

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

CURSO 2021-22

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

**ESTUDIOS DE ORIENTACIÓN Y MOVILIDAD:
APROXIMACIÓN DEL EMPLEO DE LA
MEMORIA ESPACIAL PARA LA CREACIÓN
DE MAPAS MENTALES EN UN ENTORNO
REAL VS. UN ENTORNO VIRTUAL**

Autor: Estefanía Soto Astacio

Tutor académico: Prof. Dr. Eduardo Fernández Jover

Co-tutor: Roberto Morollón Ruiz

D. EDUARDO FERNÁNDEZ JOVER, Catedrático de Biología Celular, presidente del Departamento de Histología y Anatomía de la Universidad Miguel Hernández y director de la Unidad de Neuroingeniería y Neuroprótesis del Instituto de Bioingeniería.

CERTIFICA

Que el presente trabajo titulado:

“ESTUDIOS DE ORIENTACIÓN Y MOVILIDAD: APROXIMACIÓN DEL EMPLEO DE LA MEMORIA ESPACIAL PARA LA CREACIÓN DE MAPAS MENTALES EN UN ENTORNO REAL VS. UN ENTORNO VIRTUAL”

y que constituye la Memoria del Trabajo Fin de Máster en Biotecnología y Bioingeniería, que presenta:

ESTEFANÍA SOTO ASTACIO

ha sido realizado bajo su supervisión en el Instituto de Bioingeniería, cumpliendo todos los requisitos necesarios.

Y para que así conste, se expide y firma el presente certificado en Elche a 1 de septiembre de 2022



**FERNANDEZ
JOVER
EDUARDO -
74180965P**

Firmado digitalmente por FERNANDEZ JOVER EDUARDO - 74180965P
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-74180965P, givenName=EDUARDO, sn=FERNANDEZ JOVER, cn=FERNANDEZ JOVER EDUARDO - 74180965P
Fecha: 2022.09.01 09:14:16 +01'00'

Fdo.: Prof. Eduardo Fernández Jover

Resumen

Objetivo: Comparar el desempeño en la realización de tareas que pongan en práctica la creación de mapas mentales y el aprendizaje durante el desarrollo de Estudios de Orientación y Movilidad, mediante el empleo de un entorno virtual versus un entorno real controlado.

Procedimiento experimental: Se han llevado a cabo Estudios de Orientación y Movilidad para las condiciones blind, cataratas y normal visión partiendo de un entorno real y otro virtual. El experimento fue dividido en cuatro fases, para las que se han diseñado cinco entornos diferentes (Pasillo, Pasillo + Obstáculos, SL, SL + Obstáculos y Nemty) y en los que se han establecido diversos mapas de rutas que los participantes debieron memorizar y realizar.

Resultados: Hemos demostrado que existen diferencias significativas al comparar las velocidades medias (desempeño) de los participantes en el Nemty (entorno virtual) respecto a los entornos Pasillo, Pasillo + Obstáculos, SL, SL + Obstáculos (entornos reales) durante la realización de los estudios O&M para las tres condiciones.

Conclusiones: A partir de los resultados obtenidos de nuestro experimento O&M hemos podido identificar la posible implementación de la prueba STM como prueba de cribado para seleccionar los potenciales candidatos para los estudios O&M, lo que se traduciría en una elección más asertiva de los participantes. La familiarización de los participantes con el entorno y la práctica repetitiva en los estudios O&M facilita y robustece el proceso de creación de mapas mentales, lo que a su vez propicia el incremento de la velocidad empleada para la navegación, así como el desempeño general de los participantes. La existencia de diferencias significativas en la velocidad media de los participantes para el entorno Nemty, nos indica que la implementación de un entorno virtual para los estudios O&M amerita de un mayor tiempo de adaptación y aprendizaje del entorno por parte del participante con relación a un entorno real.

Palabras clave: Orientación y Movilidad. Memoria Espacial. Mapas Mentales. Entorno Virtual.

Abstract

Objective: To compare the performance in carrying out tasks that put into practice the creation of mental maps and learning during the development of Orientation and Mobility Studies, by using a virtual environment versus a real controlled environment.

Experimental procedure: Orientation and Mobility Studies have been carried out for blind, cataracts and normal vision conditions starting from a real and a virtual environment. The experiment was divided into four phases, for which five different environments have been designed (Corridor, Corridor + Obstacles, SL, SL + Obstacles and Nemty) and in which various route maps have been established that the participants had to memorize and carry out.

Results: We have shown that there are significant differences when comparing the average speeds (performance) of the participants in the Nemty (virtual environment) with respect to the Corridor, Corridor + Obstacles, SL, SL + Obstacles (real environments) during the performance of the O&M studies for the three conditions.

Conclusions: Based on the results obtained from our O&M experiment, we have been able to identify the possible implementation of the STM test as a screening test to select potential candidates for O&M studies, which would translate into a more assertive selection of participants. The familiarization of the participants with the environment and the repetitive practice in the O&M studies facilitates and strengthens the process of creating mental maps, which in turn leads to an increase in the speed used for navigation, as well as the general performance of the maps. The existence of significant differences in the average speed of the participants for the Nemty environment indicates that the implementation of a virtual environment for O&M studies requires a longer time for adaptation and learning of the environment by the participant in relation to a virtual environment compared to a real one.

Keywords: Orientation and Mobility. Spatial memory. Mental maps. Virtual environment.

Abreviaturas y acrónimos utilizados

Bl: Blind

CAVE: Cave Automatic Virtual Environment

CIE-11: Clasificación Internacional de Enfermedades, 11.ª edición

Cts: Cataratas

NV, Nv: Normal Vision

O&M: Orientación y Movilidad

OMS: Organización Mundial de la Salud

PWS: Preferred Walking Speed

SL: Street Lab

STM: Stuart Tactile Maps

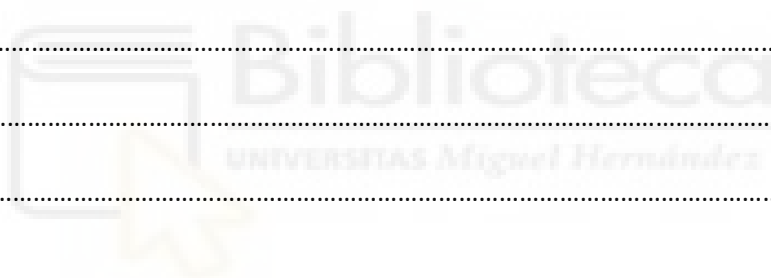
VR: Realidad Virtual



Índice

1. Introducción y antecedentes.....	1
1.1. Orientación y Movilidad.....	1
1.2. Pruebas de Orientación y Movilidad, Capacitación.....	1
1.3. Navegación y Cognición Espacial.....	2
1.3.1. Marcos de Referencia Alocéntrica y Egocéntrica.....	3
1.4. Visión Normal.....	5
1.5. Discapacidad Visual.....	5
1.5.1. Baja Visión.....	6
1.5.2. Cataratas.....	6
1.5.3. Ceguera.....	7
1.6. Realidad Virtual.....	7
1.7. Stuart Tactile Maps.....	8
1.7.1. Interpretación de la Puntuación del STM	11
2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivo General.....	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
3. Hipótesis.....	12
4. Procedimiento experimental.....	13
4.1. Sujetos de estudio y protocolo experimental	13
5. Resultados.....	29
5.1. Existencia de Antecedentes Patológicos.....	29
5.2. Actividad Físicas.....	29

5.3. Puntuación de la Prueba STM.....	29
5.4. Conocimiento del Entorno.....	31
5.5. Complejidad de las Rutas.....	31
5.5.1. Entornos SL y SL + Obstáculos.....	31
5.6. Necesidad de Instrucciones.....	31
5.6.1. Entorno SL y SL + Obstáculos.....	31
5.6.2. Entornos Simple corredor y Nemty.....	32
5.7. Interpretación Estadística.....	32
5.7.1. Desempeño de los participantes.....	32
5.7.2. Preferred Walking Speed.....	36
6. Discusión.....	37
7. Conclusiones.....	39
8. Bibliografía.....	42



Índice de Figuras y Tablas

Figura 1: Características del Mapa A por niveles.....	9
Figura 2: Características del Mapa B por niveles.....	9
Figura 3: Mapa A, nivel 1.....	10
Figura 4: Mapa B, nivel 1	10
Figura 5: Mapa A, nivel 2.....	10
Figura 6: Mapa B, nivel 2.....	10
Figura 7: Mapa A, nivel 3.....	10
Figura 8: Mapa B, nivel 3.....	10
Figura 9: Antifaz empleado para cubrir los ojos de los participantes que realizaron el STM.....	13
Figura 10: Gafas empleadas para simular cataratas.....	14
Figura 11: Pasillo sencillo o simple corredor.....	15
Figura 12: Disposición de los obstáculos en el Pasillo.....	15
Figura 13: Mapa del pasillo con obstáculos.....	16
Figura 14: Pasillo con obstáculos Ruta E.....	16
Figura 15: Interior del Street Lab.....	17
Figura 16: Mapa cero del Street Lab.....	18
Figura 17: Mapa 1 del Street Lab.....	18
Figura 18: Representación gráfica de la Ruta 1.....	19
Figura 19: Puerta azul y Cajero automático.....	19
Figura 20: Representación gráfica de la Ruta 2.....	20

Figura 21: Puerta de cristal y Puerta gris caja verde.....	20
Figura 22: Representación gráfica de la Ruta 3.....	21
Figura 23: Puerta verde de la oficina y Puerta del apartamento.....	21
Figura 24: Representación gráfica de la Ruta 4.....	22
Figura 25: Puerta de la boutique y Puerta verde caja azul.....	22
Figura 26: Representación gráfica de la Ruta 5.....	23
Figura 27: Parada del autobús y Puerta roja.....	23
Figura 28: Disposición de los obstáculos para la realización del estudio en el nivel 1.....	24
Figura 29: Usuario empleando el Nemty.....	25
Figura 30: Mapa A proyecto UMH-VR sin filtro y con filtro.....	25
Figura 31: Mapa B proyecto UMH-VR.....	26
Figura 32: Gafas HTC Vive PRO EYE.....	26
Figura 33: Antecedentes patológicos más frecuentes en los participantes.....	29
Figura 34: Dibujo del Mapa A (Niveles 1, 2 y 3) del participante excluido.....	30
Figura 35: Necesidad de instrucciones entorno SL (nivel 0) y necesidad de instrucciones entorno SL + Obstáculos (nivel 1)	32
Figura 36: Velocidad de los participantes por entorno en las diversas condiciones.....	33
Figura 37: Velocidad de los participantes por condición en cada entorno.....	35
Figura 38: Colisiones por condiciones en el entorno Pasillo + Obstáculos, Street Lab + Obstáculos y Nemty.....	37
Tabla 1: Condiciones empleadas para la realización del experimento en la segunda etapa.....	16
Tabla 2: Elementos tomados en cuenta durante la realización del experimento.....	17

Tabla 3: Niveles de complejidad para cada una de las rutas.....24

Tabla 4: Condiciones del experimento y número de repeticiones por ruta.....24

Tabla 5: Condiciones de la realización de los experimentos en el entorno UMH-VR con obstáculos.....27

Tabla 6: Condiciones los entornos real y virtual.....27



1. Introducción y antecedentes

1.1. Orientación y Movilidad

La orientación representa la habilidad para procesar la información percibida a través de los sentidos, entre ellos la visión, la cual es empleada para establecer nuestra posición con respecto al medio circundante. A su vez, la movilidad constituye la capacidad que posee un individuo para desplazarse de manera ordenada, segura y eficaz a través del espacio. De esta manera, la movilidad efectiva implica la detección y evasión de obstáculos, cambios de elevación, además de otras particularidades ambientales que se pueden presentar a lo largo del trayecto y que requieren de una adecuada interacción entre las estrategias visuales y cognitivas.

Tanto la orientación como la movilidad son elementos con gran preponderancia al momento de valorar la calidad de vida de las personas, sobre todo, en aquellas que presentan algún tipo de discapacidad como la visual, que engloba tanto la disminución como la pérdida de la visión.

La discapacidad visual suele incidir en la aparición de ciertas restricciones de movilidad para estos pacientes, impactando negativamente su salud y pudiendo asociar por lo general pérdida de independencia, aislamiento social, depresión, disminución de la actividad física, deterioro cognitivo y una mayor tasa de mortalidad. (1)

1.2. Pruebas de Orientación y Movilidad, Capacitación

Las pruebas de orientación y movilidad constituyen una herramienta útil a la hora de ofrecerles a los pacientes con discapacidad visual la oportunidad de adquirir nuevas habilidades que compensen la información visual que no puede ser proporcionada de manera adecuada. Lo que les permite implementar mejoras en lo referente a la independencia de su movilidad por medio de la información devengada de los demás sentidos como el oído y el tacto, y que puede ser incrementada mediante la implementación de dispositivos como bastones largos y bastones de apoyo.

Uno de los principales objetivos de las pruebas de Orientación y Movilidad consiste en permitirles a los pacientes con baja visión moverse de manera segura en sus hogares y en entornos exteriores. A los pacientes se les instruye en la manera en que deben afrontar el reto que constituye la pérdida de la visión, con miras a acrecentar su facultad de llevar un estilo de vida independiente. Debido al potencial que ofrecen a nivel de la capacitación para este tipo de pacientes, los estudios O&M pueden ser considerados como una buena opción al momento de brindar un entrenamiento multidisciplinario. (2)

Al evaluar el rendimiento de los pacientes en las pruebas de orientación y movilidad, podemos caracterizar el impacto que acarrea la pérdida visual, así como la implementación de cualquier estrategia de rehabilitación visual, incluyendo la sustitución o restauración visual.

Existen dos enfoques al momento de llevar a cabo estudios O&M, los ensayos clínicos o de laboratorio que se realizan en condiciones controladas y repetibles, y la evaluación funcional o del mundo real.

Por medio del entrenamiento de orientación y movilidad, los pacientes tienen la oportunidad de desarrollar nuevas destrezas que les permitirán incorporarse a la sociedad como entes independientes y productivos, mejorando sustancialmente su calidad de vida. (1,2)

La capacitación O&M normalmente conlleva la preparación en nociones de habilidades y metodologías compuestas por información sensorial, orientación espacial y movimiento corporal para proporcionar un desplazamiento con seguridad e independencia. También se incluye la tecnología de asistencia o ayudas (tales como bastones, perros guía y dispositivos electrónicos), al igual que guías metodológicas para personas videntes. El entrenamiento se realiza en ambientes dinámicos que puedan implicar retos como emplear escaleras, usar el transporte público o cruzar las calles con seguridad. (1)

Si bien los estudios O&M impactan de manera significativa a la calidad de vida de los pacientes con discapacidad visual, en la actualidad no existe una herramienta estandarizada para medir el desempeño de los participantes durante la realización de tareas. (1,2)

1.3. Navegación y Cognición espacial

La navegación espacial es el proceso resultante de un conjunto de cambios y modificaciones psicológicas a partir de las cuales un individuo obtiene, almacena, rememora y decodifica información sobre localizaciones y características del entorno espacial presentes en su vida diaria. (3)

Una navegación precisa implica varias estrategias diferentes para llegar a una ubicación objetivo: se puede seguir una señal sensorial que marca la ubicación, realizar una determinada secuencia de acciones (una ruta) o resolver qué camino tomar al emplear una representación interna del espacio (mapa). Según la estrategia elegida, se requieren múltiples recursos (o combinaciones) y, por lo tanto, implicarían la coordinación entre varias regiones del cerebro.

Además, la navegación espacial involucra varios procesos de carácter cognitivo que son cruciales para una amplia gama de comportamientos inteligentes. Por ejemplo, la navegación espacial está fuertemente ligada a la memoria, el aprendizaje, la planificación, la atención y la toma de decisiones, entre otros.

Cabe señalar que la creación de las relaciones espaciales debe ser un proceso organizado, puesto que el discernimiento de una ruta constituye el nivel de aprendizaje más sencillo para las personas que poseen una discapacidad visual. Los elementos que constituyen una ruta pueden basarse en un grupo de segmentos relacionados por una serie de vueltas, giros y ángulos. (3)

El cerebro es una red dinámica en la que no existe una única región responsable de una función en particular, sin embargo, es ampliamente aceptado que el hipocampo juega un papel preponderante en los procesos relacionados con la memoria. En este contexto, cabe señalar que la memoria espacial opera a través del hipocampo mediante la comunicación de las cortezas prefrontal y parietal. (4)

Por su parte, la cognición espacial constituye una función que se encuentra fundamentalmente a cargo del lóbulo parietal derecho, en este los puntos de orientación relevantes reconocidos a partir del aporte de la información sensorial se encuentran enlazados de manera constante y sólida, pero a la vez sencilla.

Las conexiones espaciales son consolidadas y almacenadas en la memoria permanente por el hipocampo derecho en un modo en el que puedan ampliarse para incorporar trayectos más intrincados. De manera que, en la elaboración de mapas mentales participa la información visual, pero esta no es imprescindible para que se lleve a cabo dicho proceso. (5)

1.3.1. Marcos de Referencia Alocéntrica y Egocéntrica

La construcción de representaciones de nuestro ambiente constituye una actividad del diario vivir que nos proporciona la capacidad de desplazarnos en entornos elaborados a pequeña o gran escala, así como aprender las localizaciones de determinados lugares e identificar las relaciones espaciales existentes entre estos. (6,7)

En el marco egocéntrico, perspectiva fija o en primera persona, el individuo emplea el cuerpo como referencia mientras se desplaza, este tipo de navegación se fundamenta en respuestas y acciones suscitadas dependientes de dirección (izquierda-derecha) e independientes de las señales ambientales, como bien lo sería memorizar rutas basadas en giros secuenciales. Para la integración de las rutas se emplea la suma de los vectores recorridos para deducir la posición actual (estrategia para navegar por nuevas rutas).

A su vez, la referencia alocéntrica es estimada como una perspectiva en tercera persona, es decir, independiente del ser, por lo que emplea señales o puntos de referencia externos relacionados entre sí y que no guardan relación con la posición del individuo. Un ejemplo de esto son los puntos cardinales

(norte, sur, este y oeste), debido a que son relativos a la Tierra y no varían según la orientación del navegador.

La navegación aloécéntrica permite ubicar nuevos puntos de referencia desde varias ubicaciones con un punto de partida diferente, siempre y cuando las señales externas se mantengan invariables, en el caso de que aparezcan cambios constantes o la información proporcionada sea mínima, las estrategias egocéntricas de navegación son las imperantes. (4)

En los estudios O&M es preciso diferenciar la capacidad de cognición espacial de la persona (incluyendo el número de veces que precisa practicar hasta lograr memorizar un nuevo mapa), así como los sistemas de orientación aloécéntricos a los que pueden acceder las personas que emplean la creación de mapas mentales. (5)

El vasto interés suscitado por las herramientas implementadas por el ser humano en su sistema de navegación intrínseco, ha llevado al diseño y realización de estudios que permitan encontrar respuestas a esta interrogante. Ciertos estudios han sugerido que la información provista por el marco egocéntrico es la primera en ser utilizada por los infantes (Acredolo, 1978; Acredolo & Evans, 1980).

Otros investigadores como Wang y Spelke (2000) partiendo de los resultados obtenidos en sus propios laboratorios, postularon que la navegación espacial humana era un proceso dinámico y egocéntrico. Estos utilizaron un modelo de estudio en el que los participantes estudiaban las ubicaciones de un grupo de objetos y posteriormente les indicaron esos mismos elementos con los ojos abiertos o con los ojos cerrados y/o después de desorientarlos. A raíz de los experimentos realizados en su laboratorio, Wang y Spelke desarrollaron la teoría que explica que la navegación se basa estrictamente en un sistema egocéntrico que se actualiza continuamente mientras los humanos navegan por su entorno actual, rebatiendo la visión geocéntrica entonces dominante de la navegación espacial. Durante sus experimentos se les solicitó a los participantes que se familiarizaran con un ambiente desconocido (una sala de laboratorio), este proceso implicaba que memorizaran la localización de un conjunto de objetos en la habitación, que posteriormente debían indicar.

A lo largo de la realización de los experimentos, este señalamiento se realizó en condiciones diferentes:

a) Los participantes podían visualizar directamente los objetos a su alrededor.

b) A los participantes se les vendaron los ojos para limitar la influencia del componente visual.

Para culminar los experimentos, Wang y Spelke solicitaron a los participantes que se sentaran en una silla, se vendaron los ojos y procedieran a girar la silla por aproximadamente un minuto con el objetivo de ser desorientados.

Luego se procedía a solicitarles a los participantes que indicaran cada uno de los objetos estudiados en la habitación de memoria. Wang y Spelke se percataron del incremento de la presencia de errores al tratar de acertar, cuando se comparaban los resultados de los participantes estando desorientados y no desorientados. Por lo que asociaron esto al detrimento de la capacidad de los participantes en su sistema de navegación transitorio, marco egocéntrico.

Los resultados de estos estudios fueron posteriormente rebatidos por Waller y Hodgson (2006) quienes aseveraron que la navegación humana no se regía por un solo sistema egocéntrico o geocéntrico (conocido hoy en día como aloécéntrico), sino que esta era el resultado de la combinación de estos dos sistemas, el egocéntrico y el aloécéntrico (Waller & Hodgson, 2006; Burgess, 2006). (8)

1.4. Visión Normal

Al momento de abordar el término visión debemos resaltar que existen dos concepciones de visión, la función visual, aquella que permite la percepción a través del sistema visual de las características físicas de los objetos al ser iluminados (resolución visual), la localización de estos en el espacio (extensión y sensibilidad del campo visual), así como sus formas, colores y movimientos. Y, por otra parte, la visión funcional, que constituye el aporte que realiza la visión en desempeño de tareas como la lectura, la movilidad y otras actividades propias del diario vivir. (9,10)

El término visión normal hace referencia a una agudeza visual caracterizada por su claridad y precisión de 20/20 en el Snellen Chart. (11)

Los estudios O&M forman parte de las estrategias empleadas para explorar la visión funcional, al poner en práctica la habilidad de identificar nuestra ubicación en relación con el entorno próximo, y de navegar de manera segura e independiente. (10)

1.5. Discapacidad Visual

Según las estadísticas mundiales de la OMS 2.2 billones de personas padecen de una discapacidad visual cercana o lejana, siendo fundamentalmente las principales causas de discapacidad visual y ceguera los errores de refracción no corregidos y las cataratas. Si bien el principal rango de edad afectado por la discapacidad visual son los pacientes mayores de 50 años, la discapacidad visual puede verse en personas pertenecientes a todos los rangos de edades.

El CIE-11 clasifica la discapacidad visual en dos grupos al momento de definirla:

1. Visión de lejos deteriorada:
 - Leve: agudeza visual peor que 6/12 a 6/18
 - Moderada: agudeza visual peor de 6/18 a 6/60
 - Grave: agudeza visual peor de 6/60 a 3/60
 - Ceguera: agudeza visual inferior a 3/60

2. Visión de cerca deteriorada:
 - Agudeza visual de cerca peor que N6 o M.08 a 40cm. (12)

1.5.1. Baja Visión

Implica tener un rango de visión menor al normal, sin que el paciente llegue a ser clasificado como ciego, pero teniendo la capacidad de afectar la ejecución de las actividades de la vida diaria. Se define como la pérdida de la visión que se caracteriza por la imposibilidad de ser corregida mediante la implementación de gafas, lentes de contacto, tratamientos farmacológicos o cirugías. (10,12)

1.5.2. Cataratas

Las cataratas constituyen la principal causa de ceguera a nivel mundial, representando el 51% de los casos de ceguera mundialmente. El inicio de la enfermedad tiene su génesis en la aparición de opacidad o dispersión de la luz que tiene lugar en el cristalino y que posteriormente avanza hasta provocar la disminución o pérdida total de la visión. Su etiología surge como resultado de la agregación de proteínas de alto peso molecular o debido a la distorsión de la microarquitectura del cristalino. (13,14)

Existe una gran diversidad de factores de riesgo que bien inciden en el desarrollo y progreso de la enfermedad, como son la edad, el tabaquismo, el consumo de alcohol, la exposición prolongada a la luz solar, bajo nivel de educación, hábitos de vida deletéreos, que engloban la desnutrición y la poca actividad física, síndrome metabólico, diabetes y el uso de corticoides sistémicos, así como la administración a dosis elevadas de corticoides inhalados. (13)

Generalmente los genes asociados a la aparición de cataratas hereditarias guardan relación con vías y procesos relevantes, las mutaciones que lesionan a las proteínas generan las llamadas cataratas congénitas, sin embargo, las formas más leves al incrementar la susceptibilidad ante agresiones

ambientales tienden a relacionarse con la aparición de caratas asociadas al proceso de envejecimiento. (14)

1.5.3. Ceguera

Según la OMS podemos definir la ceguera como una agudeza visual menor a 3/60 en el Snellen, por su parte, el Concejo Internacional de Oftalmología considera a un individuo ciego cuando carece de visión o su capacidad visual es muy poca, obligándole de esta manera a valerse de otras destrezas que le permitan reemplazar a la habilidad visual y llevar a cabo las actividades de la vida cotidiana. (11)

1.6. Realidad Virtual

La VR se define como el arte y la ciencia de crear un entorno virtual que provea plataformas caracterizadas por su estandarización, seguridad y flexibilidad, que permiten evaluar regiones anatómicas del cuerpo y que pueden ser empleadas para el examen, diagnóstico, planificación o entrenamiento por medio de la exposición a estímulos realistas. Con miras a cumplir este objetivo, el participante se expondrá a estímulos visuales multidimensionales de carácter realista, facilitando la completa integración de las funciones cognitivas, motoras y mentales del usuario. (16,17)

La VR consiste en la representación de un entorno real creado a partir de un software de computadora, que por medio de una interfaz hombre-máquina puede ser experimentado por el usuario. Esta interfaz juega un papel fundamental al proporcionarle al paciente una sensación de realidad 3D, que subsecuentemente llega a acrecentar el sentimiento de compromiso del paciente. Es por ello, que la VR posee el potencial de ser empleada con miras a proveer al paciente un entrenamiento en el que se enfatice la realización repetitiva y determinada de una tarea en la que se le ofrezca la motivación de ejercitarse con regularidad con una percepción mínima de esfuerzo, lo que es idóneo para el aprendizaje de funciones motoras en las terapias de rehabilitación.

Se puede incrementar el sentimiento de presencia al maniobrar las características de la VR, bien sea la dimensión de la pantalla, el tiempo de duración de la exposición, qué tan real es la presentación o la implementación de un avatar animado. (15)

Partiendo del nivel de presencia que perciba el participante, podemos clasificar en primera instancia a la realidad virtual, en inmersiva y no inmersiva. La primera se caracteriza por la sensación de presencia en el medio circundante, que se experimenta debido a la existencia de la interacción y participación activa del usuario por medio de un dispositivo que percibe los movimientos ópticos y reconoce el

desplazamiento de las manos. A su vez, la realidad virtual no inmersiva consiste en la interacción del participante con el entorno virtual creado por una computadora de escritorio a través de un ratón.

El desarrollo vertiginoso que ha experimentado el campo de la realidad virtual en los últimos años ha permitido emplear la simulación para la evaluación de la navegación espacial y la formación de la memoria. En la actualidad es posible contar con softwares que nos permitan diseñar entornos virtuales más realistas y con mayor rapidez, que bien pueden ser empleados con diversos objetivos entre ellos los estudios O&M. (8,14,15)

1.7. Stuart Tactile Maps

El STM fue desarrollado por el neuropsicólogo Ian Stuart durante la década de 1980 y en 2012 adquiere su nombre actual. Esta es una prueba no visual de cognición espacial y representa una evaluación de mesa bidimensional (2D) de las capacidades para la creación de mapas mentales, que debe ser efectuado sin el aporte visual (cegado, se le deberá solicitar al paciente vendar o cerrar los ojos). Esta prueba nos permite conocer cuánta práctica requiere un individuo para aprender y familiarizarse con un nuevo mapa mental, y por lo tanto habituarse a nuevos lugares y memorizar nuevas rutas de viaje.

El tiempo de realización del STM es de aproximadamente 10 minutos y debe ser administrado una sola vez, ya que, tras la prueba o la exposición de forma inadvertida a los mapas, un individuo que posea una cognición espacial sólida sería capaz de rememorar las disposiciones de estos por un periodo de meses o inclusive años, por lo que impartir la prueba con el mismo grupo de mapas generaría sesgos en los resultados.

Consiste en tres mapas táctiles contruidos con varillas de aluminio de 1,6 mm dobladas en formas y adheridas a una pieza de Perspex de 3mm x 22cm x 30cm. La prueba presenta tres niveles de complejidad: i) cinco segmentos, ii) siete segmentos y iii) once segmentos.

Cada participante debe tener los ojos vendados durante la realización de la prueba, en la que se expondrá de manera guiada al participante tres veces a cada mapa. El juego de Mapas A es el principal, mientras que el juego B es su equivalente a nivel de complejidad, presentando la misma cantidad de líneas y ángulos en cada nivel, pero sus configuraciones son diferentes al constituir una alternativa que el evaluador puede emplear para evitar el sesgo en caso de que el paciente se haya expuesto con anterioridad al juego de mapas A.

Los pacientes con condiciones como baja visión o ceguera carecen de oportunidad para realizar las pruebas visuoespaciales, es por esto, que la prueba STM constituye la opción no visual a las tareas de

índole visuoespacial empleadas para valorar la capacidad de cognición espacial, por lo que los grupos de investigación tendrían la oportunidad de emplear la prueba STM durante los estudios de correlación entre la visión funcional, la orientación y la movilidad.

Durante la realización de las prácticas de O&M la administración del STM permite economizar tiempo al profesional, al determinar a tiempo si el problema es de índole espacial, debido a que sería contraproducente tratar de enseñarle estrategias de orientación espacial a una persona que no es capaz de emplear la elaboración de mapas mentales para navegar lugares y realizar tareas. (5)

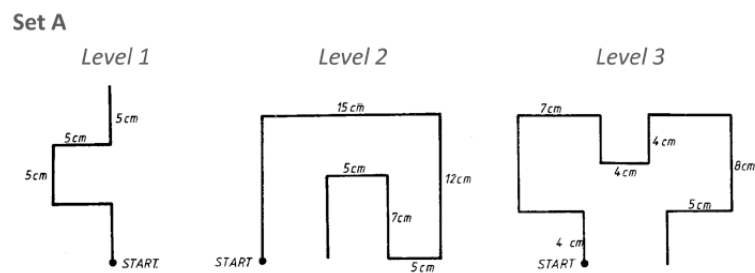


Figura 1: Características del Mapa A por niveles. (5)

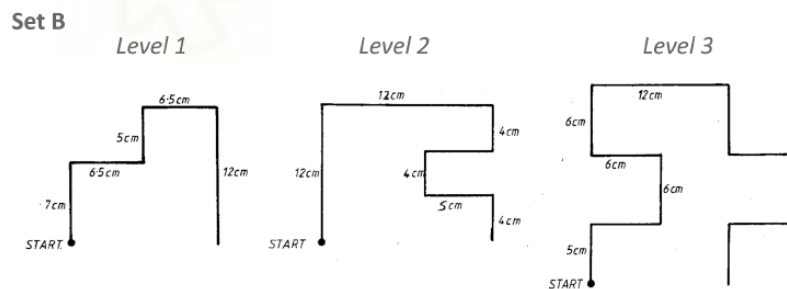


Figura 2: Características del Mapa B por niveles. (5)

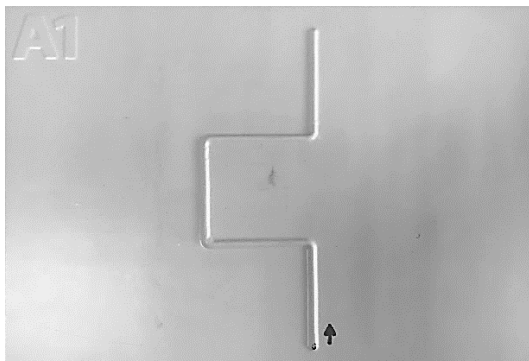


Figura 3: Mapa A, nivel 1.

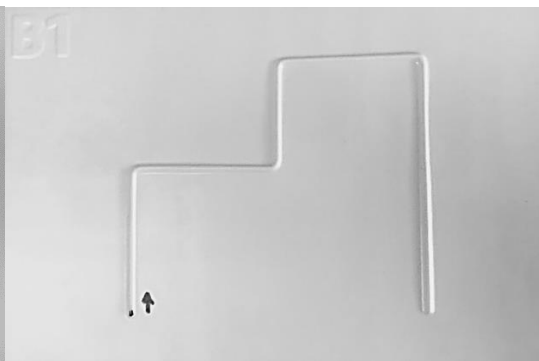


Figura 4: Mapa B, nivel 1.



Figura 5: Mapa A, nivel 2.



Figura 6: Mapa B, nivel 2.

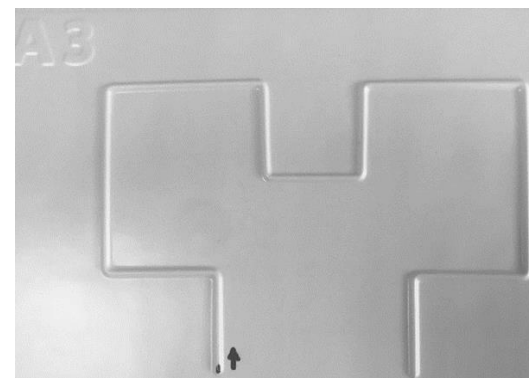


Figura 7: Mapa A, nivel 3.



Figura 8: Mapa B, nivel 3.

1.7.1. Interpretación de la Puntuación del STM

Para la interpretación de la puntuación del STM se deberá tener en cuenta que la capacidad de aprender el Mapa 3 luego de 9 exposiciones (puntuación 7-9 de 9), se traduce en la capacidad de emplear la creación de mapas mentales en las pruebas O&M, mientras que la incapacidad de aprender el Mapa 3 tras 9 exposiciones (puntuación ≤ 6 de 9) implica la existencia de cierto nivel de dificultad espacial para la elaboración de mapas mentales y la creación de nuevas rutas.

- Score 9/9: este tipo de personas se mueven con precisión, eficiencia y su orientación tiende a ser instintiva. No suelen perderse, actualizan la información espacial recibida concomitantemente con la realización de otras tareas y rectifican las desviaciones previo a que se constituyan en un inconveniente.
- Score 8/9: estas personas requieren mayor práctica a la hora de memorizar una ruta nueva que presenta cierto grado de complejidad, no obstante, la navegación no amerita realizar esfuerzo alguno. Adquieren la capacidad de orientarse luego de una o dos sesiones, así como de afinar detalles de manera independiente.
- Score 7/9: este tipo de personas requieren de una mayor labor y concentración a la hora de lograr instruirse en lugares desconocidos, sin embargo, al perderse por lo general son capaces de localizar su posición empleando para ello el sonido o cambiando la ruta antes de solicitar ayuda.
- Score 6/9: estas personas tienen la capacidad de desplazarse en lugares conocidos, como su casa, escuela o trabajo, pero no así en el vecindario o la ciudad. Para familiarizarse con un lugar nuevo deben aprender de manera consciente y sistemática empleado un punto de referencia. Pueden perderse con gran facilidad, lo cual les puede generar mucha frustración. Les resulta más productivo solicitar ayuda a otra persona que resolver el problema con independencia.
- Score 4-5/9: este tipo de personas requieren practicar una nueva ruta varias veces para lograr obtener la creación y consolidación de un nuevo mapa mental, que bien podría ser erróneo. Son capaces de desplazarse en sus hogares porque esta navegación amerita la práctica diaria, no obstante, su capacidad de orientación y exploración pueden resultar ineficaces en sus casas.
- Score 1-3/9: estas personas no pueden emplear mapas mentales para navegar y en caso de no contar con la información visual para identificar puntos de referencia, tienen una elevada probabilidad de perderse y debido a esto se rehúsan a desplazarse solos por los entornos y prefieren salir acompañados, ya que, esto les genera una atmósfera de seguridad. (5)

2. Objetivos

2.1. Objetivo General:

- ✚ Comparar el desempeño en la realización de tareas que pongan en práctica la creación de mapas mentales y el aprendizaje durante el desarrollo de Estudios de Orientación y Movilidad, mediante el empleo de un entorno virtual versus un entorno real controlado.

Al desarrollar el presente Trabajo de Fin de Máster, es pues, nuestro sentido deseo que los resultados devengados de este sirvan como base para la elaboración de una prueba estandarizada que permita valorar adecuadamente a los pacientes durante la ejecución de los estudios O&M, lo que se traduciría a su vez en el desarrollo de mayores y mejores herramientas disponibles para los pacientes a la hora de realizar las capacitaciones O&M.

2.2. Objetivos específicos:

- ✚ Identificar las estrategias empleadas por los participantes para cumplir con las tareas asignadas, tomando en cuenta sus antecedentes patológicos, hábitos de vida y la familiaridad con el entorno.
- ✚ Constatar si estas se corresponden con la creación de mapas mentales.
- ✚ Comparar el desempeño de los participantes en los diversos entornos y cuantificar el tiempo empleado para la realización de las tareas.

3. Hipótesis.

- Los participantes emplearán más estrategias egocéntricas que allocéntricas en las condiciones blind.
- Los participantes con conocimiento previo del entorno tendrán mayor facilidad para la creación de mapas mentales.
- Los participantes tendrán mayor dificultad para la realización de las tareas en la condición blind y en el entorno virtual.

4. Procedimiento experimental

4.1. Sujetos de estudio y protocolo experimental

Se llevó a cabo un estudio observacional - prospectivo empleando la población universitaria de la Universidad Miguel Hernández de Elche, para simular condiciones como ceguera y cataratas tanto en un entorno real como en un entorno virtual.

Fueron reclutados diez (10) participantes, 5 hombres y 5 mujeres, con un rango de edad comprendido entre 19-29 años. En los criterios de inclusión no se discriminaron parámetros como el conocimiento o no del entorno, el uso o no de gafas de prescripción médica y el uso o no de juegos de realidad virtual.

De igual manera, se llevó a cabo una encuesta sobre edad y sexo, antecedentes patológicos, hábitos de vida, familiaridad con el entorno y dificultad de la tarea asignada.

El estudio constó de cuatro etapas:

- **Primera etapa**

Durante la primera etapa, previo a la realización de los Estudios de Orientación y Movilidad, se llevó a cabo la prueba STM con el objetivo de evaluar las habilidades para la creación de mapas mentales en cada uno de los participantes, aquellos participantes que presentaban un score de STM ≤ 6 fueron excluidos del experimento.

Para la realización de la prueba cada uno de los participantes fue llevado a un espacio controlado, donde existía la menor cantidad de estímulos auditivos, se les explicó en qué consistiría la prueba y posteriormente se les solicitó que se sentaran y se colocaran un antifaz para evitar la exposición inadvertida a los mapas.



Figura 9: Antifaz empleado para cubrir los ojos de los participantes que realizaron el STM.

El experimentador tomó el dedo índice de la mano dominante de cada participante orientándoles para tocar las delimitaciones de cada mapa, con un máximo de tres oportunidades y a continuación se les solicitó dibujar los mapas en un folio tras la exposición individual, luego a cada participante se le permitió tener tres oportunidades para replicar cada mapa. En el supuesto de que el participante fallara en la replicación del tercer mapa, se le excluía automáticamente del experimento.

- **Segunda etapa**

Posteriormente, para la segunda etapa se empleó un Pasillo sencillo (simple corredor) de 20 metros para efectuar el entrenamiento de los participantes en lo referente al seguimiento de indicaciones, evitación de obstáculos y la estimación de la de velocidad de marcha preferida (PWS). Con miras a incrementar la complejidad de la prueba durante la simulación de las diferentes condiciones, fueron empleadas 13 cajas de cartón que se emplearon como obstáculos colocados cada dos metros.

Para simular la condición blind se les requirió a los participantes utilizar un antifaz, mientras que para la condición cataratas, se emplearon unas gafas diseñadas para simular esta patología.



Figura 10: Gafas empleadas para simular cataratas.



Figura 11: Pasillo sencillo o simple corredor.

La disposición de los obstáculos en el Pasillo se realizó a partir de un mapa de 5 rutas preelaboradas y nombradas de la A hasta la E.

Obstáculos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Ruta A</i>	2	4	P1	3	2	1	P2	1	2	P1
<i>Ruta B</i>	5	2	P2	5	4	3	P1	4	5	P2
<i>Ruta C</i>	1	5	P1	4	3	5	P2	2	3	P1
<i>Ruta D</i>	3	1	P2	1	1	2	P1	3	4	P2
<i>Ruta E</i>	4	3	P1	2	5	4	P2	5	1	P1

Figura 12: Disposición de los obstáculos en el Pasillo.

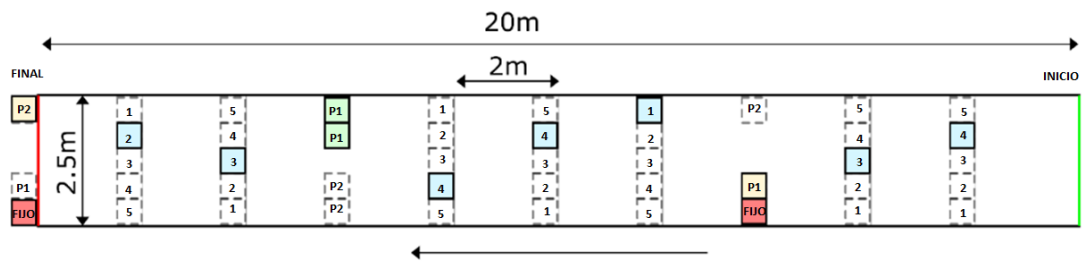


Figura 13: Mapa del Pasillo con obstáculos.



Figura 14: Pasillo con obstáculos Ruta E.

Pasillo	Pasillo + Obstáculos
<p>Repeticiones X2 (1 ida + 1 regreso)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Blind vision ○ Cataratas ○ Normal vision 	<p>Repeticiones X10 (5 ida + 5 regreso)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Blind vision ● Cataratas ● Normal vision

Tabla 1: Condiciones empleadas para la realización del experimento en la segunda etapa.

Parámetros tomados en cuenta en el Pasillo

Simulación de condiciones blind, cataratas y NV:

- Preferred walking speed, la cual se estimó tanto en el Pasillo como en el Pasillo + Obstáculos.
- Tiempo empleado en la tarea.
- Cumplimiento de la tarea y la precisión para su ejecución.
- Número de colisiones.
- Aprendizaje del entorno.
- Estrategias empleadas para el afrontamiento de las tareas asignadas.
- Desempeño del participante.
- Velocidad de ejecución de los mapas mentales.

Tabla 2: Elementos tomados en cuenta durante la realización del experimento.

▪ Tercera etapa

La tercera etapa tuvo lugar en el Street Lab, un entorno de 100m² que simula una calle realista localizada en las instalaciones de la Unidad de Neuroprótesis y Rehabilitación Visual del Instituto de Bioingeniería de la Universidad Miguel Hernández de Elche, y que es empleado para la realización de estudios de Orientación y Movilidad.



Figura 15: Interior del Street Lab.

2. Puerta de cristal ↔ puerta gris caja verde

14 pasos diagonales hacia la izquierda, doblas a la derecha, 12 pasos rectos, doblas a la derecha, 8 pasos rectos doblas a la derecha, 8 pasos rectos y a mano derecha estará la puerta.

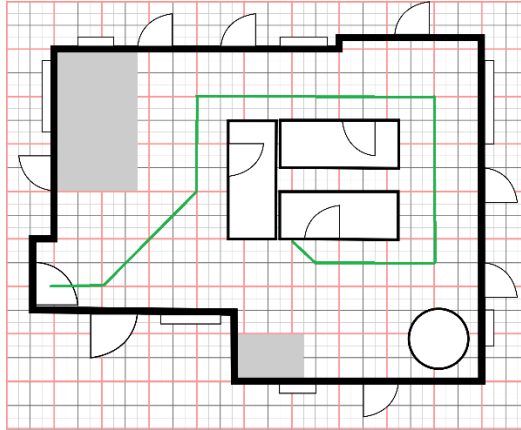


Figura 20: Representación gráfica de la Ruta 2.



Figura 21: Puerta de cristal y Puerta gris caja verde.

3. Puerta verde de la oficina ↔ puerta del apartamento

12 pasos rectos, doblas a la derecha, 12 pasos rectos, doblas a la derecha, 13 pasos rectos, de frente estará la puerta y al llegar, por favor, toca el timbre que se encuentra en la pared a mano derecha.

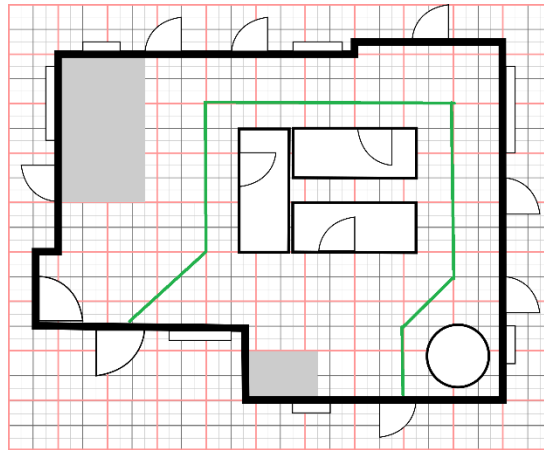


Figura 22: Representación gráfica de la Ruta 3.



Figura 23: Puerta verde de la oficina y Puerta del apartamento.

4. Puerta de la boutique ↔ puerta verde caja azul

4 pasos rectos, doblas a la izquierda, 4 pasos rectos, doblas a la derecha, 12 pasos rectos, doblas a la derecha, 8 pasos rectos, doblas a la derecha, 4 pasos rectos y a mano derecha estará la puerta.

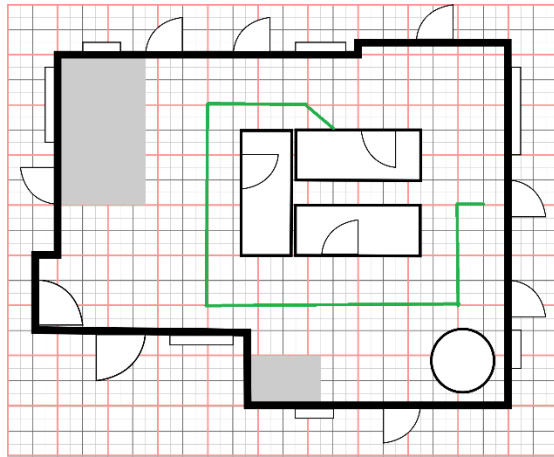


Figura 24: Representación gráfica de la Ruta 4.



Figura 25: Puerta de la boutique y Puerta verde caja azul.

Fueron establecidos dos niveles de complejidad para la realización de las rutas:

Nivel	Características
0	Entorno despejado
1	Entorno con presencia de obstáculos

Tabla 3: Niveles de complejidad para cada una de las rutas.

Para el nivel de complejidad 1, se emplearon 7 Obstáculos: 2 sillas, 2 conos azules, 1 pizarra, 1 cono blanco y 1 papelera, se colocó un obstáculo cada 2 metros.



Figura 28: Disposición de los obstáculos para la realización del estudio en el nivel 1.

Street Lab	Street Lab + Obstáculos
<p>Repeticiones X 10 (5 ida + 5 regreso)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Blind vision ○ Cataratas ○ Normal vision 	<p>Repeticiones X 10 (5 ida + 5 regreso)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Blind vision ● Cataratas ● Normal vision

Tabla 4: Condiciones del experimento y número de repeticiones por ruta.

- **Cuarta fase**

En la cuarta y última fase del experimento se utilizó el Nemty, un entorno diseñado mediante el empleo de la realidad virtual, que posee 2 modos distintos de inmersión para el usuario, el modo de Pantallas para su empleo como CAVE, así como el modo de Gafas de Realidad Virtual.

Dentro de sus características se encuentran una cinta de caminar de 2m de ancho por 3m de largo, que facilita la movilización de los usuarios en sentido anterior y posterior. Un sensor de luz infrarroja instalado en la cámara Azure Kinetic que detecta la presencia del usuario, permitiéndole a la cinta adecuar su movimiento a este.



Figura 29: Usuario empleando el Nemty.

Para la inclusión del Nemty se empleó el programa de diseño Unreal Engine con el cual se desarrolló el proyecto UMH-VR, un entorno virtual constituido por 10 mapas prediseñados. 5 mapas que simulaban una calle de 45m con cajas que fungen como obstáculos (Mapas A) y 5 mapas que simulaban una especie de laberinto que los participantes debían recorrer evitando colisionar con las cajas (Mapas B).



Figura 30: Mapa A proyecto UMH-VR sin filtro y con filtro.

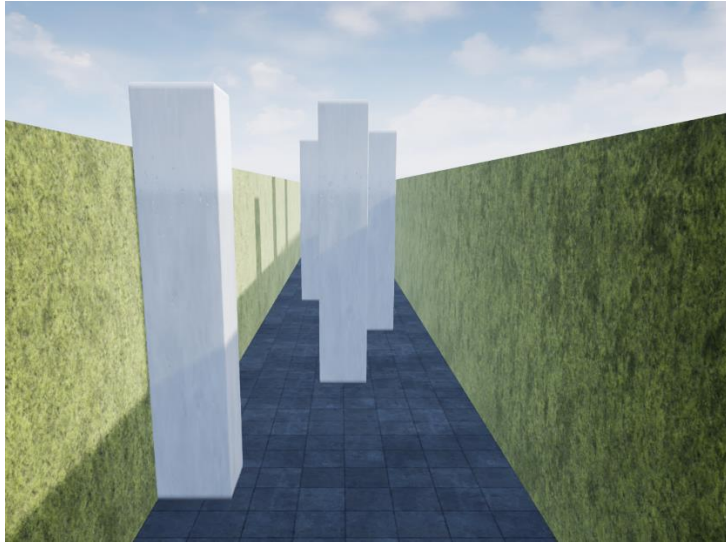


Figura 31: Mapa B proyecto UMH-VR.

Se utilizó el modo de Gafas de Realidad Virtual, empleando para ello las gafas HTC Vive PRO EYE con miras a estudiar el desempeño de los participantes en los entornos virtuales diseñados para las condiciones blind, cataratas y normal vision.



Figura 32: Gafas HTC Vive PRO EYE.

Las condición cataratas fue simulada empleando un filtro incorporado al entorno, y para la condición blind les fueron retiradas las gafas a los participantes y se les solicitó colocarse un antifaz.

A cada uno de los participantes se les requirió realizar el recorrido por el grupo de Mapas A dos veces para las condiciones cataratas y blind vision, mientras que para la condición de normal vision se realizaron dos repeticiones en el grupo de Mapas B.

UMH-VR con obstáculos
<p style="text-align: center;">Repeticiones X 2 (5 mapas prediseñados)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Cataratas ○ Blind vision ○ Normal vision

Tabla 5: Condiciones de la realización de los experimentos en el entorno UMH-VR con obstáculos.

Los parámetros a estudiar en la tercera y cuarta fase del experimento fueron:

Entorno real (Street Lab)	Realidad virtual (Nemty)
<p>Simulación de condiciones con gafas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo empleado en la tarea. - Preferred Walking Speed. - Cumplimiento de la tarea y la precisión para su ejecución. - Número de colisiones. - Aprendizaje. - Estrategias empleadas para el afrontamiento de las tareas asignadas. - Desempeño. - Velocidad de ejecución de los mapas mentales. 	<p>Simulación de condiciones con HTC Vive PRO EYE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo empleado en la tarea. - Preferred Walking Speed. - Cumplimiento de la tarea y la precisión para su ejecución. - Número de colisiones. - Aprendizaje. - Estrategias empleadas para el afrontamiento de las tareas asignadas. - Desempeño. - Velocidad de ejecución de los mapas mentales.

Tabla 6: Condiciones del experimento en los entornos real y virtual.

Los elementos tomados en cuenta durante la realización de los experimentos en sus diversas fases fueron los siguientes:

1. Explicación detallada de la tarea asignada:

Se les suministró a los participantes las indicaciones claras de la tarea asignada, para esto fueron reiteradas hasta un máximo de tres (3) veces y posteriormente se les pidió a los participantes que repitieran verbalmente las indicaciones de la tarea.

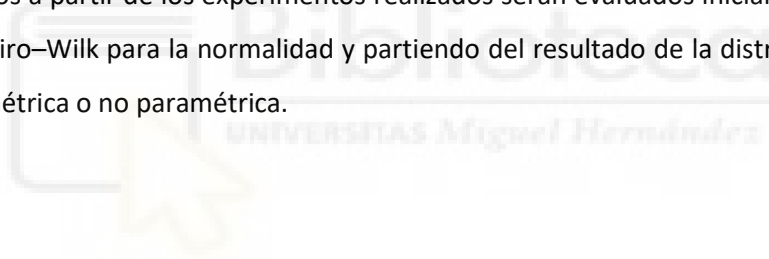
2. Cuándo se considera la tarea como acabada:

Se les explicó a los participantes que la tarea asignada se consideraba acabada cuando el experimentador diera la señal de llegada (frase o sonido específico).

3. El refuerzo positivo:

Se les expresó frases a los participantes para animarlos y estimularlos a seguir el experimento para culminar de manera exitosa la tarea.

Los datos obtenidos a partir de los experimentos realizados serán evaluados inicialmente empleando la prueba de Shapiro–Wilk para la normalidad y partiendo del resultado de la distribución, se elegirá una prueba paramétrica o no paramétrica.



5. Resultados

5.1. Antecedentes Patológicos

Al momento de valorar la existencia de antecedentes patológicos en los participantes, pudimos observar que cinco de ellos presentaban diagnósticos de errores de refracción del cristalino, tales como astigmatismo, miopía e hipermetropía, y que, a su vez, en sus familias existían antecedentes familiares de primer grado con diagnóstico de estas.

Por su parte, los cinco participantes restantes carecían de antecedentes patológicos conocidos.

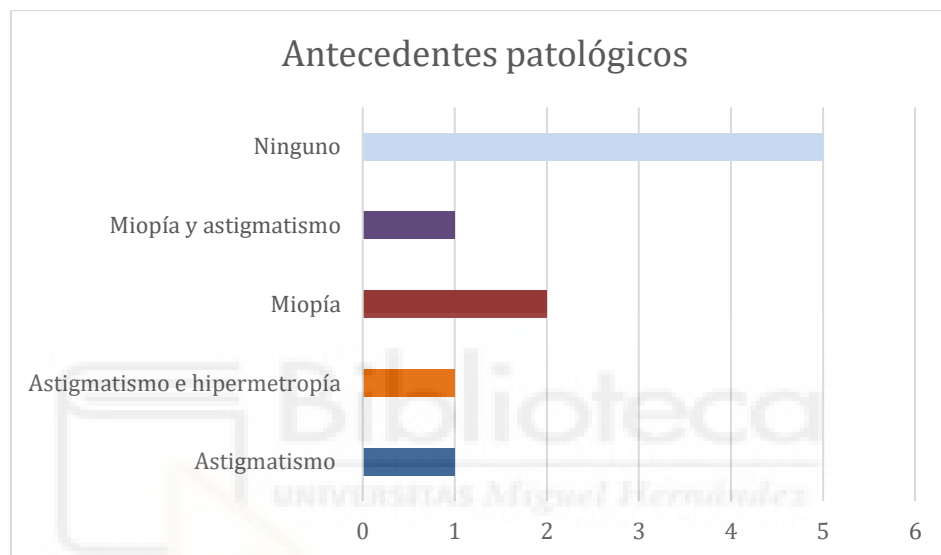


Figura 33: Antecedentes patológicos más frecuentes en los participantes.

5.2. Actividad Física

En lo referente a los hábitos de vida, siete de los diez participantes indicaron realizar actividad física de intensidad moderada de manera frecuente.

5.3. Puntuación de la Prueba STM

Durante la primera fase del experimento el segundo participante fue excluido, debido a que, tras la aplicación de la prueba STM no fue capaz de reproducir de manera satisfactoria ninguno de los dos juegos de mapas en las tres oportunidades dadas, fallando de este modo la prueba.

La imposibilidad para dibujar los dos juegos de mapas implica dificultad para la creación de mapas mentales.

Los diez participantes aceptados en el estudio fueron capaces de replicar los dos juegos de mapas de la prueba STM, siendo el rango de puntuación más bajo 7/9 (20%) debido a que estos participantes necesitaron dos oportunidades para dibujar el mapa A1, mientras que la puntuación máxima obtenida por los participantes resultó ser de 9/9 (30%). El resto de los participantes (50%) obtuvo una puntuación de 8/9 en el STM.



Figura 34: Dibujo del Mapa A (Niveles 1, 2 y 3) del participante excluido.

5.4. Conocimiento del Entorno

Es un elemento muy relevante a la hora de valorar el desempeño de los participantes, el entorno del pasillo simple o simple corredor era desconocido para casi la totalidad de los participantes, resultando familiar solamente para un participante.

El entorno SL resultó conocido para tres de los diez participantes, lo que permitió una mejor valoración del entorno en lo concerniente a los estudios de O&M.

En lo que atañe al entorno NEMTY, cuatro de los diez participantes lo habían utilizado con anterioridad.

5.5. Complejidad de las Rutas

5.5.1. Entornos SL y SL + Obstáculos

La encuesta realizada a los participantes sobre la mayor o menor dificultad de las rutas en las condiciones blind, cataratas y normal vision para estos entornos, mostró que para las cinco rutas del Mapa 1 el 50 % de los participantes entendía que la ruta más fácil era la primera, mientras que para el 50% restante resultó ser la tercera, puesto que entendían que ambas eran de menor nivel de complejidad al compararlas con las demás rutas.

Siendo las rutas percibidas como de mayor dificultad por los participantes la segunda (30%), tercera (20%), cuarta (30%) y quinta (20%).

5.6. Necesidad de Instrucciones

5.6.1. Entorno SL y SL + Obstáculos

Durante el desempeño de las tareas asignadas en el entorno SL y a medida que transcurría el experimento, los participantes fueron disminuyendo la cantidad de instrucciones necesarias para repetir las rutas bajo las diferentes condiciones establecidas. Como bien se puede observar en la figura 35, estos requirieron la mayor proporción de instrucciones durante su primera toma de contacto con el entorno SL, sin embargo, a pesar de que el grado de dificultad era mayor en el entorno SL + Obstáculos los participantes requirieron menor proporción de instrucciones que en el entorno SL sin obstáculos.

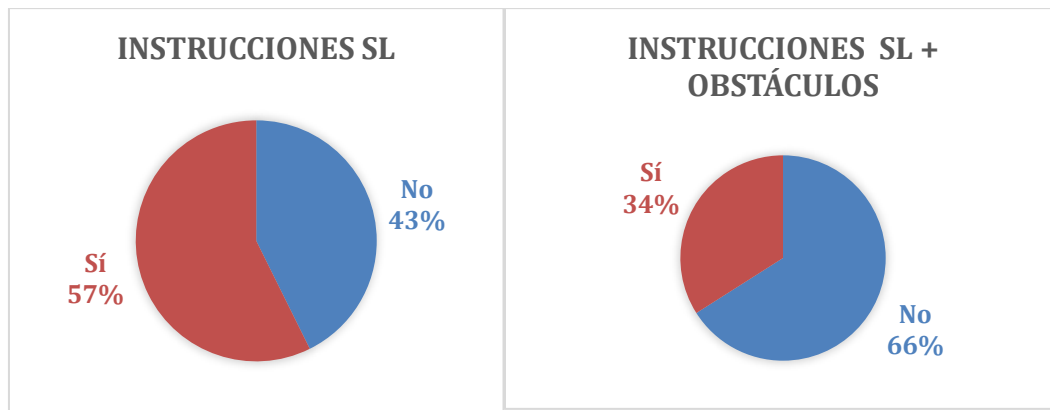


Figura 35: a la izquierda se muestra la necesidad de instrucciones para el entorno SL (nivel 0) y a la derecha la necesidad de instrucciones entorno SL + Obstáculos (nivel 1).

5.6.2. Entornos Simple corredor y Nemty

En ambos la necesidad de instrucciones fue mínima puesto que la tarea asignada era de poca complejidad, se les solicitó a los participantes caminar en línea recta evitando los obstáculos.

5.7. Interpretación estadística

Se elaboró una base de datos en Excel a partir de los resultados del experimento y para efectuar el análisis estadístico se ha empleado la extensión Real Statistics que nos permitió realizar las pruebas correspondientes de Shapiro Wilk para la normalidad y las pruebas para distribuciones no paramétricas como Friedman y Mann, Whitney y Wilcoxon.

5.7.1. Desempeño de los participantes

Se ha realizado un estudio de la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro–Wilk, que nos ha permitido corroborar que los datos no siguen una distribución normal (Shapiro–Wilk velocidad media $pvalue > 0.05$).

Evaluación de la velocidad media respecto a las condiciones en los entornos:

A la hora de comparar las condiciones a las que se han expuesto los participantes en cada uno de los entornos, se ha aplicado el Test de Friedman. Para los entornos Pasillo + Obstáculos, Pasillo, Street Lab y Street Lab + Obstáculos, el Test de Friedman ha mostrado diferencias significativas entre las tres

condiciones (blind, cataratas y normal vision). Con el objetivo de realizar un análisis más profundo, se ha decidido aplicar la prueba de Mann, Whitney y Wilcoxon, con la que se ha resaltado que las condiciones muestran diferencias significativas entre sí en estos cuatro entornos.

Por otro lado, en el entorno Nemty el Test de Friedman mostró diferencias significativas entre las tres condiciones, al realizar la prueba Mann, Whitney y Wilcoxon, se ha obtenido como resultado que existen diferencias significativas al comparar la condición cataratas con la condición normal vision (p value =0.04), sin embargo, no existen diferencias significativas al comparar la velocidad media para la condición blind con la condición cataratas (p value = 0.22), o la velocidad media para la condición blind con la condición normal vision (p value =0.16).

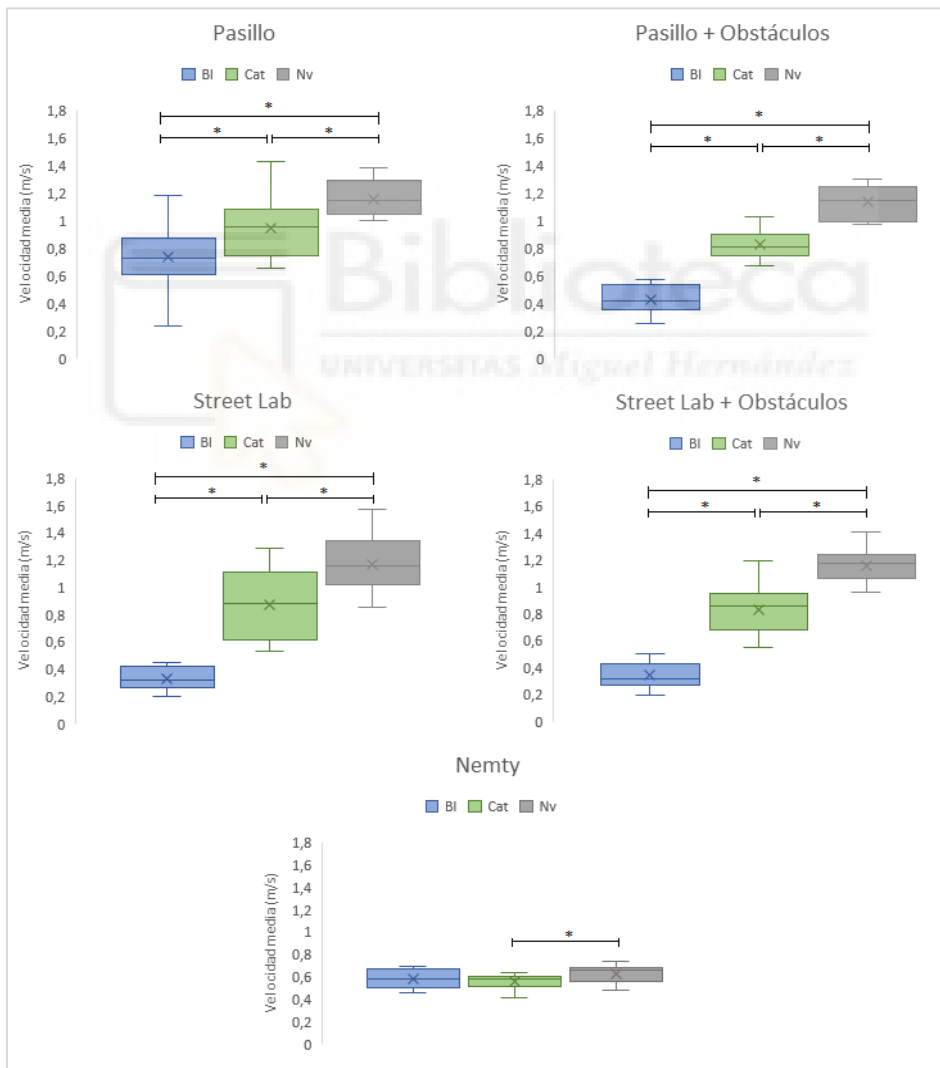


Figura 36: Velocidad de los participantes por condición en cada entorno.

Se observó que la velocidad alcanzada por los participantes durante la realización del experimento fue mayor en la condición normal vision, por otra parte, se evidenció que la velocidad de los participantes fue disminuyendo a medida que se limitaba la información recibida por el componente visual. En concordancia con esto, en la condición cataratas los participantes eran capaces de desplazarse con mayor velocidad que en la condición blind, pero con menor velocidad que en la condición normal vision.

Evaluación de la velocidad media en los entornos por condiciones:

Para la evaluación de los entornos por condiciones, se ha utilizado el Test de Friedman y la prueba de Mann, Whitney y Wilcoxon.

Para estudiar la condición de normal vision en los diversos entornos, primero se ha aplicado el Test de Friedman (p value <0.05) que ha mostrado diferencias significativas entre los entornos en conjunto. Después, se ha pasado a profundizar el estudio con la prueba Mann, Whitney y Wilcoxon, estudiando los entornos dos a dos, que ha dado como resultado que el único entorno que mostraba diferencias significativas es Nemty (p value $=0.04$).

En cuanto a la condición de blind, tras haber realizado el Test de Friedman (p value <0.05) y la prueba de Mann, Whitney y Wilcoxon, dio como resultado que los entornos Pasillo y Nemty mostraron diferencias significativas (p value $=0.04$) respecto a los entornos Pasillo + Obstáculos, SL y SL + Obstáculos.

Se empleó la prueba de Friedman para establecer la relación de las velocidades medias de los participantes para las diferentes condiciones por entorno, comprobando que la condición blind presenta diferencias significativas en los entornos Pasillo y Nemty (p value < 0.05), pero no así para los entornos Pasillo + Obstáculos, Street Lab, Street Lab + Obstáculos. En lo concerniente a las condiciones cataratas y normal vision, solo existen diferencias significativas para el entorno Nemty.

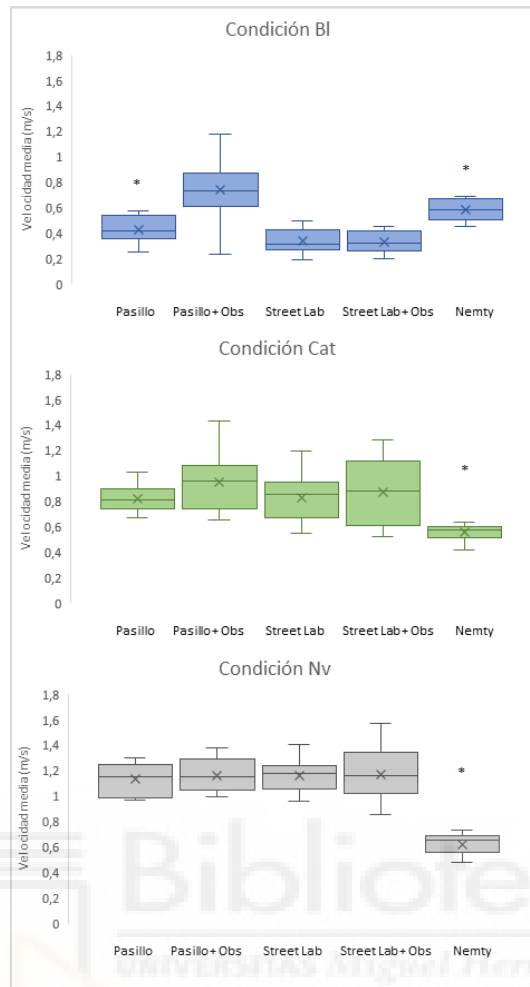


Figura 37: Velocidad de los participantes por entorno en las diversas condiciones.

Al comparar la velocidad por entornos, en el SL la velocidad de los participantes fue mayor que en el Pasillo y el Nemty, sin embargo, no hubo diferencias en la velocidad de los participantes en los entornos SL y SL + Obstáculos, a pesar de que el SL + Obstáculos resultaba ser más complejo que el SL.

En lo relativo a la velocidad de los participantes por condición, en las condiciones cataratas y normal vision los participantes se desplazaron con mayor velocidad en el entorno SL, mientras que para la condición blind el pasillo fue el entorno donde se desplazaron más rápido.

Al comparar el Pasillo con el Pasillo +Obstáculos y el SL con el SL + Obstáculos, podemos observar que los participantes son más ágiles durante la realización de las tareas en la condición normal vision, pero para las condiciones cataratas y blind los participantes disminuyeron su agilidad de manera proporcional a la reducción de la información visual.

Evaluación de las colisiones respecto a las condiciones en los entornos:

Para estudiar la normalidad de los datos se utilizó la prueba Shapiro Wilk que dio como resultado una distribución no paramétrica para los dos entornos propuestos (p value <0.05).

Al comparar las colisiones por las condiciones en el entorno pasillo con obstáculos mediante el Test de Friedman y la prueba de Mann, Whitney y Wilcoxon, los resultados fueron que la condición blind mostraba diferencias significativas respecto a las otras dos condiciones (p value <0.05).

En el entorno Pasillo + Obstáculos al emplear la condición normal vision no se presentaron colisiones, sin embargo, la condición blind fue la que presentó la mayor frecuencia de colisiones durante la evitación de obstáculos.

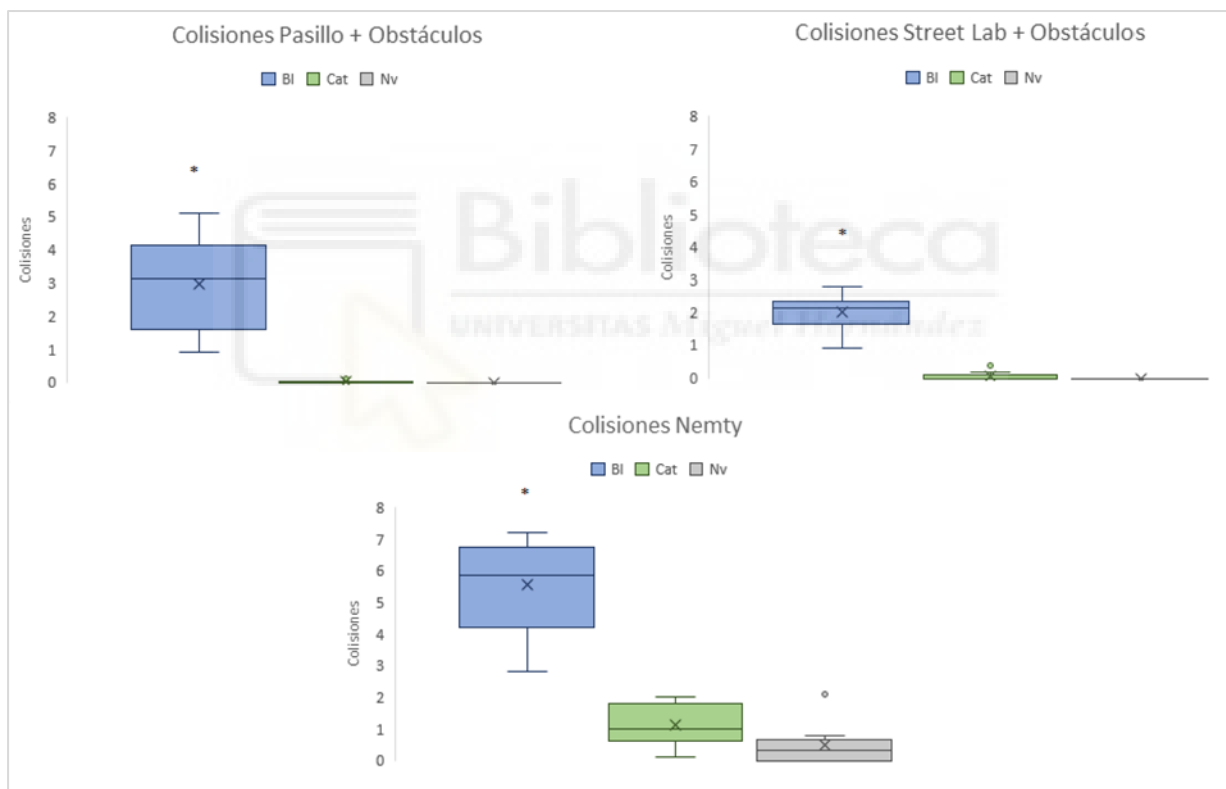


Figura 38: Colisiones por condiciones en el entorno Pasillo + Obstáculos, Street Lab + Obstáculos y Nemty.

Al comparar las colisiones por las condiciones en el entorno Pasillo con obstáculos mediante el Test de Friedman y la prueba de Mann, Whitney y Wilcoxon, los resultados fueron que la condición blind

mostraba diferencias significativas respecto a las otras dos condiciones (p value >0.05 al estudiar la condición de BI con Cat, p value <0.05 al estudiar la condición de BI con Nv, mientras que no existen diferencias al comparar la condición de Nv con Cat).

En el entorno SL + Obstáculos la mayor proporción de colisiones tuvieron lugar en la condición blind en comparación con las condiciones cataratas y normal vision.

5.7.2. Preferred Walking Speed

La PWS de los participantes fue estimada en los diferentes entornos y se observó que los participantes que la media para el PWS de los participantes en la condición blind (1.1258 m/s) fue menor que para las condiciones cataratas (1.1259 m/s) y normal vision (1.126 m/s).



6. Discusión

Durante la realización de los experimentos en los entornos Pasillo, SL y Nemty, pudimos observar que una de las estrategias empleadas por los participantes consistió en disminuir la velocidad de desplazamiento con el objetivo de minimizar la colisiones en los entornos con obstáculos y en la condición blind, mientras que empleaban menor cantidad de tiempo para completar la tarea y alcanzaban una mejor precisión en las condiciones cataratas y normal vision.

También pudimos constatar que la velocidad de los participantes se incrementaba de manera proporcional a su adaptación con el entorno, por lo que, aquellos participantes que estaban familiarizados con un entorno se desplazaron con mayor velocidad a través de este.

Estos hallazgos presentan concordancia con los resultados expuestos por Samuel Bertaud, et al. (2021) (18) En los experimentos O&M realizados en su estudio piloto sobre el Rendimiento del deslumbramiento y la movilidad en el glaucoma, quienes también pudieron observar que la limitación de la información visual incide en el desempeño de la movilidad de los pacientes. Estos establecieron que la respuesta adaptativa empleada por sus pacientes consistió en la reducción de la velocidad y modificación de la dirección para prevenir los incidentes de movilidad, que resultaron ser las mismas estrategias empleadas por los participantes en nuestro experimento O&M.

En nuestro estudio hemos podido demostrar que hay diferencias significativas en la velocidad media de los participantes en la condición blind para los entonos Pasillo y Nemty.

Como bien habíamos planteado en nuestra hipótesis inicial, los participantes emplearon más estrategias egocéntricas durante la realización de las tareas en la condición blind, ya que no contaban con la información del componente visual, por lo que utilizaron para su navegación una serie de giros secuenciales y los sentidos del tacto y la audición con la finalidad de obtener la mayor cantidad de datos de su entorno que les permitieran suplir la información que necesitaban para llevar a cabo las tareas asignadas. Estos hallazgos se correlacionan con los reportados por Silvia Chiesa et al. (2017) (7), al investigar la capacidad de las personas ciegas y con los ojos vendados para construir representaciones espaciales de una ciudad empleando un modelo 3D realista y su exploración táctil a lo largo de un camino. El estudio denotó que las personas ciegas tienden a depender de un marco de referencia egocéntrico, debido a que realizan una exploración secuencial del espacio y basan su exploración espacial principalmente en una serie de informaciones de índole auditiva, táctil, motora y cinestésica.

Por otro lado, pudimos observar que durante la navegación en las condiciones cataratas y normal vision los participantes emplearon estrategias tanto egocéntricas como alocéntricas, dado que la

información visual les permitía asociar los mapas y las rutas a colores, formas, texturas y otros puntos de referencia.

Conforme los participantes repetían las distintas rutas en el entorno SL y SL + Obstáculos bajo las diferentes condiciones, se observó que en la medida en que transcurrían las repeticiones para un mismo entorno establecido fueron necesitando menos instrucciones para lograr desarrollar la tarea asignada, lo cual se traduce en el desarrollo de independencia por parte de los participantes para efectuar la navegación espacial en el entorno correspondiente, correspondiéndose estos hallazgos con la creación de mapas mentales.

En lo concerniente al entorno virtual (Nemty), los participantes alcanzaron una menor velocidad en comparación a los demás entornos, esto, debido a que presentaron mayor dificultad para aprender a emplear la cinta de manera adecuada y adaptar sus movimientos al entorno virtual.



7. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos de nuestro experimento O&M hemos podido identificar la posible implementación de la prueba STM como prueba de cribado para identificar potenciales candidatos para los estudios O&M, lo que permitiría realizar una elección más asertiva de los participantes, optimizar el protocolo del estudio y disminuir la carga de trabajo del experimentador.

Los participantes se apoyaron más en el marco de referencia egocéntrico para la realización de las tareas en la condición blind, puesto que el influjo de información que recibían se realizaba a través de la audición o el tacto, en las condiciones cataratas y normal debido a la información que generaba el aporte visual, los participantes hicieron uso tanto del marco egocéntrico como allocéntrico.

Los participantes presentaron dificultad para realizar la transición desde su condición de visión normal a la condición blind y a la adaptación de un entorno real a uno virtual, lo que se tradujo en un menor desempeño para la realización de las tareas en la condición blind y el entorno Nemty.

Al constituir el Nemty un entorno poco conocido, sugerimos que para el desarrollo de futuros experimentos O&M en los que se incluya este entorno, los participantes deberían realizar a una toma de contacto inicial y a un proceso de aprendizaje del entorno, previo a la realización de los estudios O&M.

La familiaridad previa de los participantes con los diferentes entornos no fue uniforme, por lo que la realización de los experimentos implicó un mayor reto para los participantes que desconocían dicho entorno, en virtud de que debían desarrollar una respuesta adaptativa tanto para las condiciones como para los diferentes entornos empleadas.

La navegación espacial de los participantes y el consecuente proceso de creación de mapas mentales, resultaron ser más complejos en las rutas 2 y 4, debido a que estaban compuestas por una mayor cantidad de giros y ángulos.

La implementación de rutas más complejas permite identificar la amplia diversidad de estrategias que implementan los participantes para adaptar su cognición espacial mientras se desplazan por entornos más realistas e impredecibles, lo que a su vez les permite desarrollar una navegación espacial más efectiva e independiente.

La familiarización de los participantes con el entorno y la práctica repetitiva en los estudios O&M facilita y robustece el proceso de creación de mapas mentales, lo que a su vez propicia el incremento de la velocidad empleada para la navegación, así como el desempeño general de los participantes.

La replicación del presente experimento a gran escala permitiría acrecentar la cantidad de datos disponibles de los experimentos O&M para el diseño de una prueba estandarizada para la valoración del desempeño de los participantes en los estudios O&M, por otro parte, sugerimos contemplar plantear otro tipo de protocolo de abordaje para aquellos participantes que no sean capaces de aprobar el STM.



8. Bibliografía

1. Chang, K. J., Dillon, L. L., Deverell, L., Boon, M. Y., & Keay, L. (2020). Orientation and mobility outcome measures. *Clinical & experimental optometry*, 103(4), 434–448. <https://doi.org/10.1111/cxo.13004>.
2. Virgili, G., Rubin, G. Orientation and mobility training for adults with low vision. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2010, Issue 5. Art. No.: CD003925. DOI: 10.1002/14651858.CD003925.pub3. Accessed 07 June 2022.
3. Jacobson, Dan. (1998). Cognitive Mapping Without Sight: four preliminary studies of spatial learning. *Journal of Environmental Psychology*. 18. 289–305. 10.1006/jevp.1998.0098.
4. Grech, A. M., Nakamura, J. P., & Hill, R. A. (2018). The Importance of Distinguishing Allocentric and Egocentric Search Strategies in Rodent Hippocampal-Dependent Spatial Memory Paradigms: Getting More Out of Your Data. In (Ed.), *The Hippocampus - Plasticity and Functions*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.766034>.
5. Deverell, L. *Stuart Tactile Maps, Instruction Manual* (2019). Páginas: 7-15.
6. Sévigny, C., Becker, S., Bennett, P., Goldreich, D., & Sun, H. (2011). ALLOCENTRIC VS. EGOCENTRIC SPATIAL MEMORY ENCODING: EVIDENCE OF A COGNITIVE SPATIAL MAP FROM VIRTUAL REALITY TESTING Master's Thesis- C. Sevigny McMaster- Psychology.
7. Chiesa, S., Schmidt, S., Tinti, C., & Cornoldi, C. (2017). Allocentric and contra-aligned spatial representations of a town environment in blind people. *Acta Psychologica*, 180, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.08.001>.
8. Weniger, G., Ruhleder, M., Lange, C., Wolf, S., & Irle, E. (2011). Egocentric and allocentric memory as assessed by virtual reality in individuals with amnesic mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 49(3), 518–527. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.031>.
9. Ayton, L. N., Rizzo, J. F., 3rd, Bailey, I. L., Colenbrander, A., Dagnelie, G., Geruschat, D. R., Hessburg, P. C., McCarthy, C. D., Petoe, M. A., Rubin, G. S., Troyk, P. R., & HOVER International Taskforce (2020). Harmonization of Outcomes and Vision Endpoints in Vision Restoration Trials: Recommendations from the International HOVER Taskforce. *Translational vision science & technology*, 9(8), 25. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.8.25>.
10. Aleman, T. S., Miller, A. J., Maguire, K. H., Aleman, E. M., Serrano, L. W., O'Connor, K. B., Bedoukian, E. C., Leroy, B. P., Maguire, A. M., & Bennett, J. (2021). A Virtual Reality Orientation and Mobility Test

for Inherited Retinal Degenerations: Testing a Proof-of-Concept After Gene Therapy. *Clinical ophthalmology* (Auckland, N.Z.), 15, 939–952. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S292527>.

11. National Eye Institute (2022, April 15). Low Vision. <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/low-vision#:~:text=Low%20vision%20is%20a%20vision,Drive>

12. World Health Organization (2021, October 14). Blindness and vision impairment. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

13. Bonyadi, Afsaneh & Jokar, A. & Moallemi, Mostafa. (2019). Cataract etiology and prevention in traditional Persian medicine texts. DOI: 6. 192-6. 10.4103/JNMS.JNMS_23_19.

14. Shiels, A., & Hejtmancik, J. F. (2019). Biology of Inherited Cataracts and Opportunities for Treatment. *Annual review of vision science*, 5, 123–149. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-091517-034346>.

15. Fahim S, Maqsood A, Das G, Ahmed N, Saquib S, Lal A, Khan AAG, Alam MK. Augmented Reality and Virtual Reality in Dentistry: Highlights from the Current Research. *Applied Sciences*. 2022; 12(8):3719. <https://doi.org/10.3390/app12083719>.

16. Ayoub, A., Pulijala, Y., 2019. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health* 19. Doi:10.1186/s12903-019-0937-8.

17. Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., & Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>.

18. Bertaud, S., Zenouda, A., Lombardi, M., Authié, C., Brasnu, E., Hamard, P., Sahel, J. A., Baudouin, C., & Labbé, A. (2021). Glare and Mobility Performance in Glaucoma: A Pilot Study. *Journal of glaucoma*, 30(11), 963–970. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001936>.