



Universidad de Valladolid



Trabajo de Fin de Máster:

Uso de los Entornos Virtuales en la comprensión del espacio en personas con ceguera y discapacidad visual.

Revisión bibliográfica.

Máster en Rehabilitación Visual, curso: 2014/2015

Autor: Rocío Cacho Canales

Tutor: Joaquín Herrera Medina

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción.....	2
3. Objetivos	6
4. Metodología y Materiales	7
5. Cognición Espacial.....	9
5.1. Evolución del desarrollo cognitivo espacial	9
5.2. Desarrollo cognitivo espacial en niños con ceguera.....	10
5.3. Mapa cognitivo espacial	14
5.3.1. Componentes del mapa cognitivo	16
5.4. Orientación espacial	17
5.4.1. Componentes de la orientación espacial	17
5.5. Factores determinantes del conocimiento espacial	20
6. Neuroplasticidad.....	21
6.1. Neuroplasticidad y ceguera	23
7. Entornos Virtuales	29
7.1. Componentes de los Entornos Virtuales.....	30
7.2. Tipos de Entornos Virtuales.....	32
7.3. Entornos Virtuales aplicados a la investigación sobre cognición espacial ...	33
7.4. Entornos Virtuales para personas con ceguera y discapacidad visual	35
7.4.1. Entornos Virtuales con interfaces de audio sin interacción del movimiento corporal.....	37
7.4.2. Entornos Virtuales con interfaces de audio con interacción del movimiento corporal ...	41
7.4.3. Entornos Virtuales con interfaces de audio y háptica sin interacción del movimiento corporal.....	42
7.4.4. Entornos Virtuales con interfaces de audio y háptica con interacción del movimiento corporal.....	46
7.5. Entornos Virtuales para la investigación sobre neuroplasticidad y ceguera.	51
8. Conclusiones.....	53
9. Bibliografía.....	58

1. Resumen

La instrucción en habilidades para el desplazamiento autónomo (denominada en el ámbito científico como Orientación y movilidad, O&M) es fundamental dentro del proceso de rehabilitación e inclusión social de las personas con ceguera y discapacidad visual (DV). Durante los últimos años, ha comenzado a utilizarse **software de Entornos Virtuales (EV) interactivos** representados a través de **interfaces de audio y/o háptica** para el aprendizaje de habilidades de navegación en niños y adultos con ceguera y DV. Paralelamente, los métodos de exploración neurológica han avanzado, permitiendo la observación de la actividad neurológica del sujeto mientras realiza tareas que implican habilidades espaciales.

En el presente trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre el **uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV**, además de estudiar algunos **aspectos generales** de la **cognición espacial** y de la **neuroplasticidad** en las personas con ceguera y DV.

Las principales conclusiones fueron que **las personas con ceguera y DV pueden desarrollar mapas cognitivos espaciales** y que **su desarrollo cognitivo para estas tareas es similar al de las personas con visión**, además, que **el cerebro recluta las zonas de la visión para este tipo de tareas** y que **los EV basados en audio y/o háptica permiten el desarrollo de habilidades de O&M, así como la construcción de mapas cognitivos espaciales** precisos en personas con ceguera y DV, los cuales pueden ser transferidos a tareas de navegación en el entorno real.

Palabras claves: ceguera, discapacidad visual, habilidades de orientación y movilidad, navegación espacial, conocimiento espacial, cognición espacial, entornos virtuales, realidad virtual, neuroplasticidad.

2. Introducción

La presente investigación estudia el **uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV**, para lo cual se realizará una revisión bibliográfica de los principales estudios vinculados a esta temática.

Antes de enfocarse en particular en el uso de los EV, se hace pertinente dar cuenta de algunos aspectos generales de la cognición espacial, así como de la neuroplasticidad en las personas con ceguera y DV.

Una de las mayores dificultades que presentan las personas con ceguera es la realización de tareas que requieran una representación espacial mental, como las que implican desplazamiento por distintos entornos de forma independiente.

Al área que reúne las habilidades implicadas en el desplazamiento, tradicionalmente se le denomina **Orientación y Movilidad (O&M)**, el cual se revisará más adelante. Es esencial para las personas con ceguera contar con este tipo de habilidades, ya que esto incide directamente en su independencia y autonomía, repercutiendo en su calidad de vida e inclusión en la sociedad.

Para la navegación eficaz, como por ejemplo ser capaz de planificar una ruta hasta un destino determinado y llegar hasta él de forma segura y eficaz, incluso si se presentan obstáculos en el camino, es necesario la **construcción de mapas cognitivos espaciales**, que son la representación mental del entorno espacial (Carreiras, 1986). Estos tienen una importante base en la experiencia, donde se incorpora información a través de todos los sentidos, predominando el visual (Lynch, 1960).

Clásicamente se daba por hecho que dada la alta dependencia de la información visual, las personas con ceguera (especialmente con ceguera temprana) presentaban, dificultades cognitivas para la representación de entornos espaciales, lo que a su vez generaba deficientes habilidades para el desplazamiento. Sin embargo, han surgido estudios que han concluido que no existen diferencias en la capacidad de cognición y representación espacial de las personas con ceguera (Morrongiello et al., 1995), incluso se ha encontrado que en ciertas tareas de desplazamiento espacial personas con ceguera profunda han demostrado poseer idénticos (Loomis et al., 2001) y, en algunos casos, resultados superiores cuando se les ha comparado con sujetos de control videntes (Fortin et al., 2008).

Por lo tanto, a pesar que el déficit sensorial puede imponer limitaciones sobre la orientación y navegación espacial, con el debido entrenamiento las personas con ceguera pueden aprender a utilizar la información obtenida por otras modalidades sensoriales y desarrollar estrategias compensatorias de comportamiento para crear mapas cognitivos y navegar con éxito en entornos espaciales de diversa complejidad. Un buen ejemplo, es que a través de su sentido auditivo las personas con DV crean mapas cognitivos, que incluyen información acerca de las relaciones espaciales de los objetos del entorno y sus características específicas, tal como lo demuestra el estudio de Papadopoulos (2012).

Se ha demostrado que en el cerebro de una persona con ceguera, debido a la ausencia del input visual, existe una gran cantidad de corteza cerebral relacionada con el procesamiento visual que no se utiliza para dicha función. No obstante, con el desarrollo de estrategias sensoriales compensatorias, esta área designada para “ver”, termina encargándose de procesar la información táctil, auditiva y propioceptiva (Pascual-Leone et al., 2005; Théoret et al., 2004; Cohen et al., 1997). Esta capacidad del sistema nervioso, para cambiar su estructura y

su funcionamiento como reacción a la diversidad del entorno, se llama **neuroplasticidad**, la que puede ser modulada a través de estrategias de entrenamiento.

Dentro del proceso de rehabilitación de las personas con DV severa, es fundamental la instrucción en O&M, la cual permite el desarrollo de habilidades y estrategias para establecer y mantener la posición en el espacio, la planificación de rutas, la actualización de la información sobre la posición en el espacio y la reorientación para restablecer los destinos (Blasch et al., 1997).

Un aspecto importante en este proceso de rehabilitación es la entrega y enseñanza de las ayudas para el desplazamiento seguro, tradicionalmente las más usadas son el bastón blanco y el perro guía. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología se han creado nuevas ayudas técnicas que facilitan el desplazamiento de las personas con DV, como por ejemplo las ayudas de viaje electrónicas con tecnología basada en ultrasonido o infrarrojo (Farcy, 2006) y los Head Mounted Displays (HMD), que usan Realidad Aumentada (Peli, 2007).

Además, durante estos últimos años, ha comenzado a utilizarse la **Realidad Virtual (RV)** para el aprendizaje de habilidades de navegación en niños y adultos con ceguera y DV a través de **software de EV interactivos** representados a través de **interfaces de audio y/o háptica** (Tzovaras et al., 2004; Lahav y Mioduser, 2004, 2008; Merabet et al., 2012).

Diversos estudios han demostrado que la interacción con EV permite a las personas con ceguera y DV generar mapas cognitivos precisos de un espacio determinado (por ejemplo, un edificio real), desarrollar y/o mejorar las habilidades de O&M y otras habilidades cognitivas, como la resolución de problemas, y la transferencia de la información adquirida en el EV a tareas de navegación en el

mundo real (Lahav & Mioduser, 2004, 2008; Merabet et al., 2012; Sánchez et al. 2011). Adicionalmente, **los EV han permitido investigar el conocimiento y comportamiento espacial** (Jansen-Osmann 2006, 2007a, 2007b; Waller et al., 1998) **y la neuroplasticidad** en individuos con ceguera (Merabet & Sánchez, 2009; Halko et al., 2014).

Particularmente, esta investigación hace especial referencia a los trabajos de los investigadores del **Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento (C5) de la Universidad de Chile, Santiago de Chile**, liderado por el Profesor Jaime Sánchez; quienes son pioneros en el desarrollo de software de EV con interfaces de audio y/o háptica para personas con ceguera y DV, los cuales se basan en una interacción lúdica.

De esta forma, la revisión bibliográfica a realizar por esta investigación recopilará y describirá sistemáticamente los principales antecedentes y estudios sobre el **uso de los EV para la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV**. El análisis de la información obtenida y seleccionada buscará exponer que los EV basados en audio y/o háptica permiten el desarrollo de habilidades de O&M, así como la construcción de mapas cognitivos espaciales en personas con ceguera y DV.

3. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son:

1. Conocer los procesos cognitivos implicados en el conocimiento espacial en personas con ceguera.
2. Estudiar y analizar el aporte del uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV.
3. Conocer los cambios neuroplásticos causados por la ausencia de visión y los aportes de la neurociencia y la neuroimagen a este tema.

4. Metodología y Materiales

La **investigación** realizada es de carácter **descriptiva**, dado que estudia y revisa los aspectos más importantes del uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV, y **exploratoria** ya que este es un tema aún poco investigado.

La búsqueda de información se realizó en Internet, en las bases de datos PUBMED (National Center for Biotechnology Information, Bethesda, MD), ScienceDirect y Google Scholar, utilizando los siguientes términos: “**orientation and mobility skills**”, “**spatial knowledge**”, “**spatial cognition**”, “**spatial representation**”, “**virtual environment in blind**”, “**virtual reality in blind**”, “**neuroplasticity in blind**”, “**navigation in blind**”.

En primera instancia no se encontraron muchos estudios, dado que es un tema muy específico y poco desarrollado aún. La bibliografía en español resultó muy escasa y limitada principalmente a dos grupos de investigación, Ochaíta y Huertas, y Carreiras, cuyos trabajos aun no siendo recientes, son de gran valor científico. Como es habitual en este ámbito, la mayor parte de la bibliografía encontrada está en lengua inglesa. Dada la escasez de resultados en las primeras búsquedas, tras haber encontrado algunos artículos de interés, la metodología utilizada consistió en utilizar los estudios y autores citados para buscar a partir de éstos.

También se contactó al **Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento (C5)**, del Departamento de Ciencias de la Computación, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la **Universidad de Chile**, en la ciudad de Santiago de Chile, quienes desde el año 1992 realizan investigaciones y desarrollo de innovaciones en tecnologías de la

información y comunicación, para la educación e inclusión social de personas con DV. En concreto, se visitó el Centro donde se pudo conocer parte del trabajo realizado por este grupo de investigadores, además, de interactuar con algunos software de EV para personas con ceguera y DV. Se considera muy relevante e interesante la posibilidad de conocer el objeto de estudio mediante contacto directo con el mismo, especialmente con uno de los grupos de investigación más destacados en la materia objeto de esta revisión bibliográfica.

5. Cognición Espacial

Para analizar el uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV, primero se debe realizar una aproximación a la cognición espacial. Conocer cómo tiene lugar la comprensión del espacio en cualquier persona y específicamente en personas con ceguera y DV es un aspecto fundamental en este trabajo para analizar las posibles diferencias. Con respecto a esto, se describirá la evolución del desarrollo cognitivo espacial, así como se analizará la construcción del mapa cognitivo espacial y los componentes de la orientación espacial, entre otros aspectos vinculados a la cognición espacial.

5.1. Evolución del desarrollo cognitivo espacial

Jean Piaget proporcionó el primer modelo teórico del desarrollo del conocimiento espacial, el cual consideró parte integral del desarrollo cognitivo general (Piaget e Inhelder, 1947; Piaget, Inhelder & Szeminska, 1948).

Según Piaget (1947), el conocimiento espacial se va construyendo progresivamente a través de las experiencias del sujeto, siendo la actividad perceptiva un elemento imprescindible. Además, este autor afirma que **la evolución del conocimiento espacial atraviesa las mismas etapas o períodos que el desarrollo cognitivo**: período sensoriomotor, periodo de las operaciones concretas (el que se subdivide en período preoperatorio y otro de las operaciones concretas propiamente dichas) y período de las operaciones formales.

Inicialmente el conocimiento espacial deriva de la actividad sensoriomotriz y, posteriormente, a un nivel representativo, la actividad (real o imaginada) irá

flexibilizando, coordinando y haciendo reversibles las imágenes espaciales para convertirlas en operaciones (Piaget, 1947).

Durante el desarrollo del conocimiento espacial se establecen **tres tipos de relaciones espaciales: topológicas, proyectivas y euclidianas**. Las primeras en elaborarse son las relaciones topológicas, las cuales consideran el espacio dentro de un objeto o figura particular, y comprenden relaciones de proximidad, separación, orden, cerramiento y continuidad. Luego, se desarrollan paralelamente las relaciones proyectivas y euclidianas, en las que se consideran los objetos, sus representaciones y relaciones de acuerdo a sistemas proyectivos (longitudes y ángulos de un objeto dependen de la perspectiva con que se le mire) o ejes coordenados (nociones de volumen, profundidad, perpendicularidad, paralelismo, etc.). El equilibrio de las relaciones euclidianas se consigue más tarde que el de las proyectivas.

5.2. Desarrollo cognitivo espacial en niños con ceguera.

Existen pocos estudios publicados sobre cognición espacial en personas con ceguera. **Ochaíta (1984) realizó los tres experimentos piagetianos** (Piaget e Inhelder, 1947; Piaget & Szeminska, 1948) más conocidos y replicados, **“coordinación de perspectivas o prueba de la montaña”, “localización de un muñeco en un modelo de aldea” y “prueba de medición espontánea”,** en niños con ceguera y videntes de diferentes edades (7 a 15 años), para analizar la evolución del conocimiento espacial en ausencia de visión y analizar el papel de la experiencia visual. Los sujetos de su estudio se separaron en tres grupos: niños con ceguera congénita (C), videntes con los ojos tapados (VT) y videntes que

hacían uso de su visión (VV), además los sujetos de cada grupo se distribuyeron en cuatro niveles de edad.

Se contó con dos grupos control: VV y VT, para poder diferenciar entre el efecto de la ausencia de visión desde el nacimiento y los de la falta de ésta para la prueba, lo que permitió evaluar el papel de la experiencia visual en las tareas de conocimiento espacial.

Se comparó el rendimiento de los diferentes grupos de niños definidos por la modalidad sensorial, ceguera y edad.

- **Prueba “coordinación de perspectivas o prueba de la montaña”:**

Este experimento pretendió saber si los niños con ceguera congénita eran capaces de comprender una tarea que supone análisis de la perspectiva de un grupo de objetos. Se utilizó una maqueta sobre la cual habían pegado tres conos de diferentes colores, tamaños y texturas que representan montañas; cinco tarjetas que representaban las cuatro perspectivas de las montañas (en relieve y en su material correspondiente) vistas desde el centro de cada uno de los lados de la cartulina, más una perspectiva imposible; y un muñeco. Siguiendo la metodología de Piaget (1947) este experimento se dividía en dos subpruebas, en la primera el experimentador colocaba el muñeco en los cuatro lados de la maqueta y el niño debía encontrar la tarjeta con la perspectiva correspondiente (visualmente o táctilmente) en la segunda subprueba se realizaba de forma inversa.

Los resultados del experimento demostraron que **los niños con ceguera fueron capaces de comprender y realizar la tarea de forma bastante satisfactoria.** No resuelven la prueba mediante relaciones proyectivas o de “punto de vista”,

sino que **utilizan estrategias topológicas** y, sobre todo, **euclidianas**, llegando a comprender los conceptos de izquierda-derecha, delante-detrás relativos a un grupo de objetos y a la posición de un observador. **No hubo diferencias entre niños con ceguera y videntes con ojos tapados**, por lo tanto la experiencia visual no ayudó a estos últimos cuando trabajaban con el tacto, la dificultad de la tarea no se debe a que sea ciego o vidente, sino a que se perciba en forma háptica o visual. Los niños con ceguera pueden llevar a cabo problemas que suponen conocimiento espacial, pero con un importante retraso respecto a los videntes con visión funcional. A los 12-13 años los niños con ceguera igualan a los videntes más pequeños, para anularse las diferencias entre ellos a la edad de 14-15 años.

- **Prueba “localización de un muñeco en un modelo de aldea”**

Este experimento pretendió estudiar las relaciones espaciales topológicas y comprobar, si también en el caso de los niños con ceguera, estas relaciones primitivas dan origen a otras más evolucionadas de carácter euclidiano. Siguiendo la metodología de Piaget (1947), se presentaron dos maquetas iguales que representaban una aldea compuesta por una vía y una carretera que se cruzan, un sendero, dos casas y dos árboles. La prueba se dividió en dos partes, en la primera, subprueba A, se analizó una problemática de relaciones topológicas, donde se colocaron las dos maquetas en la misma posición y el experimentador puso un muñeco dentro de una de ellas, luego el niño debía situar otro muñeco en la misma posición y orientación en la otra maqueta. Enseguida en la subprueba B se rota en 180° la maqueta del sujeto con respecto a la otra y se realiza el mismo procedimiento de la prueba anterior pero en un orden de sucesión distinto. La rotación de la maqueta causa que para resolver la problemática se requieran relaciones de carácter proyectivo y euclidiano, considerando los puntos de referencia que entrega la maqueta del pueblo.

Las principales conclusiones de este experimento son que **las relaciones topológicas preceden en el desarrollo ontogénico de la comprensión espacial, a las proyectivas y euclidianas**, en niños videntes y con ceguera; y que éstos últimos pueden realizar tareas que implican conocimiento espacial, aunque con un **cierto nivel de retraso, de aproximadamente 4 años en las operaciones espaciales más sencillas (topológicas) y el mismo o incluso menor, en las más complicadas (proyectivas y euclidianas)**.

- **Prueba “medición espontánea”**

Este último ensayo evaluó hasta qué punto los niños con ceguera de nacimiento son capaces de resolver tareas de espacio euclidiano o métricas y, cómo es su evolución a medida que crecen. La metodología utilizada fue ubicar ante el niño una torre de cartón sobre una base y solicitarle construir una de igual longitud utilizando una serie de tacos ensartables y disponiendo de reglillas de diferentes tamaños. El experimentador anotaba como “espontánea” la primera respuesta que el niño daba, y en el caso de que ésta no fuera la esperada, se le indicaba utilizar otros procedimientos (medición “inducida”). Se registraban todas las respuestas.

Las conclusiones más destacables de este experimento son que los niños con ceguera son capaces de medir longitud con los mismos métodos empleados por los videntes, además siguen la misma progresión evolutiva (habilidades de medida mejoran con la edad). **Existe un retraso en la adquisición de conductas de medida en los niños con ceguera, el cual se anula en la adolescencia**. Igualmente, los resultados de los niños videntes con ojos cubiertos son muy similares a los videntes con visión funcional, por lo que se concluye que la experiencia visual tiene mayor importancia que la modalidad con la que se adquiere la información.

En resumen, la investigación realizada por Ochaíta (1984) concluyó que **los niños con ceguera de nacimiento son capaces de solucionar tareas que implican cognición espacial, partiendo fundamentalmente de los datos que les proporciona el sistema háptico**. El desarrollo del conocimiento espacial presenta un carácter evolutivo y uno de sus principales factores determinantes es la edad. El conocimiento espacial, por parte de los niños con ceguera, tiene un retraso con respecto al de los niños videntes, el cual es nivelado a los 12-13 años en problemas de espacio topológico y, luego en la adolescencia (14-15 años), en el caso del conocimiento de relaciones proyectivas y/o euclidianas.

5.3. Mapa cognitivo espacial

El comportamiento espacial depende en gran medida de la percepción visual, como por ejemplo, en el caso de un objeto que estamos observando y queremos llegar a él, el movimiento o trayectoria es guiado directamente por la percepción visual. Sin embargo, en el caso de la navegación en entornos más grandes, donde los objetivos no son visibles, es necesario un conocimiento espacial más completo que incluya la construcción de un mapa cognitivo espacial.

Un **mapa cognitivo espacial** es la representación mental que tenemos de un entorno. Toldman (1948) estableció que un mapa cognitivo tiene cierta analogía a un mapa cartográfico (modelo realidad a escala), pero se diferencia en que no es una representación estática, **es dinámico, incompleto, esquemático, puede distorsionar la realidad**, entre otras características.

El mapa cognitivo debe ser concebido como una amplia estructura de referencia que está dirigida a la acción, en la que una persona organiza actividades, actitudes y conocimiento, que sirve para dar seguridad e interpretar información nueva.

La adquisición del conocimiento espacial y la construcción de estos mapas cognitivos se logra a través de la experiencia, la que puede ser directa, a través de la navegación en el ambiente real o, indirecta, a través de mapas cartográficos, descripciones verbales, etc. No se adquiere una copia fiel de la realidad, sino que cada persona ve y reconstruye el mundo a través de sus experiencias, sentimientos, supuestos personales, sistema conceptual, etc.

La mayor parte de la información necesaria para crear estos mapas espaciales mentales se recopila a través del canal visual (Lynch, 1960). Las personas con ceguera carecen de esta información y, en consecuencia, se enfrentan a grandes dificultades en la generación de mapas mentales de espacios, y por lo tanto, en navegar de manera eficiente dentro de estos espacios.

Otras modalidades sensoriales como la audición, el olfato, el tacto y la propiocepción, también están implicados en el conocimiento espacial. Las personas con ceguera están obligados a utilizar estos canales sensoriales compensatorios y métodos de exploración alternativos (Jacobson, 1993). A través de su sentido auditivo, las personas con DV, pueden construir mapas cognitivos que incluyen información acerca de las relaciones espaciales de los objetos del entorno y sus características, lo que fue demostrado por el estudio de Papadopoulos et al. (2012), donde tres grupos de personas con ceguera ubicados en distintos ambientes exteriores, en distintos días y horarios, a través de la percepción auditiva vincularon señales auditivas con características espaciales específicas, como calles, edificios, parques, zonas verdes, estacionamientos y aceras, además de reportar una comprensión de las relaciones espaciales entre ellos y los demás objetos, y entre los objetos.

Como señala Millar (1994) parece demostrado, tanto por los resultados conductuales como por la evidencia neuropsicológica, que **las funciones especializadas de las modalidades sensoriales se complementan unas a**

otras y que, la información que procesan las distintas modalidades converge y se solapa parcialmente.

5.3.1. Componentes del mapa cognitivo

Siegel & White (1975) establecen que los elementos más relevantes del mapa cognitivo son las **sendas o rutas** por las que las personas se mueven para ir de un lugar a otro, y los **mojones, hitos o puntos de referencia**, que se refieren a lugares perceptivamente distintivos, fácilmente reconocibles desde lejos (para las personas videntes), además posiblemente son suficientes para poder navegar en el entorno espacial. También, señalan que las representaciones más complejas implican un conocimiento de las **relaciones espaciales** entre los elementos que lo conforman.

Además de la **información localizacional** anteriormente señalada, los mapas cognitivos también incluyen **información atributiva-contextual**: cómo son los lugares, qué función tienen, qué acontecimientos suceden en ellos, cuándo ocurren, etc.. Ambos tipos de información permiten planificar conductas, tomar decisiones y resolver problemas ambientales (Downs & Stea, 1973,1977).

Con respecto a la información atributiva-contextual, se puede decir que al moverse por la ciudad, aprender y elaborar su esquema espacial, además de integrar conocimiento sobre puntos de referencia y rutas, se adquiere una topografía mental de estrés y peligrosidad que permite evitar ciertas áreas (Gould & White, 1974).

5.4. Orientación espacial

El desarrollo de un mapa cognitivo espacial es fundamental para las tareas que implican orientación y movilidad (O&M), como se señaló previamente.

En el ámbito de la rehabilitación de personas con DV, se ha definido como **Orientación** a la capacidad de utilizar información perceptiva para establecer y mantener la posición en el espacio; y **Movilidad** como la habilidad de desplazarse con seguridad, eficiencia y fluidez dentro de un entorno (Hill, 1976). Ambos procesos son interdependientes, lo que explica que no sea posible un desplazamiento independiente sin una adecuada representación mental de un determinado ambiente.

5.4.1. Componentes de la orientación espacial

La orientación espacial implica procesos cognitivos y perceptivos. Rieser, Guth & Hill (1982), identifican tres componentes de la misma: **el conocimiento del entorno espacial, la actualización espacial y el conocimiento de los conceptos espaciales y sistemas de referencia**, los cuales se describen a continuación.

- **Conocimiento espacial**

Según Carreiras (1986), los tres elementos principales del mapa cognitivo espacial pueden conceptualizarse como diferentes tipos de conocimiento o etapas progresivas de la representación espacial. El conocimiento espacial progresa con la experiencia desde la representación de puntos de referencia y rutas que los conectan hasta una visión configuracional.

El **conocimiento de puntos de referencia** permite coordinar decisiones y acciones en el espacio. El **conocimiento de rutas** representa implícitamente las distancias de los tramos en la ruta, indicios locales de orientación y la orientación de los puntos de referencia a lo largo de la ruta (por ejemplo 20 pasos en línea recta, giro a la derecha de 90° y 20 pasos más) (Coco-Martín & Herrera, 2015).

Por último, el **conocimiento espacial configuracional**, es una representación más completa y flexible del medio ambiente. Un individuo con conocimiento configuracional, entiende la relación espacial entre los diferentes puntos de referencia, independiente de las rutas que conectan a estos lo que facilita las inferencias espaciales (Siegel & White, 1975).

- **Actualización espacial**

Carreiras & Codina (1993) afirman que el mapa cognitivo es una entidad dinámica, ya que se va modificando con la integración de nueva información procedente de la interacción con el entorno, lo que puede generar el cambio de algunas decisiones o del plan de desplazamiento.

- **Conocimiento de conceptos espaciales**

Durante la navegación espacial, las personas con un buen repertorio de conceptos espaciales, presentan menos dificultades para establecer su localización en el entorno, la relación entre ésta y los objetos que le rodean y entre los mismos. Es necesario interpretar los puntos de referencia, como elementos que facilitan pistas relativamente permanentes y fácilmente detectables, que son distintivas dentro de su entorno, por ejemplo, conocer la disposición de bordillo-acera-línea de pared, que es común en calles de zonas urbanas, conocer los sistemas de numeración de las calles para establecer la

lejanía del punto de destino y las posiciones del reloj para identificar la localización de objetos en una habitación, etc. (Coco-Martín & Herrera, 2015).

- **Sistemas de referencia**

Son aquellos mediante los cuales se establece la posición en el espacio. Tienen que ver con la adquisición del conocimiento espacial que una persona puede obtener de un nuevo entorno. Existen distintos tipos (Millar, 1994):

- **Egocéntrico:** Se basa en la posición del propio cuerpo para determinar la localización de otros objetos y/o lugares del espacio, (por ejemplo: la habitación está a mi derecha, la cocina a mi izquierda), por lo que presentan un uso limitado y precario, ya que a medida que la persona con DV se desplaza, cambian todas las relaciones espaciales entre los lugares y su propia posición.
- **Fijo o local:** Sistema de referencia alocéntrico, es decir, que es independiente del observador, basado en la localización de elementos ambientales próximos a la posición de la persona. Esto incluye la relación de su posición y la de otros aspectos del entorno, a partir de un elemento objetivo e identificable (punto de referencia). Dicha organización espacial puede permitir el logro de una representación global del ambiente.
- **Abstracto:** Sistema de referencia alocéntrico. Permite coordinar las relaciones espaciales entre lugares próximos y lejanos. Su uso es complejo, por no estar basado en referencias próximas y objetivables, como es el caso de la orientación a través del uso de los puntos cardinales (polarcéntrica). Su utilidad es cuestionable para las personas

con DV, debido a su abstracción y la poca precisión de las apreciaciones que se pueden efectuar a través de él. Sin embargo, existen otros sistemas basados en el mismo principio y que son más funcionales, que pueden entregar información adicional que ayude a tomar decisiones sobre el comportamiento espacial de manera más estable y comunicable a los demás. Por ejemplo, el empleo de un sistema de referencia basado en la posición del mar y la montaña para un sujeto que habite en una ciudad costera.

Algunos estudios con personas con ceguera han demostrado que, aunque la ausencia de visión no impide la creación de representaciones espaciales, éstas se limitan principalmente a las representaciones egocéntricas (Corazzini et al., 2010; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997); a pesar de esto las personas con ceguera también pueden utilizar sistemas de referencia allocéntricos (Millar, 1994; Morrongiello et al., 1995; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

5.5. Factores determinantes del conocimiento espacial

Existen distintos factores que determinan o modulan la capacidad de una persona para conocer y generar un mapa cognitivo de su entorno: **edad, experiencia con el espacio (aprendizaje), tamaño y complejidad del espacio**. En el caso de una persona con ceguera y DV se suman a éstos la **experiencia visual previa y las habilidades compensatorias**.

Ochaíta et al. (1991) realizaron una investigación con estudiantes con DV, en la que demostraron que **el desarrollo (edad) y el aprendizaje (cantidad, n° de sesiones), son factores determinantes en el conocimiento y representación**

espacial de un entorno; en cambio las variables tamaño del espacio y experiencia visual no influyen estos procesos.

Con respecto a **la regularidad de un entorno, se puede decir que afecta la rapidez con que una persona es capaz de aprender las relaciones espaciales**, si el ambiente espacial es regular es más rápido, ya que las locaciones pueden determinarse por el marco de referencia, por lo que todo el entorno se codifica en relación a estos ejes abstractos. En cambio si el ambiente es irregular es más lento ya que es difícil usar un marco de referencia (Hart & Moore, 1973; Piaget e Inhelder, 1967). Esto también fue demostrado por el estudio de Ochaíta & Espinoza (1997), en el que a un grupo de estudiantes se les enseñó una ruta urbana irregular o regular, utilizando aprendizaje directo (cuatro sesiones en espacio real) y luego se les solicitó estimación de distancias y direcciones. Inicialmente, se encontró que presentaban más errores los sujetos de la ruta irregular, pero que luego de las cuatro sesiones no hay diferencias entre ambos espacios.

Tal como se revisará más tarde, los EV permiten estudiar el conocimiento y comportamiento espacial; además, sirven para el desarrollo y mejora de habilidades de O&M y contribuyen a aumentar el conocimiento espacial y a la construcción de mapas cognitivos espaciales en personas con ceguera y DV.

6. Neuroplasticidad

Teniendo en cuenta que debido a la ausencia de visión las personas con ceguera deben adquirir el conocimiento espacial a través de sus sentidos restantes, lo que

genera cambios estructurales en su cerebro, se hace necesario destacar algunos aspectos generales de la neuroplasticidad.

La **plasticidad neuronal o neuroplasticidad**, es la capacidad que tiene el cerebro para establecer nuevas conexiones nerviosas. Esta propiedad intrínseca del cerebro, le permite adaptarse a lo largo de toda su vida útil a los cambios del medio ambiente, cambios fisiológicos, experiencias; en otras palabras, es la respuesta a la información nueva, a la estimulación sensorial, al desarrollo, al aprendizaje, a la disfunción o al daño (Amedi et al., 2005).

En el caso de la **ceguera**, puede producirse **neuroplasticidad crossmodal** después de la pérdida sensorial. En este tipo se produce una reorganización adaptativa de las conexiones neuronales para integrar la función de dos o más sistemas sensoriales, generalmente luego de una privación sensorial causada por alguna patología o daño cerebral. En la ceguera congénita, la plasticidad crossmodal puede fortalecer otros sistemas sensoriales para compensar la falta de visión, a través de nuevas conexiones con la corteza cerebral que no recibe más entrada sensorial (Amedi et al., 2005).

La neuroplasticidad es mayor en el cerebro inmaduro que en el de un adulto, ya que en los primeros años de vida las estructuras nerviosas se encuentran en un proceso madurativo. Durante este periodo crítico, que dura desde el nacimiento hasta aproximadamente los inicios de la pubertad, los circuitos neuronales poseen gran plasticidad y la ausencia de estimulación adecuada tiene importantes consecuencias funcionales (Morales et al., 2003).

Algunos estudios señalan que la plasticidad crossmodal funcionalmente relevante no se extiende más allá de este periodo crítico (Cohen et al., 1999). Sin embargo,

existen otras investigaciones que sugieren que la reorganización crossmodal puede producirse incluso en el cerebro humano maduro (Kujala et al., 1997).

Para estudiar la plasticidad cerebral se han utilizado diferentes técnicas de neuroimagen como por ejemplo, la **resonancia magnética funcional (RMf)**, la cual permite identificar las áreas del cerebro que se encuentran activas, a diferencia de las imágenes tradicionales de **resonancia magnética (RM)** que solo dan una visión anatómica del cerebro; y la **tomografía por emisión de positrones (PET)**, en la que se mide la actividad metabólica del cuerpo humano. Se han desarrollado y/o adaptado EV para poder utilizarse dentro de los equipos de neuroimagen. La interacción con un EV durante la realización de las imágenes por RMf permite identificar las zonas del cerebro que están asociadas a una determinada tarea conductual, que está realizando el usuario en el EV.

Con los mismos fines, se ha usado la **estimulación magnética transcraneal (EMT)**, la que puede transitoriamente perturbar funciones cognitivas específicas (Cohen et al., 1997). Más adelante se mostrará aplicaciones de estas distintas técnicas en el estudio de la neuroplasticidad en la ceguera.

6.1. Neuroplasticidad y ceguera

Numerosos estudios han mostrado diferencias significativas en el cerebro de las personas con ceguera, principalmente en las áreas visuales, como consecuencia de la falta de actividad en dichas regiones. Además, existe una mayor neuroplasticidad crossmodal en personas con ceguera, que se ve reflejada en que las áreas relacionadas con la visión sean reclutadas y activadas por otras modalidades sensoriales como la audición y el tacto (Théoret et al., 2004; Pascual-Leone et al., 2005; Cohen et al., 1997; Leporé et al., 2010).

Leporé et al., (2010) compararon las estructuras cerebrales de personas con ceguera de inicio temprano, como tardío y videntes, encontrando importantes déficit en la corteza visual primaria y secundaria, tanto en personas con ceguera de inicio temprano como tardío. Áreas fuera del lóbulo occipital mostraron hipertrofia significativa, principalmente en personas con ceguera temprana, lo que sugiere adaptaciones compensatorias. Además, encontraron déficits en el esplenio y el istmo, en personas con ceguera temprana pero no en personas con ceguera de inicio tardío, ambas estructuras muy importantes para la conectividad interhemisférica asociada con los procesos visuales y visuoespaciales (Hofer & Frahm, 2006; Zarei et al., 2006).

A diferencia del estudio anterior, diferentes investigaciones en personas con ceguera de inicio tardío, no han encontrado déficit específicos en el área visual primaria y secundaria (Schoth et al., 2006).

A continuación, se destacan algunos resultados y conclusiones de investigaciones sobre neuroplasticidad y ceguera, los que posteriormente se exponen en el Tabla 1. Estudios sobre neuroplasticidad y ceguera, para una mejor comprensión.

- **Corteza visual y percepción auditiva**

Las personas con ceguera presentan **mejor discriminación espacial auditiva** (Ashmead et al., 1998) y **habilidades superiores de localización de fuentes de sonido en el espacio**, que las personas videntes (Lessard et al., 1998; Röder et al., 1999).

Con el fin de investigar las bases neuronales de estas diferencias, Gougoux et al. (2005) realizaron un estudio con neuroimágenes funcionales, utilizando PET y tareas de localización de sonidos binaural y monoaural (un oído tapado), en personas con ceguera temprana. Los resultados arrojaron que, durante la

localización de sonido binaural, en las personas videntes disminuyó el flujo sanguíneo cerebral en el área occipital (área visual), lo que no ocurrió en las personas con ceguera temprana. En la localización de sonido monoaural, las personas con ceguera con habilidades superiores de localización de sonidos, presentaron dos focos de activación en la corteza occipital, lo que no se observó en el resto de los participantes. Por lo tanto, este estudio comprobó que, **las personas con ceguera temprana, reclutan áreas occipitales en el contexto de la localización auditiva** y, que existe una importante correlación entre el rendimiento en la localización de sonidos monoaurales y el aumento en la actividad de la corteza occipital, lo que sugiere que esta área cerebral es reclutada específicamente para procesar señales sutiles monoaurales con mayor eficacia.

- **Corteza visual y percepción táctil**

Estudios de neuroimagen funcional en personas con ceguera temprana, han revelado que su **corteza visual primaria puede ser activada por la lectura Braille y otras tareas de discriminación táctil** (Sadato et al., 1996). Por otra parte, Rauschecker (1995) confirmó que las áreas corticales visuales pueden ser activadas por la entrada somatosensorial en animales con ceguera (gatos y hurones).

Cohen et al. (1997), utilizaron EMT de la corteza occipital para interrumpir su función en las personas con ceguera temprana, mientras identificaban Braille o letras romanas en relieve. La estimulación de la corteza occipital indujo errores en ambas tareas y distorsionó las percepciones táctiles de las personas con ceguera. En contraste, la estimulación occipital no tuvo ningún efecto en el rendimiento táctil en las personas videntes, pero si perturbó su rendimiento visual. Estos resultados demostraron que la ceguera, desde una edad temprana, puede hacer

que la corteza visual sea reclutada para tener un rol en el procesamiento somatosensorial. Esta plasticidad crossmodal podría explicar -en parte- las capacidades perceptivas táctiles superiores.

- **Corteza somatosensorial**

Pascual-Leone & Torres (1993), estudiaron la organización de la corteza somatosensorial en lectores de Braille competentes a través de potenciales evocados y EMT, demostrando que la representación cortical del dedo índice (dedo utilizado para la lectura en Braille), era más grande que la de los controles videntes y no lectores de Braille. Lo mismo ocurre al comparar la representación cortical del dedo con que realizan la lectura Braille con la del dedo homólogo de la mano contraria.

- **Corteza auditiva**

Elbert et al. (2002) observaron aumento en las zonas tonotópicas de la corteza auditiva en personas con ceguera. Estos cambios pueden ser una consecuencia de la ausencia de entrada visual en combinación con una mayor actividad auditiva generada por la concentración de las personas con ceguera en las señales no visuales para obtener información e interactuar con el entorno, como por ejemplo para localizar con precisión fuentes sonoras.

- **Hipocampo**

El hipocampo es una estructura cortical, que desempeña un importante papel en el desarrollo de la memoria y en la navegación espacial. Las personas con ceguera deben memorizar mucha información, para compensar su falta de actualización inmediata de la información espacial, lo que genera un aumento de

la demanda sobre la cognición espacial y la memoria, que puede estar asociado con la plasticidad funcional y estructural del hipocampo.

Fortin et al. (2008), realizaron un estudio donde compararon y analizaron las habilidades de navegación y las diferencias estructurales en el hipocampo, a través de imágenes obtenidas por RM, en personas con ceguera de inicio temprano y tardío. Sus resultados revelaron grandes volúmenes de las porciones anteriores del hipocampo, en personas con ceguera comparados con personas videntes. Estas **diferencias de volumen del hipocampo fueron acompañadas de múltiples mejoras de comportamiento espacial**, en las personas con ceguera, incluso éstos mostraron habilidades de navegación superiores a los videntes, al aprender nuevos caminos en un entorno de laberinto, y también habilidades superiores para reconocer diseños táctiles que representan entornos espaciales de pequeña escala, explorados anteriormente.

Estos resultados son apoyados por otro estudio de Leporé et al. (2009), donde se examinó las diferencias locales de tamaño y forma en el hipocampo de personas con ceguera y DV, utilizando imágenes obtenidas por RM. Los resultados mostraron diferencias anatómicas significativas, pero sólo en el hipocampo derecho, la porción anterior fue significativamente más grande y la porción posterior significativamente menor en las personas con ceguera, en cambio en el hipocampo izquierdo no se encontró diferencias significativas.

Las diferencias estructurales del hipocampo, en personas con ceguera detectadas en ambos estudios (Fortín, 2008; Leporé, 2009), podrían reflejar respuestas de adaptación a la privación visual y/o aumento de las exigencias de las funciones de memoria.

Tabla 1. Estudios sobre neuroplasticidad y ceguera.

Autores y año	Área estudiada	Técnica utilizada	Resultados y conclusiones más destacadas
Pascual-Leone & Torres, 1993	Corteza somatosensorial	Potenciales evocados auditivos y EMT	La representación cortical del dedo índice (dedo utilizado para la lectura en Braille) en personas con ceguera es más grande que la de los controles videntes y no lectores de Braille.
Rauschecker, 1995	Corteza visual y percepción táctil		Áreas corticales visuales pueden ser activadas por la entrada somatosensorial en animales con ceguera.
Sadato et al., 1996	Corteza visual y percepción táctil	PET	La corteza visual primaria de personas con ceguera temprana puede ser activada por la lectura Braille y otras tareas de discriminación táctil.
Elbert et al., 2002	Corteza auditiva	Potenciales evocados auditivos	Se encontró un aumento en las zonas tonotópicas de la corteza auditiva en personas con ceguera , lo que puede ser una consecuencia de la ausencia de entrada visual en combinación con una mayor actividad auditiva.
Gougoux et al., 2005	Corteza visual y percepción auditiva	PET	Personas con ceguera reclutan áreas occipitales en el contexto de la localización auditiva.
Schoth et al., 2006	Corteza visual	RM	No se encontró déficit específicos en el área visual primaria y secundaria en personas con ceguera de inicio tardío.
Fortín et al., 2008 Leporé et al., 2009	Hipocampo	RM	Se encontró mayor volumen de la porción anterior del hipocampo en personas con ceguera comparados con videntes. Estas diferencias fueron acompañadas de múltiples mejoras del comportamiento espacial en las personas con ceguera.
Leporé et al., 2010	Corteza visual y otras estructuras cerebrales	RM	Se encontró déficit en la corteza visual primaria y secundaria en personas con ceguera de inicio temprano como tardío. Áreas fuera del lóbulo occipital mostraron hipertrofia significativa, principalmente en personas con ceguera temprana, lo que sugiere adaptaciones compensatorias.

7. Entornos Virtuales

A pesar de que inicialmente la **Realidad Virtual** (RV) se centró en el ámbito de los videojuegos y luego en el entrenamiento militar; con el paso de los años han disminuido sus costos extendiendo su uso a otras áreas como: educación, arquitectura, deporte, industria automotriz, medicina, arqueología e investigación. Particularmente, considerando el interés de este trabajo, se debe destacar que en los últimos años también se ha comenzado a utilizar para investigaciones sobre cognición espacial y en la rehabilitación de personas con ceguera y DV para el entrenamiento en habilidades de O&M y otras habilidades cognitivas (Lahav et al., 2012; Merabet et al. 2012).

En términos generales, la **Realidad Virtual** (RV) puede ser definida como la simulación de objetos o entornos físicos reales en 3D por medio de la tecnología informática, lo que genera objetos virtuales y EV respectivamente¹.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que **los EV permiten a sus usuarios simular experiencias interactivas en un ambiente que parece real**, donde cada una de sus acciones afectará de forma directa a las imágenes y/u otros estímulos sensoriales que percibirá.

Es importante destacar que la interacción con un EV generalmente es una experiencia multisensorial, a través de diversos estímulos sensoriales como sonido, vídeo e imágenes. Además, con el desarrollo de la tecnología se han

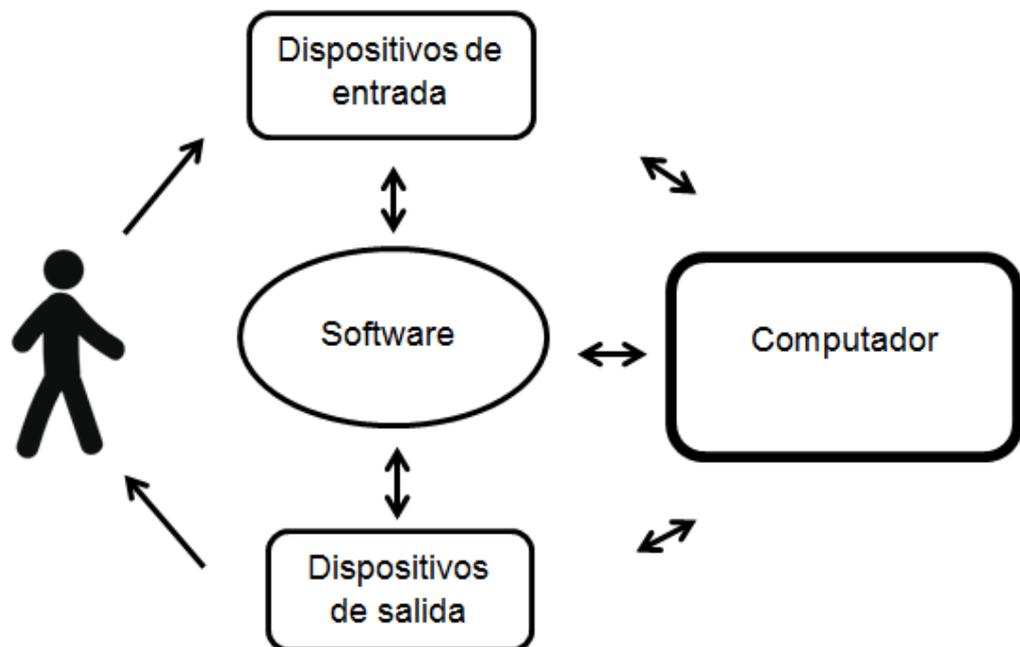
¹ A modo de ilustración el Diccionario Oxford define la RV como: *“The computer-generated simulation of a three-dimensional image or environment that can be interacted with in a seemingly real or physical way by a person using special electronic equipment, such as a helmet with a screen inside or gloves fitted with sensors.”* http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/ingles_americano/virtual-reality

incluido el tacto o la fuerza de respuesta a través de dispositivos hápticos, que hacen la experiencia aún más “real”.

7.1. Componentes de los Entornos Virtuales

Un EV, como todo sistema de RV, se compone de dos subsistemas principales: el **hardware** y el **software**. El **hardware** incluye **computador, dispositivos de entrada y dispositivos de salida**, mientras que el **software** se puede dividir en **software de aplicación y la base de datos** (Bamodu & Ye, 2013) (Esquema 1).

Esquema 1. Componentes de un Entorno Virtual



Descripción de los componentes de un Entorno Virtual:

- **Computador:** Motor o sistema informático del EV responsable del procesamiento gráfico, representación de objetos, iluminación, cartografía, texturizado, sonido, simulación y visualización en tiempo real. También se encarga de la interacción con los usuarios y sirve como una interfaz con los dispositivos de entrada y salida.
- **Dispositivos de entrada:** Medios por los cuales el usuario interactúa con el mundo virtual. Se encargan de capturar las acciones del participante y enviar la información al computador, a fin de proporcionar reacciones apropiadas de vuelta al usuario a través de los dispositivos de salida en tiempo real. Algunos ejemplos de dispositivos de entrada son el teclado, mouse, joystick, guantes y HMD con sensores de posición y movimiento, micrófonos (sistemas de reconocimiento de voz), etc.
- **Dispositivos de salida:** Dispositivos con los que se transmite la retroalimentación desde el computador del EV a los usuarios, la que permite la estimulación de sus sentidos (sonidos, imágenes, fuerzas, etc.). Se clasifican en función del sentido al cual estimulan: gráficos (visual), audio (auditivo), hápticos (tacto o fuerza), olfato y el gusto. Los dispositivos gráficos son los utilizados con mayor frecuencia en los EV, algunos ejemplos son los monitores de visualización estéreo y los HMD. También, existen los dispositivos de audio, un ejemplo de éstos, son los sistemas de sonido 3D, que permiten producir sonidos en diferentes ubicaciones para hacer que el EV sea más real. Por otra parte, los dispositivos hápticos²

² Algunos ejemplos de dispositivos hápticos son el Geomagic® Phantom® Premium™ (Geomagic, 2015), Novint Falcon® (Novint, 2012) y el GloveOne (NeuroDigital Technologies, 2014), que funcionan como dispositivos de entrada y salida.

permiten que el usuario perciba táctilmente los objetos virtuales, a través de señales electrónicas o mecánicas.

- **Software:** Conjunto de herramientas para el diseño, desarrollo y mantenimiento del EV y, la base de datos donde se almacena la información. Se pueden clasificar en herramientas de modelado y de desarrollo. Las primeras permiten diseñar el modelo geométrico 3D del EV; las segundas permiten la interacción con el EV en tiempo real, incluyen tecnología de seguimiento, detección de colisiones, procesamiento de sonido, tecnologías hápticas, etc.

7.2. Tipos de Entornos Virtuales

La investigadora Jansen-Osmann describe dos tipos de EV: los **sistemas de escritorio** y los **inmersivos**. En ambos casos, las vistas de los objetos son modificados mediante la manipulación de un dispositivo de entrada (teclado, joystick, mouse, HMD, etc.) creando rotaciones y translaciones de la vista del usuario. Los sistemas de escritorio muestran el EV en un monitor de computadora o en una pantalla de proyección, en cambio, los sistemas inmersivos utilizan dispositivos como los HMD, de modo que no hay rastros visuales del mundo real y, mediante un sistema de seguimiento se registran los movimientos de cabeza, dando al usuario la impresión de estar completamente inmerso en el EV.

7.3. Entornos Virtuales aplicados a la investigación sobre cognición espacial

Antes de revisar las aplicaciones de los EV para personas con ceguera y DV, se hace pertinente considerar los estudios sobre conocimiento y comportamiento espacial que utilizan como medio los EV. En este sentido, se destacarán especialmente los trabajos de **Petra Jansen-Osmann**.

La investigación sobre el conocimiento y el comportamiento espacial en entornos reales, presenta limitaciones de validez interna debido a la dificultad para controlar todas las variables (iluminación, número, posición y naturaleza de los puntos de referencia presentes en una ruta, etc.); lo que puede ocasionar problemas metodológicos en los estudios. Durante los últimos años, han surgido los EV como una alternativa para la investigación sobre la cognición espacial.

Jansen-Osmann afirma que **la RV permite desarrollar ambientes que son realistas, complejos, económicos y que permiten un control experimental completo**. Todos los aspectos del entorno pueden ser manipulados de forma sistemática y rápida. Esto hace que el comportamiento espacial sea más fácil de investigar y, también, que se pueda evaluar el conocimiento espacial directamente, sin recurrir a métodos indirectos como el dibujo de mapas, que dependen, al menos en parte, de habilidades cognitivas generales.

Jansen-Osmann et al. (2007a), investigaron el efecto de la regularidad de la estructura del ambiente en el conocimiento espacial de niños y adultos, utilizando un EV de escritorio (Software 3D GameStudio A5), que representa un laberinto, en dos versiones: una con estructura regular y simétrica y, otra irregular y asimétrica. La variación de la simetría y regularidad de la estructura del entorno, no reveló ninguna influencia significativa en el conocimiento espacial de niños y adultos.

Los mismos investigadores, utilizando el software anterior, realizaron un estudio similar donde investigaron la influencia de la estructura del ambiente (regularidad y simetría) en el comportamiento y en el conocimiento espacial de niños y adultos (Jansen-Osmann et al., 2007b). Los resultados arrojaron que la estructura del ambiente tendía a influir solamente en el desempeño de navegación de los niños más pequeños (7 a 8 años) y, no tuvo ningún efecto sobre el conocimiento espacial de adultos y niños de diferentes edades y, lo cual apoya la idea de una disociación entre el comportamiento y el conocimiento espacial. Además, el comportamiento de exploración no difirió entre los participantes del estudio y, en casi todas las mediciones de desempeño de navegación y de conocimiento espacial se encontró un progreso en el desarrollo global de los niños más pequeños a los adultos, lo que sugiere que el desarrollo cognitivo general es importante para el aprendizaje espacial.

Anteriormente, Jansen-Osmann et al. (2006), utilizando un EV demostraron que el **aprendizaje anterior de un mapa estructural**, que implica sólo información sobre la estructura del entorno, sólo **influyó en el conocimiento espacial, pero no en el comportamiento espacial**, lo que también proporciona evidencia empírica de una disociación entre el comportamiento y el conocimiento espacial.

Por otra parte, Waller et al. (1998) en un estudio analizaron variables (como fidelidad, tiempo de entrenamiento) que pueden intervenir en la transferencia del conocimiento espacial adquirido en un EV a la experiencia en el mundo real. Sus resultados, mostraron que **el entrenamiento en un EV de baja fidelidad permite a sus usuarios desarrollar representaciones mentales de un espacio navegable a gran escala**. Además, periodos cortos de entrenamiento en un EV inmersivo, fueron más eficaces que el mismo tiempo en un EV de escritorio pero, fueron menos eficaces que el entrenamiento con un mapa del entorno. Sin embargo, con mayor entrenamiento en un EV inmersivo, se supera al rendimiento

adquirido con un mapa, e incluso puede ser indistinguible al del mundo real, en cuanto a tareas que requieren conocimiento de ruta. En relación al conocimiento configuracional del entorno real, este fue mayor en los participantes entrenados con el mapa del entorno, lo que sugiere que incluir estos elementos durante el entrenamiento en un EV podría mejorar la adquisición de conocimiento configuracional.

7.4. Entornos Virtuales para personas con ceguera y discapacidad visual

Al revisar la literatura se encontró que durante las dos últimas décadas se han comenzado a realizar **investigaciones sobre software de EV para el aprendizaje y entrenamiento de personas con ceguera y DV**, con el objetivo de estimular el desarrollo y mejora de habilidades de O&M, habilidades de resolución de problemas y otras habilidades cognitivas.

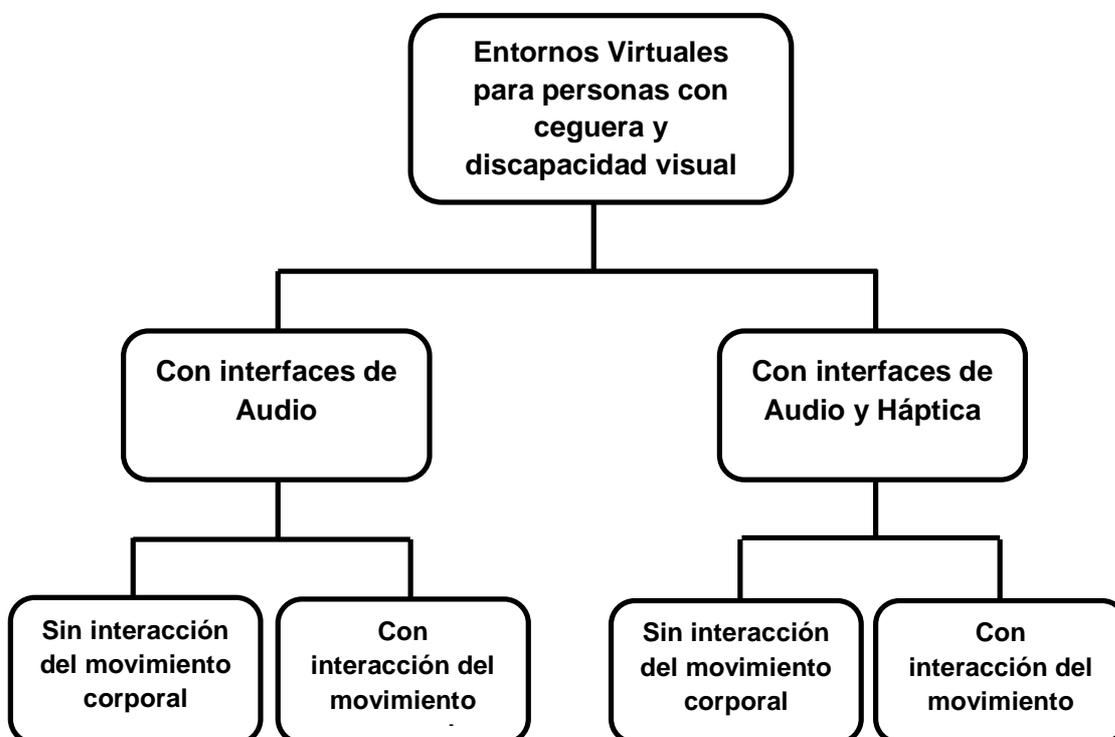
Los EV para personas con ceguera y DV son representados a través de interfaces de audio, como por ejemplo sonidos ambientales, que simulan el entorno espacial, e información instruccional para el usuario. Adicionalmente, se han integrado interfaces hápticas que pueden permitir una representación mucho más completa y “real” del espacio, agregando información sobre superficies, texturas y fuerzas presentes en el entorno (Lahav & Mioduser, 2008; Sánchez et al. 2014). Algunos de los dispositivos hápticos utilizados han sido el Novint Falcon, el Phantom (SensAble Technologies) y el Microsofts SideWinder Force Feedback Joystick; a través de éstos, el usuario recibe feedback háptico del EV, lo que le permite reconocer objetos, superficies, paredes y pasillos, logrando generar un mapa mental del espacio recorrido.

Por otra parte, en el caso de las personas con algún remanente visual, es útil el uso de interfaces gráficas de alto contraste. Además, esta información visual permite que el facilitador sepa cómo está interactuando el usuario con el EV y pueda ayudarlo si fuese necesario (Sánchez et al., 2014; Lahav et al., 2015).

También es importante destacar que hay EV donde el usuario interactúa utilizando el movimiento de su propio cuerpo, lo que aumenta el grado de interactividad.

Para comprender los distintos tipos de EV para personas con ceguera y DV, se establece una clasificación según tipo de interface e interacción o no con el movimiento corporal (Esquema 2).

Esquema 2. Clasificación Entornos Virtuales para personas con ceguera y discapacidad visual.



Seguidamente, se describirán los principales estudios sobre EV para el entrenamiento de personas con ceguera y DV, los que posteriormente se resumen en la Tabla 2. Estudios sobre Entornos Virtuales para el entrenamiento en O&M de personas con ceguera y discapacidad visual.

7.4.1. Entornos Virtuales con interfaces de audio sin interacción del movimiento corporal

Desde el año 1992, investigadores del Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento (C5) de la Universidad de Chile, Santiago de Chile, bajo la dirección del Profesor Jaime Sánchez, han desarrollado software de EV interactivos basados en audio para el aprendizaje de personas con ceguera y DV, entre ellos, **AudioDoom** (Lumbreras & Sánchez, 1998), **AudioChile** (Lumbreras & Sánchez 1999), **AudioMetro** (Sánchez & Maureira, 2007), **AbES** (Merabet & Sánchez, 2009), y, posteriormente, también algunos que combinan interfaces de audio y háptica como **Movawii** (Sánchez et al., 2011) y **Audiopolis** (Sánchez et al., 2014).

En especial, se destaca, **AudioDoom** (Lumbreras & Sánchez, 1998), videojuego pionero de EV con interfaces de audio, con el objetivo de propiciar el juego en niños con ceguera, mejorar sus habilidades de O&M y sus habilidades para la resolución de problemas. Este software interactivo se inspira en el juego computacional **Doom** (Id Software, Mesquite, TX), en el cual el jugador se desplaza por un laberinto, ubicando distintos elementos y evitando monstruos. A través de **claves espectrales**, por ejemplo, **sonidos de pasos o golpes con nudillos en las puertas**, luego de cada uno de los pasos dados entrega información del contexto espacial al jugador. El jugador a través del teclado, mouse o joystick puede desplazarse e interactuar con el EV.

Para evaluar la usabilidad e impacto de **AudioDoom**, Lumbreras & Sánchez, (1998), realizaron un estudio con un grupo de 7 niños con ceguera temprana, con edades comprendidas entre 8 a 11 años. Los participantes interactuaron con el software durante dos meses, logrando generar un mapa cognitivo espacial del EV, lo cual fue demostrado reconstruyendo la estructura espacial con Lego® con un alto grado de fidelidad. Además, los profesores informaron que estos niños, luego de jugar **AudioDoom**, **mejoraron sus habilidades cognitivas y de resolución de problemas**, e incluso aumentaron la confianza en sí mismos. Los niños manifestaron que el juego era entretenido.

Figura 1: Niño interactuando con AudioDoom (Fuente: Grupo C5, http://www.c5.cl/audio/pags/software/audio_doom/pages/Mvc-269f.htm)



El año 2009, el grupo C5, creó **AbES (Audio-Based Environment Stimulator)** (Merabet & Sánchez, 2009), *software* interactivo basado en audio, que permite que un usuario con ceguera **navegue a través de una representación virtual** de un espacio real con el objetivo de entrenarlo en sus habilidades de navegación. Este software cuenta con un editor de planos que permite al investigador

representar virtualmente cualquier espacio físico deseado. El usuario a través del uso de audífonos estéreo tiene feedback auditivo a su izquierda, centro y derecha y, todas sus acciones se llevan a cabo mediante un teclado, las cuales tienen asociadas un sonido particular. Además, señales de audio hablado entregan información sobre los distintos obstáculos y la orientación del usuario en el espacio (puntos cardinales). **AbES** cuenta con métodos de recolección de datos que permiten el posterior análisis del comportamiento espacial.

Este software incluye **tres modos de interacción**: “navegación libre”, “navegación dirigida” y modo de “juego”.

Merabet et al. (2012) evaluaron el impacto cognitivo de la interacción con **AbES** en un grupo de 17 personas (9 hombres y 8 mujeres, con edades entre 19 y 44 años) con ceguera temprana que no conocían el edificio de destino. Se separaron al azar en dos grupos, un grupo debía interactuar con **AbES** en el modo “juego” y, otro grupo en el modo “navegación dirigida”. Todos los participantes recibieron entrenamiento con el software y luego fueron llevados al edificio real donde se midió su rendimiento de navegación mediante pruebas. Los resultados demostraron que **ambas estrategias de aprendizaje permitieron la generación de una representación espacial precisa** y, que la información espacial adquirida a través de la navegación virtual **pudo ser transferida a tareas de navegación en el edificio real**. El rendimiento de navegación fue superior en el grupo que entrenó en el modo “juego”, ya que en las tareas de navegación elegían las rutas más cortas, independientemente de su punto de partida inicial.

En un estudio posterior, Connors et al. (2014), reafirmaron los resultados anteriores, utilizando **AbES** en un grupo de 38 personas entre 18 y 55 años (20 hombres y 18 mujeres) con ceguera profunda temprana o tardía. Los participantes se dividieron en tres grupos al azar, un grupo modo juego, otro modo

navegación dirigida y un tercer grupo control que también interactuó con **AbES** con la estrategia de juego pero con un edificio distinto al objetivo. Los dos grupos experimentales fueron capaces de **generar el mapa cognitivo del edificio** objetivo, evidenciando una **transferencia del aprendizaje** en todas las tareas de navegación, tanto en el EV como real, sin existir diferencias estadísticamente en cuanto a tipo de estrategia de aprendizaje, experiencia en O&M (ceguera temprana y tardía), edad y sexo. Los participantes del grupo control fueron incapaces de lograr cualquiera de las tareas de navegación solicitadas. Con respecto a las tareas de salir del edificio, se encontraron los mismos resultados que el estudio anterior.

Los resultados de ambos estudios sugieren que la estrategia de “juego” puede haber conferido una mayor comprensión en cuanto a las interrelaciones espaciales dentro del edificio de destino, lo que les permitió una manipulación más completa y flexible de la información espacial adquirida para los propósitos de encontrar rutas alternativas. En contraste, la estrategia de “navegación dirigida” entregó una funcionalidad limitada que no logró capturar el contexto global.

Por otra parte, recientemente Guimil et al. (2015), desarrollaron un juego de computador llamado **“La granja de Neri”** destinado a personas con ceguera, el que consiste en un granjero que recorre un laberinto virtual recogiendo animales mientras escapa de un lobo. El juego tiene una interfaz de audio, basada en los sonidos que emiten diferentes animales (aumenta el volumen mientras más cerca esté del jugador) que indican por donde el jugador debe desplazarse y una voz en off entrega información útil al usuario; además, cuenta con una interfaz gráfica que permite que también sea utilizado por personas videntes. El juego fue atractivo tanto para niños como adultos sin mucha experiencia en computadores. Aunque el objetivo del software era la inclusión de las personas con ceguera y

entretener a sus usuarios, se detectó que este también permitió el aprendizaje de nociones de orientación: izquierda, derecha, arriba y abajo.

7.4.2. Entornos Virtuales con interfaces de audio con interacción del movimiento corporal

“Virtual Auditory Display” (VAD), fue desarrollado por Ohuchi et al. (2006), este corresponde a un EV basado en audio 3D para ayudar a las personas con ceguera en la formación de mapas cognitivos espaciales. Al igual que en *AbES*, cuenta con un editor de mapas con el que se puede reproducir la estructura espacial que se quiera utilizar para el entrenamiento. Los usuarios escuchan el sonido procesado a través de auriculares y un dispositivo de seguimiento de movimiento fijado en la correa de la cabeza de los auriculares permite seguir los movimientos del usuario. La eficacia del **VAD** fue comprobada en un grupo de 4 personas con ceguera congénita (1 mujer y 3 hombres), las que luego de navegar en laberintos virtuales creados por el sistema realizaron representaciones de manera táctil. Además, 3 de los 4 usuarios, luego de interactuar con el EV **fueron capaces de realizar satisfactoriamente tareas de navegación específicas que se les solicitaron en el entorno real.**

Posteriormente, Seki & Sato (2011), desarrollaron un sistema de entrenamiento de O&M similar al anterior, usando **realidad virtual acústica** basada en función de la transferencia de los movimiento de la cabeza (HRTF, head related transfer function). Los participantes fueron 30 adultos con ceguera adquirida recientemente (21 mujeres y 9 hombres) con edad media de 28,73 años, que a diferencia de estudios anteriores no tenían ninguna experiencia en entrenamiento en O&M. Se separaron en tres grupos, el primero no recibió entrenamiento en O&M (control), otro recibió entrenamiento en el EV y en último entrenó en el entorno real. Durante la interacción con los distintos espacios, se les realizó varias

pruebas: medición de frecuencia cardiaca, test de estrés, test de ansiedad, solicitud de descripción del entorno, prueba de estimación de distancias, etc. Los resultados del estudio mostraron que **el entrenamiento virtual es más efectivo ya que disminuye la experiencia de estrés y la ansiedad**, es más seguro que el entrenamiento en el entorno real y permite un control de todas las variables.

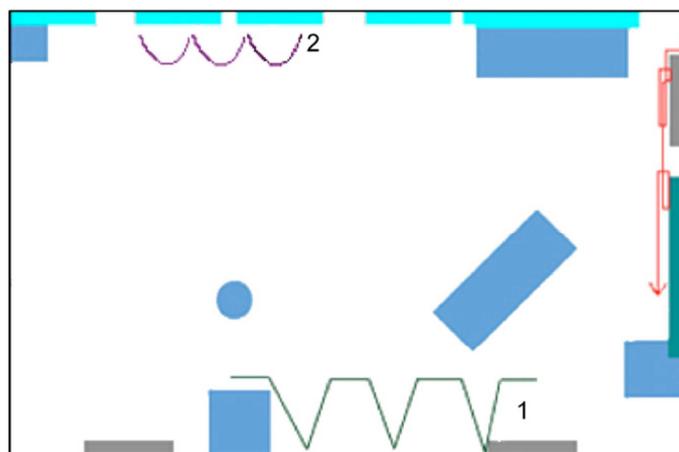
7.4.3. Entornos Virtuales con interfaces de audio y háptica sin interacción del movimiento corporal

Lahav & Mioduser (2004), realizaron un estudio donde compararon el conocimiento espacial de un ambiente desconocido adquirido mediante la exploración del entorno real o la representación virtual (EV). La muestra fue de 31 personas con ceguera que se dividieron en 2 grupos: un grupo experimental que exploró el EV y, un grupo control que exploró el ambiente real. La interacción con el EV se realizaba mediante un joystick con retroalimentación de fuerza y retroalimentación de audio. Se analizó y comparó el proceso de exploración y rendimiento en tareas de navegación de ambos grupos en el espacio real. Los resultados demostraron que ambos grupos implementaron estrategias de exploración similares, mayoritariamente las que utilizan en su navegación diaria en espacios reales (por ejemplo: "perímetro" y "red"). Sin embargo, se observó que varios sujetos del grupo experimental desarrollaron **nuevas estrategias de exploración las que sólo son posibles de generar dentro del EV**, como por ejemplo la simulación de caminar con un bastón largo que les permite caminar por el perímetro de la habitación y al mismo tiempo para explorar sus zonas interiores correspondientes (figura 2). Los participantes del grupo experimental construyen **mapas cognitivos más complejos del espacio**, lo cual se vio reflejado en sus descripciones verbales y en la construcción de un modelo a escala, los que fueron más específicos y elaborados que las del grupo control. También se encontró un

rendimiento superior en tareas de navegación en los sujetos que interactuaron con el EV.

Los resultados de la investigación anterior, fueron confirmados por los mismos autores en un estudio similar el año 2008 (Lahav & Mioduser, 2008).

Figura 2: Nuevas estrategias de exploración (Fuente: Lahav & Mioduser, 2008).



Posteriormente, Lahav et al. 2012 desarrollaron el sistema **BlindAid**, que consiste en un software que se ejecuta en un computador personal equipado con un dispositivo háptico y auriculares estéreo, el cual proporciona EV para poder ser explorados libremente por personas con ceguera en función de sus habilidades previas de orientación en el espacio real. El dispositivo háptico utilizado es un **Phantom (SensAble Technologies)** con el cual el usuario controla el movimiento del avatar en el EV y a través del cual se le **proporciona retroalimentación háptica, similar a la generada por un bastón largo**. El sistema de audio incluye tres modos de audio: mono, estéreo o estéreo con rotación. El sistema **BlindAid** incluye tres tipos de sonido: de contacto (se

generan cuando el avatar del usuario entra en contacto con un objeto), de fondo (cada área del EV tiene un sonido ambiental característico) y de señal (pulsación de las teclas).

Se probó el uso del sistema **BlindAid** en 4 personas (1 mujer y 3 hombres) con ceguera total con edades entre 41 y 53 años. Inicialmente todos los participantes completaron un cuestionario sobre habilidades de O&M. Luego debían explorar libremente 13 EV de menor a mayor complejidad. Los dos primeros eran para conocer el manejo del sistema. Los siguientes 6 EV tenían objetos con diferentes parámetros hápticos divididos en 3 grupos: suaves, rígidos y mixtos, para determinar el tipo de feedback háptico que preferían los usuarios. Los siguientes 2 tenían distintos tipos de audio (mono, estéreo, estéreo con rotación), para evaluar el tipo de feedback auditivo que preferían los usuarios. Los últimos dos EV permitían evaluar las herramientas de navegación y los comandos de acción (*Phanton* o con flechas de dirección del teclado). Luego de explorar cada EV se les solicitaba realizar una descripción verbal de su estructura y componentes y, luego construir un modelo físico de cada espacio. Además, debían informar con cuales propiedades hápticas y de audio se sentían más cómodos interactuando y como fue la retroalimentación con cada tipo de interfaz. Los resultados del estudio mostraron que todos los usuarios prefirieron el feedback con los objetos suaves y duros, 3 de los 4 participantes prefirieron el modo de audio estéreo y todos prefirieron moverse por los EV mediante el *Phanton*, ya sienten que tienen una mayor participación y control del movimiento. Además, se confirmó que el sistema **BlindAid** permitió a los participantes crear mapas cognitivos mediante la exploración de un EV (Lahav et al., 2012).

Lahav et al. (2015) evaluaron el impacto de la integración de **BlindAid**, en un programa tradicional de O&M en el *Carroll Center for the Blind* (CCE, Newton, Massachusetts, USA) con un grupo de 15 personas con ceguera o visión residual. Los participantes se dividieron al azar en un grupo experimental que recibió

entrenamiento adicional utilizando **BlindAid** y un grupo control que sólo recibió el entrenamiento tradicional de O&M. Se abordaron 4 variables en la investigación: estrategias de exploración, mapas cognitivos, orientación en EV y orientación en espacios reales. Usaron como modelo para los EV los espacios más utilizados en el programa de rehabilitación del CCB. Se eligieron 9 áreas conocidas y una desconocida para que los participantes realizaran las siguientes tareas: exploración de EV, orientación en EV y orientación en espacios reales. Inicialmente se le pidió a los participantes que respondieran un cuestionario sobre habilidades O&M en espacios conocidos y desconocidos. Antes de cada exploración en espacios conocidos, los participantes debían dar una descripción verbal del espacio, y para el espacio desconocido, tenían que hacerlo una vez terminada la exploración. Los resultados mostraron que **los métodos de exploración mejoraron tras las sesiones de BlindAid** y de O&M. Se pudo concluir que **BlindAid** es una herramienta que ayuda a los individuos a explorar espacios no familiares y mejora su conexión entre los conocimientos adquiridos en la rehabilitación y el retorno a sus comunidades. **BlindAid** es un complemento a los programas de rehabilitación, sin limitaciones de presupuesto, tiempo de práctica y presencia, además, disminuye el estrés asociado a la práctica en el entorno real.

Por otra parte, Sánchez et al. 2014, desarrollaron **Audiopolis**, videojuego que se desarrolla en primera persona y que representa virtualmente una ciudad ficticia, donde el jugador debe perseguir a un ladrón y resolver preguntas que le permitirán recibir las siguientes pistas y así poder avanzar en la ciudad. El EV tiene 3 interfaces de interacción con el usuario (háptica, audio, y háptica + audio). La interfaz de audio entrega información ambiental e instructiva (preguntas para entregar las pistas e instrucciones del menú: salir, guardar juego, etc). Como interfaz háptica se utilizó el dispositivo **Novint Falcon**, con el cual el usuario se desplaza por la ciudad virtual con las flechas de dirección y, arrastra el puntero 3D

por el suelo, encontrando información de desniveles, cambios de superficies, obstáculos, etc., similar al uso de un bastón largo; además, puede reconocer objetos explorándolos con el dispositivo. La tercera interfaz combina las anteriormente descritas. También cuenta con una interfaz gráfica que representa de forma visual el EV.

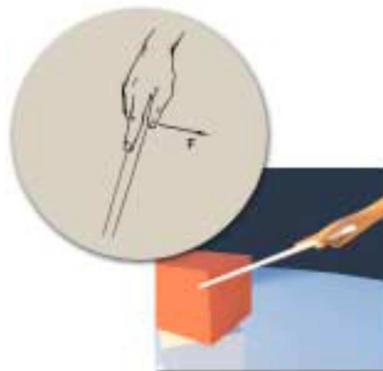
Se evaluó el impacto cognitivo del uso de **Audiopolis**, mediante un estudio con 12 estudiantes con ceguera (8 mujeres y 4 hombres) con edades entre 10 y 15 años. Inicialmente a todos los participantes se les aplicó un test de O&M (dimensión desarrollo sensorial auditivo y háptico, dimensión desarrollo temporo-espacial y dimensión técnicas de O&M), con el fin de conocer sus habilidades iniciales y, realizaron 3 tareas de apresto (técnica del reloj, interpretación de figuras geométricas, elementos y funcionamiento del video juego). Luego durante la interacción con el videojuego se les realizaron 12 tareas cognitivas enfocadas a desarrollar las habilidades de O&M (movimiento, distribución, dirección, estimación de distancias), se registraron sus logros y finalmente se aplicó nuevamente el test de O&M. Los resultados mostraron que todas las dimensiones del test de O&M se incrementaron luego de la interacción con **Audiopolis**, sin embargo sólo la dimensión desarrollo sensorial auditivo y háptico y la dimensión técnicas de O&M, lo hicieron de manera estadísticamente significativa. Finalmente los autores concluyeron que **Audiopolis impactó positivamente en el desarrollo de habilidades de O&M en escolares con ceguera**, independientemente de la interfaz utilizada.

7.4.4. Entornos Virtuales con interfaces de audio y háptica con interacción del movimiento corporal

Tzovaras et al. (2004), desarrollaron el **proyecto ENORASI** el cual consistió en el desarrollo de un sistema de entrenamiento interactivo que permite a las personas

con ceguera interactuar con objetos y EV a través de información háptica y auditiva. El dispositivo háptico que utiliza es el **CyberGrasp**, guante con sistema de transmisión de fuerzas, que permite la interacción con objetos virtuales y, opcionalmente puede utilizarse junto a un dispositivo de seguimiento de orientación inalámbrico, permitiendo la simulación de la navegación utilizando el bastón de movilidad (figura 3). Se realizó un estudio de la usabilidad de **ENORASI** (Tzovaras et al., 2004) con 26 personas con ceguera, a las que previamente se les familiarizó con el sistema. Los resultados del estudio mostraron que en general los participantes no encontraron difícil el manejo del sistema, reflejado en el porcentaje de éstos que requirió ayuda en las pruebas varió de un 0% a un 26,90%; específicamente en la prueba de simulación de navegación con uso del bastón sólo un 3,8% solicitó ayuda. Además, el porcentaje promedio de participantes que logró las tareas solicitadas fue siempre superior a 90%.

Figura 3: Simulación de colisión de objeto con bastón virtual. (Fuente: Tzovaras et al., 2004).



Posteriormente, Sánchez et al. (2012) desarrollaron **MOVAWii**, videojuego en el cual el usuario interactúa a través del movimiento de su propio cuerpo y un

control Wiimote de la consola de Nintendo Wii (Wiimote, 2011) que sostiene en su mano para ejecutar las acciones de avanzar y preguntar hacia qué dirección debe girar para ir hacia un objetivo (técnica del reloj). El software representa el espacio físico de una plaza real, donde los jugadores deben encontrar joyas perdidas.

Para evaluar el efecto cognitivo de la interacción con **MOVAWii**, Sánchez et al. realizaron un estudio con 20 niños con ceguera o visión residual con edades entre 7 y 15 años. A través de la cuantificación de las habilidades de O&M pre y post interacción con el EV y, el desarrollo de tareas cognitivas en el EV, se demostró que **la interacción con el EV mejora la percepción auditiva**, en cuanto al seguimiento, dirección y discriminación de sonidos; permite desarrollar y/o **mejorar habilidades para el uso del bastón de movilidad**, en cuanto a la empuñadura, la posición del brazo, el movimiento, el desplazamiento y rastreo; **mejoró el conocimiento de conceptos espaciales**, reflejado en el uso de los puntos cardinales y las direcciones adelante, atrás, al lado y oblicuo para orientarse y desplazarse. Además, el conocimiento adquirido con el videojuego pudo ser transferido al espacio físico real, donde los participantes realizaron desplazamientos autónomos y eficaces. Aunque, se observó mayor dificultad para la realización de giros y para la transferencia de conceptos ambientales y algunos geométricos. Los autores concluyeron que **MOVAWii** sirve como apoyo a la construcción del mapa cognitivo espacial y a la mejora en las habilidades de O&M.

Tabla 2. Estudios sobre Entornos Virtuales para el entrenamiento en O&M de personas con ceguera y discapacidad visual. (s/n: sin nombre).

Autores y año	Nombre Proyecto y/o Software	Tipo de Interfaz/ características software	Muestra	Tipo de estudio	Resultados y Conclusiones
Lumbreras & Sánchez 1998	AudioDoom	Audio/ Interacción lúdica.	7 niños con ceguera	Impacto cognitivo y usabilidad	-Interacción con el software permitió la construcción de mapa cognitivo espacial del EV. -Mejora habilidades cognitivas, como la resolución de problemas. -Incremento autoconfianza.
Tzovaras et al. 2004	Proyecto ENORASI	Audio y Háptica/ Dispositivo Háptico: CyberGrasp. Opción de interacción a través del movimiento corporal.	26 personas con ceguera	Usabilidad	Sistema de fácil uso.
Lahav & Mioduser 2004 y 2008	s/n	Audio y Háptica	31 personas con ceguera	Impacto cognitivo	- Usuarios EV construyeron mapas cognitivos más completos , que los que exploraron el ambiente real. -El rendimiento en tareas de navegación fue mayor en los sujetos que interactuaron con el EV.

Uso de los EV en la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV

Ohuchi et al. 2006	“Virtual auditory display” (VAD)	Audio e interacción a través del movimiento corporal	4 personas con ceguera	Impacto cognitivo	La interacción con VAD permitió la generación de mapas cognitivos espaciales , reflejado en la construcción de representaciones táctiles y en la realización satisfactoria de tareas de navegación en el entorno real.
Seki & Sato 2011	s/n	Audio/ Interacción a través del movimiento corporal	30 personas con ceguera	Impacto cognitivo	El entrenamiento con EV es más efectivo ya que disminuye la experiencia de estrés y la ansiedad , es más seguro y permite un control de todas las variables .
Sánchez et. 2012	MOVAWii	Audio y Háptica/ Interacción a través del movimiento corporal	20 niños con ceguera	Impacto cognitivo	MOVAWii sirve como apoyo a la construcción del mapa cognitivo espacial y a la mejora de habilidades de O&M .
Merabet & Sánchez 2012 Connors et al. 2014	AbES	Audio/ 3 modos de interacción: juego, dirigida, libre.	17 personas con ceguera. 38 personas con ceguera	Impacto cognitivo	- El modo juego y el modo dirigido, permitieron la generación de mapas cognitivos espaciales precisos , reflejado en la transferencia en tareas de navegación en el entorno real. - El rendimiento de navegación fue superior en el grupo que interactuó en modo juego.
Lahav et al. 2012	BlindAid	Audio y Háptica/ Dispositivo háptico: Phantom	4 personas con ceguera	Impacto cognitivo y usabilidad.	-La interacción con el sistema BlindAid permite crear mapas cognitivos espaciales . - Todos los participantes prefirieron moverse por el EV usando el Phantom y la interacción con objetos suaves y duros. - 3 de los 4 participantes prefirieron modo estéreo .

Sánchez et al. 2014	Audiopolis	Audio y Háptica/ Dispositivo Háptico Novint Falcon	12 estudiantes con ceguera	Impacto cognitivo	-La interacción con Audiopolis impactó positivamente en el desarrollo de habilidades de O&M.
Lahav et al. 2015	BlindAid	Audio y Háptica/ Dispositivo háptico: Phantom	5 personas con ceguera	Impacto cognitivo	- Mejora de los métodos de exploración de espacios no familiares. -Es un complemento a los programas de rehabilitación , sin limitaciones de presupuesto, tiempo de práctica y presencia, además, disminuye el estrés asociado a la práctica en el entorno real.
Guimil et al. 2015	La granja de Neri	Audio/ Juego	1 hombre con ceguera y daño cerebral congénito	Usabilidad	-Juego inclusivo y motivador para niños y adultos con ceguera y DV. -Permitió el aprendizaje de nociones de orientación: izquierda, derecha, arriba y abajo.

7.5. Entornos Virtuales para la investigación sobre neuroplasticidad y ceguera.

Por último, considerando las temáticas desarrolladas anteriormente, se puede destacar la aplicación de los EV en el estudio de las áreas cerebrales implicadas en la navegación espacial en personas con ceguera.

Merabet & Sánchez (2009) adaptaron juego **AbES** para poder ser jugado dentro de un RMf. Inicialmente probaron su funcionamiento con un sujeto vidente, comprobando que al interactuar con **AbES** se activan áreas cerebrales específicas dependiendo de la tarea que se le solicite realizar. Por lo tanto, este

EV les permitirá comparar los patrones de activación cerebral asociados a la navegación virtual en sujetos videntes (a través de la visión y a través del oído solamente), con las personas con ceguera temprana y tardía.

Utilizando **AbES y RMf**, Halko et al. (2014) realizaron un estudio con 9 personas con ceguera temprana con diferentes niveles de independencia de navegación autoreportada. La realización de tareas de integración de rutas en el EV se asoció con la activación de distintas áreas cerebrales relacionadas con la navegación espacial. La variabilidad de patrones de activación individuales se relacionó con el autoreporte de habilidades de navegación y, se encontró que los participantes que informaron mayor independencia de navegación presentaron una **gran activación localizada en la unión temporo-parietal, tanto en ejecución y planificación de tareas de navegación**, a diferencia de los que informaron peores habilidades de navegación, donde la activación involucró una red más distribuida de áreas que implican regiones parahipocampales y áreas de procesamiento sensorial temprano como el surco occipital-calcarino y el lóbulo temporal superior e inferior (en lugar de la unión temporo-parietal) para el componente de planificación de las tareas de navegación. Por lo tanto, **las habilidades de navegación en las personas con ceguera se correlacionan con la utilización de regiones del cerebro responsables de la navegación egocéntrica**. Aunque, también los autores refieren que la activación de la unión temporo-parietal también pueda estar relacionado con la naturaleza virtual de las tareas de navegación llevadas a cabo en este estudio. Es decir, los mejores navegantes se basaron en una estrategia egocéntrica de navegación porque era la más apropiada para la complejidad de la escala y del entorno utilizado para esta tarea (Halko et al., 2014).

8. Conclusiones

La revisión bibliográfica realizada da cuenta de forma sistematizada de los principales antecedentes y estudios sobre el uso de los EV para la comprensión del espacio en personas con ceguera y DV, para lo cual se efectuó una revisión bibliográfica amplia de los principales trabajos vinculados a esta temática, considerando la evolución del desarrollo cognitivo espacial, la construcción de mapas cognitivos espaciales, la neuroplasticidad en personas con ceguera, entre otros aspectos.

Con respecto a la cognición espacial, esta evoluciona de forma paralela al desarrollo cognitivo general, a través de la experiencia, estableciéndose de manera gradual tres tipos de relaciones espaciales: topológicas, proyectivas y euclidianas. Las investigaciones de Ochaíta en **niños con ceguera** demuestran que estos **son capaces de lograr el mismo nivel de cognición espacial que los videntes, aunque el desarrollo se produce con un cierto retraso, pudiendo nivelarse en la adolescencia (14-15 años)**. Por este motivo es esencial la estimulación temprana en los niños con ceguera y DV, la que permitirá utilizar al máximo sus sentidos remanentes con los que adquirirán la información espacial.

Además de la edad, otro de los factores determinantes del conocimiento espacial es la **experiencia con el espacio**, reflejado en el tiempo de interacción con este. El número de sesiones de entrenamiento en O&M puede ser una limitante, los EV de navegación permitirían entrenamiento adicional a un costo menor.

Al analizar la información seleccionada se concluye que **los EV basados en audio y/o háptica permiten el desarrollo de habilidades de O&M, así como la**

construcción de mapas cognitivos espaciales precisos en personas con ceguera y DV.

A modo general, se puede establecer que **los EV registran la interacción del usuario**, lo que posibilita el posterior análisis del comportamiento espacial por los investigadores o instructores de O&M.

Los EV tanto de escritorio como inmersivos **son un medio apropiado para la simulación de entornos espaciales para la investigación sobre cognición espacial** ya que, permiten que el experimentador tenga un control completo de las variables ambientales, las que pueden modificarse rápidamente y de forma económica.

Con respecto a esto, los software de EV podrían utilizarse como un medio de diagnóstico para **determinar las habilidades al inicio de los programas de O&M**, además de permitir al especialista efectuar un seguimiento y observar el comportamiento espacial de sus alumnos, tanto en habilidades de O&M, estrategias de exploración espacial, resolución de problemas, entre otras.

Algunos EV permiten el entrenamiento independiente de las personas con DV en un ambiente seguro, lo que entrega tiempo extra de entrenamiento sin aumentar los costos, así como disminuye el estrés asociado a la práctica en el entorno real. En ese sentido, **el entrenamiento en O&M con EV de navegación permite un control de todas las variables y el desarrollo de nuevas estrategias de exploración espacial**, que sólo son posibles de generar en los propios EV. Sin embargo, se debe recalcar que estos no reemplazan a los programas de O&M tradicionales, y siempre deben verse como un complemento para apoyar el aprendizaje generado mediante estos últimos.

Los **EV que simulan espacios reales permiten** a las personas con ceguera y DV **familiarizarse con espacios desconocidos**, antes de interactuar con ellos en la vida real, lo que facilita trabajar de forma más segura y disminuir los niveles de estrés y ansiedad que provoca el descubrimiento de nuevos entornos.

En particular, los estudios de Sánchez et al. con el software **AbES**, demuestran que **la interacción con EV de naturaleza lúdica (videojuegos), aporta un importante elemento de motivación y demuestra que los constructos cognitivos espaciales pueden aprenderse implícitamente y de manera fácil**. Además, el aprendizaje espacial obtenido con la interacción con el software en **“modo juego”**, **permite generar mapas cognitivos espaciales más completos y flexibles**, que al interactuar siguiendo la estrategia de “desplazamiento dirigido”. Por otra parte, la interacción lúdica facilita que los instructores de O&M puedan conocer las pautas de exploración espontáneas de las personas con ceguera y DV.

El **desarrollo de habilidades superiores de navegación espacial** en las personas con ceguera y DV, **se asocia a cambios neuroplásticos**, reflejados principalmente en el aumento del volumen de las porciones anteriores del hipocampo y a la activación de las vías visuales primarias y secundarias, las cuales son reclutadas por los sentidos remanentes como la audición y el tacto, con el fin de compensar la falta de visión, lo que se conoce como neuroplasticidad crossmodal.

El conocimiento que la neurología aporta sobre los cambios en el funcionamiento cerebral no permanentes llevan a pensar en la importancia de un aprendizaje bien consolidado y fundamentalmente de la experiencia y mantenimiento de la actividad, y en las consecuencias que deben derivarse en la intervención en el ámbito de las habilidades para el desplazamiento.

El uso de los EV debería extenderse y tener un mayor impacto social. Para lo cual es fundamental que la aplicación de los software reseñados sea masificada, tanto en niños como en adultos con ceguera y DV.

En la actualidad la mayoría de edificios públicos y/o privados, como centros comerciales, museos y medios de transporte, cuenta con mapas gráficos del entorno espacial, los cuales sólo están al alcance de las personas con visión. En un futuro podrían realizarse **mapas espaciales multisensoriales, que integren interfaces visuales, de audio y háptica**, para así proporcionar información espacial para una amplia población, incluyendo a las personas con ceguera y DV. Estos mapas virtuales podrían estar **disponibles en Internet**, para que las personas con ceguera y DV puedan conocer los lugares con anticipación, mejorando su autonomía y seguridad en sus desplazamientos.

En el contexto del entrenamiento en O&M, sería muy útil la **creación de modelos de software de EV** que permitan la construcción virtual sencilla por parte de los instructores en O&M, de entornos espaciales reales que sus alumnos necesitan conocer previamente, como por ejemplo un nuevo lugar de trabajo o de estudios; de manera similar a los mapas táctiles que realizan en los programas tradicionales de O&M.

Finalmente, la revisión bibliográfica realizada y las conclusiones señaladas previamente, plantean nuevas líneas de investigación y análisis sobre el uso de EV en personas con ceguera y DV. A modo de ejemplo, todavía hay mucho que investigar sobre neuroplasticidad y ceguera utilizando EV, lo que permitirá **desarrollar estrategias de entrenamiento en O&M personas con ceguera y DV basadas en la neurociencia**, lo que puede ayudar a disminuir la variabilidad en el desempeño de navegación, a través de una mejor caracterización de los posibles factores que están asociados con esta habilidad.

Los avances en la investigación y métodos de medición permiten conocer que las **personas con ceguera poseen la capacidad de comprender y representar el espacio, de forma similar a la que lo haría una persona sin ceguera**, reclutando para ello áreas corticales originariamente empleadas en la visión. **La observación no invasiva de la actividad cerebral durante la realización de tareas de carácter espacial, utilizando técnicas de neuroimagen y EV, permitiría investigar por ejemplo si se producen cambios significativos en los sujetos de entrenamiento en habilidades de O&M, antes y después del mismo, o si en personas con especial dificultad en tareas de orientación espacial como aquellas personas con ceguera por retinopatía del prematuro, las áreas corticales activas durante la ejecución de tareas son las mismas o no, con la finalidad de conocer mejor el origen de su dificultad.**

9. Bibliografía

1. Amedi, A., Fregni, F., Pascual-Leone, A., Merabet, L. (2005). The Plastic Human Brain Cortex. *Annu. Rev. Neurosci.* 28: 377-401.
2. Ashmead, D., Wall, R., Ebinger, KA, Eaton, S., Snook-Hill, M., et al. (1998). Spatial hearing in blind children with visual disabilities. *Perception* 27: 105–122.
3. Bamodu, O. & Ye, X. (2013). *Virtual Reality and Virtual Reality System Components*. Proceedings of the 2nd International Conference On Systems Engineering and Modeling (ICSEM-13). Published by Atlantis Press, Paris, France.
4. Blasch, B. B., Wiener, W. R., Welsh, R. L. (1997). *Foundations of orientation and mobility*, (2.^a ed.), Nueva York, NY: AFB Press.
5. Carreiras, M. (1986). Mapas Cognitivos: Revisión crítica. *Estudios de Psicología*. N°26. 61-91.
6. Carreiras, M. & Codina, B. (1993). Cognición espacial, orientación y movilidad: consideraciones sobre la ceguera. Integración N°11. *Revista sobre ceguera y deficiencia visual*. Págs. 5-15.
7. Coco-Martín, M.B. & Herrera, J. (2015). *Manual de baja visión y rehabilitación visual*. Ed. Médica Panamericana. Madrid.
8. Cohen, L., Celnik, P., Pascual-Leone, A., Corwell, B., Faiz, L., Dambrosia, J., Honda, M., Sadato, N., Gerloff, C., Catalá, M., Hallett, M. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind human. *Nature*, Vol. 389, 189-183.
9. Cohen, L., Weeks, R., Sadato, N., Celnik, P., Ishii K., Hallett, M. (1999). Period of susceptibility for cross-modal plasticity in the blind. *Ann Neurol.* 45(4):451-60.

10. Connors, E., Chrastil, E., Sánchez, J., Merabet, L. (2014). Virtual environments for the transfer of navigation skills in the blind: a comparison of direct instructions vs. video game bases learning approaches. *J. Frontiers in Human Neuroscience*. Vol. 8. Artículo 223.
11. Corazzini, L., Tinti, C., Schmidt, S., Mirandola, Ch., Cornoldi, C. (2010) Developing spatial knowledge in the absence of vision: allocentric and egocentric representations generated by blind people when supported by auditory cues. *Psychologica Belgica* 50-3&4, 327-334.
12. Downs, R.M. & Stea, D. (1973). *Cognitive maps and special behavior: processes and products*. En R.M. Downs and D. Stea (Eds.) *Image and Environment*. Chicago: Aldine.
13. Downs, R.M. & Stea, D. (1977). *Maps in Minds: Reflections on Cognitive Mapping*. N.B.: Harper and Row.
14. Elbert, T., Sterr, A., Rockstroh, B., Pantev, C., Müller, M., Taub, E. (2002). Expansion of the Tonotopic Area in the Auditory Cortex of the Blind. *Neuroscience*, Vol. 22: 9941–9944.
15. Farcy, R., Leroux, R., Jucha, A., Damaschini, R., Grégoire, C., Zogaghi, A. (2006). *Electronic travel aids and electronic orientation aids for blind people: technical, rehabilitation and everyday life points of view*. Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments. Technology for Inclusion. CVHI, M.A. Hersh (ed.)
16. Fortin, M., Voss, P., Lord, C., Lassonde, M., Pruessner, J., Saint-Amour, D., Rainville, C., Lepore, F. (2008). Wayfinding in the blind: larger hippocampal volume and supranormal spatial navigation. *Brain*. Vol. 131. 2995-3005.
17. Gougoux, F, Zatorre, RJ, Lassonde, M, Voss, P, Lepore, F (2005). A functional neuroimaging study of sound localization: Visual cortex

- activity predicts performance in early-blind individuals. *PLoS Biol* 3(2): e27.
18. Gould, P. & White, H. (1974). *Mental Maps*. Baltimore, Md.: Penguin.
19. Güimil, E., Sacristán, L., Larrea, M., Urribarri D. (2015). *Computadoras y la inclusión de los no videntes*. Tesis final para optar al grado de Licenciado en Ciencias de la Computación e Ingeniería en Computación de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Buenos Aires, Argentina. <http://www.cs.uns.edu.ar/~mll/lagranjadeneri/files/Tesis%20Final%20de%20Carrera.pdf>
20. Halko, M., Connors, E., Sánchez, J., Merabet, L. (2014). Real world navigation independence in the early blind correlates with differential brain activity associated with virtual navigation. *Hum Brain Mapp.* 35(6): 2768–2778. doi:10.1002/hbm.22365.
21. Hart, R. A., Moore, G. T. (1973). The development of spatial cognition: A review. In R. M. Downs & D. Stea (Eds.), *Image and environment: Cognitive mapping and spatial behavior* (pp. 246-288). Chicago: Aldine.
22. Hill, E. & Ponder, P., (1976). *Orientation and mobility techniques. A guide for the practitioner*. AFB, New York.
23. Hofer, S. & Frahm, J. (2006). Topography of the human corpus callosum revisited comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuroimage*, 32: 989-94.
24. Jacobson, W. H. (1993). *The art and science of teaching orientation and mobility to persons with visual impairments*. New York, NY: American Foundation for the Blind.
25. Jansen-Osmann, P. Use of virtual environments to investigate the development of spatial behavior and special knowledge of school age children. Virtual environments and spatial development. *In Press, Psychological Reports*.

26. Jansen-Osmann, P., Wiedenbauer, G., Schmid, J., & Heil, M. (2006). Wayfinding performance and spatial knowledge of adults and children in a virtual environment: The role of landmarks and pre-exposure to a structural map. *Experimental Psychology*, 53, 171-181.
27. Jansen-Osmann, P., Schmid, J., Heil, M. (2007a). Spatial knowledge of adults and children in a virtual environment: The role of the environmental structure. *European Journal of Developmental Psychology* 4 (3), 251–272
28. Jansen-Osmann, P., Schmid, J., Heil, M. (2007b). Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge of Adults and Children in a Virtual Environment: The Role of the Environmental Structure. *Swiss Journal of Psychology* 66 (1), 2007, 41–50.
29. Kujala, T., Alho, K., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R.J., Lehtokoski, A., Leinonen, A., Rinne, T., Salonen, O., Sinkkonen, J., Standertskjöld-Nordenstam, C.G., Näätänen, R. (1997). Electrophysiological evidence for cross-modal plasticity in humans with early- and late-onset blindness. *Psychophysiology* 34(2):213-6.
30. Lahav, O. & Mioduser, D. (2004) *Blind persons' acquisition of spatial cognitive mapping and orientation skills supported by virtual environment*. Proc. 5th Intl Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech., Oxford, UK.
31. Lahav, O. & Mioduser, D. (2008). *Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind*. *International Journal Human-Computer Studies* 66(1), pp. 23-35.
32. Lahav, O., Schloerb, D., Kumar, S., Srinivasan, A. (2012). A Virtual Environment for People Who Are Blind – A Usability Study. *J Assist Technol*. 2012 ; 6(1): . doi:10.1108/17549451211214346.

33. Lahav, O., Schloerb, D., Srinivasan, M. (2015). Rehabilitation program integrating virtual environment to improve orientation and mobility skills for people who are blind. *Computers & Education*, Vol. 80, 1-14
34. Leporé, N., Voss, P., Leporé F., Chou, Y., Fortin, M. & cols. (2010). Brain structure changes visualized in early- and late onset blind subjects. *Neuroimage* 49: 134-40.
35. Leporé, N., Shi, Y., Leporé, F., Fortin, M., Voss, P., Chou, Y., Lord, C., Lassonde, M., Dinov, I., Toga, A., Thompson, P. (2009). Pattern of hippocampal shape and volume differences in blind subjects. *NeuroImage* Vol 46: 949–957.
36. Lessard, N., Pare, M., Lepore, F., Lassonde, M. (1998). Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. *Nature* 395:278–280
37. Loomis, J., Klatzky, R., Golledge, R. (2001). Navigating without vision: basic and applied research. *Optometry and Vision Science*, Vol. 78. No 5. 282-289.
38. Lumbreras, M. & Sánchez J. (1999). Interactive 3D sound hyperstories for blind children. *Proceedings of the ACM-CHI 1999*, Pittsburgh, USA, pp. 318-325.
39. Lynch, K. (1960). *The image of the city*. Cambridge, MA:MIT Press.
40. Merabet, L. & Sánchez, J. (2009). Audio-Based Navigation Using Virtual Environments: Combining Technology and Neuroscience. *AER Journal: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness*. Vol. 2. No 3.
41. Merabet, L., Connors, E., Halko M., Sánchez J. (2012). Teaching the blind to find their way by playing video games. *PLoS ONE* 7(9): e44958. doi:10.1371/journal.pone.0044958
42. Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Nueva York: Clarendon Press/Oxford University Press.

43. Millar, S. (1997). *“La comprensión y la representación del espacio. Teoría y evidencia a partir de estudios con niños ciegos y videntes”*. O.N.C.E., Madrid.
44. Morales, B., Rozas, C., Pancetti, F., Kirkwood, A. (2003). Períodos críticos de plasticidad cortical. *Rev Neurol*, 37:739-43.
45. Morrongiello, B., Timney, B., Humphrey, K., Andreson, S., Skory, C. (1995). Spatial Knowledge in blind and sighted children. *Journal of experimental child psychology*. Vol. 59. 211-233.
46. Ochaíta, E. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. *Estudios de Psicología* nº 14/15.
47. Ochaíta, E. (1984). Una aplicación de la teoría piagetiana al estudio del conocimiento espacial en los niños ciegos. *Infancia y Aprendizaje*. Vol. 25, 81-104.
48. Ochaíta, E., Huertas, E., Espinosa A. (1991). Representación espacial en los niños ciegos: una investigación sobre las principales variables que la determinan y los procedimientos de objetivación más adecuados. *Infancia y Aprendizaje*. Vol. 54, 53-79.
49. Ochaíta, E. & Espinoza, M. (1997). El conocimiento espacial y la estructura del espacio: Un estudio realizado en 2 barrios de Madrid. *Revista de Psicología Social*, 1997, (12) 1, 3-16.
50. Ohuchi, M., Iwaya, Y., Suzuki, Y., Munekata, T. (2006). *Cognitive-map formation of blind persons in a virtual sound environment*. Ponencia presentada en las Actas del 12th International Conference on Auditory Display, Londres, Reino Unido.
51. Papadopoulos, K., Papadimitriou, K., Koutsoklenis, A. (2012) The role of auditory cues in the spatial knowledge of blind individuals. *International Journal of Special Education*. Vol 27. 169-180.

52. Pascual-Leone, A. & Torres, F. (1993). Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain* 116 39–52.
53. Pascual-Leone, A., Amed, A., Fregni, F., Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 377-401.
54. Peli, E., Luo, G., Bowers, A. y Rensing, N. (2007). Applications of Augmented Vision Head-Mounted Systems in Vision Rehabilitation. *J Soc Inf Disp.* 15(12): 1037–1045.
55. Piaget, J. & Inhelder, B. (1947). *La Représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris. P.U.F.
56. Piaget, J., Inhelder, B., Szeminska. (1948) *La Géométrie Spontanée de l'enfant*. 1948
57. Piaget J. & Inhelder, B. (1967). *The Child's Conception of Space*. New York: Norton.
58. Rauschecker, J. P. (1995). Compensatory plasticity and sensory substitution in the cerebral cortex. *Trends Neurosci.* 18, 36–43.
59. Rieser, J.J., Guth, D.A., Hill, E.W. (1982). Mental processes mediating independent travel: implications for orientation and mobility. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 7, 213-218.
60. Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S., Neville, H. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature* 400:162–166.
61. Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafmani, J., Ibañez, V., Deiber ,M., Dold, G., Hallett ,M. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature* 380, 526–528.
62. Sánchez, J. & Lumbreras, M. (1998). 3D aural interactive hyperstories for blind children. *International Journal of Virtual Reality*, 4, 20-28.

63. Sánchez, J., Maureira, E. (2007). Subway mobility assistance tools for blind users. En: Stephanidis, C., Pieper, M. *Lecture notes in computer science, LNCS 4397*, 386-404.
64. Sánchez, J., Espinoza, G., Garrido, J. (2012). *MOVAWii: Videojuego para la movilidad y orientación en aprendices ciegos*. Segundo Congreso Interdisciplinario de Investigación en Educación (CIIE). Santiago, Chile, 23-24 Agosto 2012.
<http://www.cie2012.cl/download.php?file=sesiones/269.pdf>
65. Sánchez, J. & Mascaró, J. (2011). *Audiopolis, Navigation through a Virtual City Using Audio and Haptic Interfaces for People Who Are Blind*. C. Stephanidis (Ed.): Universal Access in HCI, Part II, HCII 2011, LNCS 6766, pp. 362–371.
66. Sánchez, J.; Campos, M.; Espinoza, M.; Merabet, L. (2014). *Audio Haptic Videogaming for Developing Wayfinding Skills in Learners Who are Blind*. IUI. 199–208. doi:10.1145/2557500.2557519.
67. Schoth, F., Burgel, U., Dorsch, R., Reinges, M., Krings, T. (2006). Diffusion tensor imaging in acquired blind humans. *Neuroscience Letters*, 398. 178–182
68. Seki, Y. & Sato, T. (2011). *A Training System of Orientation and Mobility for Blind People Using Acoustic Virtual Reality*. IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, Vol. 19, No. 1.
69. Siegel, A. & White, S. (1975). The development of spatial representation of large-scale environment. En H.W. Reese (Ed.) *Advances in Child Development and Behavior*. Vol. 10. N.Y.: Academic Press.
70. Théoret, H., Merabet, L, Pascual-Leone, A. (2004). Behavioral and neuroplastic changes in the blind: evidence for functionally relevant cross-modal interactions. *J Physiol Paris* 98. 221-33.

71. Thinus-Blanc, C. & Gaunet, F. (1997). Representation of the space in blind persons: vision as spatial sense? *Psychological Bulletin*, Vol. 121, No. 1, 20-42.
72. Toldman, E.C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*. 55, 189-208.
73. Tzovaras, D., Nikolakis, G., Fergadis, G., Malasiotis, S., Stavrakis, M. (2004). *Design and Implementation of Virtual Environments for Training of the Visually Impaired*. IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering, Vol. 12, No. 2.
74. Waller, D., Hunt, E., Knapp, D. (1998). The Transfer of Spatial Knowledge in Virtual Environment Training. *Presence by the Massachusetts Institute of Technology*, Vol. 7, No. 2, 129–143.
75. Zarei, M., Johansen-Berg, H., Smith, S., Ciccarelli, O., Thompson, A., Matthews PM. (2006). Functional anatomy of interhemispheric cortical connections in the human brain. *J Anat*; 209:311–20.

Referencias web:

- **Definición de RV de la NASA.** Disponible en: <http://www.nas.nasa.gov/Software/VWT/vr.html> (Último acceso: 29/07/2015).
- **Definición de RV del diccionario Oxford.** Disponible en: http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/ingles_americano/virtual-reality (Último acceso: 29/07/2015).
- **How virtual reality works.** Disponible en: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/virtual-reality2.htm> (Último acceso: 29/07/2015).

- **Geomagic® Phantom® Premium™ (2015)**. Disponible en:
<http://www.geomagic.com/en/products/phantom-premium/overview/> (Último acceso: 29/07/2015).
- **GloveOne (2014)**. Disponible en:
<http://www.neurodigital.es/es/portfolio-web/gloveone/> (Último acceso: 29/07/2015).
- **Novint Falcon® (2012)**. Disponible en:
<http://www.novint.com/index.php/novintfalcon> (Último acceso: 29/07/2015).