;5(9):e888-97.
- [12] Caranva R. SIÉNTATE CONMIGO.
- [13] Chile, Ministerio de desarrollo social. Discapacidad desde una mirada de igualdad e inclusión. 2017;:30.
- [14] Fulghum M. What is considered a Visual Disability? Available at: http://www.acb.org/tennessee/what_is_blindness.html, 2017.

- [15] Fernandes H, Conceição N, Paredes H, Pereira A, Araújo P, Barroso J. Providing accessibility to blind people using GIS. *Universal Access in the Information Society* 2012 nov;11(4):399-407.
- [16] Lahav O, Mioduser D. Construction of cognitive maps of unknown spaces using a multi-sensory virtual environment for people who are blind. *Comput.Hum.Behav.* 2008 may; 24(3):1139-55.
- [17] Burton H. Visual cortex activity in early and late blind people. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 2003 may;23(10):4005-11.
- [18] Knauff M, May E. Mental imagery, reasoning, and blindness. *Q.J.Exp.Psychol.* 2006 jan;59(1):161-77.
- [19] Bauer C, Yazzolino L, Hirsch G, Cattaneo Z, Vecchi T, Merabet LB. Neural correlates associated with superior tactile symmetry perception in the early blind. *Cortex* 2015 feb;63:104-17.
- [20] Amedi A, Raz N, Pianka P, Malach R, Zohary E. Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind. *Nat.Neurosci.* 2003;6:758-66.
- [21] Niemeyer W, Starlinger I. Do the blind hear better? Investigations on auditory processing in congenital or early acquired blindness. *Audiology : official organ of the International Society of Audiology* 2009;20(6):510-5.
- [22] Sela L, Sobel N. Human olfaction: a constant state of change-blindness. *Experimental Brain Research* 2010 aug;205(1):13-29.
- [23] Schifferstein HNJ, Smeets MAM, Postma A. Comparing Location Memory for 4 Sensory Modalities. *Chem.Senses* 2010 feb;35(2):135-45.
- [24] Voss P. Auditory Spatial Perception without Vision. *Frontiers in Psychology* 2016 dec;07:1960.
- [25] Sorokowska A, Karwowski M. No Sensory Compensation for Olfactory Memory: Differences between Blind and Sighted People. *Frontiers in Psychology* 2017 dec;8:2127.
- [26] Wong M, Gnanakumaran V. Tactile Spatial Acuity Enhancement in Blindness: Evidence for Experience-Dependent Mechanisms. *Journal of Neuroscience* 2011;31(19):7028-37.
- [27] Majerova H. The Person in a Situation of Visual Impairment and its Perception and Imagination from the Qualitative Viewpoint. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2017 feb;237:751-7.
- [28] Dietrich S, Hertrich I, Ackermann H. Ultra-fast speech comprehension in blind subjects engages primary visual cortex, fusiform gyrus, and pulvinar - a functional magnetic resonance imaging (fMRI) study. *BMC Neuroscience* 2013 jul;14(1):74.

- [29] Boas LV, Muniz L, Caldas Neto Silvio da Silva, Gouveia MdCL. Auditory processing performance in blind people. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* 2011 aug;77(4):504-9.
- [30] Kitchin RM. Cognitive maps: What are they and why study them? *J.Environ.Psychol.* 1994 mar;14(1):1-19.
- [31] Price MSM, Calderón JLH. Influencia de la percepción visual en el aprendizaje. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular* 2011 jul;9(1):93-101.
- [32] Dursin AG. Information Design and Education for Visually Impaired and Blind People. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2012 jan;46:5568-72.
- [33] Brayda L, Campus C, Memeo M, Lucagrossi L. The Importance of Visual Experience, Gender, and Emotion in the Assessment of an Assistive Tactile Mouse. *IEEE Transactions on Haptics* 2015 jul;8(3):279-86.
- [34] Cognitive load and usability analysis of R-MAP for the people who are blind or visual impaired. *Proceedings of the 29th ACM international conference on Design of communication - SIGDOC '11 New York, New York, USA: ACM Press; 2011.*
- [35] Fehrenbacher DD, Djamasbi S. Information systems and task demand : An exploratory pupillometry study of computerized decision making. *Decis.Support Syst.* 2017;97:1-11.
- [36] Kletzel SL, Hernandez JM, Miskiel EF, Mallinson T, Pape TL. Evaluating the performance of the Montreal Cognitive Assessment in early stage Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders* 2017 apr;37:58-64.
- [37] Cattaneo Z, Vecchi T. *Blind vision : the neuroscience of visual impairment.* : MIT Press; 2011.
- [38] Mekhalfi ML, Melgani F, Zeggada A, De Natale Francesco G.B., Salem MA-, Khamis A. Recovering the sight to blind people in indoor environments with smart technologies. *Expert Syst.Appl.* 2016 mar;46:129-38.
- [39] Measurement and adjustment methods of sound source direction perceived through bone-conduction headphones. 2014 *IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*; oct; : IEEE; 2014.
- [40] Cobo A, Guerrón NE, Martín C, del Pozo F, Serrano JJ. Differences between blind people's cognitive maps after proximity and distant exploration of virtual environments. *Comput.Hum.Behav.* 2017 dec;77:294-308.
- [41] Ducasse J, Brock AM, Jouffrais C. *Accessible Interactive Maps for Visually Impaired Users. Mobility of Visually Impaired People* Cham: Springer International Publishing; 2018, p. 537-584.
- [42] Chebat D, Harrar V, Kupers R, Maidenbaum S, Amedi A, Ptito M. Sensory Substitution and the Neural Correlates of Navigation in Blindness. *Mobility of Visually Impaired People* Cham: Springer International Publishing; 2018, p. 167-200.

- [43] Taillade M, Kaoua B, Tarruella A, Klinger E, Larrue F, Sauzéon H., et al. The contribution of virtual reality to the diagnosis of spatial navigation disorders and to the study of the role of navigational aids: A systematic literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 2017 jun;60(3):164-76.
- [44] Wall SA, Brewster S. Sensory substitution using tactile pin arrays: Human factors, technology and applications. *Signal Process* 2006 dec;86(12):3674-95.
- [45] IEEE, editor. A Navigation Aid for the Blind Using Tactile-Visual Sensory Substitution. 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; aug; New York, New York, USA: IEEE; 2006.
- [46] ACM, editor. HamsaTouch: Tactile Vision Substitution with Smartphone and Electro-Tactile Display. CHI 2014 Toronto: ACM Press; 2014.
- [47] Çağatay B, Loftin RB. Multimodal Display Systems : Haptic , Olfactory , Gustatory , and Vestibular. *Components and Training Technologies*; 2008, p. 116.
- [48] Dhal SB, Agarwal A, Agarwal K. Smart Electronic Travel Stick for the Visually Challenged. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, Vol.4, 2016, Pages 177-181 2016 dec;4(6):177-81.
- [49] Cheng P. Wearable ultrasonic guiding device with white cane for the visually impaired: A preliminary verisimilitude experiment. *Assistive Technology* 2016 jul;28(3):127-36.
- [50] Eduardo FJ, Carlos PV, Ramon RRJ, Antonio AC. ELECTRONIC CANE FOR ASSISTING WITH MOBILITY OF VISUALLY IMPAIRED PEOPLE. 2014;.
- [51] Elchinger GM. Mobility cane for the blind incorporating ultrasonic obstacle sensing apparatus. 1981;.
- [52] 和也 千葉和也 千葉, inventor. White cane with a voice guidance system. Japón patent. 2015 .
- [53] Gassert R. White Cane with Integrated Electronic Travel Aid Using 3D TOF Sensor. 2013;.
- [54] Richard E, Tijou A, Richard P, Ferrier J-. Multi-modal virtual environments for education with haptic and olfactory feedback. *Virtual Reality* 2006 nov;10(3-4):207-25.
- [55] Berenice Machuca. CENTRO DE INVESTIGACIONES EN OPTICA, A Centro de Investigaciones en Optica, A.C; 2010.
- [56] Bahadir SK, Koncar V, Kalaoglu F. Wearable obstacle detection system fully integrated to textile structures for visually impaired people. *Sensors and Actuators A: Physical* 2012 jun;179:297-311.
- [57] Labs G. Sonar For The Blind. 2011;.

- [58] A Smartphone-based Haptic Vision Substitution system for the blind. 2011 IEEE 37th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC); apr; : IEEE; 2011.
- [59] Springer, editor. Dispositivos Electrónicos para Comunicación Táctil con el Pie. V Latin American Congress on Biomedical Engineering La Habana, Cuba; 2011.
- [60] Bahadir SK, Koncar V, Kalaoglu F. Smart shirt for obstacle avoidance for visually impaired persons. Smart Textiles and their Applications 2016 jan;33-70.
- [61] Sohl-Dickstein J, Teng S, Gaub BM, Rodgers CC, Li C, DeWeese MR, et al. A Device for Human Ultrasonic Echolocation. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2015 jun;62(6):1526-34.
- [62] Kay L. Auditory perception of objects by blind persons, using a bioacoustic high resolution air sonar. J.Acoust.Soc.Am. 2000 may;107(6):3266.
- [63] Spagnol S, Hoffmann R, Herrera MM, Unnthorsson R. Blind wayfinding with physically-based liquid sounds. International journal of man-machine studies. 2018.
- [64] Jones LA, Lockyer B, Piatetski E. Tactile display and vibrotactile pattern recognition on the torso. Adv.Rob. 2006 jan;20(12):1359-74.
- [65] Eyesynth. SmartGlasses para Invidentes. Available at: <https://eyesynth.com/>, 2018.
- [66] eSight. Glasses that let the Visually Impaired See. Available at: <https://www.esighteyewear.com/>, 2018.
- [67] Karimi HA. Indoor Navigation. Universal Navigation on Smartphones Boston, MA: Springer US; 2011, p. 59-73.
- [68] Karimi HA. Outdoor Navigation. Universal Navigation on Smartphones Boston, MA: Springer US; 2011, p. 17-57.
- [69] Li Y, Zhuang Y, Zhang P, Lan H, Niu X, El-Sheimy N. An improved inertial/wifi/magnetic fusion structure for indoor navigation. Information Fusion 2017 mar;34(C):101-19.
- [70] Gual J, Puyuelo M, Lloveras J. The effect of volumetric (3D) tactile symbols within inclusive tactile maps. Appl.Ergon. 2015 may;48:1-10.
- [71] Sanabria LB. Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes. Tecn Episteme y Didaxis 2007:45-65.
- [72] Papadopoulos K, Koustriava E, Barouti M. Cognitive maps of individuals with blindness for familiar and unfamiliar spaces: Construction through audio-tactile maps and walked experience. Comput.Hum.Behav. 2017 oct;75:376-84.
- [73] JACOBSON RD, KITCHIN RM. GIS and people with visual impairments or blindness: Exploring the potential for education, orientation, and navigation. Transactions in GIS 1997 dec;2(4):315-32.

- [74] Almeida M, Martins LB, Lima FJ. Analysis of Wayfinding Strategies of Blind People Using Tactile Maps. *Procedia Manufacturing* 2015 jan;3:6020-7.
- [75] Interactive 3D sonification for the exploration of city maps. *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction changing roles - NordiCHI '06* New York, New York, USA: ACM Press; 2006.
- [76] HANCOCK MB. AN ELECTRONIC AUTOROUTING NAVIGATION SYSTEM FOR VISUALLY IMPAIRED PERSONS. 1998;.
- [77] A system to aid blind people in the mobility: A usability test and its results. *Second International Conference on Systems (ICONS'07)*; apr; : IEEE; 2007.
- [78] Jafri R, Ali SA, Arabnia HR, Fatima S. Computer vision-based object recognition for the visually impaired in an indoors environment: a survey. *The Visual Computer* 2014 nov;30(11):1197-222.
- [79] NavEye: Smart guide for blind students. *2014 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*; apr; : IEEE; 2014.
- [80] Varpe KM, Wankhade MP. Visually Impaired Assistive System. *International Journal of Computer Applications* 2013;77(16):975-8887.
- [81] Costa G, Gusberti A, Graffigna JP, Guzzo M, Nasisi O. Mobility and orientation aid for blind persons using artificial vision. *Journal of Physics: Conference Series* 2007 nov;90(1):012090.
- [82] An Intuitive Mobility Aid for Visually Impaired People Based on Stereo Vision. *2015 IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*; dec; : IEEE; 2015.
- [83] A wearable mobility aid for the visually impaired based on embedded 3D vision and deep learning. *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*; jun; : IEEE; 2016.
- [84] Wong S. Traveling with blindness: A qualitative space-time approach to understanding visual impairment and urban mobility. *Health {&} Place* 2018 jan;49:85-92.
- [85] Rodriguez-Sanchez MC, Moreno-Alvarez MA, Martin E, Borrromeo S, Hernandez-Tamames JA. Accessible smartphones for blind users: A case study for a wayfinding system. *Expert Syst.Appl.* 2014 nov;41(16):7210-22.
- [86] Virtual Environment Manipulated by Recognition of Poses Using Kinect: A Study to Help Blind Locomotion in Unfamiliar Surroundings. *2013 XV Symposium on Virtual and Augmented Reality*; may; : IEEE; 2013.
- [87] Sánchez J. Una Metodología para Desarrollar y Evaluar la Usabilidad de Entornos Virtuales Basados en Audio para el Aprendizaje y la cognición de Usuario Ciegos. *RIED - Revista Iberoamericana de educación a Distancia* 2010;13(2):265-93.

- [88] Sánchez J, De Borba Campos Marcia, Espinoza MM, Merabet, Lotfi B, Lotfi B. Audio Haptic Videogaming for Developing Wayfinding Skills in Learners Who are Blind. *PMCID* 4254778 2014;2014:199-208.
- [89] Espinosa MA, Ungar S, Ochaita E, Blades M, Spencer C. Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments. *Cogprints* 1998.
- [90] Lahav O, Schloerb DW, Srinivasan MA. Rehabilitation Program Integrating Virtual Environment to Improve Orientation and Mobility Skills for People Who Are Blind. *Computers and Education* 2015 jan;80:1-14.
- [91] Kitchin R. *Cognitive Maps*. 2001;:2120-4.
- [92] De Felice Fabio, Renna F, Attolico G, Distante A. Hapto-Acoustic Interaction Metaphors in 3D Virtual Environments for Non-Visual Settings. *Virtual Reality: InTech*; 2011.
- [93] Universal Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity*; 2016.
- [94] Lahav O, Gedalevitz H, Battersby S, Brown D, Evett L, Merritt P. Virtual environment navigation with look-around mode to explore new real spaces by people who are blind. *Disabil.Rehabil.* 2018 apr;40(9):1072-84.
- [95] Bowman DA, Kruijff E, LaViola JJ, Poupyrev I. An Introduction to 3-D User Interface Design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 2001 feb;10(1):96-108.
- [96] SEGD. What is Wayfinding? 2014;.
- [97] SpaceSense. Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '12 New York, New York, USA: ACM Press; 2012.
- [98] Picinali L, Afonso A, Denis M, Katz BFG, Denis, M, et al. Exploration of architectural spaces by blind people using auditory virtual reality for the construction of spatial knowledge. *Elsiever: International Journal of Human-Computer Studies* 2014;72(4):393-407.
- [99] Spatial awareness and intelligibility for the blind. Proceedings of the 2012 ACM annual conference extended abstracts on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts - CHI EA '12 New York, New York, USA: ACM Press; 2012.
- [100] ACM, editor. Virtual Navigation for Blind People. Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '17 Baltimore, MD, USA: ACM Press; 2017.
- [101] De F, Renna F, Attolico G, Distante A. Hapto-Acoustic Interaction Metaphors in 3D Virtual Environments for Non-Visual Settings. *Virtual Reality: InTech*; 2011.
- [102] Elia V, Gnoni MG, Lanzilotto A. Evaluating the application of augmented reality devices in manufacturing from a process point of view: An AHP based model. *Expert Syst.Appl.* 2016;63:187-97.

- [103] Shimomura Y, Hvannberg ET, Hafsteinsson H. Accessibility of audio and tactile interfaces for young blind people performing everyday tasks. *Universal Access in the Information Society* 2010 nov;9(4):297-310.
- [104] Smelling screen: Technique to present a virtual odor source at an arbitrary position on a screen. 2012 IEEE Virtual Reality (VR); mar; : IEEE; 2012.
- [105] Jenny Craven. Non-Visual Access to the Digital Library (NoVA): the use of the digital library interfaces by blind and user impaired people.; 2003.
- [106] Andrade LA. Teoría de la Carga Cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje. 2012;5:75-92.
- [107] Pu Y, You P. Indoor positioning system based on BLE location fingerprinting with classification approach. *Appl.Math.Model.* 2018 oct;62:654-63.
- [108] Pierlot V, Urbin-Choffray M, Van Droogenbroeck Marc. A new three object triangulation algorithm based on the power center of three circles. *Communications in Computer and Information Science* 2011;161 CCIS:248-62.
- [109] Faragher R, Harle R. Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons. *IEEE J.Select.Areas Commun.* 2015 nov;33(11):2418-28.
- [110] Unity 3D. Unity 3D. Available at: <https://unity3d.com/es>, 2015.
- [111] Wong M, Gnanakumaran V, Goldreich D. Tactile spatial acuity enhancement in blindness: evidence for experience-dependent mechanisms. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 2011 may;31(19):7028-37.
- [112] Leuthold S, Bargas-Avila JA, Opwis K. Beyond web content accessibility guidelines: Design of enhanced text user interfaces for blind internet users. *International Journal of Human-Computer Studies* 2008 apr;66(4):257-70.
- [113] Shaun K. Kane. Understanding and Creating Accessible Touch Screen Interactions for Blind People. United States -- Washington: University of Washington; 2011.
- [114] Robison MK, Unsworth N. Working memory capacity, strategic allocation of study time, and value-directed remembering. *Journal of Memory and Language* 2017 apr;93:231-44.
- [115] Sun P, Tsai RJ, Finger G, Chen Y, Yeh D. What drives a successful e-Learning? An empirical investigation of the critical factors influencing learner satisfaction. *Computers and Education* 2008 may;50(4):1183-202.
- [116] Lahav O, Mioduser D. Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind. *International Journal of Human-Computer Studies* 2008 jan;66(1):23-35.
- [117] Madrid UPM. LifeSTech. 2017.

[118] Occipital. Structure Sensor. 2016;.

[119] Polzer S, Kunz A, Alavi A, Miesenberger K. Computers Helping People with Special Needs. 2016;9759:587-93.

[120] Harma A, Jakka J, Tikander M, Karjalainen M. Augmented Reality Audio for Mobile and Wearable Appliances*. JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY 2004;52(6):618-39.

Anexo 1: Equipo y dispositivos

1. Ordenados ACER Predator G3-605, resolución gráfica (Procesador Intel Core i7-4790 Quad Core, Tarjeta Gráfica AMD R9-255 con 2 GB Dedicados (HDMI, Display Port y DVI).

2. Servidor de tiflojuegos, Lenovo ThinkServer TS140 - Ordenador servidor 3.5" (3.2 GHz, Intel Xeon, E3-1225V3, Serial ATA III).

3. Kit de Smart Beacon de Estimote para la localización en el interior del escenario

4. Auriculares óseos inalámbricos (Aftershokz)

5. Móviles y portátil para el desarrollo (iPhone 6S, Tableta iPad Air 2)

6. Sensor de Structure y componentes. (Occipital)

Anexo 2: Proyecto e-glance

Cátedras de Tecnología Accesible

Sistema tiflotécnico para centros de trabajo (e-GLANCE)

Centro de Tecnología Biomédica

Universidad Politécnica de Madrid

José Javier Serrano Olmedo

josejavier.serrano@upm.es

1 de mayo de 2016

Versión 1

Logo

Universidad

RESUMEN DEL PROYECTO

Sistema tiflotécnico para centros de trabajo (E-GLANCE):

Propuesta para la segunda anualidad

1. Introducción

Este proyecto es la continuación del proyecto e-SIGHT (Sistema tiflotécnico para centros de trabajo) para realizar los objetivos propuestos para la segunda anualidad del mismo. El problema enfocado en el proyecto e-GLANCE es la asimetría en la percepción de la información ambiental o de contexto entre personas con capacidad de ver y personas invidentes. Numerosos sucesos y situaciones corrientes que pueden ser percibidas “de un vistazo” (*glance*), es decir, de las que se puede extraer información esencial para el desenvolvimiento de la vida diaria por parte de personas sin pérdidas de visión, no son plenamente captadas por las personas ciegas o con visión reducida. Por ello, estas personas tienen que realizar un esfuerzo adicional para realizar tareas cotidianas, en especial, en escenarios como el laboral, donde conviven con personas no ciegas. Quienes pueden ver tienden a dar por hecho que todos conocen la información que se puede percibir “de un vistazo”, lo que sitúa a las personas ciegas en desventaja. Estas, en numerosas ocasiones, tienen que, o bien solicitar ayuda, o bien realizar un esfuerzo extra para solventar, con autonomía, situaciones que una persona que puede ver puede hacer casi sin prestar atención, tales como planificar una ruta en un medio con múltiples obstáculos movibles, obtener información sobre identificación de personas y objetos a distancia, etc.

Para mejorar la autonomía de las personas ciegas mediante la reducción de la asimetría en la facilidad de captar información ambiental, antes citada, se planteó una nueva tecnología de **realidad aumentada**, *e-GLANCE*, que informará al trabajador sobre elementos relevantes del contexto físico que le rodea en tiempo real, **acercando a las personas ciegas**, como el sentido de la vista hace para los videntes, la información sobre **sucesos físicamente alejados** pero que forman **parte del contexto directo** (personas, objetos, y eventos) en el que el trabajador se **desenvuelve** durante el desempeño de su actividad laboral.

En concreto la propuesta de *e-GLANCE* permitira: 1) que una persona ciega **explore activamente el contexto** y pueda así, a demanda, **dirigir su atención sobre zonas concretas fuera del alcance de la mano o para las que el oído o el recuerdo pueden resultar inadecuados o insuficientes** (como si de un “largo” bastón se tratara, pero con más capacidades); y 2) que el sistema **llame la atención sobre acontecimientos en la periferia del foco de atención** para alertar al invidente como ocurre con la visión periférica.

Con esta nueva herramienta, las personas ciegas tendrían dentro de su alcance el conocimiento de sucesos o hechos que les costaría mucho poder percibir de otra manera, lo

que impulsaría significativamente su **capacidad de organización y planificación** al agilizar la **capacidad de adaptación a la dinámica del entorno**.

Ganarían en independencia, y no solo en el entorno laboral, sino en otros entornos para los que la herramienta también podrá adaptarse: centros comerciales, hoteles, algunas zonas urbanas, etc. Es razonable pensar que los invidentes ganarán en autoconfianza, autonomía y satisfacción general por su mayor facilidad de integración, lo que debería redundar en una mejora en su productividad laboral.

El concepto de *e-GLANCE* puede generalizarse a otros entornos y a otras discapacidades como la auditiva o las deficiencias cognitivas. Estas ampliaciones quedan fuera de la propuesta actual, pero la realización del proyecto permitirá abordarlas con mayor facilidad en el futuro. En definitiva, la integración de información de contexto o ambiental mediante descriptores únicos generará, más allá del proyecto, un nuevo paradigma de interacción de las personas con ciertas discapacidades y su entorno.

2. Descripción del sistema eGLANCE

La implementación de **eGLANCE** consta de **tres pilares** fundamentales:

- un módulo de **captación de la realidad** que requiere del despliegue de sensores para la localización de objetos móviles y personas en tiempo real así como un procedimiento de captación eficiente de los elementos fijos. • un módulo de **mundo virtual** que debe reflejar el mundo real con el detalle necesario para la aplicación. Este mundo recrea en tiempo real las ubicaciones de objetos y personas sobre un escenario fijo. Se compone por tanto de información, relativa a personas y cosas, como localización, volúmenes y formas, y otras propiedades de carácter público, relacionadas con su actividad o funcionamiento.
- un módulo de **realidad aumentada**, que proporciona, salvo contraorden, realimentación en tiempo real de cambios relevantes acontecidos en el campo de percepción del usuario (modo asíncrono), el cuál puede también configurar su foco de atención para obtener información detallada sobre zonas específicas (modo bajo demanda). La realidad aumentada se basa en dos conceptos de interfaz: cognitiva y sensitiva, con las que el usuario puede interactuar con el mundo virtual, obteniendo información veraz sobre el mundo real añadida a la que puede obtener por sus propios medios (oído, tacto, bastón, recuerdo).
- **ampliar el alcance de la línea de investigación** para las aplicaciones ya detectadas del estado actual del proyecto involucrando a otros agentes sociales que puedan aprovechar en ámbitos distintos del laboral los resultados del proyecto para mejorar la vida de los invidentes o incluso de otras personas con otras discapacidades.

Anexo 3: Cuestionarios y Test

Test diagnóstico inicial voluntarios

Workshop 1: INFORMACIÓN GENERAL

Nombre:

Edad:

Actividad que realiza:

Lugar donde desarrolla su actividad:

% de agudeza visual/ tipo de ceguera:

1. Indique la marca de su móvil (Ejemplo iPhone6):
.....
2. Indique el sistema operativo con el cual trabaja su móvil (Ejemplo Androide):
.....
3. Que aplicaciones de Software, tiene instalado en su móvil.
.....
4. Que otros dispositivos electrónicos/mecánicos, a parte del bastón utiliza usted, para realizar su actividad diaria.
.....
5. Percibe algún elemento de información en la pantalla del móvil?
Si () No ()
6. Usa con frecuencia los botones laterales o inferiores del móvil?
Si () No ()
7. Emplea audífonos para hablar por medio del móvil?
Si () No ()
8. Usa con frecuencia la pantalla táctil del móvil.
a. A menudo () b. Poco () c. Nunca ()
9. Puede percibir la luz, cuando pasa sus dedos por una lámpara encendida?
Si () No () Desconozco ()
10. Que software de lectura de pantalla usa en su móvil?
.....
11. Con que frecuencia lee su correo electrónico personal, a través del móvil
a. < 3 veces () b. 4 a 7 () c. 8 a 11 () d. Más de 12
12. Con que frecuencia envía SMS o WhatsApp desde su móvil.

- a. < 3 veces () b. 4 a 7 () c. 8 a 11 () d. Más de 12
13. Con que frecuencia se conecta a redes sociales como facebook, twiter, etc, desde su móvil.
- a. < 3 veces () b. 4 a 7 () c. 8 a 11 () d. Más de 12

FASE 2: INFORMACIÓN ESPECÍFICA: (Aquí puede señalar más de una respuesta)

1. Si le damos la oportunidad de conseguir información importante con su móvil con cierto tipo de gestos. Que sería más fácil de hacer para usted.
 - a. Trazar una línea vertical/horizontal y/o golpear un espacio de la pantalla
 - b. Utilizar los botones inferiores o laterales del móvil.
 - c. Hablar al móvil con frases concretas para localizar algo.
 - d. Girar arriba/abajo o izquierda/derecha y apuntar con el móvil en una posición determinada.
 - e. Emplear el teclado del móvil para ingresar el requerimiento.
 - f. Usar cada cuadro de la pantalla del móvil que está dividida en 9 cuadros de 3 filas por tres columnas.
 - g. Otraforma:.....
.....
.....
2. Imagínese que está solo y se le cae una herramienta de su mesa de trabajo (ejemplo lápiz); como le gustaría que el móvil oriente su búsqueda.
 - a. Cuando esté cerca de un objeto que está en el suelo empiece a vibrar
 - b. Cuando esté cerca de un objeto que está en el suelo empiece a dar timbres cortos
 - c. Cuando esté cerca de un objeto que está en el suelo empiece a sonar una melodía escogida por mí.
 - d. Me informe mediante voz sobre los objetos que estén en el suelo.
 - e. No creo que sea necesario usar un móvil para ayudarme a recoger la herramienta caída.
 - f. Otro:.....
.....
.....
3. Imagínese que ingresa a través de la puerta principal, donde realiza sus actividades diarias, y siente un murmullo lejano adelante/atrás suyo; que información le gustaría le proporcionara el móvil y como.
 - a. El número de personas que están allí reunidas
 - b. La distancia aproximada a la que se encuentran dichas personas.
 - c. Si dentro de las personas reunidas, se encuentra alguien en particular.
 - d. La ruta por donde debo caminar para no colisionar con el grupo.
 - e. En que oficina están reunidos.
 - f. Otro:.....
.....
.....

Como:.....
4. Caminando se da cuenta que han movido varios objetos que Ud. tenía conocimiento de la distancia a la cual se encontraban anteriormente, como le gustaría que el móvil le guiara a su puesto de ocupación diario.

- a. Mediante información audible, explicando caminar recto o girar izquierda/derecha.
 - b. Mediante vibración continua, que se hace cada vez más intensa cuando estoy cerca de mi puesto.
 - c. Mediante ráfagas de sonidos cortos, izquierda, derecha, recto
 - d. Es suficiente un timbre agudo de alerta, si estoy cerca de colisionar con un objeto, pero el bastón aún no lo alcanza.
 - e. Prefiero no usar el móvil; sino una persona que me asista y me explique los cambios realizados en el mobiliario.
 - f. Otro:.....
.....
.....
5. Usted requiere saber si una determinada puerta en su oficina/casa está abierta. Cómo le gustaría que esa información le sea entregada (Ejemplo puerta baño)
- a. Mediante información audible, que diga la puerta está abierta o cerrada
 - b. Mediante vibración una vez puerta abierta y dos veces puerta cerrada.
 - c. Mediante ráfagas de sonidos de una puerta abierta o puerta cerrada.
 - d. Prefiero no usar el móvil; sino preguntar a la persona más cercana.
- Otro:.....
.....
.....
6. Es necesario evacuar la oficina y todos deben salir inmediatamente a la puerta principal, como le permitiría que el móvil le ayude en esto.
- a. Mediante información audible, que me dirija a la puerta, indicando los obstáculos en el camino.
 - b. Mediante vibraciones cortas si voy en el camino correcto y sin vibraciones si me equivoco de camino.
 - c. Mediante pitidos en recto y clic cortos y largos en giros.
 - d. Prefiero no usar el móvil; sino llamar a la persona más cercana.
- Otro:.....
.....
.....
7. Que otra utilidad potencial piensa que su móvil le puede proporcionar.
-
.....
8. Cuando está caminando cómo prefiere que se le comunique la presencia de un obstáculo en su camino.
- a. la distancia a la que se encuentra dicho obstáculo.
 - b. el tamaño del obstáculo.
 - c. la naturaleza del obstáculo.
9. Cuando se encuentra en una estancia cómo prefiere que se le comunique qué objetos hay en su interior:
- a. Apuntando con el móvil en una dirección determinada.
 - b. Apuntando con un wearable (e.g. unas Google Glass) en una dirección determinada.
 - c. Recorriendo la estancia andando y tocando los objetos
 - d. Recibiendo información audible.

- e. Preguntando
- f. Otro.....

10. Cuando explora una estancia cómo prefiere que se le comunique la existencia de un objeto:

- la distancia a la que se encuentra un objeto.
- la naturaleza de un objeto.
- los atributos de un objeto (forma, tamaño, color, etc.)

Cuestionario 1

Workshop 2: TEST PROPUESTO PROYECTO e-Glance

INFORMACIÓN CASO DE USO 1.1 DETECTAR OBSTÁCULOS EN LA RUTA Y CASO USO 1.3 EXPLORAR EL ENTORNO

Para valorar la primera aplicación desarrollada para el proyecto, requerimos que puntúe del 1 al 5 (en la tercera columna de la tabla), las siguientes afirmaciones; correspondencia con: 1 Totalmente en desacuerdo; 2 En desacuerdo, 3 Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 De acuerdo y 5 Totalmente de acuerdo

Nombre:

Edad:.....

Ord.	Proposición	Puntuación Asignada	Comentario/Recomendación
1	La interfaz por voz, que proporciona información inicial del uso de la aplicación, es útil para guiarlo dentro del entorno.		
2	El lenguaje utilizado ha sido claro en todo momento.		
3	El gesto de dar un golpe en la pantalla del móvil, para parar o andar, le ha resultado conveniente, para caminar por el entorno.		
4	El gesto de trazar con el dedo una línea horizontal sobre la pantalla del móvil, para iniciar el modo exploración y regresar a modo detección, le ha resultado conveniente, para explorar el entorno.		
5	El gesto de trazar con el dedo sobre la pantalla del móvil, una línea hacia arriba o hacia abajo para pasar al siguiente objeto, o regresar		

	al objeto anterior, le ha sido útil, para explorar el entorno.		
6	La intensidad de las vibraciones en el móvil, mientras camina libremente por el entorno le parece útil.		
7	El incremento de las vibraciones cuando aparecen obstáculos en su camino, le ha sido útil, para evitarlos.		
8	Se ha sentido satisfecho con la información recibida por la interfaz física del móvil		
9	Usted siente que los gestos sobre el móvil, son discretos, y que podría emplearlos sin problema		
10	La información vocal generada por la aplicación, limita escuchar los sonidos externos.		

Objetos encontrados en el entorno:.....

Tiempo tomado en hallar el extintor:.....

Ubicación del extintor:.....

Preguntas abiertas:

Que información acerca de un objeto, le interesa conocer, para identificarlo de otros existentes en una habitación y llegar a él.

.....

.....

Que tipos de eventos que ocurren en su entorno, le interesaría conocer, a través de información audible proporcionada por el móvil.

.....

.....

Cuestionario 2

User:.....

1. Considera que el sonido 3D, es fácil de interpretar?

Si ()

No ()

2. Cree que el sonido 3D en esta aplicación, permitió ir directamente hacia el objeto, o localizar algún acceso dentro del entorno desconocido, de manera adecuada?

Si ()

No ()

3. Considera que la información de proximidad más adecuada se debería hacer mediante.

Comandos de voz ()

Mediante pitidos ()

Mediante sonidos instrumentales ()

Otros () cuales.....

4. Considera útil llevar cascos óseos en vez de audífonos convencionales para recibir la información 3D.

Si ()

No ()

5. En la escala del 1 al 10, que valor le asignaría a una aplicación de realidad virtual, que mediante sonidos 3D, le guíe dentro de un entorno desconocido.

()

Registro de Observación 1

User:

Experiencias con audio 3D: Interfaz auditiva voz

Primer Apk	Salida de audio 3D, línea recta	Salida de audio 3D, logarítmica	Salida de audio 3D, customizada
Tiempo en ir al primer punto			
Observaciones			

Experiencias con audio 3D: Interfaz auditiva sonido del instrumento musical

Segundo Apk	Salida de audio 3D, línea recta	Salida de audio 3D, logarítmica	Salida de audio 3D, customizada
Tiempo en ir al segundo punto			
Observaciones			

Experiencias con audio 3D: Interfaz auditiva pitido

Tercer Apk	Salida de audio 3D, línea recta	Salida de audio 3D, logarítmica	Salida de audio 3D, customizada
Tiempo en ir al tercer punto			
Observaciones			

Test evaluación sonidos 3d en entornos virtuales

Se puntúa con 5 Totalmente Adecuada; 4 Adecuada; 3 Medianamente adecuada; 2 Poco adecuada y 1 Nada adecuada

User: 1.....

Ord.	Cuestión	Pts. asignado x el usuario	Comentario/Recomendación/Inconv eniente
1	Facilidad para llegar al 1er punto mediante voz.		
2	Facilidad para llegar al 2do punto mediante voz		
3	Facilidad para llegar al 3er punto mediante voz		
4	Facilidad para llegar al 1er punto mediante sonido.		
5	Facilidad para llegar al 2do punto mediante sonido.		
6	Facilidad para llegar al 3er punto mediante sonido.		
7	Facilidad para llegar al 1er punto mediante pitidos		
8	Facilidad para llegar al 2do punto mediante pitidos		
9	Facilidad para llegar al 3er punto mediante pitidos		
10	Utilidad de usar la voz para encontrar un punto		

11	Utilidad de usar sonidos para encontrar un punto		
12	Utilidad de usar pitidos para encontrar un punto		
13	La comodidad en llegar a un punto, usando la voz		
14	La comodidad en llegar a un punto, usando sonidos		
15	La comodidad en llegar a un punto, usando pitidos		
16	Satisfacción en llegar a un punto, por voz		
17	Satisfacción en llegar a un punto, con sonidos		
18	Satisfacción en llegar a un punto, con pitidos		
19	Comodidad con el uso de auriculares óseos para aplicaciones de RV		
20	Ruido externo no afecta en la realización de la prueba		
21	Tener una fuente de sonido es mejor que el sonido 3D		

Recogida de datos eGlance

Primer día: experiencias con una de las interfaces constante.

Por ejemplo, los pitidos de la interfaz sensitiva sólo tienen sentido con la interfaz cognitiva constante con valor = sin foco.

En este caso el grueso de los participantes forman un grupo único.

	foco plano	foco esférico	sin foco	
interfaz sensitiva constante	experiencia 1	experiencia 2	experiencia 3	grupo único

	sin foco
sensitiva-1	experiencia 4
sensitiva-2	experiencia 5
sensitiva-3	experiencia 6
	grupo único

Leyenda

Las configuraciones para interfaz sensitiva se corresponden con:

	Patrón de beeps a 2 m.	Patrón de beeps a 1 m.
sensitiva-1	alto p28, medio p16, bajo p4	alto p31, medio p19, bajo p7
sensitiva-2	alto p25, medio p14, bajo p9	alto p47, medio p13, bajo p8
sensitiva-3	alto p27, medio p21, bajo p1	alto p42, medio p22, bajo p11

Segundo día: experiencias con configuraciones variables para ambas interfaces.

Los gestos y la voz de la interfaz sensitiva tienen sentido con todas las configuraciones de la interfaz cognitiva.

Parámetro 'voz' de la interfaz sensitiva

	foco plano	foco esférico	sin foco	
sensitiva-4	experiencia 7	experiencia 8	experiencia 9	grupo 1
sensitiva-5	experiencia 7	experiencia 8	experiencia 9	grupo 2
sensitiva-6	experiencia 7	experiencia 8	experiencia 9	grupo 3

Parámetro 'gestos' de la interfaz sensitiva

	foco plano	foco esférico	sin foco	
sensitiva-7	experiencia 10	experiencia 11	experiencia 12	grupo 1
sensitiva-8	experiencia 10	experiencia 11	experiencia 12	grupo 2
sensitiva-9	experiencia 10	experiencia 11	experiencia 12	grupo 3
sensitiva-10	experiencia 10	experiencia 11	experiencia 12	grupo 4

Leyenda

PARÁMETRO VOZ	sensitiva-4	sensitiva-5	sensitiva-6
patrón de voz distancia	pasos	metros	delante, lejos, cerca, al lado
patrón de voz inicio explora	modo explora activado	exploración activada	inicia exploración
patrón de voz ventanas estándar	ventana abierta/ventana	ventana abierta/ventana cerrada	ventana estándar abierta/ventana estándar
patrón de voz ventanas grandes	ventana ancha abierta/ventana ancha	ventana ancha abierta/ventana ancha cerrada	ventanal abierto/ventanal cerrado
patrón de voz inicia/finaliza camina	caminar activado/caminar desactivado	inicia caminar/finaliza caminar	
patrón de voz objetos que aparecen por los lados	objeto a la izquierda/derecha	objeto en el paso a la izquierda / derecha	
patrón de voz objetos que desaparecen por los lados	via libre izquierda/derecha	sale izquierda/derecha objeto	

PARÁMETRO GESTOS	Gesto para exploración	Gesto para objetos delante	Gesto para objetos detrás	Gesto para caminar
sensitiva-7	Línea horizontal	Línea vertical arriba	Línea vertical abajo	Doble toque
sensitiva-8	Línea vertical	Línea horizontal derecha	Línea horizontal izquierda	Toque de 1.5seg.
sensitiva-9	Línea horizontal con sonido	Línea vertical con sonido	Línea vertical con sonido	Doble toque con sonido
sensitiva-10	Línea vertical con sonido	Línea horizontal con sonido	Línea horizontal con sonido	toque de 1.5 seg. con sonido

Montreal Cognitive Assessment

[Evaluación Cognitiva Montreal]

(MoCA) Instrucciones para la administración y computación de resultados

La Evaluación Cognitiva Montreal (Montreal cognitive assessment / MoCA) ha sido concebida para evaluar las disfunciones cognitivas leves. Este instrumento examina las siguientes habilidades: atención, concentración, funciones ejecutivas (incluyendo la capacidad de abstracción), memoria, lenguaje, capacidades visuoespaciales, cálculo y orientación. El tiempo de administración requerido es de aproximadamente diez minutos. El puntaje máximo es de 30; un puntaje igual o superior a 26 se considera normal.

1. Memoria

Administración: El examinador lee una lista de 5 palabras a un ritmo de una palabra por segundo, luego de haber dado las siguientes instrucciones: “Ésta es una prueba de memoria. Le voy a leer una lista de palabras que debe recordar. Escuche con atención y, cuando yo termine, me gustaría que me diga todas las palabras que pueda recordar, en el orden que desee”. El examinador lee la lista de palabras una primera vez y marca con una cruz (V), en el espacio reservado a dicho efecto, todas las palabras que el paciente repita. Cuando el paciente termine (se haya acordado de todas las palabras) o cuando no pueda acordarse de más palabras, el examinador vuelve a leer la lista de palabras luego de dar las siguientes instrucciones: “Ahora le voy a leer la misma lista de palabras una vez más. Intente acordarse del mayor número posible de palabras, incluyendo las que repitió en la primera ronda”. El examinador marca con una cruz (V), en el espacio reservado a dicho efecto, todas las palabras que el paciente repita la segunda vez. Al final del segundo intento, el examinador informa al paciente que deberá recordar estas palabras, ya que tendrá que repetirlas más tarde, al final de la prueba.

Puntaje: Esta sección no se coteja (no recibe puntos).

2. Concentración:

Administración: El examinador lee una serie de letras a un ritmo de una por segundo, luego de haber dado las instrucciones siguientes: “Voy a leerle una serie de letras. Cada vez que diga la letra ‘A’, dé un golpecito con la mano. Cuando diga una letra que no sea la A, no dé ningún golpecito”.

Puntaje: No se asigna ningún punto si se comete más de un error (ej., la persona da el golpecito con una letra equivocada o no da el golpecito con la letra ‘A’).

3. Recuerdo diferido

Administración: El examinador da las siguientes instrucciones: “Antes le leí una serie de palabras y le pedí que las recordase. Dígame ahora todas las palabras de las que se acuerde”. El examinador marca las palabras que el paciente recuerde sin necesidad de pistas, por medio de una cruz (V) en el espacio reservado a dicho efecto.

Puntaje: Se asigna un punto por cada una de las palabras **recordadas espontáneamente, sin pistas**.

VIII workshop

ID:

Nombre:.....

Fecha:

Test de memoria y recuerdo del participante previo a la experiencia

MEMORIA	Lea la lista de palabras. Diga al paciente que las repita Marque cada palabra repetida		ROSTRO	SEDA	IGLESIA	CLAVEL	ROJO	
	Lea la serie de letras. El paciente debe dar un golpecito con la mano cada vez que se diga la letra A. No se asignan puntos si ≥ 2 errores. [] FBACMNAAJKLBAFAKDEAAAJAMOFAB							/1
Pida al paciente que repita las palabras leídas en memoria								
RECUERDO DIFERIDO	Debe acordarse de las palabras SIN PISTAS	ROSTRO	SEDA	IGLESIA	CLAVEL	ROJO	Puntos por recuerdos SIN PISTAS únicamente	/5
		[]	[]	[]	[]	[]		

Experiencia 1: ida-no guiada

	Zona 1 Escuela	Zona 2 Jardín	Zona 3 Salida	Zona 4 Verde	Zona 5 Lluvia
Tiempo					
Distancia					
Observaciones					

Al finalizar la experiencia:

Recuerdo	Escuela	Jardín	Salida	Verde	Lluvia
Resultado					
con errores					
palabras extra					

Experiencia 2: vuelta-guiada.

	Zona 5 Teatro	Zona 4 Museo	Zona 3 Entrada	Zona 2 Azul	Zona 1 Película
Tiempo					
Distancia					
Observaciones					
Observaciones					

Al finalizar la experiencia:

Recuerdo	Teatro	Museo	Entrada	Azul	Película
Resultado					
con errores					
palabras extra					