



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

VIDEOJUEGO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MENTAL DE UN  
SISTEMA DE REFERENCIAS PARA PERSONAS CIEGAS

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS, MENCIÓN EN  
COMPUTACIÓN

MATÍAS DANIEL ESPINOZA VIVANCO

PROFESOR GUÍA:  
JAIME SÁNCHEZ ILABACA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JOSÉ PINO URTUBIA  
SERGIO OCHOA DELORENZI  
MARCIA DE BORBA CAMPOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto Fondecyt #1090352

SANTIAGO DE CHILE  
ABRIL 2013

## Resumen

Una persona con visión normal puede notar a diario, que existen variadas actividades que requieren como sentido principal la visión, para poder ser realizadas de manera satisfactoria. En este sentido, la adopción de un modelo mental que les permite orientarse a través de puntos de referencias ocurre de forma natural, fomentada por la asociación y familiarización visual con el entorno que se genera desde que nacen. Por otra parte, las personas ciegas están desprovistas de esta posibilidad, desventaja que aumenta con el hecho de que el mundo en general ha sido diseñado y construido para gente que puede ver.

En la literatura existen diversas investigaciones que han abordado la adopción de modelos de referencia para el problema de orientación y movilidad en personas ciegas, imponiendo sus propios esquemas y sistemas de referencia. En consecuencia esto lleva al usuario a aprender distintas formas de orientación, que consisten en derivaciones o simplificaciones del sistema de coordenadas en un plano de dos dimensiones, que es justamente el problema que ha permanecido en segundo plano. Es interesante investigar el hecho que si se apoya la construcción de un modelo mental que permita a personas ciegas contar con una estructura de puntos de referencia, cualquier metodología o herramienta derivada en cualquier ámbito eventualmente podría ser más fácil de trabajar, entender e interpretar.

El propósito de esta investigación es diseñar y desarrollar una herramienta que permita a personas ciegas construir gradualmente un modelo mental basado en referencias entre puntos. Esta herramienta consiste en un videojuego que metafóricamente permite a aprendices ciegos interpretar y asociar puntos en un gráfico de forma lúdica.

Se desarrollaron iterativamente prototipos que fueron sometidos a evaluaciones de usabilidad por parte de usuarios finales y expertos. Esto permitió ajustar, mejorar y validar aspectos de las interfaces diseñadas e implementadas. Además, una vez obtenido el prototipo final, se evaluó el impacto cognitivo basado en el uso del videojuego en aprendices ciegos.

Finalmente, los resultados obtenidos dieron cuenta del cumplimiento satisfactorio de los objetivos planteados.

## **Abstract**

A person with normal vision can daily notice, that exist varied activities that require the vision like main sense to be able to be realized in a satisfactorily way. In this sense, the adoption of a mental model that allows them to orient through points of references occurs in a natural form, boosted by the association and visual familiarity with the surrounding that generates since they are born. On the other hand, blind people are deprived of this possibility, a disadvantage that increases with the fact that the world in general has been designed and built for people who can see.

In the literature there are several studies that have tackled the adoption of reference models for the problem of orientation and mobility in people who are blind, imposing their own schemes and reference systems. In consequence this carries to the user to learn different forms of orientation, that consist in derivations or simplifications of the systems of coordinates in a two dimensional plane, that is precisely the problem that has remained in second plane. It is interesting to investigate the fact that if it supports the construction of a mental model that allows blind people have a structure of points of reference, any methodology or derivative tool in any field eventually could be easier to work, understand and interpret.

The purpose of this research is to design and develop a tool that allows people who are blind people to gradually build a mental model based on references between points. This tool consists of a video game that allows blind learners metaphorically interpret and associate points on a graph in a fun way.

It was iteratively developed prototypes that were subject to usability evaluations by end users and experts. This allowed adjusting, improving and validating aspects of the interfaces that were designed and implemented. Moreover, the final prototype was obtained, it was evaluated the cognitive impact based on the use of the videogame by learners who are blind.

Finally, the results obtained gave account of the satisfactory fulfillment of the objectives established

## **Agradecimientos**

El camino para desarrollar este trabajo tuvo momentos de redescubrimiento personal y de crecimiento profesional, lo cual no estuvo exento de dificultades e instancias de incertidumbre. Por esta razón, quiero agradecer a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a que este trabajo pudiera ser realizado y llegara a buen puerto.

Particularmente quiero agradecer a las siguientes personas:

A Marcela Carrasco, educadora diferencial en C5 - Universidad de Chile, por su apoyo y colaboración en las distintas etapas del presente trabajo.

A los niños del colegio Hellen Keller de Ñuñoa, que participaron en este trabajo, y que con su buena disposición y alegría, fueron esenciales para el desarrollo de la solución propuesta.

A Angélica Aguirre, jefe de estudio en el DCC - Universidad de Chile, y a Sandra Gaez, asistente docente en el DCC - Universidad de Chile, por su apoyo, gestión y actitud diligente, en diversas instancias a lo largo del desarrollo del trabajo.

A Paola Ponce, mi mujer, por ser mi apoyo fundamental en los buenos y malos momentos.

A Marion Muñoz y a Exequiel Cifuentes, compañeros de trabajo en C5 - Universidad de Chile, por recordarme el valor de las convicciones personales y del respeto a las personas.

Al profesor Jaime Sánchez por todas las oportunidades e instancias de crecimiento personal que me ha brindado como parte del trabajo en C5 - Universidad de Chile.

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos .....	3
1.2. Alcances metodológicos del trabajo .....	3
2. Trabajos relacionados .....	4
2.1. Interfaces multimodales y discapacidad visual .....	4
2.2. Videojuegos multimodales y discapacidad visual.....	7
2.3. Plano bidimensional, gráficos y discapacidad visual .....	8
2.4. Aprendizaje de la geometría y discapacidad visual.....	11
2.5. Modelo mental, cognición y discapacidad visual.....	12
2.6. Modelo de desarrollo de videojuegos .....	13
3. Apresto y análisis .....	16
3.1. Habilidades matemático geométricas .....	16
3.2. Tecnologías disponibles .....	17
3.3. Usuario final .....	18
3.4. Restricciones.....	18
3.5. Contexto de uso .....	19
4. Diseño.....	19
4.1. Videojuego .....	19
4.1.1. Videojuegos, metáfora y plano cartesiano .....	20
4.1.2. Videojuegos del estilo Tower Defense .....	21
4.2. Guidelines de HCI .....	23
4.3. Entorno virtual.....	25
4.3.1. Propuesta adaptada del videojuego Tower Defense .....	25
4.3.2. Elementos principales del videojuego .....	26
4.4. Tareas.....	26
4.4.1. Características importantes del videojuego .....	26
4.4.2. Acciones del juego.....	28
4.4.3. Estados del juego .....	28
5. Implementación .....	30
5.1. Interfaces .....	30
5.1.1. Interfaces de entrada .....	30
5.1.2. Interfaces de salida.....	31

5.2.	Pantallas, estados y características del videojuego.....	31
5.2.1.	Menú inicial .....	32
5.2.2.	Pantalla de configuración.....	33
5.2.3.	Pantalla de juego .....	35
5.3.	Funcionalidades .....	39
5.3.1.	Lenguajes de programación y framework .....	39
5.3.2.	Ciclo de juego .....	39
5.3.3.	WiimoteLib .....	40
5.3.4.	Audio .....	40
5.3.4.1.	Audio dinámico .....	40
5.3.5.	User tracking.....	41
6.	Evaluación de usabilidad.....	42
6.1.	Evaluación de usabilidad prototipo 1 .....	42
6.1.1.	Muestra .....	42
6.1.2.	Instrumentos.....	43
6.1.3.	Tareas.....	43
6.1.4.	Procedimiento .....	44
6.1.5.	Resultados.....	44
6.2.	Evaluación de usabilidad prototipo 2 .....	47
6.2.1.	Muestra .....	47
6.2.2.	Instrumentos.....	47
6.2.3.	Tareas.....	47
6.2.4.	Procedimiento .....	48
6.2.5.	Resultados.....	49
6.3.	Evaluación de usabilidad prototipo final.....	55
6.3.1.	Muestra .....	55
6.3.2.	Instrumentos.....	55
6.3.3.	Tareas.....	56
6.3.4.	Procedimiento .....	56
6.3.5.	Resultados.....	57
6.3.6.	Análisis prototipo final vs prototipo 2.....	60
7.	Evaluación de impacto cognitivo .....	61
7.1.	Muestra .....	61
7.2.	Instrumentos .....	62
7.3.	Tareas.....	63
7.4.	Procedimiento.....	63

7.5. Resultados.....	64
8. Conclusión .....	68
9. Bibliografía.....	69
10. Anexos.....	79
Anexo A. Pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos.....	79
Anexo B. Pauta de evaluación de usabilidad de software para facilitadores.....	82
Anexo C. Pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos.....	86
Anexo D. Cuestionario de evaluación de sonidos.....	89
Anexo E. Pauta de observación .....	90
Anexo F. Resultados detallados de usabilidad prototipo 1 .....	90
Anexo G. Resultados detallados de usabilidad prototipo 2 .....	93
Anexo H. Resultados detallados de usabilidad prototipo final .....	94
Anexo I. Resultados detallados de impacto cognitivo: eficiencia.....	96
Anexo J. Resultados detallados de impacto cognitivo: ineficiencia generada por los bloqueos	97
Anexo K. Resultados detallados de impacto cognitivo: ineficiencia generada por los alejamientos de la ruta .....	98

## 1. Introducción

Una persona con visión normal puede notar a diario, que existen variadas actividades que requieren como sentido principal la visión, para poder ser realizadas de manera satisfactoria [40]. En este sentido, la adopción de un modelo mental que les permite orientarse a través de puntos de referencias ocurre de forma natural, fomentada por la asociación y familiarización visual con el entorno que se genera desde que nacen. Por otra parte, las personas ciegas están desprovistas de esta posibilidad, desventaja que aumenta con el hecho de que el mundo en general ha sido diseñado y construido por y para gente que puede ver [63].

En la literatura existen diversas investigaciones que han abordado la adopción de modelos de referencia para el problema de orientación y movilidad, tanto a través de aplicaciones de entrenamiento, como a través de aplicaciones de asistencia. Las aplicaciones de entrenamiento representan virtualmente el entorno real que se busca recorrer, con el cual el usuario ciego puede interactuar y simular la navegación. Entre estas aplicaciones se encuentra AudioDoom [81] y AbES [86][87], que se enfocan en la construcción mental de ambientes haciendo un recorrido virtual por sus espacios utilizando el teclado del PC. En el caso de AbES el mundo virtual es una réplica espacial de un entorno real.

Dentro de esta categoría, también hay aplicaciones que optan por la interfaces hápticas para simular mapas de ambientes virtuales, donde el usuario ciego puede recorrer el mapa e ir utilizando un dispositivo háptico [92] para detectar volúmenes que representan obstáculos en el entorno virtual [40][49]. Mova 3D [84] incorpora una alfombra háptica que según las direcciones del reloj dirige al personaje en un mundo virtual. AudioChile [79] permite navegar el entorno virtual a través de sonido 3D.

PowerUp [96] es un videojuego donde para recorrer el entorno virtual se proveen herramientas para la navegación, orientación y accesibilidad. Por otra parte, las aplicaciones de asistencia se enfocan en entregar al usuario información dinámica acerca del entorno, lo que les permite tomar decisiones de desplazamiento en el momento. Las aplicaciones de asistencia recolectan datos del entorno en tiempo real, los procesan y entregan información al usuario. En la literatura existen diversas experiencias que abordan el problema de orientación en espacios cerrados, utilizando cámaras de video y algoritmos de interpretación de las imágenes capturadas [6][7][59][106]. También existen experiencias y software asociados a espacios abiertos, los cuales aprovechan la información del GPS para entregar información del entorno [41][50][68].

Todas estas formas de abordar el problema de orientación y movilidad tienen en común el hecho de imponer sus esquemas de orientación y sus sistemas referencia. En consecuencia esto lleva al usuario a aprender distintas formas de orientación, como las direcciones de desplazamiento norte, sur, este, oeste o bien las direcciones de la aguja del reloj o simplemente orientaciones adelante, atrás, izquierda y derecha. Sin embargo, se puede observar que todas son derivaciones o simplificaciones del sistema de coordenadas en un plano de dos dimensiones, y es justamente este problema el que ha pasado a segundo plano.

Es interesante investigar el hecho que si se apoya la construcción de un modelo mental, que permita a personas ciegas contar con una estructura de puntos de referencia, cualquier metodología o herramienta derivada en cualquier ámbito eventualmente podría ser más fácil de trabajar, entender e interpretar. Es aquí donde se hace necesario investigar una forma efectiva de

construir un modelo mental que permita a personas ciegas generar asociaciones de referencia en un plano de dos dimensiones.

Por ejemplo, las personas con visión normal, para desplazarse, además de la familiarización con el medio, tienen la posibilidad de apoyarse en la estructura que ofrecen los gráficos en dos dimensiones como modelo mental de puntos de referencia, lo que se hace evidente con la simple actividad de mirar un plano de la ciudad o un mapa para guiarse. Por el contrario, las personas ciegas no tienen la posibilidad de usar este mecanismo directamente como las personas con visión normal, y en consecuencia por descarte, sólo les queda reconocer el medio con el resto de las opciones disponibles, es decir reconociendo objetos y reconociendo lugares de referencia con sus otros sentidos.

Un sistema de coordenadas en dos dimensiones es un esquema básico de referencias que es usado en la construcción de mapas, y se puede ver como una extensión de un gráfico de dos ejes. Algunos usos destacables de los gráficos de dos ejes son: el estudio de funciones matemáticas, la explicación más clara de diversos tipos de resultados numéricos, y el sistema de coordenadas en un mapa.

En la literatura el problema de interpretación de gráficos para personas ciegas, se ha abordado de diversas formas. Una forma, es la representación auditiva de los gráficos de dos dimensiones, para el mapeo de un gráfico y sus características, a través de tonos musicales y pistas de audio [3][20][99]. En particular, se han empleado variaciones en las dimensiones de sonido para capturar diferentes propiedades de datos en un gráfico [44][51][99]. También está la opción de representar textualmente un resumen de los datos y de las características de un gráfico [16][39]. Otra forma, consiste en la representación táctil y háptica. Dentro de esta categoría se encuentran algunos autores que han utilizado el dispositivo háptico SensAble's Phantom [91] para desarrollar una representación gráfica [23][93][104], y en particular se ha expandido esta idea, introduciendo texturas para distinguir múltiples líneas en un gráfico [104]. Además, algunos autores han explorado en la construcción de sus propios dispositivos hápticos para estos fines [26]. Finalmente, tenemos las representaciones híbridas, es decir que combinan audio y háptica, lo que permite la interpretación de gráficos con ambos métodos [1][23][31][61][105]. En particular en el trabajo [1] se utiliza un dispositivo háptico Novint Falcon [54] que es una opción considerablemente más económica que el SensAble's Phantom.

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar y desarrollar una herramienta que permita a personas ciegas construir gradualmente un modelo mental basado en referencias entre puntos. Esta herramienta consiste en un videojuego que metafóricamente permite a aprendices ciegos interpretar y asociar puntos en un gráfico de forma lúdica. La investigación consideró el uso de un Wiimote como dispositivo de entrada para capturar las interacciones del usuario. Además, como parte de la investigación se contempló evaluar cognitivamente la adopción de esta estructura de coordenadas como base teórica para el desplazamiento en ambientes reales.

Esta herramienta tiene como fin contribuir a la formación de una base para que un usuario ciego pueda armar un sistema de referencias entre puntos. Esto puede ser aplicado para mejorar sus posibilidades para entender gráficos de funciones matemáticas o bien resultados numéricos. También puede servir para que se ubiquen con mayor facilidad en un entorno guiado por puntos de referencia, y en consecuencia, contribuir a mejorar sus habilidades de desplazamiento autónomo.

Un aspecto que justificó a priori una investigación de este tipo, es que no existe “La Herramienta” que formalmente apoye el desarrollo de esta área de matemáticas para personas ciegas. Esta es un área que requiere de una abstracción mental que los aprendices ciegos no logran realizar, y que en general se trabaja con materiales concretos.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Diseñar y desarrollar una herramienta para usuarios ciegos que permita construir gradualmente un modelo mental de referencias basado en la asociación entre puntos en un plano de 2 dimensiones.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Diseñar y desarrollar un videojuego que permita aprender e interpretar puntos en un plano de 2 dimensiones y su aplicación directa en sistemas de referencia.
- Evaluar el videojuego desarrollado desde el enfoque de usabilidad.
- Evaluar el impacto cognitivo del videojuego.
- Validar un modelo de desarrollo de videojuegos existente [85].

## **1.2. Alcances metodológicos del trabajo**

Para el diseño, implementación y evaluación del videojuego se adoptó una metodología centrada en el usuario [27]. Con esto se persiguió un mejor alineamiento entre las formas de interacción e intereses de los usuarios finales, que en este caso corresponden a los usuarios ciegos que participaron en esta investigación.

La implementación consideró un desarrollo de software basado en metodologías ágiles [11]. En cada iteración de desarrollo se obtuvo un prototipo que fue sometido a evaluaciones funcionales y evaluaciones de usabilidad.

Para realizar las evaluaciones funcionales, se desarrollaron pruebas basadas en la ejecución, revisión y retroalimentación de las funcionalidades diseñadas para el videojuego, a través de modelos de prueba con enfoques de caja blanca y caja negra.

Para realizar las evaluaciones de usabilidad se utilizaron distintas metodologías a lo largo de las iteraciones de desarrollo de software del videojuego [53][88][90]. Con esto, se obtuvo una medida de la calidad del software en términos de la interacción del usuario con las interfaces desarrolladas, y a su vez se retroalimentó el diseño de la solución de acuerdo al punto de vista del usuario. A modo de recoger información cualitativa y cuantitativa, se utilizaron instrumentos tales como pautas de evaluación de usabilidad de las componentes del videojuego, cuestionarios de preguntas abiertas y pautas de evaluación de usuario final. Estos instrumentos fueron completados con las respuestas que entregaron los usuarios ciegos que participaron en la investigación, obteniendo información acerca de la percepción de uso del software por parte del

usuario. También se aplicaron pautas de observación, con las cuales un evaluador registró las acciones de los usuarios ciegos al interactuar con la herramienta, obteniendo información acerca de la forma en que los usuarios interactuaron con el sistema.

Finalmente, se hizo una evaluación cognitiva de las tareas realizadas por un grupo de usuarios al jugar con el videojuego. Para este propósito, se creó un kit de tareas cognitivas que permitieron evaluar las habilidades desarrolladas por los usuarios ciegos, producto de la interpretación y adopción del sistema de referencias que entrega el videojuego. Las tareas cognitivas respondieron a las habilidades y/o conocimientos que el videojuego desea potenciar y desarrollar en los aprendices ciegos.

Este trabajo se organizó en las siguientes etapas:

- Trabajos relacionados.
- Apresto y análisis.
- Diseño del videojuego.
- Implementación del videojuego.
- Evaluación de usabilidad del videojuego.
- Evaluación de impacto cognitivo.

## **2. Trabajos relacionados**

### **2.1. Interfaces multimodales y discapacidad visual**

Su *et al.* (2010) presentaron Timbremap, una interfaz de audio que permite a usuarios con discapacidad visual explorar la disposición de espacios cerrados complejos a través de la pantalla touch de los dispositivos móviles [95]. La interfaz provee feedback de sonidos icónicos para guiar el dedo del usuario a través de las formas, permitiendo al usuario desarrollar un entendimiento cognitivo de las rutas y de las características correspondientes a la disposición de un espacio cerrado [95].

Harada, Takagi & Asakawa (2011) presentaron y evaluaron una aproximación al despliegue auditivo de información espacial sin pistas visuales, usando como base fundamental las direcciones radiales [25]. Este método permite a los usuarios con discapacidad visual indicar rápidamente las direcciones hacia algún objetivo, y también las formas que fueron trazadas como caminos, entregando feedback directo [25]. Los resultados mostraron que el mapping basado en sonido direccional puede ser aprendido rápidamente y que los usuarios pueden usarlo para percibir información espacial así como bordes de formas y contornos de caminos [25].

Yatani, Banovic & Truong (2012) desarrollaron SpaceSense, un sistema para representar información geográfica, el cual provee feedback háptico a través de la vibración múltiple de 9 motores sobrepuestos en la zona posterior de un iPhone [103]. Estos puntos indican la dirección y distancia del próximo punto de destino, o bien de otros puntos marcados, ayudando al usuario a mantener una relación espacial entre distintos puntos [103]. Los usuarios de este sistema

señalaron que el feedback háptico espacial es un factor que contribuyó en la construcción y mantención de sus mapas mentales [103]. El diseño de la interacción del sistema SpaceSense es interesante. Los usuarios al dibujar gestos sobre el mapa en pantalla, como por ejemplo un círculo, una estrella y un cuadrado, pueden respectivamente representar o recibir información de su ubicación simulada, el destino y la ubicación marcada [103]. La interacción ocurre de esta forma: primero el usuario realiza un gesto en la pantalla para obtener la siguiente instrucción, luego SpaceSense lee el nombre de la calle y la orientación; a continuación el feedback háptico espacial transmite la dirección hacia el destino, y finalmente también se transmite feedback háptico espacial desde la ubicación marcada [103].

En Chile, en el contexto de posibilitar la utilización del Metro de Santiago a personas ciegas, se diseñaron y desarrollaron los software Audiometro y MBN (Mobile Blind Navigation) [77]. Audiometro es un software para computador que modela las redes de metro y el funcionamiento de éste, presentando la información al usuario ciego de forma tal que le permite programar y simular distintos viajes entre estaciones. Esto permite que el usuario ciego pueda acceder a los 3 niveles de conocimientos de la red de tren subterráneo: (i) conocimiento conceptual, donde se adquiere la noción de estación, andén, línea de metro, (ii) conocimiento específico, referido al aprendizaje de los nombres de las líneas de metro, nombres de las estaciones, información del entorno próximo a las estaciones como calles, lugares de interés, comercio u otros, (iii) articulación: en este último nivel todas las nociones y conocimientos específicos son utilizados para realizar viajes autónomos y eficientes en el metro [77]. MBN es una versión móvil de Audiometro, destinada a dispositivos PocketPC, que permite que las personas ciegas realicen desplazamientos reales entre las líneas y estaciones del metro [77].

El software Audiotransantiago, que también fue desarrollado para dispositivos PocketPC, apuntó a la entrega de información respecto a las paradas autorizadas por cada servicio de bus en el sistema de buses urbanos de Santiago, Chile (llamado Transantiago). El software entrega información de las calles y de los lugares de interés aledaños a cada paradero, lo que permite a los usuarios ciegos realizar una construcción mental del entorno navegado, al estar en el interior de un bus [78]. Para ello se utilizó una voz sintetizada, que junto a los comandos ejecutables a través de los botones de la PocketPC, permitieron la planificación de diversas rutas en espacios urbanos [78].

El software ambientGPS, es un sistema de apoyo a la navegación a pie de los usuarios ciegos. El sistema funciona en un dispositivo PocketPC, incorporando el uso del sistema satelital de posicionamiento (GPS) y de voces sintetizadas para entregar información a través de audio a los usuarios ciegos, respecto a las distancias en metros y dirección a seguir (giros necesarios de ejecutar) entre distintos puntos. Esta información permite a los usuarios ciegos desplazarse entre lugares cercanos o accesibles caminando, como es el caso de edificios o servicios, ayudándoles en la implementación de estrategias convencionales de desplazamiento, apoyadas por el uso de tecnología móvil para su autonomía y seguridad [68].

Ivanov (2011) propuso un algoritmo para la navegación asistida por GPS, de usuarios con discapacidad visual, a través de la reproducción de pistas entregadas a partir de los datos del GPS, describiendo el camino como una secuencia de puntos de interés [28]. Las principales ventajas de este algoritmo son: la navegación natural por voz, la adaptación a la velocidad y precisión de los datos del GPS, el comienzo de la navegación desde cualquier punto de interés, la corrección de la dirección del movimiento si es necesario, el retorno del usuario a su ruta si una

desviación es detectada, el trabajo con y sin brújula digital, y la detección del movimiento del usuario en la dirección opuesta [28].

Guy & Truong (2012) abordaron el problema de orientación y movilidad para peatones con discapacidad visual. Al examinar las necesidades específicas de navegación de los usuarios, determinaron que las intersecciones de las calles son un punto de stress para ellos, principalmente cuando se trata de áreas desconocidas [24]. Para abordar el problema, presentaron un prototipo de aplicación de navegación, para peatones con discapacidad visual, el cual llamaron CrossingGuard. Este prototipo provee detalles de la geometría de las intersecciones de las calles, lo cual es información muy valiosa para los usuarios [24]. La interacción del sistema CrossingGuard ocurre a través de gestos en la pantalla touch [24]. Las acciones posibles son preguntas que el usuario hace al sistema, y que a su vez el sistema contesta entregando información importante [24]. Estas acciones son: ¿Qué hay aquí?, ¿Dónde puedo ir?, y ¿Qué debo hacer aquí para llegar a mi destino? Las acciones se ejecutan cuando el usuario realiza un toque de pantalla, dos toques de pantalla, y un desplazamiento en la pantalla hacia la izquierda o la derecha, respectivamente [24]. Las intersecciones dependiendo de la forma se describen como: ‘T’, ‘+’ y “multivía” [24].

Kaklanis *et al.* (2010) implementaron 3D HapticWebBrowser, un framework basado en audio y háptica, el cual permite a usuarios con discapacidad visual navegar a través de Internet y explorar mapas 2D encontrados en la web [32]. La exploración de mapas 2D se enfoca en la extracción de los nombres de calles y de la estructura de los caminos, y en la construcción de modelo 3D del mapa [32].

Kaklanis *et al.* (2011) presentaron HapticRiaMaps, una aplicación basada en audio y háptica que tiene la capacidad de proveer a los usuarios con discapacidad visual de una exploración de mapas 2D online [33]. La interacción háptica permite a los usuarios percibir la estructura de los entornos del camino, incluyendo puntos de interés, intersecciones y nombres de calles, basada en el uso de navegadores web típicos y aplicaciones web de mapas como OpenStreetMap [33].

Schmitz & Ertl (2010) desarrollaron un sistema que despliega mapas en forma háptica, usando un gamepad estándar con vibración [89]. El sistema fue pensado para un uso en el lugar y fuera del lugar representado por el mapa, incluyendo mecanismos para explorar tanto áreas extensas como pequeñas [89].

Milne, Antle & Riecke (2011) investigaron en el uso de Mapas multimodales digitalmente mejorados, donde el usuario puede controlar la posición y orientación, y escuchar la ubicación de puntos importantes marcados [46]. El prototipo obtenido en este trabajo permitió estudiar formas de controlar la orientación a través de movimientos del cuerpo del usuario, realizando una comparación preliminar entre una interfaz basada en el movimiento de la cabeza y una interfaz tangible [46].

Francese, Passero & Tortora (2012) realizaron un profundo estudio acerca del uso de dispositivos que permiten navegación 3D, tales como el Wiimote y la Kinect [19]. Con estos dispositivos es posible enriquecer, a bajo costo, la interacción del usuario con computadores de escritorio o bien notebooks, mediante la construcción de nuevas formas de interfaces naturales, que agregan una tercera dimensión [19]. En su trabajo, diseñaron 2 sistemas de interacción con mapas geográficos tridimensionales [19]. Finalmente, evaluaron en términos de usabilidad subjetiva y de sentido de

presencia e inmersión percibida, los efectos sobre los usuarios de ambos controles a partir del uso de los 2 sistemas diseñados, obteniendo excelentes resultados [19].

Tzouvaras *et al.* (2009) desarrollaron una herramienta interactiva y extensible para el entrenamiento en un entorno de realidad virtual, usando un dispositivo háptico llamado CyberGrasp [97]. Esta herramienta permite a personas con discapacidades visuales, navegar a través de ambientes de realidad virtual en tamaño real [97].

Pietrzak *et al.* (2007) presentaron MICOLE, una arquitectura de software, que facilita a los desarrolladores las tareas de creación de aplicaciones multimodales y multiusuario [58]. Los componentes físicos involucrados incluyen un Mouse VTPlayer, el cual posee dos pantallas braille, además de varios dispositivos hápticos como Phantom Omni, Phantom Desktop y Phantom Premium [58].

Usui *et al.* (2010) investigaron un método para entregar información auditiva, que permite a usuarios con discapacidad visual definir la ubicación de los objetos en las pantallas touch [98]. Para esto, desarrollaron un videojuego de concentración, con el fin de determinar que es posible mejorar la capacidad de localización de sonidos, a través de la evaluación de las características de los usuarios con discapacidad visual que operan con este método en las pantallas touch [98].

Weiss *et al.* (2011) presentaron FingerFlux, un sistema que entrega feedback háptico, sobre superficies interactivas, mediante el uso de imanes: uno en el dedo del usuario y varios sobre la superficie de interacción [100]. Al interactuar, el usuario puede sentir atracción o repulsión, además de vibraciones, cuando el dedo se encuentra hasta 25mm sobre la superficie. Es decir, el sistema provee feedback al usuario antes de tocar la superficie [100].

Sánchez & Espinoza (2012) presentaron los logros obtenidos en el proyecto de prueba de selección universitaria (PSU) para ciegos. El objetivo de este proyecto fue desarrollar e implementar un sistema digital piloto que adaptó la PSU de lenguaje y comunicación, y que permitió la participación equitativa, autónoma e inclusiva de las personas con discapacidad visual en el proceso de selección universitaria [75]. Para esto se generó una solución de hardware y software que fue llamada AudioPSU [75]. El diseño del software integró la lógica necesaria para estructurar la forma en que se recorren y responden las preguntas [75]. La solución integró text-to-speech (TTS) para la lectura de preguntas, además de un hardware ad-hoc (netbooks, teclado numérico y audífonos) que fue utilizado por los usuarios para trabajar con el sistema [75].

## **2.2. Videojuegos multimodales y discapacidad visual.**

Kuber, Tretter, & Murphy (2011) desarrollaron un videojuego de memoria basado en el clásico juego “Simon™” [38]. El videojuego presenta a los usuarios una secuencia de estímulos, los cuales deben ser repetidos por ellos en el mismo orden, con la finalidad de avanzar al siguiente nivel [38]. La secuencia de estímulos es presentada mediante una combinación de señales de voz y/o de señales hápticas diseñadas para ayudar a los usuarios ciegos [38]. Los resultados del estudio revelaron que mediante la presentación de estos estímulos basados en háptica y audio, los usuarios ciegos pudieron reproducir con éxito más secuencias, en comparación a los que solo recibieron retroalimentación háptica [38].

Kim & Ricaurte (2011) plantearon que hay muy pocos videojuegos pensados para personas ciegas o con déficit visual. Esto se debe principalmente a que en general, los videojuegos convencionales se basan en secuencias visuales para influenciar la interacción del usuario [36]. Considerando lo anterior, desarrollaron un videojuego móvil musical para la plataforma Android, el cual se basa en secuencias de audio, como principal conductor de la interacción del usuario [36]. Además, hay otros elementos en el videojuego que ayudan al usuario a jugar, por ejemplo la integración de text-to-speech y el feedback háptico, los que permitieron al usuario ciego interactuar con el videojuego y sus menús, utilizando la pantalla táctil del teléfono móvil [36].

Sánchez *et al.* (2009, 2010) presentaron el diseño, desarrollo y estudio inicial de las adaptaciones que se producen en el cerebro, en relación con la navegación, mediante el uso de AbES (Audio based Environment Simulator), un simulador de entornos basado en audio [86][87]. Se estudiaron los cambios en la actividad cerebral, a partir de la aplicación de técnicas avanzadas de neuroimagen y neurociencia durante la navegación de los usuarios a través del juego [86][87]. Este entorno virtual permite a los usuarios ciegos navegar a través de representaciones virtuales de un espacio real, con el fin de entrenar sus habilidades de orientación y movilidad [86][87].

Sánchez & Tadres (2010), Sánchez & Espinoza (2011a) y Sánchez (2012) presentaron el desarrollo y evaluación de un videojuego con 2 interfaces, una háptica y otra de audio, las cuales permiten la estimulación de las habilidades de orientación y movilidad en personas ciegas, a través de la navegación en ambientes virtuales [66][70][80]. Para esto se diseñó, implementó y evaluó el videojuego AudioHapticMaze, el cual permitió a usuarios ciegos poder navegar a través de una serie de laberintos desde la perspectiva de tercera persona, obteniendo retroalimentación del juego a través de la utilización de sonido especializado, interfaces hápticas o ambas simultáneamente [66][70][80]. El objetivo fue determinar si el uso de interfaces basadas en audio y/o háptica permite la creación de una mejor representación mental de los entornos virtuales y de los objetos que pueden encontrarse en el camino [66][70][80].

Sánchez, Sáenz & Garrido (2010) presentaron el diseño, desarrollo, evaluación de usabilidad y de impacto cognitivo de MOVA3D, un videojuego basado en audio y háptica para el desarrollo de habilidades de orientación y movilidad en espacios cerrados y desconocidos, en niños ciegos en edad escolar [84].

Sánchez, Espinoza & Garrido (2012a, 2012b) presentaron el diseño y evaluación de impacto cognitivo de MOVAWii, un videojuego basado en audio y háptica, que integra un ambiente virtual que representa un espacio físico real abierto (una plaza). En el videojuego, el usuario interactúa utilizando el control Wiimote y el movimiento de su propio cuerpo. El objetivo del videojuego es estimular el desarrollo de las habilidades de movilidad y orientación en aprendices ciegos [82][83].

### **2.3. Plano bidimensional, gráficos y discapacidad visual**

Kamel & Landay (2000) propusieron un método táctil de dibujo para usuarios ciegos, el cual está basado en grillas de 3x3 que son recursivas (una celda de una grilla puede anidar otra grilla) [34]. Este método provee una forma de seleccionar y ubicar puntos importantes en relación al dibujo, medir el largo de una línea, medir la curvatura de un dibujo y determinar ángulos, propiedades que mantienen al usuario comunicado con toda la estructura del dibujo [34].

Crossan & Brewster (2008) investigaron en la reproducción de trayectorias hápticas y auditivas como un método de enseñanza y de transferencia de información de las formas, gestos y trayectorias, para personas ciegas y con discapacidad visual [12]. Primero, compararon el rendimiento de un grupo de personas ciegas y con discapacidad visual con un grupo de usuarios con visión, determinando que el reconocimiento de formas, usando el método basado solamente en háptica, es significativamente más difícil en las personas ciegas y con discapacidad visual [12]. En un segundo estudio, dieron un mayor apoyo a la tarea, incorporando reproducción auditiva en conjunto con la háptica. Esto presentó mejoras significativas en el rendimiento de los usuarios ciegos y discapacitados visuales, con respecto a la reproducción de la trayectoria basada sólo en háptica [12]. Finalmente, en un tercer estudio, demostraron cómo la reproducción de la trayectoria puede ser útil en una situación profesor-alumno [12]. El profesor fue capaz de utilizar la función de reproducción de la interfaz para describir la información no textual a un usuario ciego, lo cual mostró ser particularmente útil cuando la descripción verbal es difícil [12].

El método de reproducción de trayectorias hápticas y auditivas, presentado por Crossan & Brewster (2008), puede ser utilizado en distintos tipos de interfaces, tales como un sistema basado en gestos (por ejemplo, para controlar un sistema), un sistema de entrenamiento (por ejemplo, para enseñar escritura a mano o la geometría), o en un entorno de colaboración (por ejemplo, para apoyar el awareness y proporcionar información de contexto) [12]. Los autores proponen limitar la ruta a través de fuerzas, proporcionando de esta forma un espacio de movimiento que el usuario recorre por sí mismo, en vez de arrastrar al usuario a través de la forma [12]. La combinación de información basada en háptica y audio mejoró significativamente el rendimiento de los usuarios ciegos y discapacitados visuales en las tareas de recrear las formas [12].

Jagdish *et al.* (2008) presentaron Sonic Grid, un sistema de representación auditiva en un espacio de 2 dimensiones que provee, a los usuarios con discapacidad visual, un contexto espacial mientras navegan en interfaces gráficas de usuario (GUIs) [30].

Bernareggi *et al.* (2008) presentaron un sistema multimodal interactivo basado en audio, háptica y visualización, para crear, editar y explorar estructuras de gráficos a través de operaciones directas de manipulación [5].

Petit *et al.* (2008a, 2008b) desarrollaron un sistema llamado MaskGen, con el objetivo de traspasar interactivamente las ilustraciones de libros de escuela, a gráficos táctiles [56][57]. Los gráficos táctiles fueron desplegados en un dispositivo háptico llamado STReSS2, el cual permite navegar por los puntos que modelan la imagen a través del feedback que provee el dispositivo [56][57]. Los resultados mostraron que los gráficos táctiles permiten a usuarios con discapacidad visual explorar las ilustraciones y responder preguntas sobre su contenido [56][57].

Abu Doush *et al.* (2009, 2010) estudiaron los problemas que presentan en usuarios con discapacidad visual los diferentes tipos de gráficos soportados por Excel (líneas, barras, circulares, dispersión) [1][2]. Para abordar este problema, propusieron un sistema cuyo objetivo fue soportar la presentación multimodal de gráficos de 2 dimensiones, a través de feedback háptico (usando el dispositivo Novint Falcon) y de feedback auditivo hablado e icónico [1][2]. El sistema aprovecha la capacidad de extraer información de los gráficos desde la representación OOXML, la cual es soportada por Excel desde la edición 2007 [1][2].

McGookin, Robertson & Brewster (2010) presentaron una interfaz tangible que llamaron Tangible Graph Builder, la cual permite a usuarios con discapacidad visual acceder a los datos de los gráficos [45]. Con esta herramienta, los usuarios con discapacidad visual pudieron completar la construcción de gráficos y la realización de tareas de navegación [45].

Sánchez (2010) investigó en la posibilidad de usar técnicas de feedback auditivo para reconocer formas y gestos, esto basado en la idea de las relaciones espaciales del sonido [65]. El diseño de la interacción es interesante, ya que se basa en punteros comunes como el mouse, el lápiz o bien el dedo en las pantallas touch [65]. Por ejemplo, si se está recorriendo una curva, la intensidad del sonido es inversamente proporcional a la distancia entre el puntero controlado por el usuario y la curva. Es decir a menor (o mayor) distancia mayor (o menor) intensidad de sonido [65]. Esta es una característica interesante, porque se puede usar para apoyar la navegación y la interacción en ciertas instancias de un videojuego.

Goncu & Marriot (2011) presentaron una herramienta basada en audio y háptica llamada GraVVITAS, que sirve para entregar accesibilidad a los gráficos. Esta herramienta permite a usuarios ciegos entender una serie de gráficos, tablas y planos que modelan algún lugar [22]. El hardware del sistema combina el uso de un tablet PC, y de un guante común al cual se le incorporaron vibradores que se controlan a través de una placa Arduino, la cual a su vez se conecta al tablet PC [22].

Kim & Lim (2011) estudiaron el traspaso de información de gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual, mediante el uso de un dispositivo háptico llamado Handscope [35].

Xu *et. al* (2011) presentaron TeslaTouch, una tecnología que provee sensación táctil al mover dedos sobre una superficie touch, a través de la cual se puede representar información en 2D [102]. TeslaTouch ayuda a mostrar, a personas con discapacidad visual, cierto tipo de información compleja, como por ejemplo expresiones matemáticas, ilustraciones, diagramas y mapas [102].

Manshad, Pontelli & Manshad (2011) desarrollaron un sistema multimodal de cubos interactivos para la orientación de objetos manipulables, el cual fue destinado al uso por parte de personas con discapacidad visual [43]. A través de su interfaz tangible, los usuarios con discapacidad visual pueden crear, modificar e interactuar naturalmente con diagramas y gráficos sobre una superficie multitouch [43]. El sistema también provee feedback auditivo para ayudar al usuario en la ejecución de acciones [43]. El sistema se encuentra en proceso de evaluación para validar aspectos como la navegación, modificación y construcción de gráficos en un plano cartesiano y en diagramas [43].

Davison (2012) investigó en el uso de gráficos auditivos para aprendices ciegos en la enseñanza media [14]. Para estos efectos, construyó y evaluó una herramienta que provee algunos de los objetivos y operaciones enseñadas en el primer curso de matemáticas para los aprendices ciegos [14]. Su propuesta consiste en que los gráficos auditivos son una alternativa aceptable a los gráficos visuales y táctiles, esto en términos de compatibilidad del curriculum, desempeño del aprendiz y satisfacción del profesor [14].

## 2.4. Aprendizaje de la geometría y discapacidad visual

El aprendizaje de la geometría busca que un estudiante pueda ejecutar un procedimiento para resolver un problema, a través de la experimentación, selección, evaluación, creación y aplicación de diferentes estrategias de solución [48]. Las estrategias de solución pueden ser a través de ensayo y error, o bien a través de la transferencia de soluciones a problemas similares [48]. Los estudiantes aprenden a utilizar representaciones como diagramas, esquemas, gráficos, lenguaje simbólico y vocabulario para comunicar [48]. En cada una de las habilidades mencionadas resalta la necesidad de contar con situaciones, sean estas concretas o no, que vayan entregando experiencias para resolver diferentes tipos de problemas, oportunidades para usar diversas formas de comunicación de ideas, manejar variadas formas de representación de un mismo concepto, etc., con el fin de lograr un aprendizaje significativo [48].

Los aprendizajes a los que apunta la enseñanza de la geometría se relacionan directamente con el desarrollo de capacidades como configurar y utilizar un pensamiento espacial, y el movimiento y el tratamiento de problemas mediante el uso de formas, tamaños y posiciones [48]. De esta manera, se pueden identificar los siguientes aprendizajes esperados: (i) Reconocer, visualizar y dibujar figuras, (ii) Describir las características y propiedades de figuras en 3D y 2D tanto en situaciones estáticas como dinámicas, (iii) Reconocer aspectos espaciales y de ubicación de los cuerpos, (iv) Construcción de Figuras, (v) Nociones de Medición en figuras planas, (vi) Mediciones y representación [48].

En la geometría, la comprensión de figuras progresa desde figuras simples hasta llegar a representaciones en un sistema de coordenadas [47]. La medición va desde el uso unidades arbitrarias o estandarizadas, hasta el cálculo de perímetros, áreas y volúmenes [47]. La posición y movimiento de figuras y cuerpos geométricos, trabaja con la ubicación relativa y los cambios de la posición, utilizando coordenadas y vectores [47].

Aún cuando la Geometría se puede generar a través de la expresión verbal, gráfica, y simbólico formal, ésta subyace en la realidad física [18]. En general, el aprendizaje de la Geometría ocurre en el aula, apoyado por gráficos, diagramas, dibujos y fotografías, todas formas muy utilizadas de comunicación de información visual, para resolver un ejercicio o problema matemático [18]. Estos elementos gráficos deben cumplir la función de permitir que los aprendices hagan conexiones visuales que contribuyan a la comprensión de conceptos, ideas y relaciones ya sea en guías de trabajo, pruebas, libro de estudio [18].

Particularmente, en el caso de experiencias con estudiantes ciegos, la enseñanza de la geometría se ha basado en la elaboración de material que permita la exploración táctil y concreta de figuras y representaciones, lo cual ha permitido la aproximación a nociones geométricas de volumen, áreas y perímetros [62]. Algunos de estos estudios muestran que junto con el uso de material didáctico, adquiere relevancia el uso del lenguaje matemático y de la gesticulación, en torno a la actividad que realizan el estudiante ciego y el profesor [17][37]. Estas maneras de enseñar geometría son coherentes con otras áreas de las matemáticas que también son enseñadas a estudiantes ciegos con apoyo multimodal [94].

## 2.5. Modelo mental, cognición y discapacidad visual

Los modelos mentales son modelos que tienen las personas de ellas mismas, de otros, del medio y de los objetos con los que interactúa [67]. Estos modelos se construyen sobre la base de la experiencia, la formación, la capacitación, la interpretación de las acciones percibidas de su estructura visible, y la interacción con el mundo [67].

De forma genérica, un mapa cognitivo se refiere a la percepción o punto de vista que un individuo tiene del mundo, a partir de su interacción con el medio ambiente [21]. Un mapa cognitivo puede ser definido como una combinación entre el conocimiento del mundo y la cognición espacial [21]. En este sentido, el mapa cognitivo es la forma en que utilizamos la mente para guiarnos en el desplazamiento, siendo el principal esquema de orientación espacial que poseemos [21]. El mapa cognitivo como proceso de razonamiento espacial entrega información espacial útil para la movilidad [29].

Mapa mental (del inglés mental map) y mapa cognitivo pueden ser considerados sinónimos [64]. Es importante aclarar la diferencia con respecto al concepto de “*mind map*”, que también se traduce en español como mapa mental. Mind map es una técnica organizadora del conocimiento, que usa diagramas para representar ideas; su construcción también es subjetiva, pero tiene relación con una forma o estrategia para aprender o explicar algo [8].

El aspecto sensorial es muy relevante en las funciones implicadas en la percepción y representación mental de objetos [64]. Esto se debe a que accedemos y negociamos el conocimiento espacial del mundo a través de los sentidos [64].

Según Andrade (2010), la incorporación de interfaces basadas en audio y háptica, como mediadores del aprendizaje para la adquisición de conceptos en niños ciegos, constituyen características peculiares de forma y fondo [4]. Esto implica que sus representaciones mentales no serán equiparables a las elaboradas por un niño con visión [4].

Según Lahav & Mioduser (2008), el apoyo a nivel perceptual y conceptual es importante para el desarrollo de habilidades de orientación y movilidad, y también para la elaboración de mapas mentales [40]. La noción de mapa habla de una representación internalizada del espacio, mezcla de conocimiento objetivo y percepción subjetiva [40]. El conocimiento espacial conformado por conceptos simples, ideas complejas, localizaciones y relaciones se encuentra retenido en la mente, mediante imágenes cognitivas del medio, las cuales forman los mapas mentales [40]. Como la mayor parte de la información requerida para realizar el mapeo es recopilada por el canal visual [42], algunos autores postulan que los individuos ciegos utilizan, de forma compensatoria, otros canales sensoriales y métodos de exploración alternativos para construirlos [29].

Algunas de las formas utilizadas para evaluar mapas mentales, como por ejemplo, el uso de maquetas, dibujos, lista de los lugares recorridos, reconocimiento de diapositivas y estimación de distancias, presentan limitaciones a nivel metodológico [9]. La entrada sensorial de una persona con discapacidad visual difiere de una persona con visión; por esta razón, cuando una persona con discapacidad visual forma mapas cognitivos, se debe considerar que presentará dificultades para fijar con precisión una imagen mental, en comparación a una persona con visión [9]. En el caso de personas con discapacidad visual, se debe considerar la utilidad como criterio de

evaluación, y no solamente la exactitud que el sujeto pudo o no establecer respecto a qué tan completa o precisa es la imagen [9].

Oren, Harding & Bonebright (2008) estudiaron comparativamente los mapas mentales creados por personas con visión y personas con discapacidad visual, a partir del uso de un videojuego auditivo de plataforma [55]. El resultado del estudio mostró que todos los usuarios con visión y con discapacidad visual fueron capaces de crear mapas mentales con más o menos la misma exactitud [55].

Nicolau, Jorge & Guerreiro (2009) investigaron cómo los usuarios ciegos exploran un lugar desconocido, sus dificultades, capacidades y necesidades [52]. Los autores desarrollaron un prototipo que genera instrucciones y entrega feedback en forma familiar, adecuada y de fácil comprensión [52]. Se evaluó el sistema con usuarios ciegos, validando la propuesta y los guidelines de orientación establecidos, además, como parte de la investigación, también se analizó cómo los usuarios ciegos crean sus propios mapas mentales, verbalizan una ruta y se comunican entre sí [52].

Quinones *et al.* (2011) investigaron la forma en que los usuarios con discapacidad visual navegan, entendiendo sus actividades, las dificultades que enfrentan, las herramientas que usan, y sus técnicas para buscar caminos [60]. Para esto estudiaron y determinaron patrones de navegación, prácticas de orientación, y necesidades de los usuarios con discapacidad visual [60]. Luego, relacionaron estos elementos con el desarrollo de sistemas de información basados en la localización, observando cómo estos sistemas apoyan la independencia y confianza del usuario, cuando navegan por rutas conocidas y desconocidas [60].

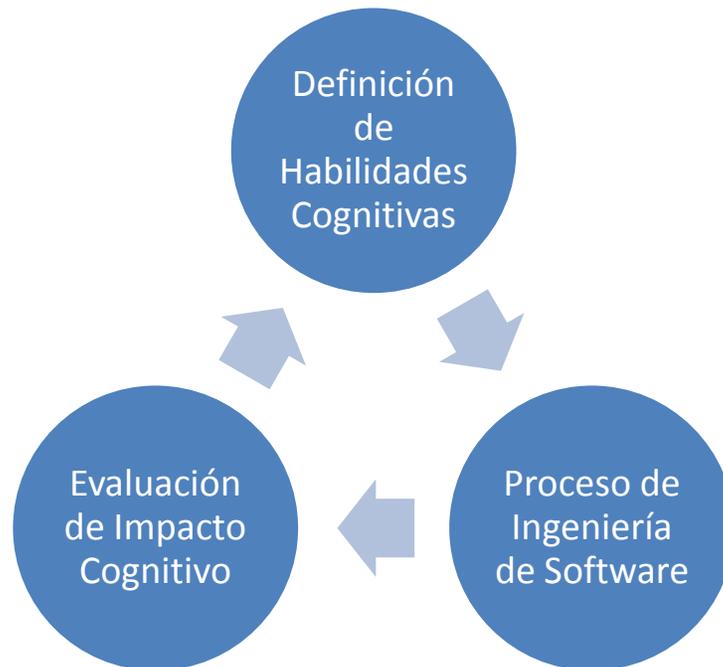
## **2.6. Modelo de desarrollo de videojuegos**

Para este trabajo se utilizó un modelo de desarrollo de videojuegos para mejorar las habilidades matemático-geométricas en aprendices ciegos construido por Sánchez, Espinoza, Carrasco & Garrido (2012) [85]. El objetivo de este modelo es justamente guiar a investigadores y desarrolladores, en el proceso de diseño y desarrollo de videojuegos orientados a mejorar las habilidades matemático-geométricas y de representación mental, en niños y jóvenes con discapacidad visual. En este sentido, la adopción del modelo en el presente trabajo, apoyó el diseño y desarrollo del videojuego propuesto, mejorando considerablemente la pertinencia, la aceptación y el uso por parte de los usuarios finales.

El modelo considera tres procesos: (i) la definición de las habilidades cognitivas que se abordarán, (ii) el proceso de ingeniería de software para el diseño y desarrollo de los videojuegos, y (iii) el proceso de evaluación de impacto en los usuarios, a partir del uso de la herramienta desarrollada. Como se muestra en la Figura 1, estos procesos deben ejecutarse de manera cíclica e iterativa. Esto genera un proceso global, que va ajustando incrementalmente la herramienta tecnológica que se está desarrollando. [85]

La definición de habilidades cognitivas es fundamental, para poder iniciar el proceso de desarrollo de una herramienta tecnológica que esté alineada con su contexto. Aquí se identifican los problemas más importantes que se abordarán en el posterior proceso de Ingeniería de Software. [85]

En general, la metodología de evaluación de impacto sigue una lógica de estudio de casos, en que se involucra un análisis transversal y en profundidad de las instancias o eventos [40][85]. Aún bajo esta metodología, es interesante conocer el impacto generado, en términos de aprendizaje, a partir del uso del videojuego por parte de los usuarios [85]. Para esto se realizan los siguientes pasos: (i) aplicación de un pretest, previo a la intervención con el videojuego, midiendo el comportamiento de una o más variables dependientes en estudio; (ii) aplicación de la intervención, es decir desarrollo de tareas cognitivas que involucran la utilización del videojuego por parte de los usuarios; y (iii) aplicación de un postest, posterior a la intervención con el videojuego, midiendo el comportamiento de la mismas variables dependientes en estudio, que fueron medidas anteriormente en el pretest [85].



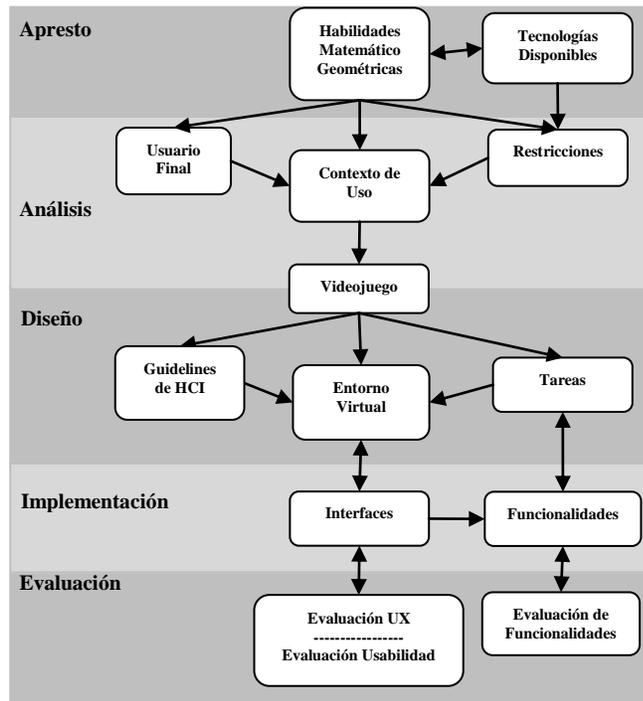
**Figura 1. Ciclo iterativo del modelo de desarrollo de videojuegos [85].**

El proceso de Ingeniería de Software se basa en las 5 etapas tradicionales de desarrollo de sistemas: Aprestó, Análisis, Diseño, Implementación y Evaluación (ver Figura 2). A continuación, se describen estas etapas y sus sub-etapas correspondientes:

- Aprestó. En esta etapa se determinan los elementos factibles de emplear para el desarrollo del videojuego. Se compone de las siguientes sub-etapas:
  - Habilidades matemático geométricas: Determinar qué habilidades cognitivas efectivas, relacionadas con el aprendizaje de Geometría, serán apoyadas por el videojuego a desarrollar.
  - Tecnologías Disponibles: Determinar las tecnologías disponibles en el mercado que serán consideradas para el desarrollo del videojuego.

- **Análisis.** En esta etapa se comprende el problema que se está resolviendo, analizando a los usuarios finales del videojuego, las restricciones internas y externas, y el contexto de uso. Se compone de las siguientes sub-etapas:
  - **Usuario Final:** Analizar al usuario final del videojuego.
  - **Restricciones:** Analizar las restricciones en el uso del videojuego por parte de los usuarios finales.
  - **Contexto de Uso:** Analizar el contexto real de desenvolvimiento de los usuarios en relación a las habilidades cognitivas que el videojuego apoyará.
  
- **Diseño.** En esta etapa se diseña la mejor solución posible, considerando que el problema fue claramente definido en las fases de apresto y análisis. Se compone de las siguientes sub-etapas:
  - **Videojuego:** Definir como, a través de un videojuego, se apoyará la creación de mapas mentales para la comprensión de figuras y cuerpos, y para el desarrollo de las habilidades que serán estudiadas.
  - **Guidelines de HCI:** Determinar guidelines específicos de HCI, sobre cómo se deben diseñar las interfaces, y sobre como ocurre la interacción de los usuarios con el videojuego, para apoyar el desarrollo de habilidades matemático-geométricas.
  - **Tareas:** Definir las tareas que realizará el usuario final con el videojuego, para apoyar la creación de mapas mentales, en la comprensión de figuras y cuerpos, y en el desarrollo de las habilidades que serán estudiadas.
  - **Entorno Virtual:** Definir la representación del ambiente virtual, y su relación con la realidad, para el desarrollo de las habilidades estudiadas, a través de las tareas que realizarán los usuarios con el videojuego, considerando además los guidelines de HCI.
  
- **Implementación.** En esta etapa se implementa el videojuego, tomando como base las etapas anteriores, en las cuales se definió claramente el problema y se diseñó una forma de solucionarlo. Se compone de las siguientes sub-etapas:
  - **Interfaces:** Producir las interfaces diseñadas para que el usuario final pueda desarrollar las habilidades en estudio.
  - **Funcionalidades:** Producir las funcionalidades específicas para el videojuego.
  
- **Evaluación.** En esta etapa se realizan pruebas de evaluación de usabilidad y de funcionalidad, para solucionar posibles errores y defectos, como también, para modificar o mejorar el videojuego. Se compone de las siguientes sub-etapas:
  - **Evaluación de Usabilidad:** Validar las interfaces del videojuego, a través de evaluaciones de usabilidad específicas, para asegurar que la interacción de los usuarios con el videojuego sea adecuada y pertinente.

- Evaluación de funcionalidades: Validar que las funcionalidades del videojuego desarrollado hagan y cumplan con lo que fue trazado en la etapa de diseño.



**Figura 2. Proceso de Ingeniería de Software del modelo de desarrollo de videojuegos [85].**

### 3. Apresto y análisis

#### 3.1. Habilidades matemático geométricas

Alineándose con los objetivos planteados en este trabajo, el videojuego trabaja en un sistema de coordenadas de 2 dimensiones. Para lograr potencialmente, que el aprendiz ciego pueda construir, en forma gradual, un modelo mental de referencias, basado en la asociación entre puntos en un plano de 2 dimensiones, es que el videojuego desarrollado se orienta a apoyar las siguientes habilidades cognitivas:

- Uso de diferentes estrategias para solucionar un problema.
- Interpretación y uso de la información.
- Comprensión de lo qué es un punto y sus componentes en el plano cartesiano.
- Ubicación relativa de puntos y cambios de posición.
- Navegación e interpretación de gráficos en el plano cartesiano.
- Orientación en un sistema de referencia de 2 dimensiones.

### 3.2. Tecnologías disponibles

Son varias las tecnologías disponibles que se pueden considerar para el desarrollo del videojuego. Entre estas podemos destacar el teclado, y dispositivos y mecanismos hápticos como el Wiimote y el Novint Falcon. Estas opciones pueden ser implementadas individualmente o de forma combinada.

Entre los dispositivos de mando, el teclado es la vía de entrada por defecto para los usuarios ciegos. Con él, se pueden ocupar directamente las teclas direccionales para realizar algún movimiento, además de otras teclas para ejecutar acciones. El problema es que este dispositivo no provee feedback por sí solo, y debe ser complementado por otro componente para suplir esto (por ejemplo, por audífonos que provean feedback auditivo).

Dentro de los dispositivos hápticos, la vibración que provee el Wiimote, permite entregar feedback al usuario, el cual puede tener relación con las acciones ejecutadas a través de las teclas de control, o bien de las acciones ejecutadas a partir de los gestos [82][83]. Otro dispositivo háptico es el Novint Falcon, con el cual se puede simular la sensación de tocar una superficie, o bien, los contornos de un objeto tridimensional [70][76]. Con estas herramientas, el jugador se puede desplazar por un espacio virtual, navegando entre distintos puntos, y recibiendo feedback de vibración, lo que contribuye a que pueda interpretar la delimitación del espacio.

En definitiva, en este trabajo se optó por usar el Wiimote, como dispositivo háptico de entrada/salida. Esto porque, en experiencias previas con el Wiimote, el dispositivo destacó por su alto nivel de satisfacción y de facilidad de uso [82][83], contrastando con las dificultades observadas en otras experiencias previas en las que el Novint Falcon presentó dificultades de uso [70][76].



**Figura 3. Diagrama de Interacción del usuario.**

En la Figura 3 se muestra el diseño de la interacción del usuario con el videojuego. Se observa que el usuario puede realizar acciones a través del Wiimote y del teclado del computador. Estas acciones son procesadas por el videojuego que se ejecuta en el PC. El videojuego genera acciones de feedback para el usuario: feedback háptico en el caso del Wiimote, feedback auditivo en el caso de los audífonos, y feedback visual en el caso de la pantalla.

La razón por la cual se considera la pantalla como dispositivo de salida, es para trabajar y entregar feedback, a través del canal visual, a aprendices que tengan resto visual. Para estos efectos, se debió representar gráficamente los elementos del videojuego, con un alto contraste, que permitiese la visualización por parte de este tipo de usuarios.

### **3.3. Usuario final**

El videojuego está destinado a personas ciegas y con resto visual, con edades a partir de los 9 años y para ambos géneros. La discapacidad visual en los usuarios es parte de la formulación de la propuesta. Se estableció una edad base, principalmente debido a los contenidos curriculares que abordó el videojuego. Una característica importante, que se debió considerar en el caso de los usuarios con resto visual, fue entregar de alguna forma accesibilidad visual a los elementos en pantalla.

No se consideró como requisito que los usuarios tuvieran conocimiento tecnológico o experiencia con el uso de tecnologías. El diseño buscó obtener una solución altamente intuitiva y usable, a partir de involucrar al usuario final en el diseño de la solución, y también, a partir de la experiencia personal relacionada con investigaciones anteriores, en torno a productos de software similares [69][70][71][72][73][74][75][82][83]. Un aspecto destacable en estas experiencias anteriores, es que los usuarios finales han mostrado una buena aceptación de los sistemas y una gran autonomía de trabajo.

### **3.4. Restricciones**

Los usuarios con discapacidad visual se han mostrado críticos, al momento de juzgar los elementos lúdicos y el nivel de complejidad de los videojuegos en investigaciones anteriores [70][75][82][83]. En este sentido, es esencial considerar en el diseño, mecanismos efectivos de transmisión de la información, velando también por la autonomía de los usuarios, sin dejar de lado la jugabilidad y el efecto de entretenimiento que genera un videojuego. En base a lo anterior, se consideraron las siguientes restricciones en el diseño de la solución, para potenciar el uso del videojuego por parte de los aprendices ciegos:

- Los usuarios se aburren rápidamente si el videojuego no representa un desafío, o bien, si el videojuego no considera elementos que los mantengan activos y entretenidos.
- Los usuarios valoran poder trabajar en forma autónoma, y en consecuencia no requerir asistentes para realizar sus tareas.
- Los usuarios al no contar con visión, o bien, contar con una visión reducida, deben obtener información a través de otros canales sensoriales, potenciando el uso del oído y del tacto.

- Los usuarios, para no interferir con la concentración y el trabajo de otros usuarios, deben trabajar y recibir la información individualmente.

### **3.5. Contexto de uso**

Se estableció el laboratorio de computación de la escuela, como contexto de uso del videojuego, con la finalidad de lograr un desarrollo efectivo en las habilidades cognitivas estudiadas en los usuarios finales. También se puede extender a un uso en el hogar, considerando que el usuario cuente con los requisitos de hardware y software de la solución propuesta. Sin embargo, para efectos del proyecto, el contexto de uso se centró solamente en el laboratorio de la escuela.

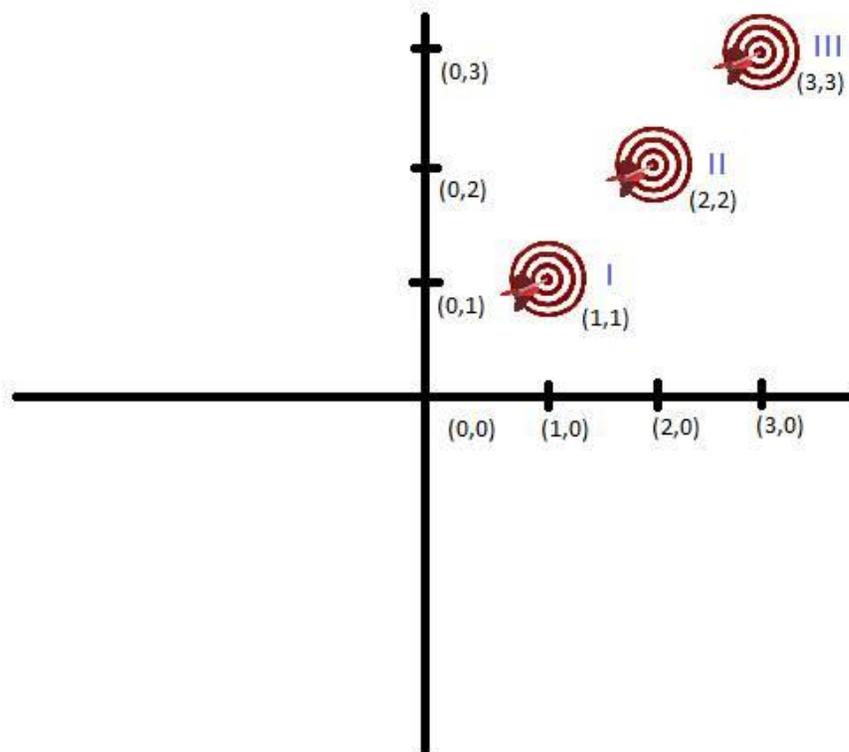
Los usuarios trabajaron en forma autónoma en las sesiones de trabajo, que realizaron con el videojuego. De igual forma, los usuarios contaron en todo momento con el apoyo de una educadora diferencial, que actuó con el rol de facilitador en las actividades. Este rol desempeñado por la educadora diferencial, consistió solamente en establecer las tareas a realizar, además de orientar a los usuarios cuando realizaron consultas.

En el laboratorio de la escuela trabajaron varios usuarios simultáneamente, sin embargo el trabajo de cada uno de ellos fue individual. En este sentido, el trabajo de un usuario no interfirió con el trabajo de los otros usuarios, gracias a que la solución implementada de hardware y software cubrió este aspecto.

## **4. Diseño**

### **4.1. Videojuego**

La idea general consistió en desarrollar un videojuego basado en audio y/o háptica, que permita a los aprendices ciegos adoptar de forma lúdica, la interpretación de gráficos y de sistemas de referencias en dos dimensiones. En este videojuego se anidó un esquema de juego como el de la Figura 4, donde el usuario debe encontrar objetivos en distintos puntos, lo que gradualmente permite ir construyendo un modelo mental entre la asociación de las coordenadas y la posición relativa entre estos puntos.



**Figura 4. Esquema del videojuego.**

#### **4.1.1. Videojuegos, metáfora y plano cartesiano**

La primera tarea de diseño consistió en buscar una metáfora de videojuego, que permitiese integrar de la forma más natural posible los conceptos del plano cartesiano. Algunos tipos de videojuego que se alinean con esta idea, corresponden a los de la categoría de shooter (ver Figura 5). En un juego de tipo shooter, el usuario controla un puntero que corresponde a la mira para disparar a ciertos objetivos.

La dificultad que representa utilizar un videojuego shooter para aprendices ciegos, está dada por mantener una ejecución normal en tiempo real. Esto obliga a entregar feedback al usuario de una forma precisa, simple y representativa. Si los objetivos del juego son blancos móviles con cierta trayectoria, como por ejemplo en un videojuego donde el jugador debe destruir naves enemigas, resulta muy complejo entregar información al usuario que le permita realizar estas tareas en tiempo real. Además, la forma de estos videojuegos ejerce cierta presión al jugador, ya que debe apuntar al objetivo dentro de un tiempo determinado.



**Figura 5. Ejemplo videojuego Shooter.**

#### **4.1.2. Videojuegos del estilo Tower Defense**

Tower Defense (TD) es un subgénero de los videojuegos de estrategia en tiempo real. El objetivo del juego es lograr que un número determinado de unidades enemigas no puedan cruzar un mapa. Para lograrlo, el jugador debe construir torres que atacan a los enemigos cuando pasan cerca de ellas. Tanto los enemigos como las torres tienen diferentes habilidades y costos. Al eliminar una unidad enemiga, se reciben puntos o dinero que debe ser utilizado para construir o mejorar torres. La elección apropiada de torres y su ubicación es la estrategia esencial del género (fuente: Wikipedia).



**Figura 6. Towers n' Trolls.**

Algunos de estos juegos inician con un laberinto definido, por donde pasarán las unidades enemigas. En este caso, el jugador debe construir torres en los sectores que están al lado del camino. Un ejemplo de esto es el videojuego Towers n' Trolls (ver Figura 6).

Otra modalidad del juego, corresponde a cuando este se inicia con un espacio o mapa abierto, a través del cual pasan las unidades enemigas de un extremo a otro. En este caso, el jugador al colocar las torres que atacan a las unidades enemigas, además determina el laberinto personalizado por donde estas pasarán. Para estos efectos, el videojuego cuenta con cierto nivel de inteligencia artificial, que permite calcular el camino óptimo que deben seguir las unidades enemigas. También el videojuego determina cuándo se provocan bloqueos del camino al poner un torre, denegando la acción al usuario en caso que esto ocurra. Un ejemplo de esta modalidad de juego corresponde al Desktop Tower Defense (ver Figura 7).



**Figura 7. Desktop Tower Defense.**

Los videojuegos del estilo Tower Defense manejan implícitamente un plano cartesiano. Controlando elementos como el punto inicial y punto final, se pueden establecer caminos para las unidades enemigas, que tengan por objetivo generar gradualmente un modelo mental entre la asociación de coordenadas, y el camino y la direccionalidad para llegar a ellas. Manejando adecuadamente otros factores como la velocidad, la energía y la cantidad de las unidades enemigas, además del poder de ataque de las torres, se puede obtener un juego que por una parte sea entretenido, y que a su vez, presente un desafío incremental para los usuarios.

#### **4.2. Guidelines de HCI**

Como parte del diseño, se recopiló un conjunto de guidelines de HCI que se alinean con los objetivos propuestos para el presente trabajo. En este sentido, algunos de ellos fueron considerados para el diseño de las interfaces e interacción de los usuarios con el videojuego.

En investigaciones previas, se desarrollaron los videojuegos Abes [87], Mova 3D [84], Audiopolis [76], AudioHapticMaze [66][70][80], y MovaWii [82][83]. En estas soluciones se optó por diseñar videojuegos donde el usuario controla un personaje que se desplaza por un entorno virtual y ejecuta acciones a su propio ritmo, generando una buena aceptación del videojuego por parte de los usuarios finales. En estos videojuegos, el usuario no tiene presión por terminar la tarea, y debe buscar objetos que se encuentran ubicados en un punto fijo. En consecuencia se presenta un factor determinante para diseñar el videojuego, correspondiente al trade-off entre la dinámica y la complejidad del videojuego, versus el tiempo de respuesta del usuario. En la búsqueda de un equilibrio, que permitiera controlar y abordar incrementalmente

este factor, se adoptó la metáfora de un videojuego del estilo Tower Defense. Además, estos videojuegos mostraron buenos resultados de aceptación y entretenimiento durante la investigación, pero no se proyectaron en un uso a largo plazo, principalmente porque no presentaron un desafío incremental en complejidad que motivase a los usuarios a seguir jugándolos. La motivación de los usuarios finales es un aspecto importante, como un medio para manejar el nivel de frustración frente a actividades escolares complejas, y en particular, para sobrellevar la obtención de resultados adecuados en el estudio. Este aspecto también fue considerado en el diseño del videojuego.

Crossan & Brewster (2008) postularon guidelines para el diseño de entornos, que incorporan el uso de la reproducción de trayectorias hápticas y auditivas, como un método de enseñanza y de transferencia de información de las formas, gestos y trayectorias en personas con discapacidad visual [12]:

- La reproducción de una trayectoria con un dispositivo háptico puede ser usada para permitir a los usuarios percibir formas.
- Las pistas de audio se pueden integrar más para complementar la información de la forma percibida a través del dispositivo háptico y para el segmento de reproducción de otras pistas hápticas.
- La reproducción de la trayectoria con un dispositivo háptico puede ser utilizado como un canal de comunicación adicional, para complementar una descripción verbal cuando se está describiendo información de una trayectoria o de una forma para formas complejas.
- Un entorno de colaboración que contiene reproducción de trayectorias debe permitir interacción en tiempo real entre los participantes de tal manera que los usuarios puedan discutir sus movimientos a medida que avanzan a través del entorno.
- La tasa de reproducción debe ser ajustable para permitir al usuario reducir la velocidad para las zonas detalladas de la trayectoria, si es necesario.

Carter (2010) señala que a diferencia del mundo real, los espacios virtuales son entornos sintéticos bajo el control del programador, y en consecuencia son mutables y podrían hacerse cambios que reduzcan o eliminen los obstáculos de accesibilidad si se pueden identificar y entender claramente [10].

En el aprendizaje de la geometría, los estudiantes deben dar sentido a los contenidos y construir su propio significado. A través de la exploración y manipulación de una variedad de materiales concretos y didácticos, además del uso de metáforas, representaciones y analogías, se apoya la comprensión de los conceptos, procurando mantener la progresión de lo concreto a lo pictórico (icónico) y también a lo simbólico (abstracto), del proceso de aprendizaje [48]. Particularmente, las personas ciegas no pueden aprender por imitación, en este sentido cada actividad debe ser ejemplificada y verbalizada adecuadamente, además de estimular la exploración del espacio. Finalmente, se debe entregar claramente la información de referencia, indicando en forma precisa el estado de los objetos, o bien los puntos de referencia para situar espacialmente al usuario.

Collins (2011) sugiere que la interacción gestual, la interacción con la música y el sonido pueden mejorar el factor emocional en la identificación entre el jugador y el videojuego, lo que permitiría

mejorar la experiencia del jugador [13]. Los guidelines propuestos por este autor se resumen en [13]:

- Permitir una mayor expresividad en el videojuego basado en la música.
- Experimentar el mundo del videojuego a través de efectos de sonido y síntesis de estos, con la finalidad de cautivar al jugador.
- Claro vínculo entre el sonido y la causalidad (inflexión emocional), ya sea a través de actuaciones en directo por medio de la contextualización.
- Permitir que el jugador se identifique con el personaje del videojuego a través de la voz (ya sea ausencia de voz, uso de voz por parte del jugador, o maneras de fomentar el juego de roles a través de voz).

Finalmente, es importante registrar las acciones que realiza el usuario en el videojuego, ya que esto permite estudiar la navegación y el progreso del usuario [87]. De esta forma se puede abordar la construcción de mapas mentales en los usuarios finales a partir del uso del videojuego propuesto en el presente trabajo.

Como idea general, a partir de lo recopilado en los guidelines anteriores y en relación con el propósito del trabajo, es que se debe diseñar una interfaz de videojuego accesible para aprendices ciegos y con resto visual, que entregue la información necesaria para el cumplimiento de las tareas, mediante la percepción de otros canales sensoriales tales como el audio y la háptica.

### **4.3. Entorno virtual**

#### **4.3.1. Propuesta adaptada del videojuego Tower Defense**

En relación a los objetivos planteados para este trabajo, se tomó como referencia el tipo de videojuego Tower Defense. En este videojuego, el jugador debe impedir que un grupo de unidades de enemigos (en adelante enemigos) pueda realizar un desplazamiento por el mapa.

Este videojuego fue rediseñado y adaptado, para cumplir con los requerimientos planteados en este trabajo. Las diferentes trayectorias de desplazamiento de los enemigos por el mapa, determinan los distintos niveles que tiene el juego. Estas trayectorias se determinan por puntos del plano cartesiano. Los enemigos parten en el punto (0,0), que llamaremos punto inicial y llegan a un punto de destino o final (ver trazo color verde en la Figura 8). El objetivo del jugador es atajar a los enemigos en el punto final de su trayectoria, lugar donde debe ubicar una torre que atacará a los enemigos (ver recuadro verde en la Figura 8). Para superar satisfactoriamente un nivel el jugador debe llegar antes que los enemigos al punto final, para ubicar la torre que los atacará.

El videojuego adoptó una modalidad de juego como la de Tower N' Trolls, descrita anteriormente, donde los enemigos se trasladan por un camino definido. Sin embargo, se realizó un cambio esencial, que consiste en que los enemigos se trasladan directamente entre el punto inicial (0,0) y el punto final. Además, se destaca una zona navegable por el jugador, en cuyo punto final debe instalar la torre que ataca a los enemigos (ver recuadros blancos en la Figura 8).

### **4.3.2. Elementos principales del videojuego**

El videojuego cuenta con los siguientes elementos principales: mapa, jugador, enemigos, torres y niveles. El mapa del videojuego es un plano cartesiano de números enteros, por donde pasan los enemigos. Aquí el jugador se desplaza y puede ubicar las torres que atacarán a los enemigos. Este mapa identifica los puntos del plano cartesiano que el jugador puede navegar y los que no, además de los puntos donde puede instalar las torres. El mapa también identifica los puntos inicial y final del trayecto de los enemigos. Además, las características nombradas del mapa variarán de acuerdo a los distintos niveles del juego. El mapa tiene una representación gráfica para identificar los sectores navegables y no navegables.

Los enemigos tienen atributos que permiten establecer e identificar su posición (punto en el plano cartesiano), su dirección y velocidad de desplazamiento en el mapa. Otros atributos importantes son: su valor de energía (que determina si muere o sobrevive), su representación gráfica y algún efecto de sonido que provea feedback de su desplazamiento.

El jugador tiene atributos que permiten establecer e identificar su posición en el mapa (punto en el plano cartesiano). Otros atributos importantes corresponden a: su representación gráfica en el mapa y los efectos de sonido, que proveen feedback de su desplazamiento cuando se desplaza a un punto navegable, y también cuando se bloquea el paso al intentar dirigirse a un punto no navegable.

Las torres tienen atributos que permiten establecer e identificar su posición en el mapa (punto en el plano cartesiano), su valor de daño (que determina el valor en que disminuye la energía de los enemigos, cuando reciben un disparo), su alcance o distancia de ataque a los enemigos, y la dirección de disparo hacia el enemigo más cercano. Otros atributos importantes son: su representación gráfica y los sonidos de feedback asociados a las acciones de creación de la torre y al disparo.

Los niveles del juego se determinan a partir de un punto en el plano cartesiano distinto al punto (0,0). A partir de este punto, en cada nivel se determinan varios aspectos importantes, tales como: las características del mapa, los puntos de la trayectoria de los enemigos, los puntos navegables y no navegables por el jugador, y los puntos donde el jugador puede instalar las torres. Este punto determina el punto final de la trayectoria que siguen los enemigos, y también determina el punto de destino de la navegación del jugador, lugar donde debe instalar la torre. Cabe mencionar que tanto los enemigos como el jugador inician su desplazamiento en el punto inicial (0, 0).

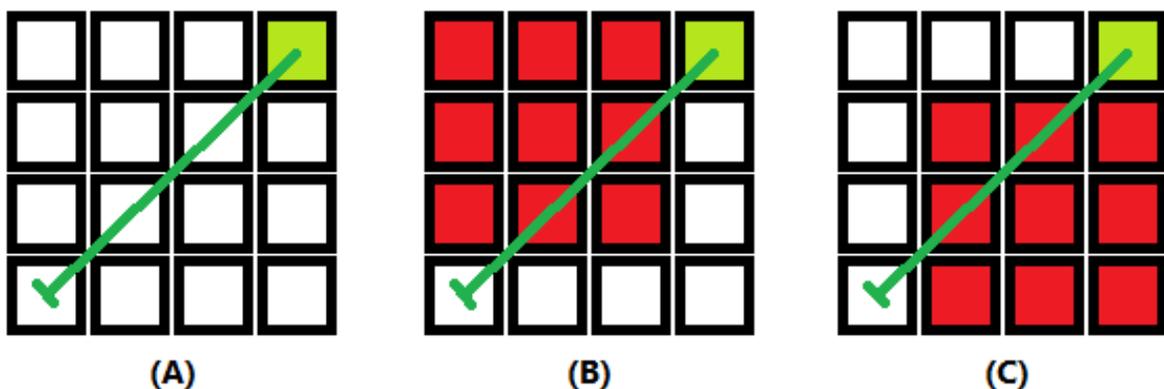
## **4.4. Tareas**

### **4.4.1. Características importantes del videojuego**

Algunas características importantes del videojuego son: las modalidades de navegación del jugador, el algoritmo que permite a las torres identificar y atacar al enemigo más cercano, y el feedback que se provee al usuario.

Las modalidades de navegación del jugador se determinan a partir del punto final en el plano cartesiano, el cual determina las características de un nivel y la libertad o restricciones a la navegación por el espacio. En base a esto se determinaron 3 modalidades:

- Navegación Libre. Aquí el jugador puede desplazarse libremente por el área determinada por los puntos inicial y final (ver Figura 8 A).
- Navegación Prioridad Eje X. El jugador puede desplazarse restringido por el camino que determina el punto  $(0, 0)$  y el punto  $(X_f, 0)$ , donde  $X_f$  corresponde a la componente X del punto final del nivel. Luego, el desplazamiento puede continuar por el camino que determina el punto  $(X_f, 0)$  y el punto  $(X_f, Y_f)$  donde  $X_f$  e  $Y_f$  corresponden a las componentes X e Y del punto final del nivel (ver Figura 8 B).
- Navegación Prioridad Eje Y. El jugador puede desplazarse restringido por el camino que determina el punto  $(0, 0)$  y el punto  $(0, Y_f)$ , donde  $Y_f$  corresponde a la componente Y del punto final del nivel. Luego, el desplazamiento puede continuar por el camino que determina el punto  $(0, Y_f)$  y el punto  $(X_f, Y_f)$ , donde  $X_f$  e  $Y_f$  corresponden a las componentes X e Y del punto final del nivel (ver Figura 8 C).



**Figura 8. Diseño de modalidades del juego.**

Además, se debe considerar un algoritmo que permita a las torres identificar al enemigo más cercano, esto con la finalidad que las torres dirijan sus disparos hacia el enemigo que se encuentre a la distancia más próxima.

Otro aspecto importante, es el feedback que se entrega al usuario en las distintas acciones involucradas en el videojuego. Este feedback es entregado a través de pistas de audio, ya sea con textos hablados o sonidos icónicos estéreo, con o sin tridimensionalidad acústica (espacializados) y a través de percepción háptica (vibración) a través del Wiimote. Se consideró feedback relacionado a los siguientes eventos del videojuego:

- Cuando el jugador se desplaza una celda por el camino navegable (sonido icónico estéreo).
- Cuando el videojuego bloquea un desplazamiento del jugador hacia un sector no navegable (sonido icónico estéreo y vibración).
- Cuando el jugador instala una torre (sonido icónico estéreo).
- Cuando las torres disparan a los enemigos (sonido icónico tridimensional).
- Cuando los enemigos se desplazan (sonido icónico tridimensional).

- Cuando el videojuego entrega automáticamente indicaciones o información relevante, o bien, cuando el jugador solicita información (sonido con textos hablados).

#### **4.4.2. Acciones del juego**

El videojuego fue pensado para que el jugador pueda realizar las siguientes acciones:

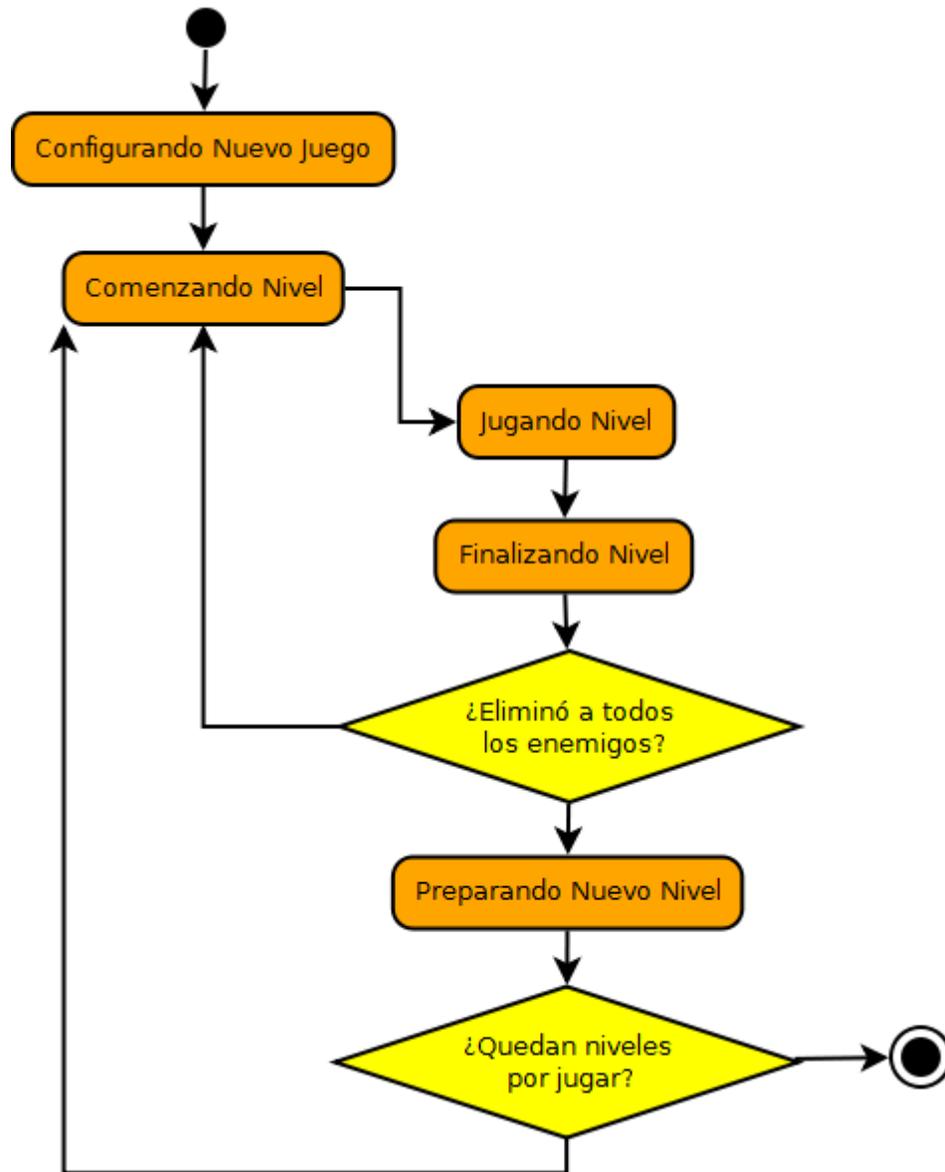
- Ir hacia Arriba. El jugador cambia su posición desplazándose verticalmente una unidad en sentido positivo con respecto al eje Y. Es decir, si el jugador inicialmente se encuentra en el punto  $(X_0, Y_0)$ , la acción de Ir hacia Arriba cambia su posición al punto  $(X_0, Y_0+1)$ .
- Ir hacia Abajo. El jugador cambia su posición desplazándose verticalmente una unidad en sentido negativo con respecto al eje Y. Es decir, si el jugador inicialmente se encuentra en el punto  $(X_0, Y_0)$ , la acción Ir hacia Abajo cambia su posición al punto  $(X_0, Y_0-1)$ .
- Ir hacia la Izquierda. El jugador cambia su posición desplazándose horizontalmente una unidad en sentido negativo con respecto al eje X. Es decir, si el jugador inicialmente se encuentra en el punto  $(X_0, Y_0)$ , la acción Ir hacia la Izquierda cambia su posición al punto  $(X_0-1, Y_0)$ .
- Ir hacia la Derecha. El jugador cambia su posición desplazándose horizontalmente una unidad en sentido positivo con respecto al eje X. Es decir si, el jugador inicialmente se encuentra en el punto  $(X_0, Y_0)$ , la acción Ir hacia la Derecha cambia su posición al punto  $(X_0+1, Y_0)$ .
- Instalar Torre. El jugador instala una torre en la posición donde se encuentra ubicado. La primera restricción es que las torres solo se pueden instalar en el camino por donde el jugador se desplaza, y la segunda restricción es que las torres se pueden instalar en el punto final del camino (la segunda restricción engloba a la primera).
- Obtener Pista. El jugador obtiene una pista acerca del punto hacia donde debe dirigirse.

#### **4.4.3. Estados del juego**

El videojuego tiene contemplado los siguientes estados (ver Figura 9):

- Configurando Nuevo Juego. El videojuego permite al facilitador escoger los niveles que serán desarrollados por el jugador, determinar las modalidades de navegación y otras opciones del juego, tales como atributos de los enemigos (cantidad por nivel, energía, velocidad de desplazamiento), torres (daño, velocidad de disparo) y jugador (vidas por nivel). Una vez terminada la configuración, se comienza con el primer nivel del juego.
- Comenzando Nivel. El videojuego entrega las indicaciones iniciales al comenzar un nivel, señalando la misión que debe cumplir el jugador, indicando el punto de destino donde debe interceptar a los enemigos.
- Jugando Nivel. El videojuego carga, despliega y ejecuta el nivel correspondiente, de acuerdo a la configuración escogida. El jugador puede ejecutar las acciones durante la ejecución del juego.

- Finalizando nivel. Una vez que desaparecen los enemigos (ya sea porque algunos fueron eliminados por las torres o bien porque otros lograr atravesar el mapa y se salvaron), el videojuego chequea si el jugador eliminó a todos los enemigos. En caso de cumplir satisfactoriamente esto último, se prepara el siguiente nivel, en caso contrario se repite el mismo nivel.
- Preparando Nuevo Nivel. El videojuego chequea si quedan niveles por ejecutar. En caso que queden niveles por ejecutar, se comienza el nuevo nivel, en caso contrario, se finaliza el juego.



**Figura 9.** Estados del juego.

## 5. Implementación

### 5.1. Interfaces

#### 5.1.1. Interfaces de entrada

Las interfaces de entrada del videojuego corresponden a los controles que utiliza el usuario para ejecutar distintas acciones. Las interfaces de entrada corresponden al Teclado estándar y al control Wiimote. Las equivalencias entre los botones funcionales de ambos dispositivos y las acciones que ejecuta el jugador a través de ellos se pueden ver en la Tabla 1. Los botones funcionales del Wiimote son Arriba, Abajo, izquierda, Derecha, y A (ver Figura 10 B); y las teclas funcionales del teclado son Arriba, Abajo, Izquierda, Derecha, y Enter (ver Figura 10 A).

Botón (Wiimote)	Tecla (Teclado)	Acción
Arriba	Arriba	Ir hacia Arriba
Abajo	Abajo	Ir hacia Abajo
Izquierda	Izquierda	Ir hacia la Izquierda
Derecha	Derecha	Ir hacia la Derecha
A	Enter	Obtener Pista

Tabla 1. Equivalencia de botones, teclas de entrada y acciones.

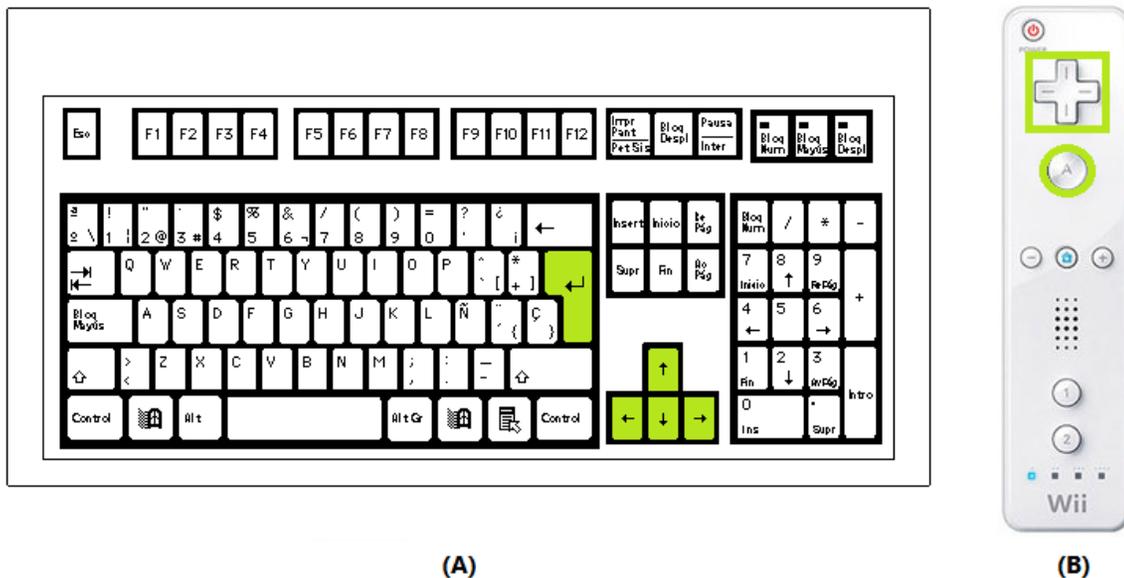


Figura 10. Teclas y botones funcionales en las interfaces de entrada.

### **5.1.2. Interfaces de salida**

Las interfaces de salida del videojuego, corresponden a las características de los dispositivos que el videojuego emplea para entregar información, ya sea en respuesta a las acciones que el jugador ejecuta, o bien, como respuesta automática relacionada con la ejecución del juego. Las interfaces de salida utilizadas en el videojuego son:

- Interfaz Gráfica, a través de la visualización que entrega la pantalla. Esta interfaz fue pensada para el uso por parte del facilitador, y a su vez para el uso por parte de jugadores con visión residual. Los elementos gráficos mostrados fueron desarrollados en alto contraste, utilizando figuras blancas sobre fondo negro y viceversa. El área de visualización en pantalla es de 672 x 704 pixeles.
- Interfaz de Audio, a través del sonido emitido por los audífonos. Esta interfaz fue pensada para entregar al jugador toda la información en torno a la ejecución y estado del juego. A través de esta interfaz, se entregan pistas de audio con texto hablado, sonidos icónicos estéreo, y sonidos icónicos espacializados (tridimensionales).
- Interfaz Háptica, a través de la vibración del control Wiimote. Esta interfaz fue pensada para entregar información al jugador de una forma más completa. Al momento en que el jugador se desplaza por el mapa de un nivel, el control vibrará cada vez que se bloquee un desplazamiento, es decir, cuando el jugador intente desplazarse fuera del área de navegación.

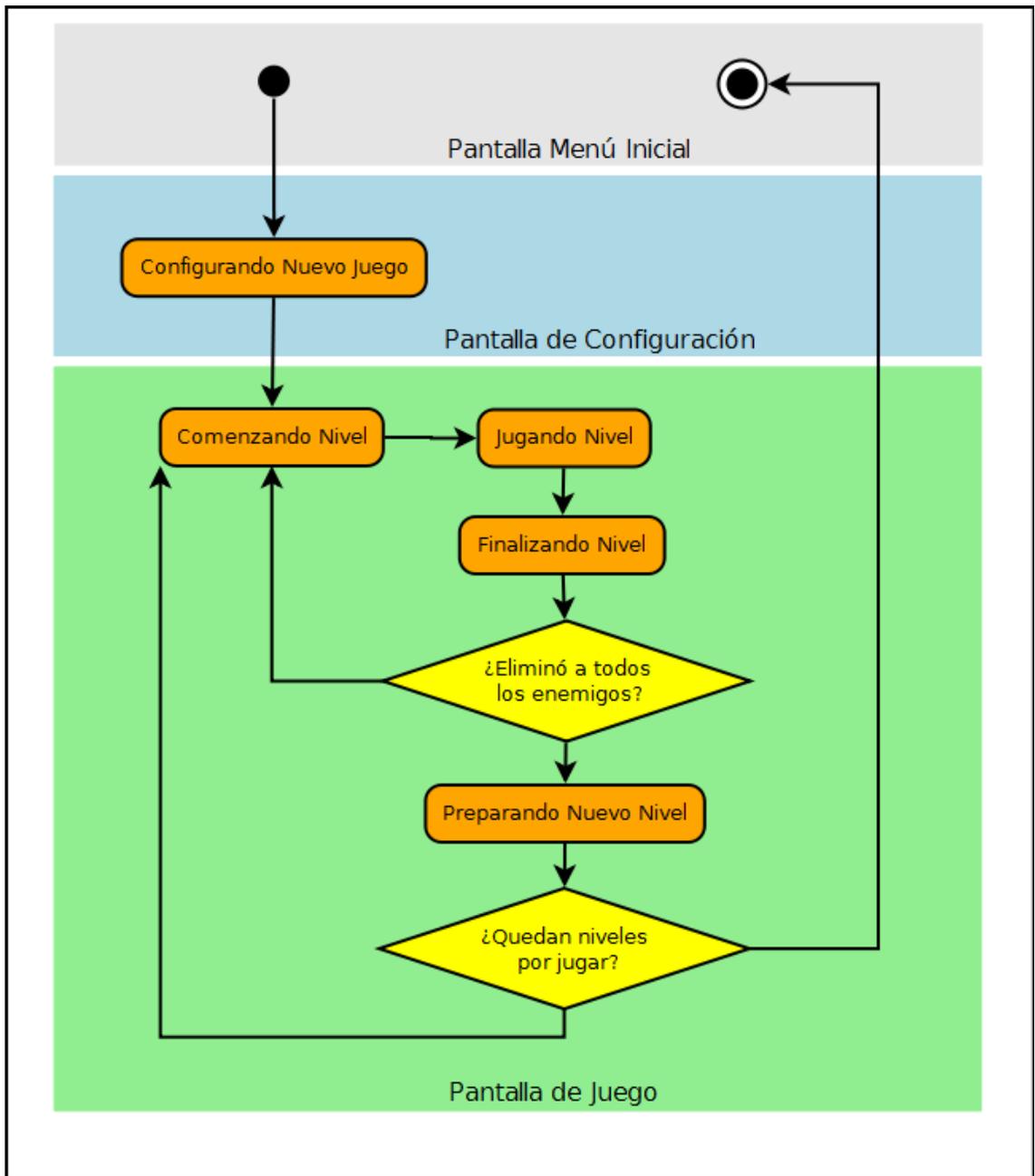
### **5.2. Pantallas, estados y características del videojuego**

Las pantallas del videojuego corresponden al Menú Inicial, Pantalla de Configuración y Pantalla de Juego. En la Figura 11 se puede ver como se relacionan los estados del videojuego y las pantallas de navegación.

Un juego comienza y termina en la pantalla de menú inicial. Esta es una pantalla pensada para el uso de un facilitador. En esta pantalla el facilitador inicia un nuevo juego, o bien, sale de la aplicación. Al iniciar un nuevo juego se pasa a la Pantalla de Configuración.

La pantalla de configuración fue pensada para el uso de un facilitador. Aquí el facilitador configura los atributos y características del juego que será ejecutado. Una vez concluida la configuración se pasa a la Pantalla de Juego.

La pantalla de juego si bien fue pensada para el facilitador, también puede ser usada por jugadores con baja visión. En esta pantalla se repite el ciclo por cada nivel de juego que fue establecido por el facilitador en la configuración (Comenzando Nivel, Jugando Nivel, Finalizando Nivel y Preparando Nuevo Nivel). A continuación, se describe cada una de las pantallas del videojuego.



**Figura 11. Navegación entre pantallas en relación a los estados del juego.**

### 5.2.1. Menú inicial

El menú inicial es la primera pantalla del videojuego (ver Figura 12). En esta pantalla, el facilitador puede presionar las teclas Arriba y Abajo del teclado, para seleccionar las opciones disponibles: “Jugar” y “Salir”. Al estar seleccionada la opción “Jugar”, si el facilitador presiona la tecla Enter del teclado, inicia un nuevo juego, lo que despliega a continuación la pantalla de configuración. Al estar seleccionada la opción salir, si el facilitador presiona la tecla Enter, sale del juego.



**Figura 12. Menú Inicial.**

### **5.2.2. Pantalla de configuración**

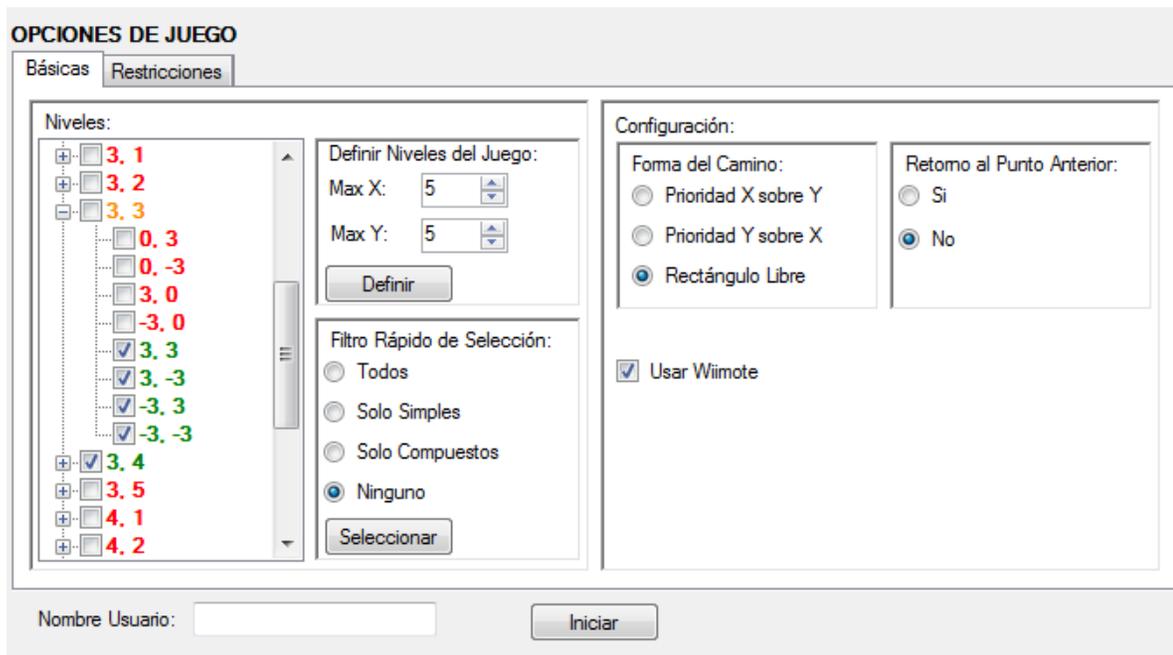
La pantalla de configuración permite al facilitador, establecer todas las características configurables del juego que será ejecutado (ver Figura 13 y Figura 14). Se agruparon las opciones de configuración básicas (ver Figura 13), y también las opciones correspondientes a restricciones más avanzadas del juego (ver Figura 14).

En las opciones de configuración básica, se pueden escoger los niveles de juego que se desarrollarán, a partir de un set de niveles. Este set de niveles se puede definir escogiendo un valor máximo de X e Y (MaxX, MaxY). Con esto, se combinan incrementalmente los valores desde (X=1, Y=1) hasta de (X=MaxX, Y= MaxY), determinando niveles simples formados por: (0, Y), (0, -Y), (X, 0), (-X, 0) y niveles compuestos formados por: (X, Y), (X, -Y), (-X, Y), (-X, -Y). Por ejemplo, si el facilitador define los niveles con un valor máximo (X=3, Y=3), se generan conjuntos de niveles para (1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 1), (2, 2), (2, 3), (3, 1), (3, 2), y (3, 3), con lo cual se genera el set de niveles: (0, 1), (0, -1), (1, 0), (-1, 0), (1, 1), (1, -1), (-1, 1), (-1, -1), (0, 2), (0, -2), (1, 0), (-1, 0), (1, 2), (1, -2), (-1, 2), (-1, -2), (0, 3), (0, -3), (1, 0), (-1, 0), (1, 3), (1, -3), (-1, 3), (-1, -3), (0, 1), (0, -1), (2, 0), (-2, 0), (2, 1), (2, -1), (-2, 1), (-2, -1), (0, 2), (0, -2), (2, 0), (-2, 0), (2, 2), (2, -2), (-2, 2), (-2, -2), (0, 3), (0, -3), (2, 0), (-2, 0), (2, 3), (2, -3), (-2, 3), (-2, -3), (0, 1), (0, -1), (3, 0), (-3, 0), (3, 1), (3, -1), (-3, 1), (-3, -1), (0, 2), (0, -2), (3, 0), (-3, 0), (3, 2), (3, -2), (-3, 2), (-3, -2), (0, 3), (0, -3), (3, 0), (-3, 0), (3, 3), (3, -3), (-3, 3), y (-3, -3). En la Figura 13, se

pueden observar algunos de los conjuntos de niveles, que se generan a partir de establecer un valor máximo ( $X=5$ ,  $Y=5$ ); estos valores se establecen en el sector “Definir Niveles del Juego”, como Max X = 5 y Max Y = 5.

Además, se provee un filtro de selección rápida que permite escoger todo el set de niveles, solo niveles simples, solo niveles compuestos y ninguno. También se puede escoger la modalidad de navegación: libre, prioridad eje X, y prioridad eje Y. Complementariamente en el caso de la navegación con prioridad de ejes, se puede agregar una característica adicional, que consiste en bloquear el retorno al punto anterior, con lo cual es camino se convierte en unidireccional.

Una vez configurado lo anterior, se puede ingresar el nombre del aprendiz, lo que servirá cuando finalice el juego (ya que se utilizará para el nombre del archivo de log, que se explicará más adelante en la sección 5.3.5). El botón Iniciar se activa una vez que se selecciona al menos 1 nivel para jugar. Al presionar el botón Iniciar, el juego comenzará. O bien, el facilitador puede configurar las restricciones más avanzadas del juego, que se encuentran en la pestaña de Restricciones.



**Figura 13. Configuración: Opciones Básicas.**

En la pestaña de Restricciones, se pueden configurar otros atributos y características del juego. En relación a los enemigos que aparecerán en un nivel, el facilitador puede modificar la cantidad de enemigos que cruzarán el mapa (un valor mayor o igual que 1); también puede modificar el valor de energía del enemigo (un número mayor o igual que 1 y menor o igual que 100); y finalmente puede establecer la velocidad de desplazamiento de los enemigos (un número mayor o igual que 1 y menor o igual que 100). En relación a las torres que se instalan en un nivel, el facilitador puede modificar el daño que hace cada bala en los enemigos; es decir, el monto que se resta en la energía de los enemigos cuando son alcanzados por una bala (un número mayor o igual que 1 y menor o igual que 100); y también puede modificar la velocidad de los disparos que se dirigen a los enemigos (un número mayor o igual que 1 y menor o igual que 100). En relación

al jugador, el facilitador puede modificar las vidas que tendrá un jugador en un nivel, ya que cuando un enemigo cruza satisfactoriamente el mapa, resta una vida al jugador (este valor puede ser mayor o igual que 1).

En la Figura 14, se muestran las opciones por defecto, establecidas para las restricciones del videojuego: Enemigos (Cantidad: 1; Energía: 50; Velocidad: 30), Torres (Daño: 25; Velocidad de disparo: 25), y Jugador (Vidas por nivel: 1). Estos valores pueden ser modificados por el facilitador a modo de incrementar la dificultad y hacer más entretenido el juego para los usuarios.

OPCIONES DE JUEGO		
Básicas	Restricciones	
Enemigos:	Torres:	Jugador:
Cantidad: 1	Daño: 25	Vidas por Nivel: 1
Energía: 50	Velocidad Disparo: 25	
Velocidad: 30		

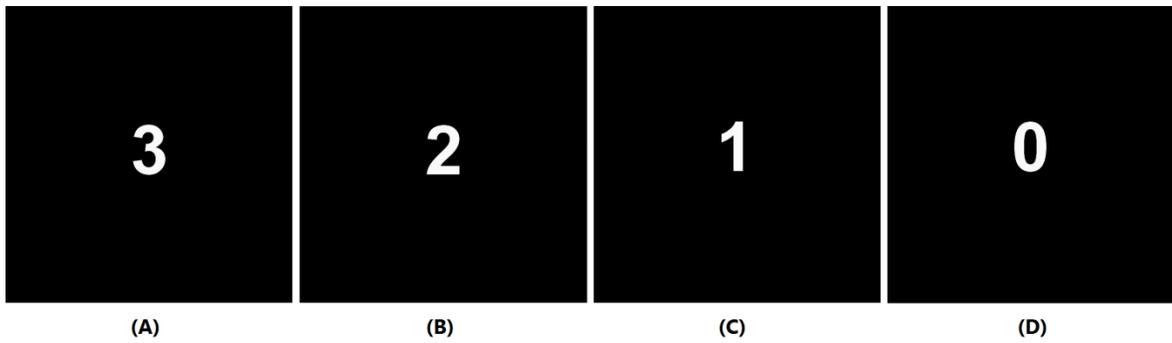
Nombre Usuario:

**Figura 14. Configuración: Restricciones.**

En la pestaña de Restricciones, el facilitador también puede iniciar el juego. Esto, en caso que se encuentre activo el botón, luego de haber seleccionado anteriormente al menos 1 nivel en las opciones básicas.

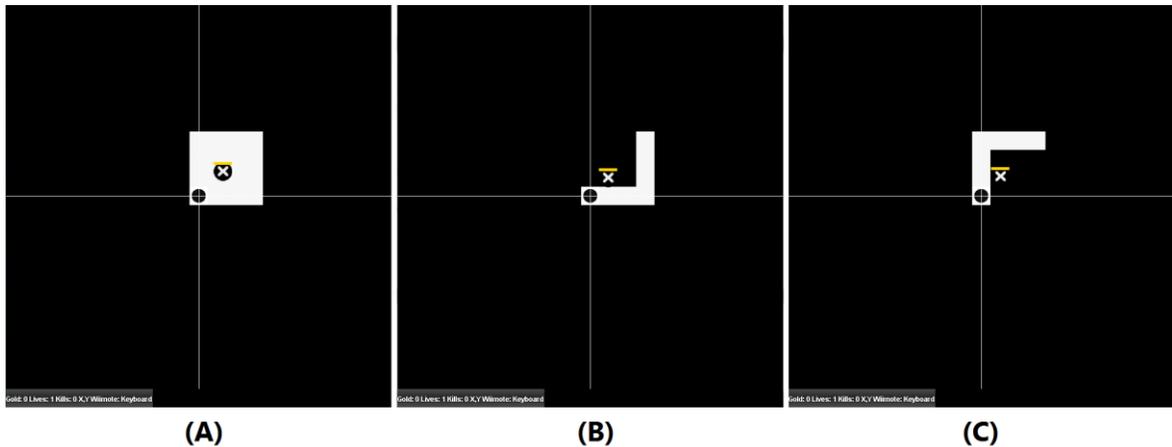
### 5.2.3. Pantalla de juego

Una vez iniciado el juego a partir de la Configuración del Juego, se pasa a la Pantalla de Juego. Inicialmente en esta pantalla, se reproduce un audio con la instrucción del nivel que será jugado: “Misión X izquierda/derecha, Y adelante/atrás”, y a continuación se despliega la secuencia de imágenes A, B, C, y D de la Figura 15, acompañada de un sonido icónico estéreo.



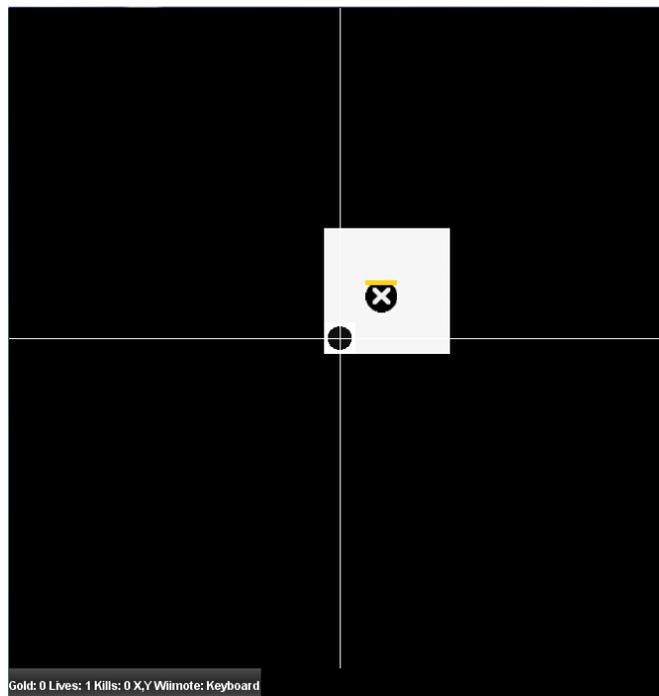
**Figura 15. Comenzando un nivel. Secuencia de inicio (A), (B), (C) y (D).**

Una vez completado el comienzo de un nivel, se despliega el nivel de acuerdo a la modalidad de navegación establecida en la configuración (ver Figura 16). En la Figura 16 se puede observar en A, B y C, el despliegue del nivel (3, 3) para las modalidades de navegación libre, prioridad eje X y prioridad eje Y, respectivamente.



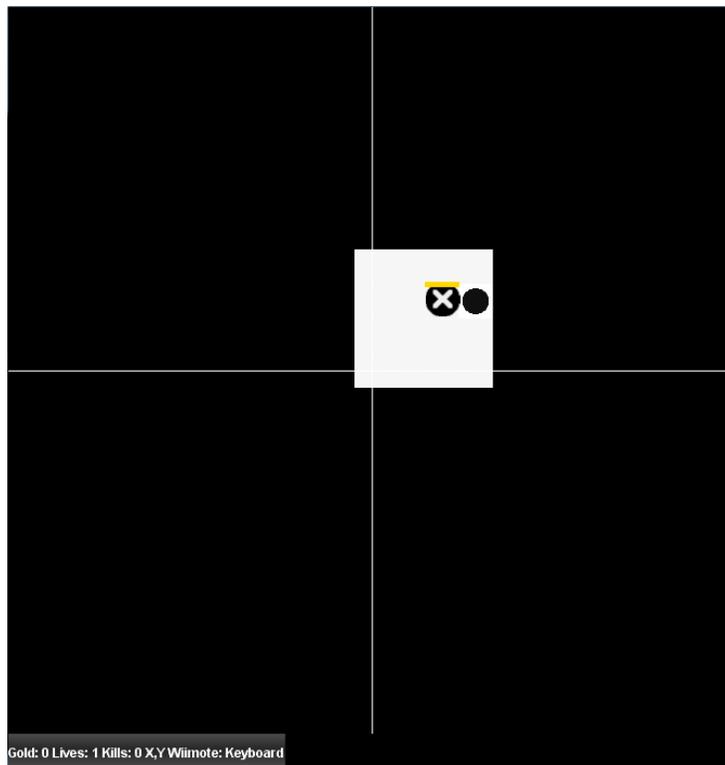
**Figura 16. Modalidades de navegación. (A) Navegación Libre, (B) Navegación Prioridad Eje X, (C) Navegación Prioridad Eje Y.**

Tanto el jugador como los enemigos comienzan en el punto (0, 0) (ver Figura 17). El jugador dependiendo de la modalidad de navegación, se puede desplazar de distinta forma a través de las áreas permitidas. Cuando se desplaza satisfactoriamente, se reproduce un sonido icónico estéreo. En caso que se bloquee el desplazamiento del usuario, se reproducirá un sonido icónico distinto, junto con una vibración del control Wiimote.



**Figura 17. Nivel (3, 3) con navegación libre.**

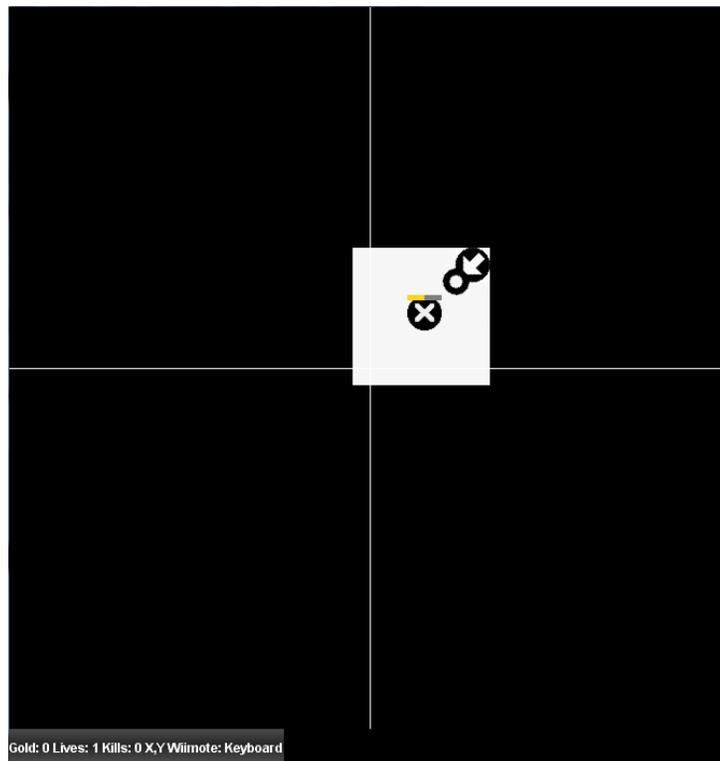
El enemigo se desplaza desde el punto (0, 0) hasta el punto de destino del nivel (ver Figura 17 y Figura 18). El enemigo emite un sonido icónico espacializado de desplazamiento, el cual varía de acuerdo a la posición del enemigo que se desplaza, relativo a la posición del jugador en el mapa. El sonido se emite con direccionalidad, efecto que se logra al establecer diferentes intensidades de volumen en cada audífono. Además, el volumen percibido es inversamente proporcional a la distancia hacia al enemigo; es decir, a mayor distancia al enemigo menor es el volumen del sonido y mientras más cerca se encuentre el volumen es mayor.



**Figura 18.** Nivel (3, 3) con navegación libre. El jugador está en el punto (3, 2), a un paso de instalar la torre.

Además, se emite un sonido icónico espacializado en el punto de destino. Su funcionamiento es casi igual al efecto de sonido de los enemigos, la única diferencia es que en este caso la ubicación del punto de destino es la misma durante todo el transcurso de un nivel. Este sonido funciona como una ayuda auditiva para encontrar el punto de destino de la misión de un nivel. Este sonido se emite a partir del inicio del nivel, y se detiene solo cuando el jugador logra alcanzar el punto de destino y logra instalar la torre. Cuando el jugador alcanza el punto de destino, y en consecuencia instala una torre, se emite un sonido icónico estéreo que da la noción al jugador que se cargó un arma.

Cuando los enemigos están al alcance del disparo de una torre, dicha torre inicia su ráfaga de disparos (ver Figura 19). Estos disparos emiten un efecto de sonido icónico espacializado originado desde la torre, cuyo funcionamiento es igual al caso del sonido del punto de destino. Este sonido se emite hasta que un enemigo muere, o bien, hasta que el enemigo queda fuera del alcance del disparo de la torre y logra cruzar el mapa.



**Figura 19. Nivel (3, 3) con navegación libre. Torre disparando a un enemigo.**

### **5.3. Funcionalidades**

#### **5.3.1. Lenguajes de programación y framework**

Para la programación del videojuego se utilizó el lenguaje C#, y el framework de desarrollo de videojuegos Microsoft XNA Framework 4.0. Esto se utilizó en conjunto con las herramientas Visual Studio 2010 Ultimate y Microsoft XNA Game Studio 4.0.

El lenguaje C# se caracteriza por ser un lenguaje orientado a objetos, lo cual es ideal para programar de una forma ordenada y entendible un videojuego. Esto se ve potenciado al ser combinado con el XNA framework 4.0 y XNA Game Studio 4.0, los cuales poseen clases que facilitan considerablemente la construcción de videojuegos. Además, en el sitio de XNA (<http://create.msdn.com>) se encuentra disponible un extenso catálogo de recursos, que permiten aprender a utilizar las distintas características que provee XNA framework 4.0 y XNA Game Studio 4.0.

#### **5.3.2. Ciclo de juego**

En XNA framework, la clase Microsoft.Xna.Framework.Game corresponde a la clase núcleo del juego, la cual posee 2 métodos principales, Update y Draw, que manejan el ciclo del videojuego. El método Update sirve para actualizar los elementos del juego, dentro de ciertos intervalos de tiempo. Con este método, se actualizan la posición y la dirección de los elementos que se desplazan en forma automática. También se pueden realizar cambios en la representación gráfica de estos elementos, además de activar el feedback auditivo. El método Draw permite controlar

que elementos se dibujarán en pantalla. Básicamente con estos 2 métodos se manejan todos los cambios automáticos de los elementos del videojuego.

Se creó una clase para cada tipo de elemento del videojuego. Cada clase tiene un método Update y Draw. Bajo esta mecánica, se creó una clase TowerDefenseGame, que hereda de la clase Microsoft.Xna.Framework.Game, donde se instancian las clases correspondientes a los elementos del juego, y cuyos métodos Update y Draw se controlan desde el método Draw y Update de la clase TowerDefenseGame.

### **5.3.3. WiimoteLib**

Para incorporar el Wiimote en el desarrollo del videojuego, fue necesario buscar una librería dll que permitiera controlar las características del Wiimote en la ejecución del videojuego. Un requisito importante fue que esta librería debía estar escrita en C# y trabajar con Visual Studio 2010 Ultimate.

Para esto, se utilizó WiimoteLib 1.6 (Wiimote Lib, 2012), una librería de administración para el Wiimote de Nintendo. Se utilizó la versión 1.6 debido a que se observó que la versión 1.7 no funciona bien con el nunchuk.

Con WiimoteLib 1.6 se pueden aprovechar todas las características del Wiimote en el videojuego, a excepción del parlante integrado en este dispositivo. Se puede detectar el estado de los botones para saber cuando están presionados, y se puede manejar la vibración del dispositivo.

### **5.3.4. Audio**

El videojuego reproduce 3 tipos de pistas de audio: textos hablados, sonidos icónicos estéreo y sonidos icónicos espacializados (tridimensionales). En el caso de los textos hablados y sonidos icónicos estéreo, se utilizaron las funciones de reproducción de pistas de audio que provee XNA Framework 4.0.

Es importante señalar que no se integró un motor de síntesis de voz en el videojuego. En su lugar, se generaron archivos de audio en formato *wav* para los textos hablados, a partir del uso de la demo online del sintetizador de voz de la empresa AT&T, el cual permitió obtener los textos hablados con las voces en español de Alberto y Rosa.

#### **5.3.4.1. Audio dinámico**

XNA Framework 4.0 provee una clase que sirve para manejar audio en forma dinámica. Esto permite principalmente establecer la posición de un emisor y la de un receptor, y luego establecer una transformación del sonido de acuerdo a estos parámetros. Si a esto agregamos, que tanto el emisor como el receptor pueden cambiar de posición, el efecto de sonido varía con estos cambios.

Esto permite entregar feedback auditivo de elementos del entorno, relativos a la posición del jugador. Esta característica se utilizó para el feedback auditivo del desplazamiento de los enemigos en relación a la posición del jugador. Esto se controla a través del método Update, en cada instancia de una clase correspondiente a un elemento del videojuego que provea esta característica (por ejemplo: enemigos, punto final y disparos de la torre).

### 5.3.5. User tracking

Se implementó un mecanismo que permitió registrar la navegación del aprendiz en los distintos niveles trabajados durante una sesión de juego. A medida que el jugador trabaja, el videojuego guarda un registro de sus desplazamientos ejecutados (hacia arriba, hacia abajo, hacia la izquierda, o hacia la derecha). También se registra cuando el videojuego bloquea un desplazamiento del jugador hacia un sector no navegable.

Para esto se creó una clase llamada “Log.cs” destinada a almacenar estos datos durante la ejecución del juego. Una característica importante, es que se implementó la capacidad de serializar y deserializar esta clase. Al serializar la clase, los datos almacenados en una instancia de esta clase, se vuelcan en un archivo *xml* una vez que el jugador finaliza la secuencia de niveles establecida por el facilitador. Al deserializar, se rehace una instancia de la clase “Log.cs” a partir de un archivo *xml* serializado anteriormente.

En la Figura 20, se observa la estructura de la clase serializada en un archivo *xml*. Se guarda el nombre del jugador y una lista con los datos registrados en cada nivel jugado. Por cada nivel, se almacenan distintos tipos de datos, tales como: la cantidad de vidas con las que un jugador termina el nivel, la cantidad de vidas con las que el jugador empieza el nivel, los enemigos derrotados, el punto inicial, el punto final y la lista de acciones ejecutadas.

```
1  <?xml version="1.0"?>
2  <Log xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
3  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
4    <PlayerName></PlayerName>
5    <Levels>
6      <LevelInfo Lives="" InitialLives="" Kills="">
7        <StartPoint>
8          <X></X>
9          <Y></Y>
10       </StartPoint>
11       <EndPoint>
12         <X></X>
13         <Y></Y>
14       </EndPoint>
15       <Actions>
16         <int></int>
17         ...
18       </Actions>
19     </LevelInfo>
20     ...
21   </Levels>
22 </Log>
```

Figura 20. Archivo *xml* generado a partir de la serialización de la clase log.

Los archivos *xml* obtenidos durante las tareas de evaluación de impacto cognitivo, permitieron posteriormente analizar la navegación realizada por los aprendices. Para ello, se creó una función complementaria destinada a reprocesar las instancias de la clase log, cuyo objetivo fue obtener

indicadores relacionados con la navegación del usuario, para almacenarlos en un archivo de extensión *csv* que se puede trabajar en una hoja de cálculo.

En la Figura 21 se observa un ejemplo de los datos exportados al archivo *csv*. Este ejemplo muestra los resultados obtenidos al jugar el nivel (3,3), en alguna de las modalidades que se pueden visualizar en la Figura 16. Primero, se guardó el punto de la misión correspondiente al nivel, y luego se guardó la secuencia de puntos navegados. Finalmente, se procesó y se guardaron los indicadores del desempeño del jugador en el nivel: torres instaladas, enemigos derrotados y pasos realizados, desglosando este último en pasos bloqueados, pasos alejándose de la ruta, pasos retornando a la ruta y pasos óptimos para realizar la ruta.

<b>Mission</b>	3	3
1	1	0
2	1	0
3	2	0
4	2	0
5	3	0
6	3	0
7	3	1
8	3	1
9	3	2
10	3	2
11	3	3
<b>Tower</b>	1	
<b>Kills</b>	1	
<b>Performed Steps</b>	11	
<b>Blocked Steps</b>	5	
<b>Steps Away from the Pathway</b>	0	
<b>Steps Back to the Pathway</b>	0	
<b>Optimal Steps</b>	6	

**Figura 21. Ejemplo de archivo *csv* obtenido.**

## **6. Evaluación de usabilidad**

La versión final del videojuego se obtuvo a partir de las mejoras sucesivas que se realizaron producto de 3 instancias de evaluación de usabilidad realizadas. A continuación se da cuenta de la metodología empleada en estas evaluaciones de usabilidad de los prototipos 1, 2 y final.

### **6.1. Evaluación de usabilidad prototipo 1**

#### **6.1.1. Muestra**

La muestra estuvo compuesta por un ingeniero informático (30 años), una educadora diferencial en trastornos de la visión (33 años) y una diseñadora gráfica (24 años). Estos profesionales forman parte del equipo multidisciplinario de trabajo de C5, Universidad de Chile. Estos profesionales tienen la experiencia de haber participado previamente en otras investigaciones, en

las etapas de diseño, desarrollo y evaluación de software y videojuegos educativos para niños ciegos.

### **6.1.2. Instrumentos**

Se utilizó una pauta de evaluación de usabilidad de software para facilitadores (ver Anexo B), la cual fue adaptada a partir de la pauta de usuario final para niños ciegos del profesor Jaime Sánchez (ver Anexo A). En esta pauta adaptada, se conservaron las oraciones originales, y reemplazando la palabra software por videojuego. Además, se agregó un set de preguntas que apuntaron a evaluar la usabilidad de distintos aspectos, tales como: la interfaz de configuración del videojuego, el entendimiento de los elementos del videojuego, y las características que se pueden configurar en una sesión de juego. Las oraciones de la pauta se evalúan en una escala de 1 a 10 (donde 1 es poco y 10 es mucho). Además, al comienzo de la pauta, se incorporaron las instrucciones de las tareas que el usuario debió realizar.

Las preguntas fueron clasificadas de acuerdo a las dimensiones de percepción del usuario en relación a la interfaz: “Satisfacción”, “Aprendizaje”, “Control y Uso”, “Sonidos”, “Imágenes”, “Configuración”, y “Componentes y Lógica”. Además, esta pauta cuenta con una sección de preguntas abiertas las cuales se mantuvieron y al igual que en las oraciones solo se cambió la palabra software por videojuego.

### **6.1.3. Tareas**

Se definieron 2 tareas que los usuarios debieron realizar. Para ello se crearon instrucciones para los usuarios en ambas tareas. Estas instrucciones fueron leídas previamente a la realización de cada una de las tareas (estas instrucciones están registradas en la pauta de evaluación de usabilidad de software para facilitadores, ver Anexo B).

Las instrucciones para realizar la Tarea 1 fueron:

- *Configure un juego con todas las trayectorias (2,2) en los 4 cuadrantes.*
- *Priorice la navegación por el eje Y antes que el eje X.*
- *No permita volver al punto anterior.*
- *Establezca un nombre de jugador.*
- *Inicie el juego y finalícelo.*

Las instrucciones para realizar la Tarea 2 fueron:

- *Configure un juego SOLO con las trayectorias compuestas (3,3) en los 4 cuadrantes.*
- *Establezca Navegación libre.*
- *Disminuya la velocidad de los enemigos.*
- *Aumente las vidas del jugador.*

- *Aumente el daño que hacen las torres.*
- *Disminuya la energía de los enemigos.*
- *Aumente la cantidad de enemigos.*
- *Establezca un nombre de jugador.*
- *Inicie el juego y finalícelo.*

#### **6.1.4. Procedimiento**

Se trabajó individualmente con todos los usuarios de la muestra. A cada usuario se le explicó brevemente en qué consiste el videojuego y el público objetivo al que apunta. A cada usuario se le indicaron verbalmente las instrucciones de ambas tareas y se le entregó una copia impresa de estas instrucciones. Cada usuario trabajó individualmente con el videojuego, y realizó individualmente las tareas sin intervención alguna. Una vez completadas las tareas, se aplicó la pauta de usuario final (ver Anexo B) a los tres usuarios de la muestra.

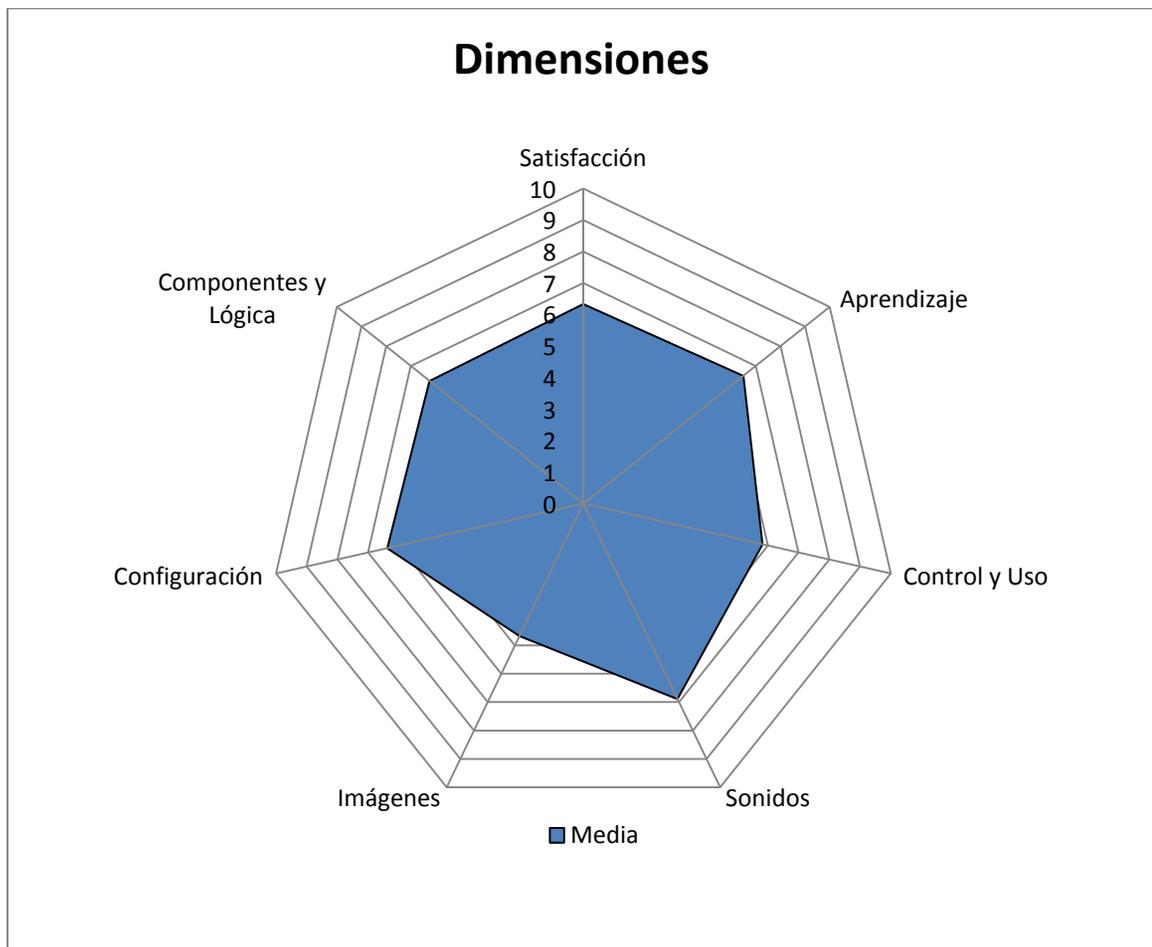
#### **6.1.5. Resultados**

Se procesaron los datos obtenidos a partir de la aplicación de la pauta de evaluación de usabilidad de software para facilitadores. En el Anexo F, se pueden observar los registros detallados de los datos obtenidos, y como las preguntas fueron agrupadas por dimensiones.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por dimensión (ver Tabla 2 y Figura 22). Los resultados numéricos por dimensión fueron regulares. Si se considera que la escala va de 1 a 10, en general los resultados están alrededor del punto medio de la escala.

<b>Dimensión</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Satisfacción	6,33	0,44
Aprendizaje	6,50	1,32
Control y Uso	5,83	0,38
Sonidos	6,89	0,84
Imágenes	4,67	2,52
Configuración	6,38	1,63
Componentes y Lógica	6,24	2,56

**Tabla 2. Resultados obtenidos por dimensión.**



**Figura 22. Gráfico con los resultados obtenidos por dimensión.**

Los resultados cuantitativos, si bien no fueron alentadores, corresponden a lo esperado. Esto, considerando que se trató de un prototipo funcional que se encontraba en una fase temprana de desarrollo.

El feedback obtenido, a partir de las respuestas a las preguntas abiertas, resultó muy valioso, y se puede observar en la Tabla 3. Se recopiló una serie de sugerencias que fueron consideradas para mejorar el prototipo 2.

Preguntas	Respuestas
¿Qué te gustó del videojuego?	<i>El escenario donde transcurre el juego es claro. Los sonidos son claros y entregan información de la orientación (radar), enemigos avanzando y los disparos. Más o menos, falta mayor desarrollo de la idea de juego. Me gustó el sonido de cargar torre, marcha (enemigo). Me gusta la idea de recorrer varias veces una ruta por medio de ensayo y error, complementando con pistas de audio y háptica.</i>
¿Qué no te gustó del videojuego?	<i>Al comienzo no es fácil saber qué hacer, ya que se tiene una concepción visual distinta del Tower Defense. Si bien tiene distintos niveles, la complejidad no es distinta. La configuración de la navegación debería ser más simple. Confunde un poco pensando en el uso de un niño. La gráfica, no hay estímulo visual, casi no hay motivación. Que faltara información de cuando se inicia de nuevo el juego y cuando termina o se pierde.</i>
¿Qué agregarías al videojuego?	<i>Diseño gráfico. Mayor cantidad de enemigos. Personalización del protagonista. Distintos niveles de complejidad. Mejorar la configuración y mejorar gráfica (más atractiva). Mayor feedback mediante audio, color, premios, refuerzo positivo, opciones de gráfica. Que el usuario pudiera escoger colores y contraste. Una introducción breve, pero que contextualice al niño en el rol que debe cumplir en el videojuego.</i>
¿Para qué crees que te puede servir el videojuego?, ¿Qué otros usos le darías al videojuego?	<i>Conocer cuadrantes, componentes de los ejes X, Y, coordenadas cartesianas. Para la ubicación, percepción y orientación de un niño ciego. Para orientación según referencias sonoras. Para creación de mapas cognitivos de rutas. Para desarrollar el sentido del oído, coordinación audiomotora.</i>
Observaciones	<i>Hacer más fácil la configuración del juego (pensar en niños pequeños). Falta definir mejor el objetivo del videojuego (de entretenimiento, de aprendizaje). Además ¿Cómo será explicada la participación del jugador específico (niño ciego o con baja visión)?</i>

**Tabla 3. Resumen de respuestas a las preguntas abiertas.**

A partir de los indicadores cuantitativos, quedó claro que el desafío por mejorar el prototipo se extiende a todas las dimensiones. El feedback de las preguntas abiertas apuntó a mejorar específicamente varios aspectos deficientes en el primer prototipo. En el prototipo 2 se realizaron mejoras en la idea del juego, de tal forma de envolver de mejor forma al jugador, mejorando instrucciones, y el feedback auditivo y háptico.

## 6.2. Evaluación de usabilidad prototipo 2

### 6.2.1. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 2 aprendices ciegos del Colegio Hellen Keller de Ñuñoa: un niño de 9 años y una niña de 11 años de edad (ver Tabla 4). Para la composición de la muestra, no fue requisito que los usuarios tuvieran experiencia previa en el uso de productos similares. Los aprendices de la muestra corresponden a usuarios finales del videojuego, por esta razón su participación en la evaluación de usabilidad aporta directamente en pro de mejorar el diseño de la aplicación, ajustándose aún más a sus necesidades.

Aprendiz	Edad	Género	Resto Visual
1	9	F	NO
2	12	M	NO

**Tabla 4. Características de la muestra empleada para evaluar la usabilidad del prototipo 2.**

### 6.2.2. Instrumentos

Se creó y utilizó un cuestionario de evaluación de sonidos (ver Anexo D). Esta pauta tuvo por objetivo evaluar el entendimiento y la calidad de los sonidos empleados en el videojuego. Además se evaluaron las voces empleadas para grabar los textos hablados.

También se creó y utilizó una pauta de observación (ver Anexo E). Esta pauta sirvió de apoyo, para registrar aspectos importantes acerca de la interacción y desempeño del aprendiz al realizar las tareas solicitadas.

Finalmente, se utilizó una pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos (ver Anexo C), la cual fue adaptada a partir de la pauta de usuario final para niños ciegos del profesor Jaime Sánchez (ver Anexo A). En esta pauta adaptada, se conservaron las 18 oraciones originales, reemplazando la palabra software por videojuego. Las oraciones de la pauta se evalúan en una escala de 1 a 10 (donde 1 es poco y 10 es mucho).

Las oraciones fueron clasificadas de acuerdo a las dimensiones de percepción del usuario en relación a la interfaz: “Satisfacción”, “Aprendizaje”, “Control y Uso”, “Sonidos”, e “Imágenes”. Además, esta pauta cuenta con una sección de 5 preguntas abiertas, las cuales se mantuvieron, y al igual que en las oraciones, solo se cambió la palabra software por videojuego. Sin embargo se agregó la pregunta: ¿Te gustó utilizar el joystick? ¿Por qué?, la cual apuntó a indagar en el nivel de satisfacción de uso del control Wiimote.

### 6.2.3. Tareas

Se configuró un set de tareas con 3 niveles (5,5), (5,6) y (5,-6), con retorno al punto anterior y con prioridad del eje X sobre el eje Y. Este es un set mínimo de tareas que permite observar el

comportamiento de aprendiz con el videojuego. Además se mantuvo la configuración por defecto para las restricciones del videojuego.

#### **6.2.4. Procedimiento**

Se trabajó individualmente con todos los aprendices de la muestra. Inicialmente, se aplicó el cuestionario de evaluación de sonidos (ver Anexo D) a cada aprendiz. Para esto, se reprodujeron uno a uno los sonidos nombrados en la pauta. Por cada sonido se realizaron las preguntas respectivas a cada usuario (ver Figura 23).



**Figura 23. Aplicación del cuestionario de sonidos.**

A continuación, se explicó en qué consiste el juego. Se presentaron los dispositivos que se usaron: los audífonos, el control Wiimote y el Nunchuk. Se les hizo una reseña a las acciones disponibles en el juego y los botones disponibles en el control Wiimote. En este sentido, cabe destacar que se solicitó a los aprendices explorar la interfaz de entrada y no se les explicó qué hacía cada botón, indicándoles explícitamente que ellos debían descubrir las acciones que podían lograr con los botones. Se configuró el set de tareas en el videojuego, y a continuación, los jugadores iniciaron el juego (ver Figura 24). Paralelamente, se registraron los eventos importantes relacionados con la interacción apoyándose con la pauta de observación (ver Anexo E)



**Figura 24. Configurando el videojuego para los aprendices.**

Una vez completadas las tareas se aplicó la pauta de usuario final (ver Anexo C) a los aprendices de la muestra.

#### **6.2.5. Resultados**

Se procesaron los datos obtenidos, a partir de la aplicación del cuestionario de evaluación de sonidos (ver Anexo D). Estos resultados reflejaron que los usuarios perciben claramente los sonidos icónicos, y que su interpretación se relaciona con los aspectos que se representan en el juego (ver Tabla 5).

Sonido	¿Es claro el sonido?		¿Qué significa para ti el sonido?	
	1	2	1	2
<b>Alarma</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>timbre</i>	<i>salto, caricatura</i>
<b>Balita</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>piu</i>	<i>pollo, piu</i>
<b>Bloqueo</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>alguien presionando botón del celular</i>	<i>marcando numero celular</i>
<b>Colisión</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>golpeando algo</i>	<i>se cae algo</i>
<b>Movimiento Cursor</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	-	<i>gota lluvia</i>
<b>Pierde</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>alguien gritó</i>	<i>alguien gritando</i>
<b>Gana</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>grito muy fuerte</i>	<i>barco</i>
<b>Risa</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>ardilla</i>	<i>ardilla riéndose</i>
<b>Paso</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	-	<i>explosión</i>
<b>Trompeta</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>trompeta</i>	<i>trompeta</i>

**Tabla 5. Interpretación de sonidos icónicos por parte de los aprendices.**

Otro resultado interesante del cuestionario de sonidos, es el buen entendimiento de los textos hablados grabados como audio (ver Tabla 6). Se probaron las 2 voces en español de AT&T, y los resultados fueron muy buenos. Sin embargo los aprendices mostraron una preferencia por la voz de Rosa (ver Tabla 7).

Texto Hablado	¿El aprendiz entiende y puede repetir lo que dice el audio?			
	1		2	
	Alberto	Rosa	Alberto	Rosa
Intercepta a los enemigos en el punto	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Inténtalo nuevamente	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Felicitaciones	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Destino	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Misión	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Ganaste	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>
Misión cumplida	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>

**Tabla 6. Entendimiento de los textos hablados en los sonidos por parte de los aprendices.**

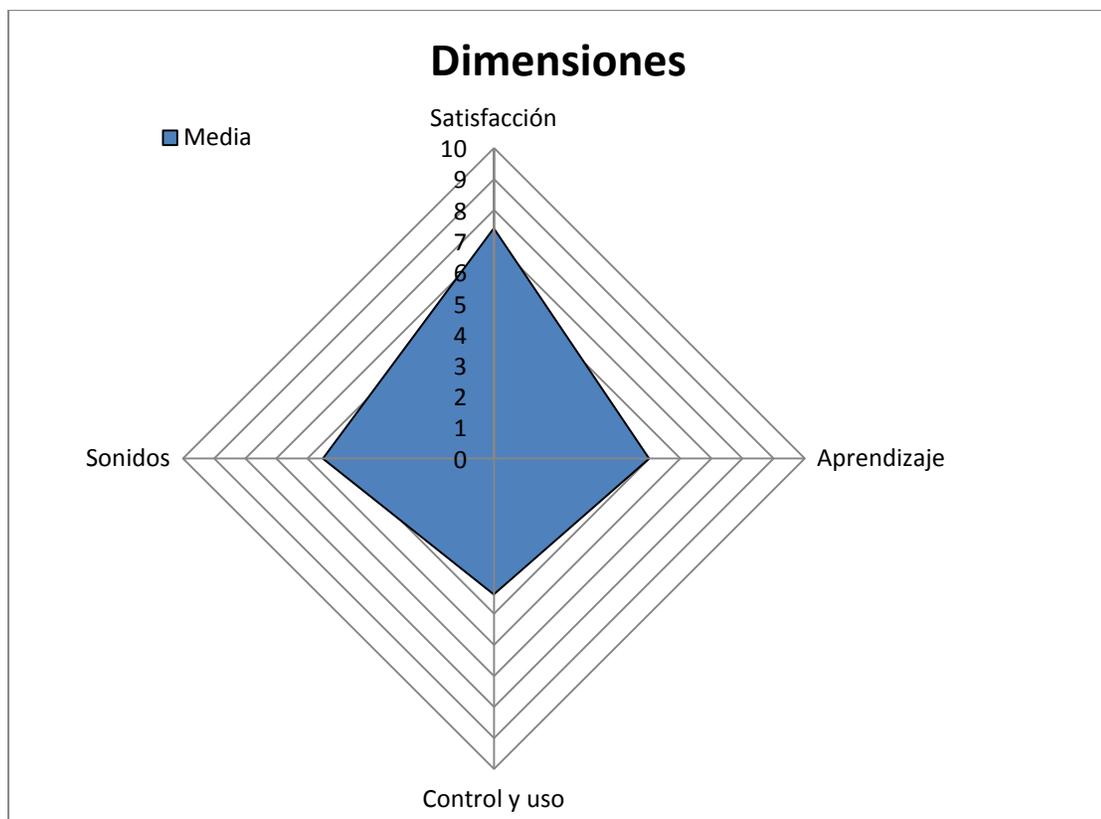
	1	2
¿Cuál voz prefieres?	<i>Rosa</i>	<i>Rosa</i>

**Tabla 7. Preferencia de los usuarios por la voz de Rosa o Alberto.**

Se procesaron los datos obtenidos a partir de la aplicación de la pauta adaptada de evaluación de usabilidad de videojuegos para niños ciegos (ver Anexo C). Los resultados mostraron indicadores con valores regulares en todas las dimensiones (ver Tabla 8 y Figura 25). Esto denotó que aún quedaban muchos aspectos por mejorar en la interfaces. Cabe señalar que la dimensión de imágenes no pudo ser evaluada, dado que en la muestra no hubo aprendices con resto visual. En el Anexo G se pueden observar los registros detallados de los datos obtenidos, y como las preguntas fueron agrupadas por dimensiones.

Dimensión	Media	Desviación Estándar
Satisfacción	7,42	1,77
Aprendizaje	5,00	0,71
Control y uso	4,38	3,01
Sonidos	5,50	2,12

**Tabla 8. Resultados obtenidos por dimensión en el prototipo 2.**



**Figura 25. Gráfico con los resultados obtenidos por dimensión en el prototipo 2.**

En esta ocasión, los resultados obtenidos en las preguntas abiertas (ver Tabla 9) entregaron feedback de los usuarios finales del videojuego, lo que permitió realizar nuevas mejoras y ajustes que se reflejaron en las interfaces del prototipo final. Además, se procesaron los datos obtenidos a partir de la aplicación de la pauta de observación (ver Tabla 10 y Anexo E).

Pregunta	Respuestas
¿Qué te gustó del videojuego?	(1) Ganar. (1) El sonido cuando ganó como si se cayera un barco de metal. (1) Me gustó disparar e instalar la torre. (1) Avanzar con las direcciones.
¿Qué no te gustó del videojuego?	(1) Cuando empezaba el juego porque era muy fuerte. (1) Me gustaría que fuera pa! pa! más lento o con espacios. (1) El sonido de pito cuando empieza. (1) Nada
¿Qué agregarías al videojuego?	(1) Una voz para decir delante, atrás, diagonal, derecha, izquierda, te sirve, no te sirve, aprieta esto. (1) Le agregaría espadas, poderes al personaje, naves espaciales. (1) Más niveles.
¿Para qué crees que te puede servir el videojuego?, ¿Qué otros usos le darías al videojuego?	(1) Para aprender a ponerme más atento. (1) Para entretenerme cuando este muy aburrido.
¿Te gustó utilizar el joystick?	(2) Sí, un 10
¿Por qué te gustó el joystick?	(1) Me gustó la vibración, cuando tiritita. (1) Es entretenido. (1) Wiimote es fácil. (1) El Nunchuk no es fácil de usar.
Observaciones	(1) Súper completo. (1) Asociar direcciones. (1) Entretenido. (1) Fácil de usar. (1) Es motivador.

**Tabla 9. Resumen de respuestas a las preguntas abiertas.**

	1	2
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No logró completar las tareas en forma autónoma.</li> <li>• Se entregaron indicaciones de cómo navegar y ejecutar acciones en el juego.</li> <li>• El uso del análogo en el Nunchuk confundió al jugador.</li> <li>• Fue difícil para el jugador coordinar el uso del Wiimote y el Nunchuk simultáneamente.</li> <li>• En el juego faltó feedback que indicara el final del camino.</li> <li>• El jugador no se dio cuenta que recorrió el camino.</li> <li>• El jugador no percibe que avanza y tampoco cuando llega al final.</li> <li>• El jugador presiona muchos botones.</li> <li>• La postura con el joystick no es la óptima.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El jugador completó las tarea 1 en 4 intentos, la tarea 2 en 4 intentos y la tarea 3 en 2 intentos.</li> <li>• Con este usuario se optó por descartar el uso del Nunchuk, lo que simplificó considerablemente el desempeño del usuario.</li> <li>• El jugador descubrió y entendió por si sólo la lógica del juego.</li> <li>• Al hacer una prueba simulada indicándole 4 a la derecha y 3 arriba, y luego 3 a la izquierda y 5 arriba, el aprendiz asoció correctamente la acción que debía ejecutar con el Wiimote.</li> </ul>

**Tabla 10. Resumen de los datos obtenidos a partir de la pauta de observación.**

A partir del feedback del usuario en las preguntas abiertas y las observaciones obtenidas, a partir de la aplicación de la pauta de observación, se determinaron los siguientes aspectos que fueron corregidos y mejorados en el prototipo final:

- Ejecutar las acciones paso a paso. Esto se refiere a dar feedback al usuario que entregue la noción que se ejecutó una acción de desplazamiento en alguna dirección, algún bloqueo de desplazamiento, o bien, la instalación de una torre.
- Incorporar una modalidad de juego con un camino unidireccional. Es decir, se agregó la característica de no volver al punto anterior, al momento de navegar con prioridad sobre alguno de los ejes.
- Instalar la torre automáticamente. Esto simplifica considerablemente la acción al llegar al punto final del camino, ya que para el usuario no resultó natural presionar un botón para instalar la torre.

- Brújula automática, agregando feedback de alerta de cercanía al destino, descartando el uso del Nunchuk y trabajando únicamente con el Wiimote. Inicialmente el Nunchuk fue considerado como una brújula con el cual el usuario, usando el joystick análogo, debía encontrar la dirección hacia donde debía dirigirse. Esto resultó muy complejo, poco natural y principalmente difícil de trabajar simultáneamente con el Wiimote por parte de los aprendices.
- Entregar feedback de información de punto de destino al inicio y durante el recorrido del camino. Se incorporó esta característica como una acción disponible a través de un botón del Wiimote.
- Agregar información al inicio del nivel con el destino que se debe alcanzar. Esto entrega una pista inicial, y a su vez, proporciona un inicio formal a cada nivel.

### 6.3. Evaluación de usabilidad prototipo final

#### 6.3.1. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 5 aprendices con discapacidad visual del Colegio Hellen Keller de Ñuñoa (3 niños y 2 niñas), con edades entre los 9 y los 13 años (para más detalles ver Tabla 11). Para la composición de la muestra, no fue requisito que los usuarios tuvieran experiencia previa en el uso de productos similares. En esta muestra no participaron los usuarios que evaluaron la usabilidad del prototipo 2. Los usuarios de la muestra correspondieron a usuarios finales del videojuego, y en el caso de esta evaluación final de usabilidad su participación aportó directamente en la validación del diseño del videojuego.

Aprendiz	Edad	Género	Resto Visual
1	13	M	SI
2	9	M	NO
3	12	F	NO
4	11	F	NO
5	10	M	SI

**Tabla 11. Características de la muestra empleada para evaluar la usabilidad del prototipo final.**

#### 6.3.2. Instrumentos

Se utilizó la misma pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos (ver Anexo 0) empleada en la evaluación del prototipo 2, la cual fue adaptada a partir de la pauta de usuario final para niños ciegos del profesor Jaime Sánchez (ver Anexo A).

Al igual que en la evaluación del prototipo 2, en esta pauta adaptada se conservaron las 18 oraciones originales, reemplazando la palabra software por videojuego. Las oraciones de la pauta se evalúan en una escala de 1 a 10 (donde 1 es poco y 10 es mucho). Las oraciones fueron clasificadas de acuerdo a las dimensiones de percepción del usuario, en relación a la interfaz: “Satisfacción”, “Aprendizaje”, “Control y Uso”, “Sonidos”, e “Imágenes”.

Además esta pauta cuenta con una sección de 5 preguntas abiertas, las cuales se mantuvieron, y al igual que en las oraciones, sólo se cambió la palabra software por videojuego. Sin embargo se agregaron 5 preguntas. La primera pregunta agregada: ¿Te gustó utilizar el joystick? ¿Por qué?, apuntó a indagar en el nivel de satisfacción de uso del control Wiimote. Las siguientes 4 preguntas incorporadas: ¿Entendiste las indicaciones del videojuego?, ¿El videojuego te ayudó a desplazarte?, ¿Cómo utilizaste las indicaciones para desplazarte?, y ¿La vibración del joystick te ayudó a desplazarte?, apuntaron a indagar acerca de la percepción y la satisfacción del aprendiz, en torno a los mecanismos de interacción y de traspaso de información para poder jugar.

### **6.3.3. Tareas**

Se configuraron 3 set de tareas con 4 niveles: (5,4), (5,-4), (-5,4) y (-5,-4). El set de tareas 1 contempló la navegación sin retorno al punto anterior y con prioridad del eje X sobre el eje Y. El set de tareas 2 contempló la navegación sin retorno al punto anterior y con prioridad del eje Y sobre el eje X. El set de tareas 3 contempló la navegación libre. Además se mantuvo la configuración por defecto para las restricciones del videojuego.

### **6.3.4. Procedimiento**

Se trabajó individualmente con todos los aprendices de la muestra. Primero, se explicó en qué consiste el juego. Se presentaron los dispositivos con los que el usuario interactuó: audífonos y Wiimote. Se explicaron las acciones disponibles en el juego, pero no se explicó cuáles son los botones asociados. Se configuraron secuencialmente los sets de tareas en el videojuego. Con esto, los aprendices pudieron iniciar y jugar el videojuego (ver Figura 26).



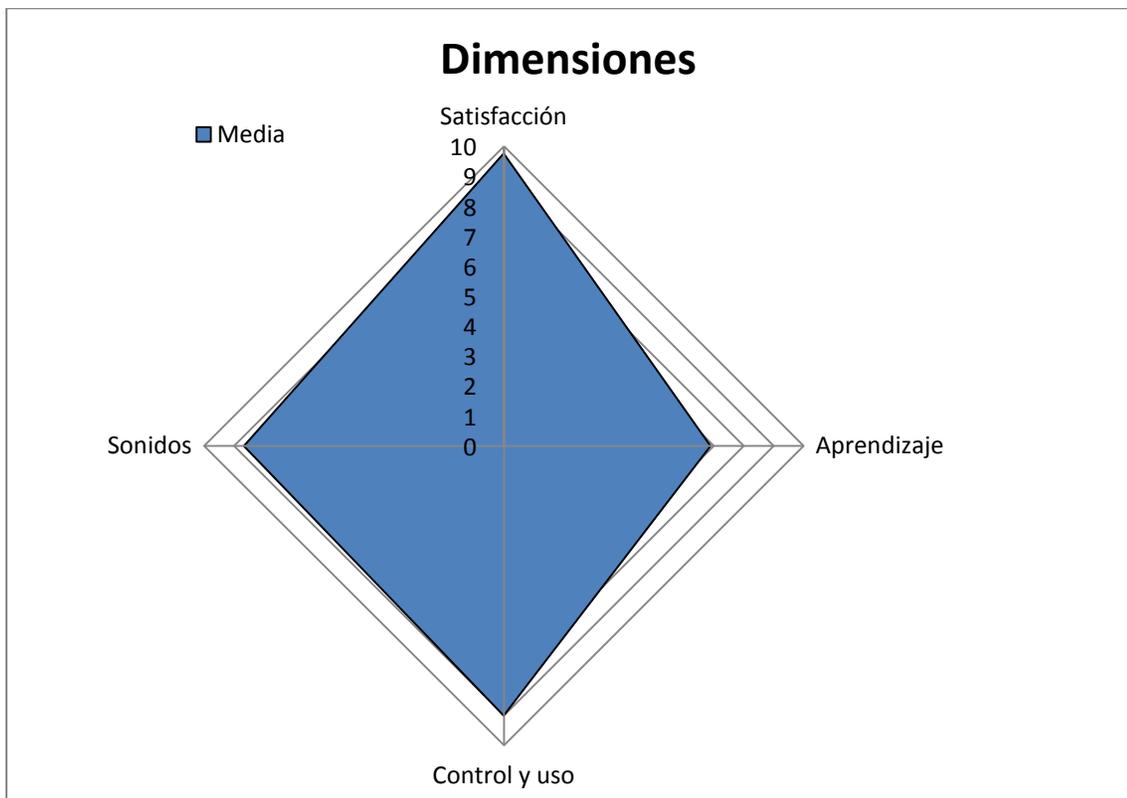
**Figura 26. Aprendiz jugando y realizando las tareas.**

### 6.3.5. Resultados

Se procesaron los datos obtenidos, a partir de la aplicación de la pauta adaptada de evaluación de usabilidad de videojuegos para niños ciegos (ver Anexo C). Los resultados mostraron valores mejorados (con respecto a los prototipos anteriores) en las medias de todas las dimensiones (ver Tabla 12 y Figura 27). En el Anexo H se pueden observar los registros detallados de los datos obtenidos, y como las preguntas fueron agrupadas por dimensiones. Es importante indicar que la media de la dimensión “Imágenes” se obtuvo a partir de las respuestas de 2 de los 5 aprendices, los cuales poseen resto visual.

<b>Dimensión</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Satisfacción	9,77	0,32
Aprendizaje	6,90	1,63
Control y uso	9,00	1,08
Sonidos	8,67	0,97
Imágenes	6,00	4,24

**Tabla 12. Resultados obtenidos por dimensión en el prototipo final.**



**Figura 27. Gráfico con los resultados obtenidos por dimensión en el prototipo final.**

En esta ocasión, los resultados obtenidos en las preguntas abiertas (ver Tabla 13) apuntaron a validar satisfactoriamente muchas de las características del videojuego, particularmente en términos de satisfacción, mecanismos de interacción y feedback. Por otra parte, aspectos criticados por los aprendices tales como aumentar la cantidad de niveles y aumentar la dificultad del videojuego, sí están cubiertos en el prototipo final, pero no fueron apreciados por los usuarios dadas las características de las tareas de usabilidad establecidas.

Pregunta	Respuestas
¿Qué te gustó del videojuego?	(1) Aprender otras actividades. (1) Experimentar otros sonidos. (1) Todas las cosas. (1) Cuando uno se instala en la torre porque suena como hielo. (1) Los sonidos. (1) Es divertido. (1) Como sonaba cuando uno iba doblando, cuando vibraba. (1) Las acciones, los niveles. (1) El juego me gustó mucho.
¿Qué no te gustó del videojuego?	(4) Nada. (1) Los sonidos, la campana de inicio.
¿Qué agregarías al videojuego?	(2) Más niveles. (2) Nada. Espadas, trampas, bombas. (1) Más práctica. (1) Le pondría niveles de dificultad fácil, difícil y medio.
¿Para qué crees que te puede servir el videojuego?, ¿Qué otros usos le darías al videojuego?	(2) Para el aburrimiento. (2) Para hacer ocio. (2) Nada. (1) Cuando no esté haciendo nada. (1) Para entretenimiento. (1) Para jugar. (1) Para ubicarme y saber donde estoy parado.
¿Te gustó utilizar el joystick?	(5) Sí.
¿Por qué te gustó el joystick?	(1) Es fácil de utilizar. (1) Es fácil de manejar. (1) Es práctico. (1) Tenía que mover solo un dedo. (1) Es bacán. (1) Apretar los botones. (1) Tiene la forma de mi joystick. (1) Me gustaron las flechas y los botones.
¿Entendiste las indicaciones del videojuego?	(4) Sí, porque decía x izquierda (o derecha), y adelante (o atrás). (1) Más o menos.
¿El videojuego te ayudó a desplazarte?	(4) Sí. (1) No, me guié solo
¿Cómo utilizaste las indicaciones para desplazarte?	(3) desplazándome N pasos a la izquierda (o derecha), M pasos hacia adelante (o atrás). (1) Contando los pasos con la información inicial. (1) Me iba a cualquier lado e igual ganaba.
¿La vibración del joystick te ayudó a desplazarte?	(3) Me entrega información. (1) Cuando doblaba. (1) A veces vibraba.

**Tabla 13. Resumen de frecuencias de las respuestas a las preguntas abiertas.**

### 6.3.6. Análisis prototipo final vs prototipo 2

Cualitativamente, la apreciación de los usuarios mejoró notoriamente, mostrando aceptación por lo divertido del juego, sus elementos, el uso de controles y los mecanismos de entrega de información. En términos cuantitativos, se observaron incrementos en las medias de todas las dimensiones de la pauta de evaluación de usuarios finales (ver Tabla 14 y Figura 28).

Dimensión	Media Prototipo Final	Media Prototipo 2	Diferencia (incremento en Prototipo Final)
Satisfacción	9,77	7,42	2,35
Aprendizaje	6,90	5,00	1,90
Control y uso	9,00	4,38	4,62
Sonidos	8,67	5,50	3,17

Tabla 14. Resultados obtenidos por dimensión en el prototipo final vs prototipo 2.

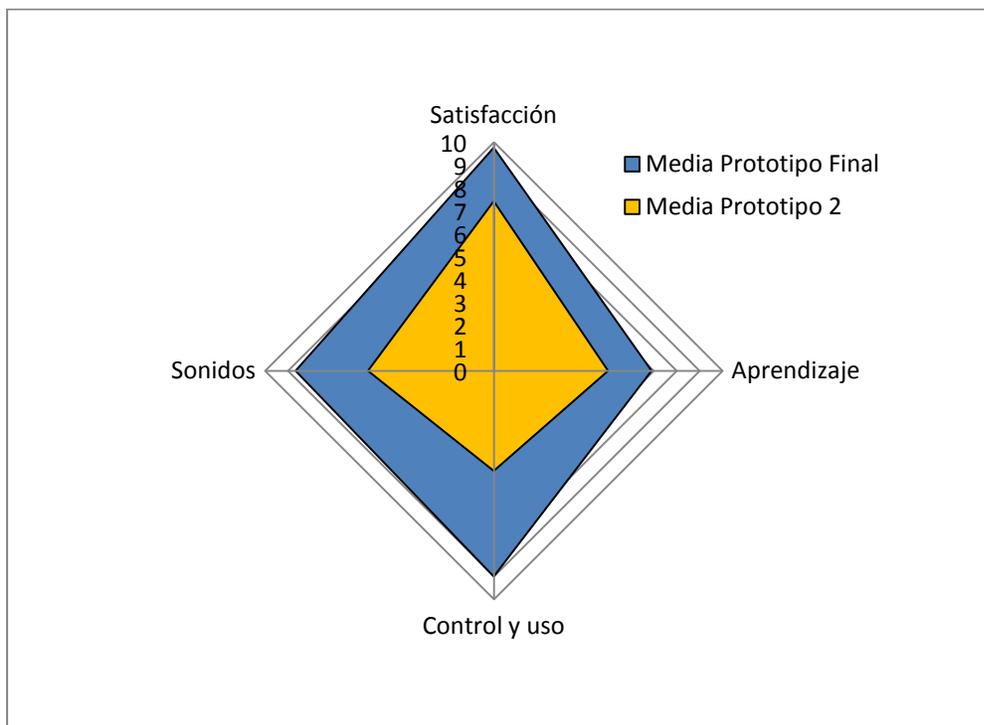


Figura 28. Gráfico con los resultados obtenidos por dimensión en el prototipo final vs prototipo 2.

Se profundizó en la significancia estadística de las diferencias encontradas en las medias. Primero, se realizó una prueba T para muestras independientes sobre los valores obtenidos en las dimensiones, a partir de la evaluación de cada usuario en el prototipo 2, y en el prototipo final. Esto arrojó que el incremento en la media de la dimensión “Sonidos” ( $t=-2,942$ ,  $p<0,05$ ), resultó estadísticamente significativa. Las otras dimensiones no mostraron incrementos estadísticamente significativos.

Además, se realizó una prueba T para muestras independientes, sobre la evaluación de los usuarios en cada una de las 18 oraciones. Esto arrojó un incremento estadísticamente significativo en las medias de las oraciones: “El videojuego es interactivo” ( $t=-5,697$ ,  $p<0,05$ ) y “Los sonidos del videojuego me transmiten información” ( $t=-3,470$ ,  $p<0,05$ ).

Un aspecto interesante de los valores cuantitativos obtenidos, es el bajo nivel alcanzado en la dimensión de “Aprendizaje”, a partir de la percepción de los aprendices. Este resultado es positivo en términos de la investigación, puesto que justamente el usuario no percibe lo que está aprendiendo a través del uso del videojuego.

## 7. Evaluación de impacto cognitivo

Una vez obtenido el prototipo final del videojuego, que fue logrado por los rediseños originados a partir de los resultados de las evaluaciones de usabilidad realizadas, se procedió a la evaluación de impacto cognitivo del videojuego. A continuación se da cuenta de la metodología empleada y de los resultados obtenidos en este proceso.

### 7.1. Muestra

La muestra estuvo compuesta por 4 aprendices con discapacidad visual del Colegio Hellen Keller de Ñuñoa (2 niños y 2 niñas), con edades entre los 9 y los 13 años (para más detalles ver Tabla 15). Los aprendices de esta muestra participaron previamente en la evaluación de usabilidad del prototipo final. Los usuarios de la muestra corresponden a usuarios finales del videojuego, y en el caso de esta evaluación cognitiva, se analizó cómo a partir del uso del videojuego se impacta en sus habilidades matemático-geométricas y de orientación y movilidad en el videojuego.

Aprendiz	Edad	Género	Resto Visual
1	13	M	SI
2	9	M	NO
3	12	F	NO
4	11	F	NO

**Tabla 15. Características de la muestra empleada para evaluar el impacto cognitivo.**

## 7.2. Instrumentos

El instrumento de evaluación fue integrado como parte del videojuego. Al procesar los archivos de log del videojuego, por cada nivel que el jugador desarrolla, se obtienen los indicadores: cantidad de pasos ejecutados ( $N_e$ ), cantidad de pasos bloqueados ( $N_b$ ), cantidad de pasos de saliendo de la ruta ( $N_s$ ), pasos regresando a la ruta ( $N_r$ ), y cantidad de pasos óptimos para superar el nivel ( $N_o$ ).

La cantidad de pasos ejecutados se define por la ecuación (1).

$$(1) \quad N_e = N_b + N_s + N_r + N_o$$

Se definieron indicadores de eficiencia ( $E$ ) y de ineficiencia ( $I$ ) en el desempeño del jugador. La ineficiencia se desglosa en ineficiencia producto de los movimientos bloqueados ( $I_b$ ), y en ineficiencia producto del alejamiento de la ruta ( $I_a$ ).

La eficiencia en el desempeño del jugador se define por la ecuación (2).

$$(2) \quad E = N_o / N_e$$

La ineficiencia en el desempeño del jugador se define por la ecuación (3).

$$(3) \quad I = 1 - E$$

Al incorporar la ecuación (2) en la ecuación (3)

$$(4) \quad I = (N_e - N_o) / N_e$$

Al incorporar la ecuación (1) en la ecuación (4) se obtiene:

$$(5) \quad I = (N_b + N_s + N_r) / N_e$$

Se define:

$$(6) \quad I_b = N_b / N_e$$

$$(7) \quad I_a = (N_s + N_r) / N_e$$

Finalmente se define la ineficiencia en la ecuación (8):

$$(8) \quad I = I_b + I_a$$

Con estos indicadores se obtuvo una medida cuantitativa de la construcción progresiva de los mapas mentales de los aprendices. Los caminos en el juego conducen a un destino, y el aprendiz es libre de escoger la mejor estrategia para alcanzar el destino, aspecto que se refleja en el indicador de eficiencia. Los indicadores de ineficiencia dan cuenta de cómo el usuario ejecuta acciones que lo distancian de la ruta óptima o de las opciones de rutas óptimas en el caso de la navegación libre (aquí el usuario puede combinar libremente las prioridades de navegación por el eje x o el eje y).

### **7.3. Tareas**

La configuración del videojuego fue diseñada pensando en hacer más fácil la estructuración de las tareas cognitivas. Para las tareas se consideraron 20 niveles: (3, 3), (3, -3), (-3, 3), (-3, -3), (4, 4), (4, -4), (-4, 4), (-4, -4), (5, 3), (5, -3), (-5, 3), (-5, -3), (5, 4), (5, -4), (-5, 4), (-5, -4), (5, 5), (5, -5), (-5, 5), y (-5, -5).

Luego se determinaron 3 sets de tareas:

- Tareas de Pretest. Se configuró la modalidad de navegación libre para todos los niveles considerados.
- Tareas de Desarrollo. Se configuró la modalidad de navegación con prioridad por el eje X y sin retorno al punto anterior, para todos los niveles considerados.
- Tareas de Postest. Se configuró la modalidad de navegación libre para todos los niveles considerados.

Además se mantuvo la configuración por defecto para las restricciones del videojuego.

### **7.4. Procedimiento**

Se trabajó individualmente con todos los aprendices de la muestra. Se les explicó en qué consiste el juego y se dieron las instrucciones de uso de los dispositivos de interacción (audífonos y Wiimote). Se explicaron las acciones disponibles en el juego y los botones asociados. Se configuraron secuencialmente los sets de tareas en el videojuego a medida que iban terminando cada uno de ellos.

Cada uno de los 3 sets de tareas, fue realizado por cada aprendiz, en sesiones de trabajo de 15 minutos cada una aproximadamente. En cada set de tareas, el aprendiz jugó individualmente con el videojuego, hasta superar los niveles propuestos en cada juego (ver Figura 29 y Figura 30). Por cada set de tareas, el videojuego generó un archivo de log, el cual contiene todas las acciones ejecutadas por el usuario. Una vez finalizados todos los sets de tareas por todos los usuarios, se procedió a analizar los registros obtenidos en los archivos de log.



**Figura 29.** Una aprendiz realizando las tareas con el videojuego.

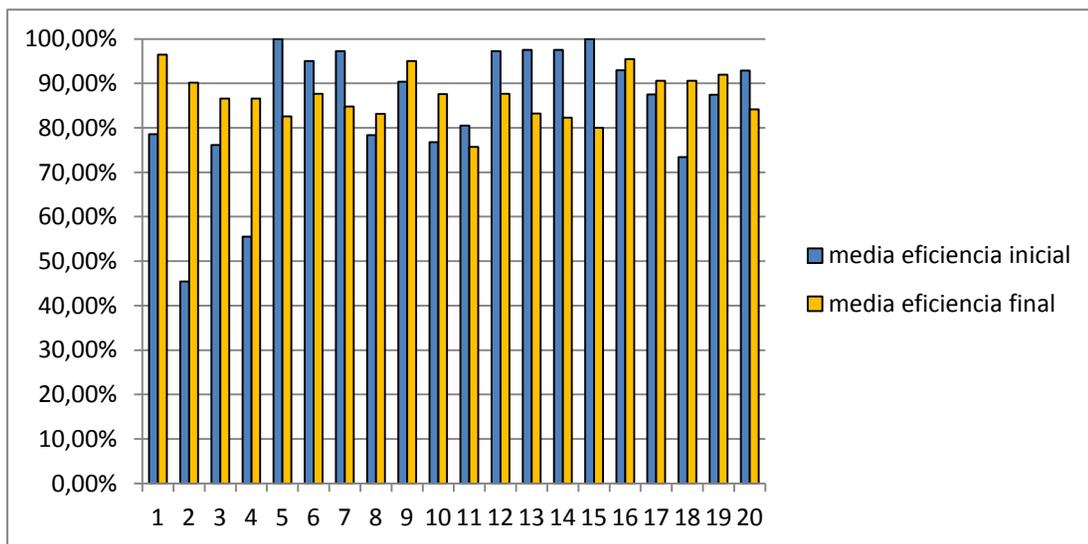


**Figura 30.** Un aprendiz realizando las tareas con el videojuego.

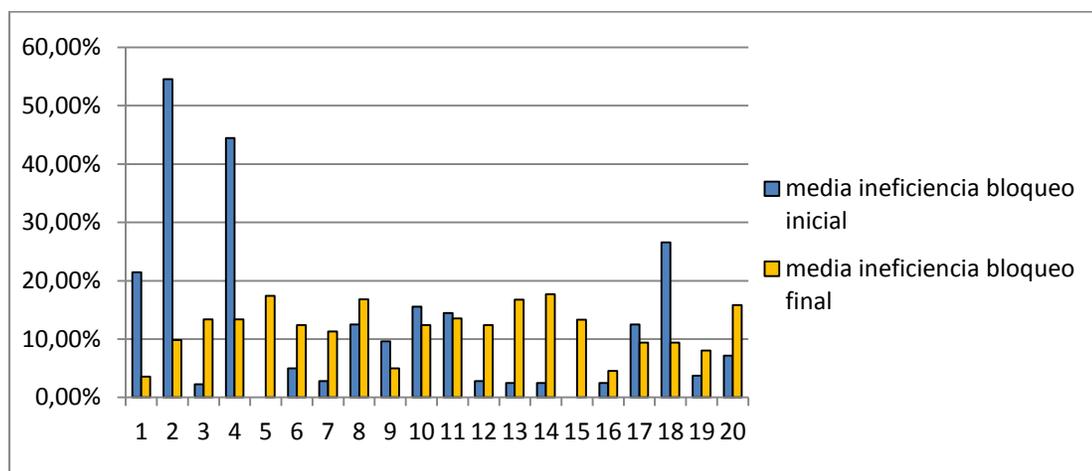
## **7.5. Resultados**

Se procesaron los datos obtenidos a partir de los archivos de log de los usuarios. Esto permitió obtener por cada usuario y por cada nivel, la cantidad de pasos realizados, la cantidad de pasos bloqueados, la cantidad de pasos saliendo y regresando a la ruta, y la cantidad de pasos óptimos.

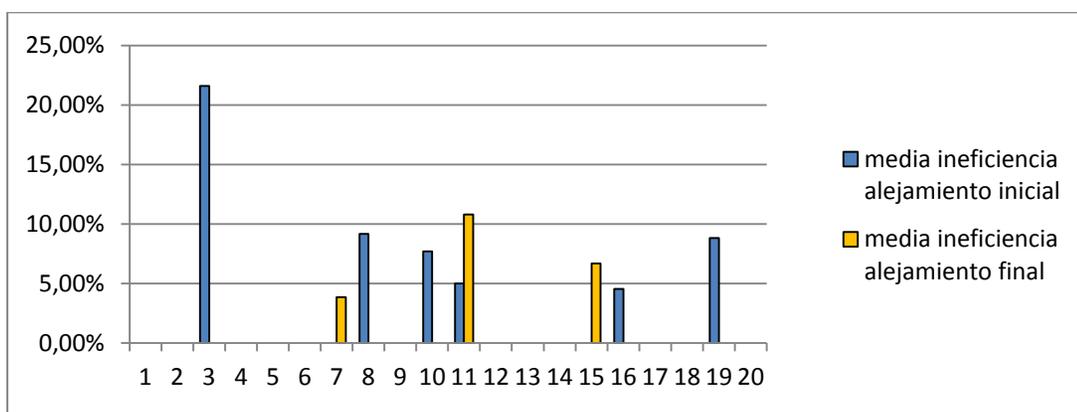
Ademas, estos datos se obtuvieron para la instancia de pretest (inicial) y de postest (final). Con estos datos, se determinó por cada nivel y por cada instancia (inicial y final), las medias de todos los usuarios en la eficiencia, en la ineficiencia por bloqueo, y en la ineficiencia por alejamiento. Estas medias se pueden ver graficadas, por cada uno de los 20 niveles jugados por los aprendices, en la Figura 31, en la Figura 32, y en la Figura 33 (para ver detalladamente los indicadores revisar Anexo I, Anexo J, y Anexo K).



**Figura 31. Gráfico eficiencia media en los 20 niveles jugados por los aprendices.**



**Figura 32. Gráfico ineficiencia media por bloqueos en los 20 niveles jugados por los aprendices.**



**Figura 33. Gráfico ineficiencia media por alejamiento de la ruta en los 20 niveles jugados por los aprendices.**

Por simple inspección, no se observa ninguna tendencia en las medias de la eficiencia, ni en las medias de la ineficiencia por bloqueos y alejamiento. Para indagar en esto, se realizó una prueba T para muestras relacionadas sobre el indicador de eficiencia y también sobre los indicadores de ineficiencia por bloqueos y por alejamiento, por cada nivel. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cada nivel. Este resultado nos dice que los aprendices no presentaron diferencias en las medias de la eficiencia y tampoco de la ineficiencia en los niveles del videojuego que fueron trabajados.

Luego, se procedió a determinar la eficiencia total, considerando para calcular los indicadores las cantidades totales de pasos realizados, pasos bloqueados, pasos saliendo y regresando a la ruta, y pasos óptimos en todos los niveles jugados por los usuarios. Los resultados se pueden ver en la Tabla 16, en la Figura 34 y en la Figura 35.

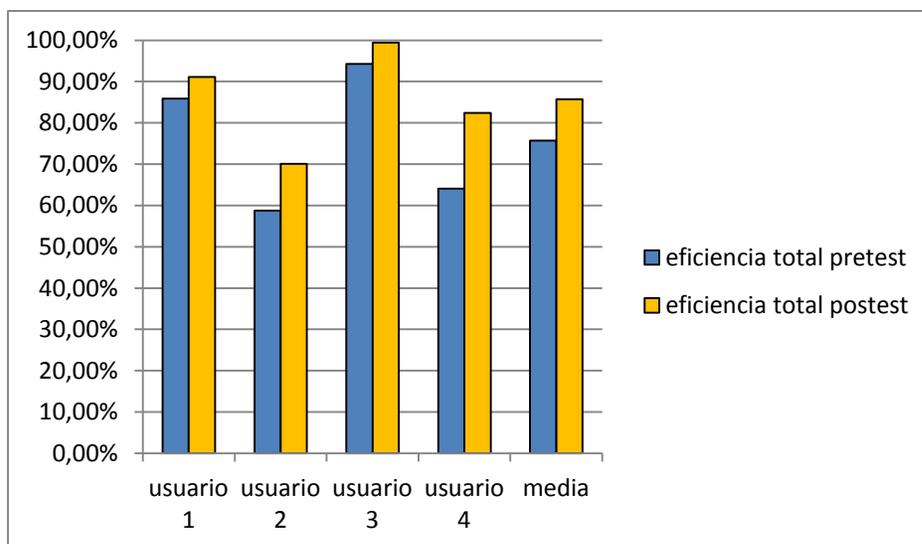
Aprendiz	Ef. total pretest	Ef. total posttest	Inef. total pretest	Inef. total posttest	Inef. bloqueo total pretest	Inef. bloqueo total posttest	Inef. alejamiento total pretest	Inef. alejamiento total posttest
1	85,86%	91,11%	14,14%	8,89%	6,81%	7,78%	7,33%	1,11%
2	58,78%	70,09%	41,22%	29,91%	38,35%	27,35%	2,87%	2,56%
3	94,25%	99,39%	5,75%	0,61%	5,75%	0,61%	0,00%	0,00%
4	64,06%	82,41%	35,94%	17,59%	34,38%	15,58%	1,56%	2,01%
media	75,74%	85,75%	24,26%	14,25%	21,32%	12,83%	2,94%	1,42%

**Tabla 16. Porcentajes totales de eficiencia, ineficiencia, ineficiencia por bloqueos e ineficiencias por alejamiento de los aprendices en el pretest y posttest.**

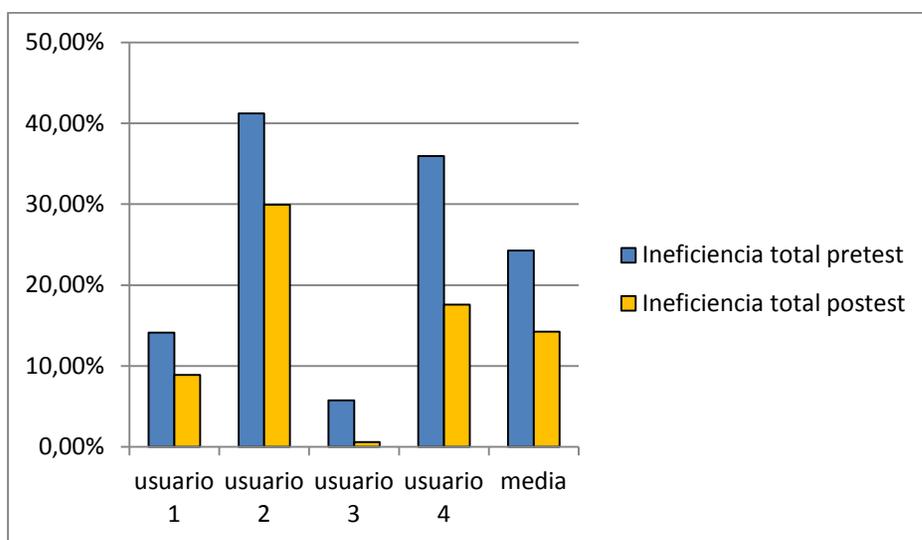
En los indicadores totales de eficiencia e ineficiencia se puede apreciar a simple vista que todos los aprendices aumentaron su eficiencia (ver Figura 34), y en consecuencia disminuyeron su

ineficiencia (ver Figura 35). En el caso particular de las componentes de la ineficiencia total por bloqueo y alejamiento, en general, se aprecian disminuciones considerables, sin embargo en algunos casos se observan aumentos pequeños (por ejemplo aprendiz 1 en ineficiencia total por bloqueos y el aprendiz 4 en ineficiencia total por alejamiento).

Para profundizar en este aspecto, se realizaron pruebas T sobre muestras relacionadas. Los resultados mostraron que la diferencia en las medias de la eficiencia total de los aprendices (es decir, el aumento de la media en la eficiencia total del postest con respecto al pretest) resultó estadísticamente significativa ( $t=-3,198$ ,  $p<0,05$ ). Además, la disminución de la media en la ineficiencia total del postest con respecto al pretest, también resultó estadísticamente significativa ( $t=3,198$ ,  $p<0,05$ ). Al hacer la prueba T sobre muestras relacionadas en la ineficiencia total por bloqueos y por alejamiento, no se obtuvo diferencias estadísticamente significativas entre las medias de postest con respecto al pretest.



**Figura 34. Gráfico eficiencia total pretest y postest.**



**Figura 35. Gráfico ineficiencia total pretest y postest.**

## 8. Conclusión

El objetivo general del trabajo se cumplió satisfactoriamente. Se diseñó y desarrolló una herramienta para usuarios ciegos que les permitió construir gradualmente un modelo mental de referencias basado en la asociación entre puntos en un plano de 2 dimensiones. Es importante señalar que esta construcción mental se trabajó en un plano de 2 dimensiones acotado, cuyos valores enteros para X e Y están en el rango [-10, 10]. Sin embargo, esta solución puede ser escalada sin mayores dificultades a planos más extensos.

Para esto se diseñó y desarrolló un videojuego para aprendices ciegos que les permitió aprender e interpretar puntos en un plano de 2 dimensiones, y aplicar directamente los conocimientos en un sistema de referencia. El videojuego integró implícitamente la interpretación de puntos en el plano cartesiano. Además como parte de las tareas, los aprendices aplicaron sus conocimientos para orientarse en el sistema de referencia integrado en el videojuego.

Como parte del desarrollo del videojuego, se diseñó una configuración de juego orientada a las tareas y restricciones soportadas por el videojuego. Esta característica simplificó y facilitó el proceso de configuración inicial ejecutado por los facilitadores, para la posterior realización de las actividades que realizan los aprendices.

El videojuego desarrollado, desde sus versiones iniciales en el prototipo 1 y 2, hasta el prototipo final, fue sometido sucesivamente a evaluaciones de usabilidad. Estas evaluaciones de usabilidad permitieron detectar problemas y generar nuevos requerimientos para rediseñar el videojuego. Esto permitió ajustar y mejorar las interfaces en el prototipo siguiente, además de validar aspectos de las interfaces diseñadas e implementadas, todo desde la perspectiva del usuario final (e inicialmente en el prototipo 1, también desde la perspectiva de usuarios expertos en interfaces para usuarios ciegos).

Los prototipos funcionales, obtenidos hasta llegar a la versión final, fueron evaluados funcionalmente, validando la correcta operación de las funcionalidades implementadas. Esto fue realizado previamente a las instancias de evaluación de usabilidad correspondientes.

El ciclo iterativo de diseño, implementación y evaluación de usabilidad, concluyó en la obtención de un prototipo final de videojuego, el cual fue validado por parte de los usuarios finales, en todas sus características diseñadas e implementadas. El prototipo final obtuvo una clara aceptación del usuario final, lo que se vio reflejada en los datos cuantitativos en las dimensiones de “Satisfacción”, “Control y uso”, y “Sonidos”, además de las respuestas obtenidas en las preguntas abiertas, las cuales fueron en general muy positivas.

Un resultado interesante obtenido en la usabilidad, corresponde al nivel regular obtenido en la dimensión de “Aprendizaje”, lo cual se puede interpretar como que el usuario no percibe que está aprendiendo algo. A esto se puede sumar la opinión de los propios aprendices, que a través del videojuego se divierten y que pueden usarlo como herramienta para matar el ocio. Estos dos aspectos resultaron muy convenientes a la hora de motivar a los aprendices a trabajar.

Una vez concluida la etapa de evaluación, se validó la herramienta, obteniendo la mejor versión del videojuego en términos de usabilidad y de funcionalidad. Con esto se pudo dar inicio a la evaluación de impacto cognitivo del videojuego.

A partir del uso y realización de tareas en el videojuego, por parte de los aprendices ciegos, se realizó una evaluación de impacto cognitivo en las habilidades matemático-geométricas de los aprendices. Estas habilidades estuvieron relacionadas con la interpretación de puntos en el plano cartesiano, y con el conocimiento aplicado en el sistema de referencias propuesto por el videojuego.

En la evaluación de impacto cognitivo de los aprendices, no se encontraron diferencias específicas en las medias de la eficiencia y tampoco de la ineficiencia, en cada nivel del videojuego que fue trabajado. El incremento en la eficiencia total de los aprendices ciegos, al realizar las tareas cognitivas, nos señala que el videojuego permitió construir gradualmente mapas mentales en los aprendices, a través de la interpretación y uso de la información recibida, con lo cual, inicialmente pudieron ubicarse en el plano cartesiano, y luego pudieron utilizar sus propias estrategias para completar los niveles, al alcanzar los puntos de destino objetivo. Si bien la cantidad de usuarios fue baja y la extensión de los planos bidimensionales fue acotada, los resultados dieron cuenta que bajo la modalidad establecida de trabajo, se generaron cambios positivos en las habilidades estudiadas.

Finalmente, el trabajo permitió validar el modelo de desarrollo de videojuegos para mejorar las habilidades matemático-geométricas en aprendices ciegos [85], propuesto por Sánchez, Espinoza, Carrasco & Garrido (2012). Esto fue posible, ya que el presente trabajo se estructuró de acuerdo a los lineamientos entregados en el modelo, y siguiendo las mismas etapas propuestas en él.

Queda propuesto como trabajo futuro trabajar con una muestra más amplia, con al menos 30 usuarios [53][90], y continuar con la evaluación del impacto cognitivo. Se propone también aumentar la extensión de las tareas realizadas, y a su vez, variar las configuraciones del juego en estas tareas. Además, queda propuesto buscar otras formas de evaluar la cognición, ya sea a través de la aplicación del conocimiento en contexto real, o en actividades del día a día de los aprendices ciegos.

## 9. Bibliografía

- [1] Abu Doush, I., Pontelli, E., Simon, D., Son, T., and Ma, O. (2009). Making Microsoft Excel: multimodal presentation of charts. In Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '09). ACM, New York, NY, USA, 147-154. DOI=10.1145/1639642.1639669 <http://doi.acm.org/10.1145/1639642.1639669>
- [2] Abu Doush, I., Pontelli, E., Son, T., Simon, D., and Ma, O. (2010). Multimodal Presentation of Two-Dimensional Charts: An Investigation Using Open Office XML and Microsoft Excel. ACM Trans. Access. Comput. 3, 2, Article 8 (November 2010), 50 pages. DOI=10.1145/1857920.1857925 <http://doi.acm.org/10.1145/1857920.1857925>
- [3] Alty, J. and Rigas, D. (2005). Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams. Int. Journal of Human-Computer Studies 62.
- [4] Andrade P. (2010) Alumnos Con Discapacidad Visual. Necesidades y respuesta educativa. Recursos de la Organización Nacional de Ciegos de Españoles (ONCE), Documentación: Guías y Manuales. Disponible en:

<<http://educacion.once.es/appdocumentos/educa/prod/Necesidades%20y%20respuesta%20educativa.pdf>> [consulta: 24 abril 2013].

- [5] Bernareggi, C., Comaschi, C., Marcante, A., Mussio, P., Provenza, L. and Vanzi, S. (2008). A multimodal interactive system to create and explore graph structures. In CHI '08 extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '08). ACM, New York, NY, USA, 2697-2702. DOI=10.1145/1358628.1358747 <http://doi.acm.org/10.1145/1358628.1358747>
- [6] Bologna, G., Deville, B., Pun, T., and Vinckenbosch, M. (2007). Transforming 3D coloured pixels into musical instrument notes for vision substitution applications. *J. Image Video Process.* 2007, 2 (Aug. 2007), 8-8.
- [7] Bourbakis N. (2008). Sensing Surrounding 3-D Space for Navigation of the Blind," *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, vol. 27, pp. 49-55.
- [8] Buzan, T. & Buzan, B. (2009). *The Mind Map Book: Unlock Your Creativity, Boost Your Memory, Change Your Life.* BBC Active.
- [9] Caballero, M. (2002). Desarrollo de la representación espacial. *EduPsykhé*, 2002, Vol. 1, No. 1, 41-67.
- [10] Carter, W., (2010). Enabling the blind in virtual worlds. In *Proceedings of the 2010 International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A) (W4A '10)*. ACM, New York, NY, USA, , Article 20 , 2 pages. DOI=10.1145/1805986.1806016.
- [11] Chile Ágil (2012). <<http://www.chileagil.cl/>> [consulta: 24 diciembre 2012].
- [12] Crossan, A. and Brewster, S. (2008). Multimodal Trajectory Playback for Teaching Shape Information and Trajectories to Visually Impaired Computer Users. *ACM Trans. Access. Comput.*1, 2, Article 12 (October 2008), 34 pages. DOI=10.1145/1408760.1408766 <http://doi.acm.org/10.1145/1408760.1408766>.
- [13] Collins, K. (2011). Making gamers cry: mirror neurons and embodied interaction with game sound. In *Proceedings of the 6th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound (AM '11)*. ACM, New York, NY, USA, 39-46. DOI=10.1145/2095667.2095673 <http://doi.acm.org/10.1145/2095667.2095673>.
- [14] Davison, B. (2012). Evaluating auditory graphs with blind students in a classroom. *SIGACCESS Access. Comput.* 102 (January 2012), 4-7. DOI=10.1145/2140446.2140447 <http://doi.acm.org/10.1145/2140446.2140447>
- [15] Del Blanco, A., Torrente, J., Moreno, P., Fernández, B. (2009). "A General Architecture for the Integration of Educational Videogames in Standards-compliant Virtual Learning Environments," in *9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2009)* Riga, Latvia: IEEE Computer Society, 2009.
- [16] Elzer, S., Green, N., Carberry, S., and McCoy, K. (2003). Extending plan inference techniques to recognize intentions in information graphics. In *Proceedings of the 9th*

- international conference on User modeling (UM'03), Peter Brusilovsky, Albert Corbett, and Fiorella de Rosis (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 122-132.
- [17] Fernández, S. and Healy, L. (2010). Inclusion of bild student in the mathematics classroom: tactile exploration of area, perimeter and volume. *Mathematics Education Bulletin*, 23(37), pp. 1111-1135.
- [18] Fernández del Campo J. (1986) *La enseñanza de las Matemáticas a los ciegos*.
- [19] Francese, R., Passero, I. and Tortora, G. (2012). Wiimote and Kinect: gestural user interfaces add a natural third dimension to HCI. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces(AVI '12)*, Genny Tortora, Stefano Levialdi, and Maurizio Tucci (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 116-123. DOI=10.1145/2254556.2254580 <http://doi.acm.org/10.1145/2254556.2254580>
- [20] Gardner, J., Lundquist, R. & Sahyun, S. (1998). *TRIANGLE: a tri-modal access program for reading, writing and doing math*, CSUN, 1998.
- [21] Golledge, R.; Stimpson, R. (1997) *Spatial behaviour: a geographic perspective*. Nueva York: The Guilford.
- [22] Goncu, C. and Marriott, K. (2011). GraVVITAS: generic multi-touch presentation of accessible graphics. In *Proceedings of the 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part I (INTERACT'11)*, Pedro Campos, Nuno Nunes, Nicholas Graham, Joaquim Jorge, and Philippe Palanque (Eds.), Vol. Part I. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 30-48.
- [23] Grabowski, N. and Barner, K. (1998). Data visualization methods for the blind using force feedback and sonification, *Telemanipulator & Telepresence Technologies V*.
- [24] Guy, R. and Truong, K. (2012). CrossingGuard: exploring information content in navigation aids for visually impaired pedestrians. In *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*. ACM, New York, NY, USA, 405-414. DOI=10.1145/2207676.2207733 <http://doi.acm.org/10.1145/2207676.2207733>
- [25] Harada, S., Takagi, H. and Asakawa, C. (2011). On the audio representation of radial direction. In *Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems (CHI '11)*. ACM, New York, NY, USA, 2779-2788. DOI=10.1145/1978942.1979354 <http://doi.acm.org/10.1145/1978942.1979354>
- [26] Iglesias, R., Casado, S., Gutierrez, T., Barbero, J. I., Avizzano, C. A., Marcheschi, S., and Bergamasco, M. (2004). Computer graphics access for blind people through a haptic and audio virtual environment. *Haptic, Audio and Visual Environments and Their Applications, 2004.HAVE 2004.Proceedings.The 3rd IEEE International Workshop on*, pp. 13-18.
- [27] ISO (1999). Human centered design processes for interactive systems. International Organization for Standardization, ISO 13407. <[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=21197](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=21197)> [consulta: 24 diciembre 2012]

- [28] Ivanov, R. (2011). Algorithm for blind navigation along a GPS track. In Proceedings of the 12th International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech '11), Boris Rachev and Angel Smrikarov (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 372-379. DOI=10.1145/2023607.2023670 <http://doi.acm.org/10.1145/2023607.2023670>
- [29] Jacobson (1998) Cognitive mapping without sight: four preliminary studies of spatial learning. *Journal of Environmental Psychology*. Citado por Sanabria, L. en Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes (2007).
- [30] Jagdish, D., Sawhney, R., Gupta, M. and Nangia, S. (2008). Sonic Grid: an auditory interface for the visually impaired to navigate GUI-based environments. In Proceedings of the 13th international conference on Intelligent user interfaces (IUI '08). ACM, New York, NY, USA, 337-340. DOI=10.1145/1378773.1378824 <http://doi.acm.org/10.1145/1378773.1378824>.
- [31] Jay, C., Stevens, R., Hubbard, R. and Glencross, M. (2008). Using haptic cues to aid nonvisual structure recognition. *TAP*, 5(2).
- [32] Kaklanis, N., Votis, K, Moustakas, K. and Tzovaras, D. (2010). 3D HapticWebBrowser: towards universal web navigation for the visually impaired. In Proceedings of the 2010 International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A) (W4A '10). ACM, New York, NY, USA, Article 25, 2 pages. DOI=10.1145/1805986.1806021 <http://doi.acm.org/10.1145/1805986.1806021>.
- [33] Kaklanis, N., Votis, K., Moschonas, P. and Tzovaras, D. (2011). HapticRiaMaps: towards interactive exploration of web world maps for the visually impaired. In Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A '11). ACM, New York, NY, USA, Article 20, 2 pages. DOI=10.1145/1969289.1969316 <http://doi.acm.org/10.1145/1969289.1969316>.
- [34] Kamel, H. and Landay, J. (2000). A study of blind drawing practice: creating graphical information without the visual channel. In Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies (Assets '00). ACM, New York, NY, USA, 34-41. DOI=10.1145/354324.354334 <http://doi.acm.org/10.1145/354324.354334>
- [35] Kim, D. and Lim, Y. (2011). Handscope: enabling blind people to experience statistical graphics on websites through haptics. In Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems (CHI '11). ACM, New York, NY, USA, 2039-2042. DOI=10.1145/1978942.1979237.
- [36] Kim, J., and Ricaurte, J. (2011). TapBeats: accessible and mobile casual gaming. In The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '11). ACM, New York, NY, USA, 285-286. DOI=10.1145/2049536.2049609 <http://doi.acm.org/10.1145/2049536.2049609>.
- [37] Klingenberg, O. (2010). Geometry: Educational implications for children with visual impairment. Norwegian University of Science and Technology.

- [38] Kuber, R., Tretter, M. and Murphy, E. (2011). Developing and evaluating a non-visual memory game. In Proceedings of the 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part II (INTERACT'11), Pedro Campos, Nuno Nunes, Nicholas Graham, Joaquim Jorge, and Philippe Palanque (Eds.), Vol. Part II. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 541-553.
- [39] Kurze, M. (1995). Giving blind people access to graphics, Proceedings Software Ergonomie.
- [40] 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.
- [41] Loadstone-GPS (2012). <<http://www.loadstone-gps.com/about/>> [consulta: 24 diciembre 2012]
- [42] Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. MIT Press, Massachusetts. Citado por Lahav y Mioduser en Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind (2008).
- [43] Manshad, M., Pontelli, E. and Manshad, S. (2011). MICOO (multimodal interactive cubes for object orientation): a tangible user interface for the blind and visually impaired. In The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '11). ACM, New York, NY, USA, 261-262. DOI=10.1145/2049536.2049597 <http://doi.acm.org/10.1145/2049536.2049597>.
- [44] Mansur, D., M. Blattner, and K. Joy. (1985) "Sound Graphs: A Numerical Data Analysis Method for the Blind." *Journal of Medical Systems*, Vol. 9 (3), pp. 163-174. Mezrich, J., S. Frysiner, and R. Slivjanovski. (1984) "Dynamic Representation of Multivariate Time Series Data," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 79 (385), pp. 34-40.
- [45] McGookin, D., Robertson, E. and Brewster, S. (2010). Clutching at straws: using tangible interaction to provide non-visual access to graphs. In Proceedings of the 28th international conference on Human factors in computing systems (CHI '10). ACM, New York, NY, USA, 1715-1724. DOI=10.1145/1753326.1753583 <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753583>.
- [46] Milne, A., Antle, A. and Riecke, B. (2011). Tangible and body-based interaction with auditory maps. In Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '11). ACM, New York, NY, USA, 2329-2334. DOI=10.1145/1979742.1979874 <http://doi.acm.org/10.1145/1979742.1979874>
- [47] MINEDUC (2010) Mapas de progreso de Matemática.
- [48] MINEDUC (2012). Bases Curriculares de Matemática.
- [49] Mioduser, D. and Lahav, O. (2004). Anticipatory cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind using a virtual learning environment. In Proceedings of the 6th international Conference on Learning Sciences (Santa Monica, California, June 22 - 26, 2004). International Conference on Learning Sciences. International Society of the Learning Sciences, 334-341.

- [50] Mobile Geo (2012). <<http://www.codefactory.es/en/>> [consulta: 24 diciembre 2012].
- [51] Neuhoff, J. and Wayand, J. (2002). Pitch change, sonification, and musical expertise: which way is up?, ICAD, 2002.
- [52] Nicolau, H., Jorge, J. and Guerreiro, T. (2009). Blobby: how to guide a blind person. In Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '09). ACM, New York, NY, USA, 3601-3606. DOI=10.1145/1520340.1520541 <http://doi.acm.org/10.1145/1520340.1520541>.
- [53] Nielsen, J. (1993). Usability engineering. Boston: Academic Press.
- [54] NOVINT (2012). <[http://home.novint.com/products/novint\\_falcon.php](http://home.novint.com/products/novint_falcon.php)> [consulta: 24 diciembre 2012].
- [55] Oren, M., Harding, C., and Bonebright, T. (2008). Evaluation of spatial abilities within a 2D auditory platform game. In Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '08). ACM, New York, NY, USA, 235-236. DOI=10.1145/1414471.1414515.
- [56] Petit, G., Dufresne, A., Levesque, V., Hayward, V. and Trudeau, N. (2008a). Graphisme tactile appliqué aux illustrations de manuels scolaires à l'usage d'enfants ayant une déficience visuelle. In Proceedings of the 20th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (IHM '08). ACM, New York, NY, USA, 73-80. DOI=10.1145/1512714.1512729 <http://doi.acm.org/10.1145/1512714.1512729>.
- [57] Petit, G., Dufresne, A., Levesque, V., Hayward, V. and Trudeau, N. (2008b). Refreshable tactile graphics applied to schoolbook illustrations for students with visual impairment. In Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '08). ACM, New York, NY, USA, 89-96. DOI=10.1145/1414471.1414489 <http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414489>.
- [58] Pietrzak, T., Martin B., Pecci, i., Saarinen, R., Raisamo, R., and Järvi, J. (2007). The micole architecture: multimodal support for inclusion of visually impaired children. In Proceedings of the 9th international conference on Multimodal interfaces (ICMI '07). ACM, New York, NY, USA, 193-200. DOI=10.1145/1322192.1322227
- [59] Pun, T., Roth, P., Bologna, G., Moustakas, K. and Tzovaras, D. (2007). Image and Video Processing for Visually Handicapped People,” EURASIP Journal on Image and Video Processing, vol. 2007, Article ID 25214, 12 pages, 2007. doi:10.1155/2007/25214.
- [60] Quinones, P., Greene, T., Yang, R. and Newman, M. (2011). Supporting visually impaired navigation: a needs-finding study. In Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '11). ACM, New York, NY, USA, 1645-1650. DOI=10.1145/1979742.1979822 <http://doi.acm.org/10.1145/1979742.1979822>.
- [61] Roth, P., Kamel, H., Petrucci, L. and Pun, T. (2002). A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs. Journal of Impairment & Blindness, pp. 420-428.

- [62] Rovira, K., Gapenne, O. & Ammar, A. (2010). Learning to recognize shapes with a sensory substitution system: A longitudinal study with 4 non-sighted adolescents. 2010 IEEE 9th International Conference on Development and Learning, ICDL-2010 - Conference Program, Pages 1-6.
- [63] Sáenz M. and Sánchez J. (2010). Indoor Orientation and Mobility for Learners Who are Blind. 15th Annual Cybertherapy & CyberPsychology Conference, CyberTherapy 2010, Seoul, Korea, June 13-15, 2010.
- [64] Sanabria, L. (2007) Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes.
- [65] Sanchez, J. (2010). Recognizing shapes and gestures using sound as feedback. In Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '10). ACM, New York, NY, USA, 3063-3068. DOI=10.1145/1753846.1753918 <http://doi.acm.org/10.1145/1753846.1753918>.
- [66] Sánchez, J. (2012). Development of navigation skills through audio haptic videogaming in learners who are blind. Proc. 4th Intl. Conf. on Software Development for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion (DSAI 2012). Procedia Computer Science, Volume 14, 2012, pp. 102–110.
- [67] Sánchez, J. (2013). Apuntes del curso Interface Humano Computador, CC5504, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile.
- [68] Sánchez, J., Aguayo, F. (2009). Improving Blind Learners Outdoor Orientation and Mobility through ambientGPS. 2009 Proceedings of the AERA Annual Meeting. San Diego, CA, USA, April 13-17, 2009, pp. 1-6.
- [69] Sánchez, J., Espinoza, M. (2010). Video Game Design for Mobile Phones. Human-Computer Interaction. IFIP Advances in Information and Communication Technology 2010, Volume 332/2010, pp. 199-210, DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-15231-3\\_20](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-15231-3_20).
- [70] Sánchez, J., Espinoza, M. (2011a). Audio haptic videogaming for navigation skills in learners who are blind. In The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '11). ACM, New York, NY, USA, 227-228. DOI=10.1145/2049536.2049580 <http://doi.acm.org/10.1145/2049536.2049580>.
- [71] Sánchez, J., Espinoza, M. (2011b). Materiales de Aprendizaje Móvil en Contextos Críticos. Journal Informática na Educação: teoria & prática, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 151-169, jul./dez. 2011. ISSN: 1516-084X e-ISSN: 1982-1654. <http://seer.ufrgs.br/InfEducTeoriaPratica/article/view/21948/16845>.
- [72] Sánchez, J., Espinoza, M. (2011c). Ejemovil, A Web-Based Tool to Create Mobile Learning Videogames. In Proceedings of the 2011 IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC '11). IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 205-212. DOI=10.1109/EUC.2011.31 <http://dx.doi.org/10.1109/EUC.2011.31>.

- [73] Sánchez, J., Espinoza, M. (2011d). mGuías, Sistema de Guías Educativas Móviles. *Cadernos de Informática (Cadernos)* 6(1):133-140, 2011. ISSN 1519-132X. <http://seer.ufrgs.br/cadernosdeinformatica/article/download/v6n1p133-140/11746>
- [74] Sánchez, J., Espinoza, M. (2011e). mGuides, Design and Usability of a Mobile System to Assist Learning in Critical Situations. *Universal Access in HCI, Part III, HCII 2011, LNCS 6767*, pp. 415--424. Springer, Heidelberg.
- [75] Sánchez, J., Espinoza, M. (2012). Chilean higher education entrance examination for learners who are blind. *Proc. 9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*, P M Sharkey, E Klinger (Eds), pp. 409-418, Laval, France, 10 - 12 Sept. 2012.
- [76] Sánchez, J., Mascaró, J. (2011). Audiopolis, navigation through a virtual city using audio and haptic interfaces for people who are blind. In *Proceedings of the 6th international conference on Universal access in human-computer interaction: users diversity - Volume Part II (UAHCI'11)*, Constantine Stephanidis (Ed.), Vol. Part II. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 362-371.
- [77] Sánchez, J., Maureira, E. (2007). Subway Mobility Assistance Tools for Blind Users. In C. Stephanidis and M. Pieper (Eds.). *Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4397* , pp. 386-404, 2007, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [78] Sánchez, J., Oyarzún, C. (2011). Mobile Audio Assistance in Bus Transportation for the Blind. *International Journal on Disability and Human Development (IJDHD)* 10(4):365-371, Nov 2011. Walter de Gruyter, Berlin, Germany.
- [79] Sánchez, J., Sáenz, M. (2005). 3D sound interactive environments for problem solving. In *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '05)*. ACM, New York, NY, USA, 173-179. DOI=10.1145/1090785.1090817 <http://doi.acm.org/10.1145/1090785.1090817>.
- [80] Sánchez, J., Tadres, A. (2010). Audio and haptic based virtual environments for orientation and mobility in people who are blind. In *Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '10)*. ACM, New York, NY, USA, 237-238. DOI=10.1145/1878803.1878849 <http://doi.acm.org/10.1145/1878803.1878849>.
- [81] Sánchez, J., Zúñiga, M. (2006). Evaluating the Interaction of Blind Learners with Audio-Based Virtual Environments. *Cybersychology & Behavior*, Volume 9, Number 6, 2006, pp. 717.
- [82] Sánchez, J., Espinoza, M., Garrido, J. (2012a). MOVAWii: Videojuego para la movilidad y orientación en aprendices ciegos. *Segundo Congreso Interdisciplinario de Investigación en Educación (CIIE 2012)*. Santiago, Chile, 23 - 24 Agosto 2012. <http://www.ciie2012.cl/download.php?file=sesiones/269.pdf>
- [83] Sánchez, J., Espinoza, M., Garrido, J. (2012b). Videogaming for wayfinding skills in children who are blind. *Proc. 9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies*, P M Sharkey, E Klinger (Eds), pp. 131-140, Laval, France, 10 - 12 Sept. 2012.

- [84] Sánchez, J., Sáenz, M., and Garrido, J. (2010). Usability of a Multimodal Video Game to Improve Navigation Skills for Blind Children. *ACM Trans. Access. Comput.* 3, 2, Article 7 (November 2010), 29 pages. DOI=10.1145/1857920.1857924.
- [85] Sánchez, J., Espinoza, M., Carrasco, M., Garrido, J. (2012). Modelo de videojuegos para mejorar habilidades matemático-geométricas en aprendices ciegos. *Nuevas Ideas en Informática Educativa Memorias del XVII Congreso Internacional de Informática Educativa*, TISE. J. Sánchez, Editor, Santiago, Chile, 2012, pp. 97-104.
- [86] Sánchez, J., Sáenz, M., Pascual-Leone, A., and Merabet, L. (2010). Enhancing navigation skills through audio gaming. In *Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '10)*. ACM, New York, NY, USA, 3991-3996. DOI=10.1145/1753846.1754091 <http://doi.acm.org/10.1145/1753846.1754091>
- [87] Sánchez, J., Tadres, A., Pascual-Leone, A. and Merabet, L. (2009). Blind Children Navigation through Gaming and Associated Brain Plasticity. *Proceedings of the IEEE Virtual Rehabilitation 2009 International Conference*, June 29-July 2, 2009, Haifa, Israel, pp. 29-36.
- [88] Schaffer, N., & Isbister, K. (2008). *Game usability: Advancing the player experience*. San Francisco, Calif: Morgan Kaufmann.
- [89] Schmitz, B. and Ertl, T. (2010). Making digital maps accessible using vibrations. In *Proceedings of the 12th international conference on Computers helping people with special needs: Part I (ICCHP'10)*, Klaus Miesenberger, Joachim Klaus, Wolfgang Zagler, and Arthur Karshmer (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 100-107.
- [90] Schneiderman, B. and Plaisant, C. (2009). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction*, 5<sup>th</sup> edition. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education.
- [91] Sensable (2012), Phantom Omni. <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm> (Último Acceso: 24-12-2012).
- [92] Smith, C. M. (1997). Human factors in haptic interfaces. *Crossroads* 3, 3 (April 1997), 14-16. DOI=10.1145/270974.270980 <http://doi.acm.org/10.1145/270974.270980>.
- [93] Sjöström, C., Danielsson, H., Magnusson, C., Rasmus-Gröhn, K. (2003). Phantom-based haptic line graphics for blind persons. *Visual Impairment Research* Jan 2003, Vol. 5, No. 1: 13-32.
- [94] Stevens, R., Edwards, A. & Harling, P. (1997). Access to mathematics for visually disabled students through multimodal interaction. *Human-Computer Interaction*, 12 (1-2), pp.47-92.
- [95] Su, J., Rosenzweig, A., Goel, A., de Lara, E. and Truong, K. (2010). Timbremap: enabling the visually-impaired to use maps on touch-enabled devices. In *Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '10)*. ACM, New York, NY, USA, 17-26. DOI=10.1145/1851600.1851606 <http://doi.acm.org/10.1145/1851600.1851606>.

- [96] Trewin, S., Hanson, V., Laff, M. and Cavender, A. (2008). PowerUp: an accessible virtual world. In Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (Assets '08). ACM, New York, NY, USA, 177-184. DOI=10.1145/1414471.1414504 <http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414504>.
- [97] Tzovaras, D., Moustakas, K., Nikolakis, G., and Strintzis, M. (2009). Interactive mixed reality white cane simulation for the training of the blind and the visually impaired. *Personal Ubiquitous Comput.* 13, 1 (January 2009), 51-58. DOI=10.1007/s00779-007-0171-2 <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-007-0171-2>.
- [98] Usui, K., Takano, M., Fukushima, Y., and Yairi, I. (2010). The evaluation of visually impaired people's ability of defining the object location on touch-screen. In Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility (ASSETS '10). ACM, New York, NY, USA, 287-288. DOI=10.1145/1878803.1878874 <http://doi.acm.org/10.1145/1878803.1878874>.
- [99] Walker, B. and Nees, M. (2005). An agenda for research and development of multimodal graphs, First International Symposium on Auditory Graphs.
- [100] Weiss, M., Wacharamanotham, C., Voelker, C., and Borchers, J. (2011). FingerFlux: near-surface haptic feedback on tabletops. In Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '11). ACM, New York, NY, USA, 615-620. DOI=10.1145/2047196.2047277 <http://doi.acm.org/10.1145/2047196.2047277>.
- [101] Wiimote Lib (2012). <<http://wiimotelib.codeplex.com/>> [consulta: 24 diciembre 2012].
- [102] Xu, C., Israr, A., Poupyrev, I., Bau, O., and Harrison, C. (2011). Tactile display for the visually impaired using TeslaTouch. In Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems (CHI EA '11). ACM, New York, NY, USA, 317-322. DOI=10.1145/1979742.1979705 <http://doi.acm.org/10.1145/1979742.1979705>.
- [103] Yatani, K., Banovic, N. and Truong, K. (2012). SpaceSense: representing geographical information to visually impaired people using spatial tactile feedback. In Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12). ACM, New York, NY, USA, 415-424. DOI=10.1145/2207676.2207734 <http://doi.acm.org/10.1145/2207676.2207734>.
- [104] Yu, W., Ramloll, R. and Brewster, S. (2000). Haptic graphs for blind computer users. In *Haptic Human-Computer Interaction*, pages 41–51. Springer-Verlag, 2000.
- [105] Yu, W. and Brewster, S. A. (2003). Evaluation of multimodal graphs for blind people. *UAIS*, 2 (2003) 105-124.
- [106] Zhang, J., Ong, S. K., and Nee, A. Y. (2009). Design and development of a navigation assistance system for visually impaired individuals. In Proceedings of the 3rd international Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology (Singapore, April 22 - 26, 2009). i-CRETe '09. ACM, New York, NY, 1-4.

## 10. Anexos

### Anexo A. Pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos

#### Usabilidad de Software para Niños Ciegos

#### Pauta resumida usuario final.

#### “Evaluación de Usabilidad de Software Para Niños Ciegos”

*Dr. Jaime Sánchez I.*

*Universidad de Chile*

La presente Pauta tiene por objetivo evaluar la usabilidad de un software para niños con discapacidad visual.

#### Antecedentes

Nombre del Software

--	--

Nombre del niño

Edad

Sexo

--	--	--

Nivel del evaluador

Resto Visual

Aprendiz	Normal	Avanzado
----------	--------	----------

SI	NO
----	----

Poco

Mucho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Me gusta el software (juego)										
El software es entretenido										
El software es desafiante										
El software me hace estar activo										
Volvería a jugar con el software										
Recomendaría este software a otros niños/jóvenes										
Aprendí con este software										
El software tiene distintos niveles de dificultad										

Me sentí controlando las situaciones del software																			
El software es interactivo																			
El software es fácil de utilizar																			
El software es motivador																			
El software se adapta a mi ritmo																			
El software me permitió entender nuevas cosas																			
Me gustan los sonidos del software																			
Los sonidos del software son claramente identificables																			
Los sonidos del software me transmiten información																			
Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información(*)																			

(\*): aplicable sólo cuando el niño posee resto visual

### Cuestionario

1.- ¿Qué te gusto del software?


2.-¿Qué no te gusto del software?


--

3.- ¿Qué agregarías al software?


4.- ¿Para qué crees que te puede servir el software?, ¿Qué otros usos le darías al software?


5.- ¿Te gustó utilizar el joystick? ¿Por qué?


Observaciones o comentarios


## Anexo B. Pauta de evaluación de usabilidad de software para facilitadores

### Usabilidad de Software para Facilitadores

#### Pauta de evaluación de usabilidad de software

Basada en la Pauta resumida usuario final.

#### “Evaluación de Usabilidad de Software Para Niños Ciegos”

*Dr. Jaime Sánchez I.*

*Universidad de Chile*

La presente Pauta tiene por objetivo evaluar la usabilidad de un software para niños con discapacidad visual.

Tareas:

Tarea 1	Tarea 2
Configure un juego con todas las trayectorias (2,2) en los 4 cuadrantes  Priorice la navegación por el eje Y antes que el eje X.  No permita volver al punto anterior.  Establezca un nombre de jugador  Inicie el juego y finalícelo.	Configure un juego SOLO con las trayectorias compuestas (3,3) en los 4 cuadrantes  Establezca Navegación libre  Disminuya la velocidad de los enemigos.  Aumente las vidas del jugador  Aumente el daño que hacen las torres  Disminuya la energía de los enemigos.  Aumente la cantidad de enemigos.  Establezca un nombre de jugador  Inicie el juego y finalícelo

#### Antecedentes

Nombre del Videojuego

Nombre del Profesor	Edad    Sexo

--	--	--

Nivel del evaluador

Aprendiz	Normal	Avanzado
----------	--------	----------

Poco

Mucho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Me gusta el videojuego										
El videojuego es entretenido										
El videojuego es desafiante										
El videojuego me hace estar activo										
Volvería a jugar con el videojuego										
Recomendaría este videojuego a otros profesores										
Aprendí con este videojuego										
El videojuego tiene distintos niveles de dificultad										
Me sentí controlando las situaciones del videojuego										
El videojuego es interactivo										
El videojuego es fácil de utilizar										
El videojuego es motivador										
El videojuego se adapta a mi ritmo										
El videojuego me permitió entender nuevas cosas										
Me gustan los sonidos del videojuego										
Los sonidos del videojuego son claramente identificables										
Los sonidos del videojuego me transmiten información										
Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información										

Poco

Mucho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Se entiende la configuración del videojuego										
Es fácil configurar el videojuego										
Se entiende que son los niveles del videojuego										
Es fácil determinar los niveles que tendrá el juego										
Se entienden las modalidades de navegación										
Es fácil configurar la forma de navegación										
Se entiende que el Wiimote sirve para controlar el videojuego										
Es fácil desactivar el Wiimote										
Se entienden las restricciones de los enemigos										
Es fácil configurar las restricciones de los enemigos										
Se entienden las restricciones de las torres										
Es fácil configurar las restricciones de las torres										
Se entienden las restricciones del jugador										
Es fácil configurar las restricciones del jugador										
Se entienden los estados del videojuego										

### Cuestionario

Para responder las siguientes preguntas considere los siguientes temas: la modalidad de uso del wiimote, los sonidos, las imágenes y la información.

1.- ¿Qué te gustó del videojuego?


--

2.-¿Qué no te gusto del videojuego?


3.- ¿Qué agregarías al videojuego?


4.- ¿Para qué crees que te puede servir el videojuego?, ¿Qué otros usos le darías al videojuego?


Observaciones o comentarios


**Anexo C. Pauta de evaluación de usabilidad de software para niños ciegos**

**Usabilidad de Software para Niños Ciegos**

**Pauta resumida usuario final.**

**“Evaluación de Usabilidad de Software Para Niños Ciegos”**

*Dr. Jaime Sánchez I.*

*Universidad de Chile*

La presente Pauta tiene por objetivo evaluar la usabilidad de un software para niños con discapacidad visual.

**Antecedentes**

Nombre del Software

--	--

Nombre del niño

Edad

Sexo

--	--	--

Nivel del evaluador

Resto Visual

Aprendiz	Normal	Avanzado
----------	--------	----------

SI	NO
----	----

Poco

Mucho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Me gusta el videojuego										
El videojuego es entretenido										
El videojuego es desafiante										
El videojuego me hace estar activo										
Volvería a jugar con el videojuego										
Recomendaría este videojuego a otros niños/jóvenes										
Aprendí con este videojuego										

El videojuego tiene distintos niveles de dificultad										
Me sentí controlando las situaciones del videojuego										
El videojuego es interactivo										
El videojuego es fácil de utilizar										
El videojuego es motivador										
El videojuego se adapta a mi ritmo										
El videojuego me permitió entender nuevas cosas										
Me gustan los sonidos del videojuego										
Los sonidos del videojuego son claramente identificables										
Los sonidos del videojuego me transmiten información										
Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información(*)										

(\*): aplicable sólo cuando el niño posee resto visual

### **Cuestionario**

1.- ¿Qué te gusto del videojuego?


2.-¿Qué no te gusto del videojuego?


3.- ¿Qué agregarías al videojuego?


4.- ¿Para qué crees que te puede servir el videojuego?, ¿Qué otros usos le darías al videojuego?


5.- ¿Te gustó utilizar el joystick? ¿Por qué? *\*\*agregada para evaluación de usabilidad prototipo 2 y final*


6.- ¿Entendiste las indicaciones del videojuego? *\*\*agregada para evaluación de usabilidad prototipo final*


7.- ¿El videojuego te ayudó a desplazarte? *\*\*agregada para evaluación de usabilidad prototipo final*


8.- ¿Cómo utilizaste las indicaciones para desplazarte? *\*\*agregada para evaluación de usabilidad prototipo final*


9.- ¿La vibración del joystick te ayudó a desplazarte? *\*\*agregada para evaluación de usabilidad prototipo final*


Observaciones o comentarios


**Anexo D. Cuestionario de evaluación de sonidos**

<b>Sonido</b>	<b>¿Es claro el sonido?</b>	<b>¿Qué significa para ti el sonido?</b>
<b>alarma</b>		
<b>balita</b>		
<b>bloqueo</b>		
<b>colisión</b>		
<b>movimiento cursor</b>		
<b>pierde</b>		
<b>gana</b>		
<b>risa</b>		
<b>paso</b>		
<b>trompeta</b>		

<b>texto hablado</b>	<b>¿El aprendiz entiende y puede repetir lo que dice el audio?</b>	
	<b>Alberto</b>	<b>Rosa</b>
<b>intercepta a los enemigos en el punto</b>		
<b>inténtalo nuevamente</b>		
<b>felicitaciones</b>		
<b>destino</b>		
<b>misión</b>		
<b>ganaste</b>		
<b>misión cumplida</b>		

<b>¿Cuál voz prefieres?</b>	<b>Alberto</b>	<b>Rosa</b>

## Anexo E. Pauta de observación

### Pauta para Observación no participante

La realización de observación no participante tiene como objetivo registrar la interacción entre los usuarios al trabajar con el videojuego.

#### Registrar:

- Registrar hitos ocurridos.
- Preguntas que los usuarios puedan hacer sobre el uso del videojuego.
- Registrar seguridad del usuario al utilizar el videojuego.
- Registrar aspectos relevantes de la interacción con el videojuego.

## Anexo F. Resultados detallados de usabilidad prototipo 1

Oraciones	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Mediana	Desviación Estándar
Me gusta el videojuego	6	8	5	6,33	1,53
El videojuego es entretenido	5	8	6	6,33	1,53
El videojuego me hace estar activo	6	6	8	6,67	1,15
Volvería a jugar con el videojuego	7	6	8	7,00	1,00
Recomendaría este videojuego a otros profesores	7	6	6	6,33	0,58
El videojuego es motivador	5	7	4	5,33	1,53
<b>Satisfacción</b>	6	6,83	6,17	6,33	0,44

El videojuego es desafiante	5	7	7	6,33	1,15
Aprendí con este videojuego	4	7	6	5,67	1,53
El videojuego tiene distintos niveles de dificultad	7	9	8	8,00	1,00
El videojuego me permitió entender nuevas cosas	4	7	7	6,00	1,73
<b>Aprendizaje</b>	5	7,5	7	6,50	1,32

Me sentí controlando las situaciones del videojuego	10	5	5	6,67	2,89
El videojuego es interactivo	5	6	6	5,67	0,58
El videojuego es fácil de utilizar	6	5	4	5,00	1,00
El videojuego se adapta a mi ritmo	2	9	7	6,00	3,61
<b>Control y Uso</b>	5,75	6,25	5,5	5,83	0,38

Me gustan los sonidos del videojuego	7	6	5	6,00	1,00
Los sonidos del videojuego son claramente identificables	7	9	6	7,33	1,53
Los sonidos del videojuego me transmiten información	7	8	7	7,33	0,58
<b>Sonidos</b>	7	7,67	6	6,89	0,84

Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información	7	5	2	4,67	2,52
<b>Imágenes</b>	7	5	2	4,67	2,52

Se entiende la configuración del videojuego	4	5	6	5,00	1,00
Es fácil configurar el videojuego	5	6	6	5,67	0,58

Es fácil determinar los niveles que tendrá el juego	5	6	7	6,00	1,00
Es fácil configurar la forma de navegación	5	6	9	6,67	2,08
Es fácil desactivar el Wiimote	1	4	9	4,67	4,04
Es fácil configurar las restricciones de los enemigos	6	8	9	7,67	1,53
Es fácil configurar las restricciones de las torres	6	8	9	7,67	1,53
Es fácil configurar las restricciones del jugador	6	8	9	7,67	1,53
<b>Configuración</b>	4,75	6,38	8	6,38	1,63

Se entiende que son los niveles del videojuego	5	6	6	5,67	0,58
Se entienden las modalidades de navegación	5	6	9	6,67	2,08
Se entiende que el Wiimote sirve para controlar el videojuego	6	4	9	6,33	2,52
Se entienden las restricciones de los enemigos	2	8	9	6,33	3,79
Se entienden las restricciones de las torres	2	8	9	6,33	3,79
Se entienden las restricciones del jugador	2	8	9	6,33	3,79
Se entienden los estados del videojuego	2	8	8	6,00	3,46
<b>Componentes y Lógica</b>	3,43	6,86	8,43	6,24	2,56

## Anexo G. Resultados detallados de usabilidad prototipo 2

Oraciones	Usuario		Media	Desviación Estándar
	1	2		

Me gusta el videojuego	4,00	10,00	7,00	4,24
El videojuego es entretenido	5,00	8,00	6,50	2,12
El videojuego me hace estar activo	5,00	10,00	7,50	3,54
Volvería a jugar con el videojuego	10,00	7,00	8,50	2,12
Recomendaría este videojuego a otros niños/jóvenes	10,00	8,00	9,00	1,41
El videojuego es motivador	3,00	9,00	6,00	4,24
<b>Satisfacción</b>	6,17	8,67	<b>7,42</b>	<b>1,77</b>

El videojuego es desafiante	10,00	9,00	9,50	0,71
Aprendí con este videojuego	2,00	6,00	4,00	2,83
El videojuego tiene distintos niveles de dificultad	5,00	3,00	4,00	1,41
El videojuego me permitió entender nuevas cosas	1,00	4,00	2,50	2,12
<b>Aprendizaje</b>	4,50	5,50	<b>5,00</b>	<b>0,71</b>

Me sentí controlando las situaciones del videojuego	2,00	5,00	3,50	2,12
El videojuego es interactivo	5,00	6,00	5,50	0,71
El videojuego es fácil de utilizar	1,00	8,00	4,50	4,95
El videojuego se adapta a mi ritmo	1,00	7,00	4,00	4,24
<b>Control y uso</b>	2,25	6,50	<b>4,38</b>	<b>3,01</b>

Me gustan los sonidos del videojuego	5,00	9,00	7,00	2,83
Los sonidos del videojuego son claramente identificables	2,00	7,00	4,50	3,54
Los sonidos del videojuego me transmiten información	5,00	5,00	5,00	0,00
<b>Sonidos</b>	4,00	7,00	<b>5,50</b>	<b>2,12</b>

Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información(*)	-	-	-	-
<b>Imágenes</b>	-	-	-	-

#### Anexo H. Resultados detallados de usabilidad prototipo final

Oraciones	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Usuario 5	Media	Desviación Estándar
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------	---------------------

Me gusta el videojuego	10,00	10,00	10,00	10,00	9,00	9,80	0,45
El videojuego es entretenido	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00
El videojuego me hace estar activo	10,00	10,00	9,00	10,00	10,00	9,80	0,45
Volvería a jugar con el videojuego	10,00	10,00	10,00	10,00	8,00	9,60	0,89
Recomendaría este videojuego a otros niños/jóvenes	10,00	10,00	9,00	10,00	9,00	9,60	0,55
El videojuego es motivador	10,00	10,00	9,00	10,00	10,00	9,80	0,45
<b>Satisfacción</b>	10,00	10,00	9,50	10,00	9,33	<b>9,77</b>	<b>0,32</b>

El videojuego es desafiante	10,00	10,00	8,00	5,00	5,00	7,60	2,51
Aprendí con este videojuego	7,00	1,00	6,00	10,00	10,00	6,80	3,70

El videojuego tiene distintos niveles de dificultad	10,00	10,00	4,00	3,00	10,00	7,40	3,58
El videojuego me permitió entender nuevas cosas	10,00	1,00	3,00	10,00	5,00	5,80	4,09
<b>Aprendizaje</b>	9,25	5,50	5,25	7,00	7,50	<b>6,90</b>	<b>1,63</b>

Me sentí controlando las situaciones del videojuego	9,00	10,00	9,00	10,00	10,00	9,60	0,55
El videojuego es interactivo	10,00	10,00	8,00	10,00	10,00	9,60	0,89
El videojuego es fácil de utilizar	10,00	10,00	10,00	10,00	5,00	9,00	2,24
El videojuego se adapta a mi ritmo	10,00	10,00	9,00	6,00	4,00	7,80	2,68
<b>Control y uso</b>	9,75	10,00	9,00	9,00	7,25	<b>9,00</b>	<b>1,08</b>

Me gustan los sonidos del videojuego	9,00	10,00	8,00	10,00	10,00	9,40	0,89
Los sonidos del videojuego son claramente identificables	8,00	10,00	10,00	5,00	8,00	8,20	2,05
Los sonidos del videojuego me transmiten información	6,00	10,00	6,00	10,00	10,00	8,40	2,19
<b>Sonidos</b>	7,67	10,00	8,00	8,33	9,33	<b>8,67</b>	<b>0,97</b>

Las imágenes, colores y brillos de la pantalla me transmiten información(*)	9,00	-	-	-	3,00	6,00	4,24
<b>Imágenes</b>	9,00	-	-	-	3,00	<b>6,00</b>	<b>4,24</b>

**Anexo I. Resultados detallados de impacto cognitivo: eficiencia**

nivel	eficiencia inicial					eficiencia final				
	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]
(3, 3)	85,71	100,00	85,71	42,86	<b>78,57</b>	100,00	100,00	100,00	85,71	<b>96,43</b>
(3, -3)	100,00	26,09	40,00	15,79	<b>45,47</b>	100,00	75,00	100,00	85,71	<b>90,18</b>
(-3, 3)	54,55	75,00	100,00	75,00	<b>76,14</b>	100,00	75,00	85,71	85,71	<b>86,61</b>
(-3, -3)	85,71	12,50	100,00	24,00	<b>55,55</b>	85,71	85,71	100,00	75,00	<b>86,61</b>
(4, 4)	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>	88,89	61,54	100,00	80,00	<b>82,61</b>
(4, -4)	100,00	100,00	100,00	80,00	<b>95,00</b>	88,89	72,73	100,00	88,89	<b>87,63</b>
(-4, 4)	88,89	100,00	100,00	100,00	<b>97,22</b>	88,89	61,54	100,00	88,89	<b>84,83</b>
(-4, -4)	80,00	66,67	100,00	66,67	<b>78,33</b>	80,00	72,73	100,00	80,00	<b>83,18</b>
(5, 3)	88,89	72,73	100,00	100,00	<b>90,40</b>	100,00	80,00	100,00	100,00	<b>95,00</b>
(5, -3)	72,73	61,54	100,00	72,73	<b>76,75</b>	88,89	61,54	100,00	100,00	<b>87,61</b>
(-5, 3)	80,00	100,00	100,00	42,11	<b>80,53</b>	72,73	80,00	100,00	50,00	<b>75,68</b>
(-5, -3)	100,00	100,00	100,00	88,89	<b>97,22</b>	88,89	72,73	100,00	88,89	<b>87,63</b>
(5, 4)	90,00	100,00	100,00	100,00	<b>97,50</b>	90,00	52,94	100,00	90,00	<b>83,24</b>
(5, -4)	90,00	100,00	100,00	100,00	<b>97,50</b>	100,00	69,23	100,00	60,00	<b>82,31</b>
(-5, 4)	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>	100,00	60,00	100,00	60,00	<b>80,00</b>
(-5, -4)	100,00	90,00	100,00	81,82	<b>92,95</b>	100,00	81,82	100,00	100,00	<b>95,45</b>
(5, 5)	83,33	66,67	100,00	100,00	<b>87,50</b>	90,91	71,43	100,00	100,00	<b>90,58</b>
(5, -5)	100,00	22,22	100,00	71,43	<b>73,41</b>	90,91	71,43	100,00	100,00	<b>90,58</b>
(-5, 5)	58,82	90,91	100,00	100,00	<b>87,43</b>	90,91	76,92	100,00	100,00	<b>91,96</b>
(-5, -5)	100,00	100,00	100,00	71,43	<b>92,86</b>	90,91	62,50	100,00	83,33	<b>84,19</b>

**Anexo J. Resultados detallados de impacto cognitivo: ineficiencia generada por los bloqueos**

nivel	ineficiencia bloqueo inicial					ineficiencia bloqueo final				
	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]
(3, 3)	14,29	0,00	14,29	57,14	<b>21,43</b>	0,00	0,00	0,00	14,29	<b>3,57</b>
(3, -3)	0,00	73,91	60,00	84,21	<b>54,53</b>	0,00	25,00	0,00	14,29	<b>9,82</b>
(-3, 3)	9,09	0,00	0,00	0,00	<b>2,27</b>	0,00	25,00	14,29	14,29	<b>13,39</b>
(-3, -3)	14,29	87,50	0,00	76,00	<b>44,45</b>	14,29	14,29	0,00	25,00	<b>13,39</b>
(4, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	11,11	38,46	0,00	20,00	<b>17,39</b>
(4, -4)	0,00	0,00	0,00	20,00	<b>5,00</b>	11,11	27,27	0,00	11,11	<b>12,37</b>
(-4, 4)	11,11	0,00	0,00	0,00	<b>2,78</b>	11,11	23,08	0,00	11,11	<b>11,32</b>
(-4, -4)	0,00	16,67	0,00	33,33	<b>12,50</b>	20,00	27,27	0,00	20,00	<b>16,82</b>
(5, 3)	11,11	27,27	0,00	0,00	<b>9,60</b>	0,00	20,00	0,00	0,00	<b>5,00</b>
(5, -3)	27,27	7,69	0,00	27,27	<b>15,56</b>	11,11	38,46	0,00	0,00	<b>12,39</b>
(-5, 3)	0,00	0,00	0,00	57,89	<b>14,47</b>	9,09	20,00	0,00	25,00	<b>13,52</b>
(-5, -3)	0,00	0,00	0,00	11,11	<b>2,78</b>	11,11	27,27	0,00	11,11	<b>12,37</b>
(5, 4)	10,00	0,00	0,00	0,00	<b>2,50</b>	10,00	47,06	0,00	10,00	<b>16,76</b>
(5, -4)	10,00	0,00	0,00	0,00	<b>2,50</b>	0,00	30,77	0,00	40,00	<b>17,69</b>
(-5, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	13,33	0,00	40,00	<b>13,33</b>
(-5, -4)	0,00	10,00	0,00	0,00	<b>2,50</b>	0,00	18,18	0,00	0,00	<b>4,55</b>
(5, 5)	16,67	33,33	0,00	0,00	<b>12,50</b>	9,09	28,57	0,00	0,00	<b>9,42</b>
(5, -5)	0,00	77,78	0,00	28,57	<b>26,59</b>	9,09	28,57	0,00	0,00	<b>9,42</b>
(-5, 5)	5,88	9,09	0,00	0,00	<b>3,74</b>	9,09	23,08	0,00	0,00	<b>8,04</b>
(-5, -5)	0,00	0,00	0,00	28,57	<b>7,14</b>	9,09	37,50	0,00	16,67	<b>15,81</b>

**Anexo K. Resultados detallados de impacto cognitivo: ineficiencia generada por los alejamientos de la ruta**

nivel	ineficiencia alejamiento inicial					ineficiencia alejamiento final				
	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]	usuario 1 [%]	usuario 2 [%]	usuario 3 [%]	usuario 4 [%]	media [%]
(3, 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(3, -3)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-3, 3)	36,36	25,00	0,00	25,00	<b>21,59</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-3, -3)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(4, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(4, -4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-4, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	15,38	0,00	0,00	<b>3,85</b>
(-4, -4)	20,00	16,67	0,00	0,00	<b>9,17</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, 3)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, -3)	0,00	30,77	0,00	0,00	<b>7,69</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-5, 3)	20,00	0,00	0,00	0,00	<b>5,00</b>	18,18	0,00	0,00	25,00	<b>10,80</b>
(-5, -3)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, -4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-5, 4)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	26,67	0,00	0,00	<b>6,67</b>
(-5, -4)	0,00	0,00	0,00	18,18	<b>4,55</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, 5)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(5, -5)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-5, 5)	35,29	0,00	0,00	0,00	<b>8,82</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
(-5, -5)	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>