



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

# CONSTRUCCIÓN DE UN JUEGO EDUCATIVO PARA EL APRENDIZAJE DE MATEMÁTICAS EN NIÑOS CON DISCAPACIDADES VISUALES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN  
COMPUTACIÓN

IGNACIO JAVIER ENERGICI SPROVERA

PROFESOR GUÍA:  
JAIME SÁNCHEZ ILABACA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JOSÉ PINO URTUBIA  
JOSÉ BENGURIA DONOSO

SANTIAGO DE CHILE  
2014

## Resumen

Los niños y niñas con discapacidad visual tienen mayores dificultades para el desarrollo de habilidades matemáticas y espaciales debido a los obstáculos para aprender con el método COPISI (que presupone el uso de material pictórico). A su vez, tampoco pueden contar con apoyo computacional, dado que este generalmente depende de la vista.

En este contexto, se desarrolló un juego que busca facilitar el aprendizaje de resolución de problemas matemáticos con la Metodología de Barras (MBRP) para estudiantes de educación básica con discapacidad visual, específicamente que cursen entre 2° y 6° básico. Esta metodología, creada por el Ministerio de Educación de Singapur se basa en la utilización de material pictórico. El juego se construyó bajo el paradigma Flipped Classroom el cual propone entregar herramientas computacionales a los estudiantes para que trabajen desde sus casas, pues ha demostrado ser especialmente eficiente en personas que presenten alguna discapacidad.

Así, el objetivo de esta memoria fue construir un juego educativo que opere utilizando una interfaz háptica que apoye el aprendizaje de resolución de problemas matemáticos. Para esto se trabajó con el tablet como plataforma computacional.

El juego construye como escenario una isla dentro de la cual el usuario transita. En esta se encuentra con personajes a los que ubica por sonidos holofónicos y le presentan actividades matemáticas al interactuar con ellos. Los problemas le son leídos en voz alta y se le presenta una representación pictórica que le es traducida por medio de audio y vibración.

Este juego fue probado con niños y niñas en escuelas para estudiantes ciegos o con discapacidad visual que cursan entre 2° y 6° básico. En cada una de las pruebas, los usuarios se orientaron en la isla utilizando los sonidos holofónicos y participaron de las actividades de aprendizaje que se desarrollan mediante el sonido y la vibración. Los usuarios pudieron comprender los sonidos y vibraciones como representaciones pictóricas de los problemas, introduciéndose así la Metodología de Barras para la resolución de problemas matemáticos.

## Agradecimientos

Al centro C5 por haberme apoyado en la investigación y su acogida durante la gestación de esta idea.

Al Centro Educacional Santa Lucía y el Colegio HellenKeller por su disposición a ayudar en este proceso.

Al profesor guía Jaime Sánchez porque sin su apoyo todo este trabajo no habría sido posible.

A los miembros de la comisión, cuyos comentarios mejoraron considerablemente este trabajo.

A Angélica Aguirre por su ayuda, atención y apoyo.

A todas las personas que conocí en el DCC que hicieron estos años inolvidables.

A mis amigos de la universidad, Pipe, Félix, Carlitos, Chiri y Tomás, por los años de amistad y ganas de seguir adelante.

A DemianSchkolnik por haberme apoyado en cada etapa y en cada situación que fue necesario.

A Alfredo Avalos, por convencerme de seguir adelante cuando todo se veía oscuro.

A Luis Toro por siempre haberse ofrecido para escribir o corregir lo que fuera necesario.

A Paz Montenegro, por haber estado presente en cada etapa brindando apoyo y consuelo.

A Trinidad Energici por haberme ayudado a poner siempre las cosas en perspectiva y ver lo que es importante.

A Marcelo Energici (padre) por tardes de correcciones, aguantar malos ratos y apoyo incondicional.

A Margarita Sprovera por su paciencia infinita para ayudarme, no solo en este proceso sino a lo largo de toda mi vida.

A Alejandra Energici por su entrega en este proceso y sus horas sin dormir para que saliera adelante.

A Marcelo Energici (hijo) por haber hecho literalmente todo lo que estuvo en su poder por ayudarme.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	1
1.1 Problema .....	1
1.2 Marco Conceptual .....	2
1.3 Solución.....	6
2. Objetivos .....	9
2.1 Objetivo general.....	9
2.2 Objetivos específicos .....	9
2.3 Alcance .....	9
3. Diseño.....	10
3.1 Metodología general de desarrollo.....	10
3.2 Tecnologías.....	10
3.3 Escenarios de validación.....	10
4. Metodología .....	12
5. Desarrollo preliminar .....	14
5.1 Herramientas hápticas.....	14
5.1.1 Wiimote .....	14
5.1.2 Control inalámbrico de Xbox 360 .....	15
5.1.3 Novint Falcon .....	15
5.1.4 Kinect.....	17
5.1.5 Tablet.....	17
5.2 Historia.....	20
5.3 Diseño del mapa .....	20
5.4 Mecánica .....	21
6. Desarrollo .....	23
6.1 Actividades .....	24
6.2 Navegación.....	25
6.2.1 Evaluación de Navegación .....	25
6.3 Colisiones .....	27
6.4 Dificultad .....	28
6.4.1 Elección de dificultad.....	28
6.4.2 Alcance de la dificultad.....	28

6.5 Creación del mapa .....	29
6.6 Área de detección.....	32
6.7 Detección de figuras.....	33
6.7.1 Grosor de las figuras.....	33
6.7.2 Bordes .....	34
6.8 Actividades .....	35
6.8.1 Representación de Partes y Todo .....	35
6.8.2 Tipo de actividad .....	37
6.9 Prototipo final.....	39
7. Discusión final.....	41
7.1 Discusión de la plataforma háptica utilizada.....	41
7.1.1 Aspectos positivos.....	41
7.1.2 Aspectos negativos.....	42
7.2 Navegación.....	44
7.3 Sonido .....	44
7.4 Actividades .....	45
8. Conclusiones.....	49
9. Glosario.....	51
10. Bibliografía .....	52
Anexo A.....	54
Anexo B.....	57

## Índice de ilustraciones

Figura 1: Ejemplos de problemas para niños de 2° Básico (a), 3° y 4° Básico (b) y 5° básico (c) según el modelo MBRP.....	3
Figura 2: Control Wiimote.....	15
Figura 3: Control Inalámbrico de Xbox 360.....	15
Figura 4: Novint Falcon.....	16
Figura 5: Kinect.....	17
Figura 6: Tablet Galaxy Note 10.1.....	18
Figura 7: Ejemplo de Barras.....	21
Figura 8: Ejemplo de Reacción.....	21
Figura 9: Ejemplo de Reacción.....	22
Figura 10: Ejemplo de Barras.....	22
Figura 11: Prueba de Usabilidad.....	23
Figura 12: Ejemplo de Selección.....	25
Figura 13: Ejemplo de Navegación.....	25
Figure 14: Fragmento del Script que asigna el sonido de los pasos.....	26
Figura 15: Barreras de Contención.....	27
Figura 16: Configuración de escenas.....	27
Figura 17: Elección de dificultad.....	28
Figura 18: Manejo de escenas.....	29
Figura 19: Modelo inicial de la isla.....	30
Figura 20: Ecosistemas de la isla.....	31
Figura 21: Personajes de la isla.....	32
Figura 22: Superficie de no detección (rojo).....	32
Figura 23: Prueba de grosor.....	34
Figura 24: Ejemplos de Figuras.....	35
Figura 25: Ejemplos de Bloques.....	36
Figura 26: Ejemplos de Barras.....	36
Figura 27: Ejemplos de Barras con corchetes.....	36
Figura 28: Problema de Parte y Todo.....	38
Figura 29: Problema de Todo y Problema de Parte.....	38
Figura 30: Escena 1.....	39
Figura 31: Escena 2.....	39
Figura 32: Radio de sonidos holofónicos.....	40
Figura 33: Controles propios del Tablet.....	43
Figura 34: Ejemplo con ayuda visual.....	48

# 1. Introducción

## 1.1 Problema

Los procesos de aprendizaje en niños o niñas con discapacidad visual son complejos debido a la limitación perceptual que estos presentan (Hidalgo, 2011). Esta dificultad aumenta en matemáticas y todas aquellas disciplinas, que requieren el uso de habilidades espaciales, pues dichas habilidades son difíciles de desarrollar cuando no se dispone de la visión como canal perceptual (Florentino Pino, 2010; Andrade, 2010).

La matemática es una disciplina que presupone que el estudiante desarrolle el pensamiento abstracto, para ello la enseñanza en los primeros años escolares requiere que los niños y niñas utilicen material concreto y pictórico (Bruner, 1977). El material pictórico es el puente entre la realidad concreta y la abstracción, dicho material consiste en representaciones por medio de esquemas, diagramas, pictogramas o figuras sencillas, que organizan la información para representar en forma lo más concreta posible el concepto matemático abstracto que se está enseñando. Por la naturaleza visual de dicho material, este no es accesible a niños y niñas con discapacidad visual.

No disponer de dicho material implica que los niños y niñas con discapacidad visual deban, en muchos casos, hacer un salto de lo concreto a lo abstracto. Ello se constituye como un obstáculo en el aprendizaje, que se suma a la dificultad propia de los conceptos matemáticos.

Dentro de los contenidos en matemáticas, la resolución de problemas matemáticos presenta grandes dificultades. Ello se aprecia en los resultados del SIMCE en los diferentes niveles que se aplica y en los rendimientos en evaluaciones internacionales como la prueba PISA y el TIMSS.

Actualmente, las principales herramientas que se utilizan para enseñar a niños y niñas con discapacidad visual hacen uso del tacto y de sonidos. Entre ellas se encuentra el lenguaje Braille<sup>1</sup>, material concreto y audios explicativos. Por otra parte, la mayoría de las aplicaciones computacionales desarrolladas usan la vista como el principal sentido de interacción humano-computador, ello tienen como efecto que su uso no está orientado a personas ciegas.

Se han realizado diversos estudios y proyectos para mejorar esta situación, entre ellos se encuentran recreaciones, que es el caso del proyecto de Entornos Virtuales Interactivos Basados en Sonido para Aprender y Conocer<sup>2</sup> de C5 (Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento<sup>3</sup>), y también aplicaciones que intentan enseñar a

---

<sup>1</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Braille\\_\(lectura\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Braille_(lectura))

<sup>2</sup> Más información de este proyecto se pueden encontrar en: <http://www.c5.cl/blind/>

<sup>3</sup> Más información sobre el Centro se puede obtener en: <http://www.c5.cl/c5>

través del sonido, entre ellos se encuentra el software Dosvox<sup>4</sup> de la profesora Marcia de Borba Campos.

Estos proyectos se caracterizan por hacer uso de audio y teclado, y en algunos casos incorporan herramientas diseñadas y fabricadas para personas con discapacidad visual. Dada la funcionalidad específica de este tipo de material, suele ser de alto costo, complejo de utilizar y de difícil acceso en el mercado. En este contexto, en este trabajo se desarrolla un software que puede ser usado en dispositivos disponibles a un valor accesible para las instituciones educativas.

## 1.2 Marco Conceptual

Para apoyar el desarrollo de habilidades cognitivas, en especial aquellas requeridas para el aprendizaje de matemáticas, es necesario contar con material que guíe al estudiante en la comprensión y aplicación dichos conceptos a diferentes situaciones (Torregrosa and Quesada, 2007).

Las habilidades matemáticas, de acuerdo a los planes y programas desarrollados por el Ministerio de Educación del Gobierno de Chile (MINEDUC), se agrupan en: i) comprensión de conceptos matemáticos, ii) resolución de problemas matemáticos iii) y razonamiento matemático. Siendo la más simple la comprensión de conceptos matemáticos.

El MINEDUC indica en los planes y programas que se debe usar el método COPISI (COncreto - Píctórico - Símbólico) para la enseñanza de las matemáticas. En los textos que entrega en forma gratuita a los y las estudiantes de escuelas municipalizadas y particulares subvencionadas, se utiliza esta metodología. Esta supone tres tipos representaciones que van de lo más concreto a lo abstracto, así: 1) en primer lugar, los y las estudiantes deben representar el problema matemático con material concreto o manipulable, por ejemplo, con legos. 2) Luego, el mismo problema se debe representar pictóricamente, esto es, representaciones por medio de esquemas, diagramas, pictogramas o figuras sencillas, que organizan la información. 3) Y finalmente los y las estudiantes deben representarlo de manera abstracta (MINEDUC, 2012).

De esta manera, el desarrollo de conceptos abstractos en matemáticas está vinculado a herramientas visuales, ello deja en situación de desventaja a niños y niñas con discapacidad visual. Esto tiene como efecto que dichos niños y niñas suelen presentar deficiencias en esta área y no disponen de suficientes herramientas diseñadas especialmente para ellos y ellas (Hidalgo, 2011).

Por otro lado, en los últimos años la República de Singapur ha llevado sus resultados en evaluaciones internacionales de matemáticas a los primeros lugares del mundo (Barber y Mourshed, 2008). Para lograr esto ha desarrollado una metodología basada en el método COPISI, nominada como el Método de Barras para la Resolución de Problemas (MBRP).

---

<sup>4</sup> Más información del proyecto se puede obtener en:  
<http://intervox.nce.ufrj.br/dosvox/download.htm>



El MBRP clasifica los problemas matemáticos en dos categorías: 1) problemas de Partes y Todos y 2) problemas de Comparación. Cada una de estas categorías se representa pictóricamente a través de barras. Estas representaciones ayudan a los y las estudiantes a representar las relaciones matemáticas existentes entre los diferentes datos entregados en el problema, para así encontrar la solución a la incógnita que se plantea (Ministry of Education Singapore, 2009).

A continuación se muestran algunas representaciones de problemas propuestas por el MBRP:

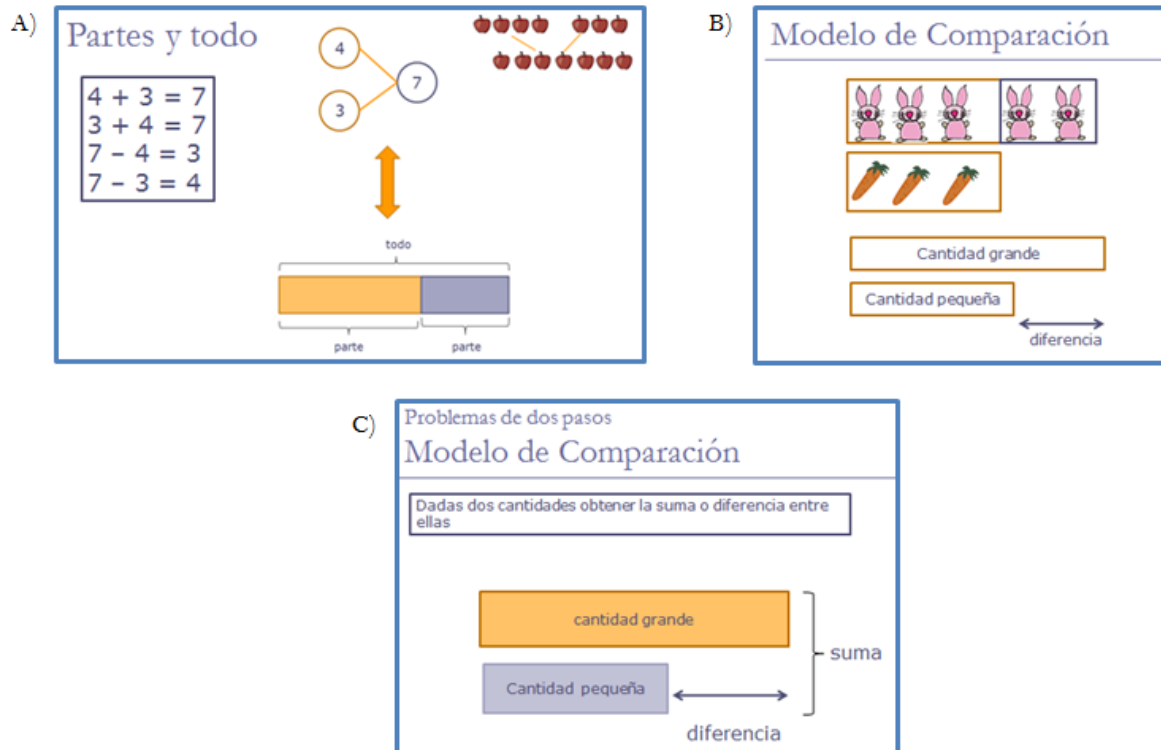


Figura 1: Ejemplos de problemas para niños de 2° Básico (a), 3° y 4° Básico (b) y 5° básico (c) según el modelo MBRP.

Dado que las metodologías utilizadas para la enseñanza de las matemáticas presupone el uso de representaciones pictóricas, los niños y niñas con discapacidades visuales tienen desventajas frente a sus pares sin estos impedimentos. Esto se ha intentado solucionar con diferentes herramientas, entre ellas las computacionales, que usan principalmente sonido (Villaruel and Sgreccia, 2011). Desarrolladores como GamesForBlind han creado juegos computacionales que interactúan con el usuario por medio de instrucciones auditivas y voces personalizables.

Una de las tecnologías que se utiliza para facilitar la interacción entre el computador y las personas con discapacidad visual son las interfaces hápticas. Estas son un conjunto de interfaces tecnológicas que interactúan con el ser humano mediante el sentido del tacto y que generalmente se utilizan como un canal de comunicación adicional al canal visual. Algunos

centros de desarrollo han diseñado aplicaciones para personas con discapacidad visual, reemplazando los canales de comunicación que usan la visión por canales de comunicación que utilizan sonido y/o vibración (Sánchez and Mascaró, 2011).

La interfaz háptica más usada en aplicaciones computacionales destinadas a usuarios con discapacidad visuales es la vibración, porque generalmente viene integrada en diferentes dispositivos disponibles en el mercado. Específicamente para el caso de este trabajo, el uso del tacto facilita a niños y niñas con discapacidad visual el conocer y comprender conceptos matemáticos, cuando se dispone de herramientas adecuadas a sus necesidades (Rouzier et al., 2004).

El otro canal de comunicación utilizado en estos dispositivos es el sonido, el que se usa para comunicar, dialogar, dar instrucciones, ambientar u orientar al usuario. Para el caso particular de imitar un espacio, se utilizan sonidos holofónicos, esta es una espacialización del sonido que se consigue imitando la relación entre sonido, espacio y movimiento de una posición relativa. Para la aplicación desarrollada en este trabajo, se utilizaron este tipo de sonidos, para que los niños y niñas con discapacidad visual pudiesen desplazarse dentro de una isla.

El juego se basa en un recorrido o desplazamiento que el niño o niña debe realizar por la isla. Para esto se utilizan sonidos emitidos por una fuente en un lugar fijo, por ejemplo, el canto de pájaros en un bosque. A medida que el personaje que representa al jugador se desplaza dentro de la isla, varían los sonidos emitidos por dicho punto fijo, para el caso del ejemplo, a medida que el personaje se aleja del bosque donde cantan los pájaros, el volumen de dicho sonido disminuye. Asimismo, si el bosque se encuentra a la izquierda o la derecha del personaje, el canto de los pájaros se emite con mayor intensidad por el canal de audio respectivo en un equipo estéreo.

La holofonía en la grabación de audio equivale a la holografía en imágenes visuales: ambasson una simulación de tridimensionalidad. Dado que toda fuente de sonido se ubica en el espacio, hay una relación entre la fuente emisora del sonido y quien lo percibe. Los sonidos holofónicos trabajan con dicha relación. Estos se graban con dos micrófonos posicionados en un maniquí para simular el modo en que los escucharía el receptor.

Existen diversas herramientas destinadas a que niños y niñas con discapacidad visual puedan recorrer ciertos entornos que utilizan los sonidos holofónicos. Por ejemplo, se le presenta al niño o niña un mapa de sonidos de su escuela, para enseñarle a desplazarse desde su sala de clases al baño (Sánchez and Lumbreras, 1999). De esta manera, este recurso se usa para enseñar a recorrer un lugar específico o para navegar en una aplicación computacional (Sánchez and Saenz, 2006).

El desarrollo y uso de estas tecnologías ha sido generalmente un asunto de alto costo y complejidad. Los dispositivos que habitualmente se utilizan para estos programas son diseñados para aplicaciones definidas y no de uso general. A esto se agrega que operan con el

tacto y el sonido como canal de comunicación, canales que tradicionalmente no se priorizan en computación, a diferencia de lo visual que tiende a ser privilegiado.

Los dispositivos que usan como canal de comunicación el tacto y el sonido son de baja demanda, porque en general se utilizan sólo para realizar aplicaciones que serán usadas por personas con discapacidad visual, esta baja demanda aumenta su costo. Además, estos suelen ser voluminosos y difíciles de maniobrar, lo que aumenta la dificultad de su uso.

El desarrollo de nuevas tecnologías es costoso y complejo, por tanto, es de mayor parsimonia utilizar dispositivos ya disponibles masivamente en el mercado, aprovechando las propiedades hápticas que poseen. Existe una gran variedad de dispositivos que cuentan con interfaces hápticas integrables que pueden ser utilizados en el desarrollo programas para usuarios con discapacidad visual.

Distintos centros de investigación, entre ellos el Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento (C5), utilizan dispositivos que tienen la capacidad de vibrar (como el control inalámbrico de las consolas Xbox 360 de Microsoft o dispositivos tipo Tablet), la capacidad de emitir sonidos (como el Wiimote de Nintendo), la capacidad de responder a movimientos del cuerpo (como el Kinect de Microsoft) o la capacidad de generar respuestas físicas a movimientos del cuerpo (como el NovintFalcon de Novint Technologies) para construir herramientas educativas para niños y niñas con discapacidad visual. La ventaja de utilizar este tipo de herramientas, es que son económicas, fácilmente accesibles y es simple desarrollar aplicaciones computacionales para ellas.

Unity es un ecosistema para el desarrollo de juegos que se utiliza para diseñar videojuegos para aplicaciones web, plataformas de escritorio, consolas y dispositivos móviles. Este framework utiliza una interfaz tridimensional que es simple de usar en programación y compatible con el código en UnityScript. Este último funciona de manera similar a JavaScript<sup>5</sup>. Las plataformas que soporta Unity incluyen Windows, Mac, Linux, Android, Unity Web Player, Adobe Flash, PlayStation 3, Xbox 360, Wii y Galaxy Note.

En Unity se pueden crear visualizaciones tridimensionales y aplicaciones ejecutables independientes que se cargan en diversos dispositivos computacionales. Unity maneja reglas y conceptos físicos, como la gravedad, para emular el movimiento virtual de los cuerpos. Además, puede integrar sonidos estéreo y holofónicos, y cuenta con diversas bibliotecas para trabajar con herramientas hápticas.

Las aplicaciones computacionales y juegos usados por los y las estudiantes con discapacidad visual usan una combinación de interfaces hápticas y sonidos holofónicos. Unity es un framework capaz de combinar ambos factores de manera sencilla, permitiendoutilizarlos para el desarrollo de mapas navegables y aplicaciones.

---

<sup>5</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript>

Luego, se dispone de una aplicación que puede emular el espacio, por medio de sonido y vibraciones, que se puede utilizar para desarrollar aplicaciones computacionales que faciliten el aprendizaje de las matemáticas a los niños y niñas con discapacidad visual.

Esto permite construir una aplicación que apoya el aprendizaje integrando elementos lúdicos, y que a su vez permiten que el niño o niña interactúe autónomamente con el dispositivo.

La investigación ha mostrado que los niños y niñas con discapacidad visual tienen capacidad para aprender de igual manera que los niños y las niñas videntes, si disponen de herramientas que les permiten superar su limitación perceptual (Hidalgo, 2011). Asimismo, el uso de juegos computacionales ha mostrado ser un aporte que ayuda a facilitar el aprendizaje de los y las estudiantes (Shaffer et al., 2004), por esto actualmente se considera una herramienta educativa más, que usa principalmente el descubrimiento y la exploración (Florentino Pino, 2010).

### 1.3 Solución

Las plataformas hápticas<sup>6</sup>, disponibles en forma masiva en el mercado, permiten desarrollar aplicaciones computacionales para niños y niñas con discapacidad visual. Dichas plataformas se definen como tecnologías capaces de interactuar con los usuarios y las usuarias por medio del tacto.

Herramientas como gráficos táctiles<sup>7</sup>, ábacos<sup>8</sup> o herramientas táctiles de medición<sup>9</sup>, desarrolladas para estudiantes con discapacidad visual, son un complemento para integrarlas al sistema educativo, sin embargo, no se dispone de herramientas que les permita aprender de manera autónoma.

Otras herramientas disponibles para niños y niñas con discapacidad visual son: 1) TACTICS<sup>10</sup>, que permite transformar información visual, como imágenes computacionales, a información táctil a través de un papel especial. 2) la Interfaz Háptica PHANToM™ de SensAbleDevices, Inc, es un dispositivo que genera fuerzas en la punta de los dedos o en un lápiz tipo Stylus para guiar al usuario. Ambas herramientas son adecuadas para ser usadas en la mejora de los aprendizajes de los y las estudiantes con discapacidad visual, pero presentan la desventaja de no ser de fácil acceso en el mercado y ser equipos especializados que requieren de una capacitación previa para su uso. A esto se agrega que el desarrollo de aplicaciones computacionales para estas herramientas es complejo.

Las soluciones computacionales para niños y niñas con discapacidad visual que implementan herramientas hápticas en el aprendizaje de matemáticas han mostrado ser eficientes (Stevens et al., 1997). Además se ha encontrado que los videojuegos educativos

---

<sup>6</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Haptic\\_technology](http://en.wikipedia.org/wiki/Haptic_technology)

<sup>7</sup><http://www.tsbvi.edu/national-agenda/1462-types-of-tactile-graphics>

<sup>8</sup><http://www.tsbvi.edu/abacus>

<sup>9</sup><http://www.tsbvi.edu/tools/2112-other-math-tools#Tactile>

<sup>10</sup><http://people.rit.edu/easi/easisem/haptic.html>

ayudan en el aprendizaje de las matemáticas de los y las estudiantes (Sánchez et al., 2012). Por esto, esta memoria integra las soluciones hápticas en un juego educativo destinado a mejorar el aprendizaje de matemáticas de niños y niñas con discapacidades visuales.

El Método de Barras para la Resolución de Problemas (MBRP) matemáticos, es un método de enseñanza desarrollado por el Ministerio de Educación de la República de Singapur para la enseñanza de matemáticas en los cursos que van desde kindergarten a 6<sup>º</sup> básico y forma parte del programa de enseñanza de esta disciplina en dicho país.

Singapur, es un país que tradicionalmente mostraba bajos resultados en evaluaciones internacionales como PISA<sup>11</sup> y TIMSS<sup>12</sup>, sin embargo el desarrollo de una metodología de enseñanza de las matemáticas les ha permitido tener los mejores resultados del mundo<sup>13</sup> en las evaluaciones mencionadas. Es por esto que esta metodología ha sido destacada por su eficiencia y ha sido objeto de múltiples estudios (Barber y Mourshed, 2008).

Para esta memoria se desarrolló una herramienta informática para enseñar el Método de Barras para la Resolución de Problemas a niños y niñas con discapacidad visual. Dicha herramienta utiliza interfaces hápticas y sonidos para emular las representaciones pictóricas que usa el MBPR. El software desarrollado se utiliza en un tablet no especializado que contiene un dispositivo háptico. El tablet se encuentra disponible en el mercado a costos accesibles para parte importante de la población.

Una de las innovaciones de este proyecto es el incluir el tacto, a través de vibraciones, como uno de los sentidos por medio del cual el usuario interactúa con el juego.

El juego que se desarrolló se ambienta en una isla, que tiene diferentes ambientes y en cada uno de ellos hay un personaje característico, por ejemplo en el bosque el personaje es el guardabosque. Para desplazarse por la isla el o la estudiante se guía con sonidos holofónicos, estos sonidos también se usan para ambientar el juego, ya que son característicos del ambiente en que se encuentra el usuario, por ejemplo, en el bosque los sonidos son canto de pájaros. En el recorrido por dichos lugares, el niño o niña se enfrenta a diferentes situaciones de los personajes que se traducen en problemas matemáticos que son representados

---

<sup>11</sup>La prueba PISA es un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que busca evaluar en qué medida los estudiantes que se acercan al final de la enseñanza escolar obligatoria han adquirido las competencias esenciales para una completa participación en la sociedad y se aplica cada tres años (desde 2000) a estudiantes de 15 años con pruebas que evalúan las áreas de Lectura, Ciencias Naturales y Matemática, enfatizándose en cada ciclo la medición de una de ellas. Por ejemplo, en PISA 2012 el énfasis fue dado a Matemática.

<sup>12</sup>Estudio realizado por la Asociación Internacional para la Evaluación del Logro Educativo (IEA), busca proveer de información de calidad sobre los logros de aprendizaje de los estudiantes de educación básica y los contextos educacionales en los que aprenden. Se aplica desde 1995, cada cuatro años, a estudiantes de 4<sup>º</sup> y 8<sup>º</sup> básico en las áreas de Matemática y Ciencias Naturales.

<sup>13</sup><http://en.wikipedia.org/wiki/Singapore#Education>

utilizando el Método de Barras de resolución de problemas matemáticos. De esta forma, el juego se ocupa de enseñar esta metodología al niño o niña con discapacidad visual. En cada ambiente la actividad se organiza de la siguiente forma: a) el personaje característico expone en voz alta una situación cotidiana que luego traduce en un problema matemático y b) luego la aplicación realiza la representación pictórica de dicho problema por medio del Método de Barras. Esta representación se presenta al niño o niña con discapacidad visual a través de vibraciones y sonidos. Una vez que se ha representado el problema en barras, se continúa el recorrido por la isla en busca de otros personajes. Las actividades de los ambientes que se han ejecutado se desactivan de manera que el o la estudiante se deba desplazar a otro sector de la isla, una vez que se han desactivado todas las actividades, se activan nuevamente con diferentes situaciones/problemas.

De esta manera, a través de este juego se enseña a usar representaciones pictóricas para resolver problemas matemáticos que utilizan las operaciones aritméticas básicas. En una etapa posterior se puede desarrollar el software para que abarque representaciones pictóricas para resolver problemas de fracciones, proporciones y porcentajes.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta computacional que apoye el aprendizaje de matemáticas de niños y niñas con discapacidad visual.

### 2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Diseñar una aplicación computacional que permita a niños y niñas discapacitados visualmente desplazarse en un entorno virtual guiados por sonidos holofónicos.
- Construir una aplicación que traduzca representaciones pictóricas en vibraciones y sonidos para que niños y niñas con discapacidad visual puedan comprender el Método de Barras para Resolución de Problemas.
- Evaluar la usabilidad de dicha aplicación con niños y niñas con discapacidad visual que cursan entre 2° y 6° básico.

### 2.3 Alcance

La aplicación desarrollada es un juego educativo de matemáticas, que opera principalmente a través de interfaces hápticas.

El juego es de uso individual. El usuario puede recorrer el mundo virtual que provee el juego, navegando por el escenario. Se puede interactuar con personajes virtuales para completar los objetivos del juego. El juego propone desafíos a los usuarios enfrentándolos a la resolución de problemas matemáticos.

El diseño de software de la aplicación facilitó la edición de los componentes del juego. De manera que se fueron generando prototipos funcionales a lo largo del proyecto.

## 3. Diseño

### 3.1 Metodología general de desarrollo

Este trabajo crea una herramienta que pueda ayudar a niños y niñas de educación básica con discapacidad visual, en el aprendizaje de matemáticas. La herramienta se desarrolló basándose en los planes y programas de enseñanza de las matemáticas del MINEDUC. De estos se obtuvieron diferentes tipos de problemas matemáticos que se representan pictóricamente en el juego.

Durante el desarrollo de la aplicación se realizaron diferentes pruebas con niños y niñas en una escuela para discapacitados visuales. Estas pruebas se realizaron para evaluar la motivación que mostraban los y las estudiantes para usarlo, y además identificar las dificultades que tenían en su operación. Luego de cada prueba se introdujeron los cambios necesarios para mejorar la aplicación. Por ejemplo, en una versión preliminar existía la posibilidad de retroceder en el recorrido de la isla, esto confundió a los niños y niñas, porque no podían distinguir si avanzaban o retrocedían, por tanto, esta posibilidad se eliminó. De esta forma, se trabajó con un diseño iterativo por prototipos.

### 3.2 Tecnologías

Se trabajó con el framework Unity. Pues este programa permite diseñar ambientes y estructuras tridimensionales enfocadas a la creación de juegos. Así también, construir mapas en tres dimensiones navegables, menús y aplicaciones bidimensionales y posicionamiento de sonidos holofónicos<sup>14</sup>.

Se evaluaron diversas herramientas de para determinar cuál era la más apropiada, entre ellas: Wiimote<sup>15</sup>, Tablet, control inalámbrico<sup>16</sup> de Xbox 360, Kinect<sup>17</sup>, NovintFalcon<sup>18</sup>. Las características que se consideraron es si disponen de una interfaz háptica (Kinect no posee una), la utilidad de esta, la facultad de comunicarse por medio del sonido, acciones o gestos. Es por estas propiedades que el Tablet Galaxy se evaluó como la mejor alternativa para el proyecto, ya que ofrece todas las funcionalidades que se requieren sin ningún impedimento relevante. La vibración y el audio que se pueden emitir por medio de este dispositivo proporcionan la suficiente retroalimentación como para poder interactuar adecuadamente con un niño ciego.

### 3.3 Escenarios de validación

La herramienta construida se evaluó con niños y niñas que asisten a una escuela para discapacitados visuales. A lo largo del semestre se realizaron sesiones de juego donde los niños exploraron la aplicación y se evaluó la comprensión y funcionalidad de ésta.

---

<sup>14</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Holofonía>

<sup>15</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Wiimote>

<sup>16</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador\\_de\\_juego](http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_de_juego)

<sup>17</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Kinect>

<sup>18</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Novint\\_Technologies](http://en.wikipedia.org/wiki/Novint_Technologies)



La validación consistió en entregarles a los niños y niñas el Tablet con la aplicación, se les enseñó a utilizar la herramienta mediante la explicación de los comandos básicos y el significado, de las señales auditivas, dejando que los mismos niños exploraran y aprendieran a manejarla libremente. Finalmente, se evaluó si la aplicación era posible de ser ejecutada por los y las estudiantes.

Durante las sesiones de juego se buscó hacer una evaluación de usabilidad, estudiando que los mecanismos de comunicación fueran claros para personas con discapacidad visual y que ellas fueran capaces de comprender tanto las instrucciones auditivas como las mecánicas de control del programa. A su vez se evaluó que los niños fueran capaces de comprender tanto la instrucción del problema y las interfaces implementadas a través del dispositivo háptico.

También se realizó una evaluación de funcionalidad, estimando el desempeño de la herramienta háptica seleccionada como dispositivo de interacción para niños y niñas con discapacidad visual. Se evaluó el comportamiento de la aplicación en un entorno educativo y la facilidad de aprendizaje y dominio que presenta. Finalmente, se evaluaron los resultados obtenidos con las pautas entregadas por el curso *CC6505 Taller de Interacción Humano-Computador* dictado por el C5, como la Evaluación Heurística de Videojuegos<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup>[https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2012/2/CC6501/1/material\\_docente/objeto/629556](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2012/2/CC6501/1/material_docente/objeto/629556)

## 4. Metodología

En el diseño, implementación y evaluación del videojuego se adoptó una metodología centrada en el usuario, para así obtener un mejor alineamiento entre las formas de interacción e intereses de los usuarios finales. Durante el proceso, se realizaron reiteradas pruebas con usuarios con prototipos en diversas etapas de completitud. Tomando la retroalimentación de los niños y las observaciones de evaluación durante estas sesiones, se corrigieron errores e implementaron mejoras para pasar a una versión mejorada posterior.

Se evaluó la usabilidad háptica y auditiva para obtener una evaluación cualitativa del proyecto. También se aplicaron pautas de observación donde un evaluador registró las acciones de los usuarios al interactuar con la herramienta, con lo que se obtuvo información acerca de la forma en que los usuarios interactúan con el sistema. El tablet como herramienta tiene las facultades de poder recibir información y comandos únicamente a través de su pantalla táctil. De esta manera se estableció un desarrollo incremental en el que se eligieron las alternativas más compatibles con la estructura arquitectónica del tablet. Así se progresó en pos de obtener un juego lo más compatible posible con los requisitos de comunicación del tablet.

El trabajo se realizó en el framework Unity, que provee de distintas funcionalidades capaces de crear juegos y aplicaciones tridimensionales. Se utilizó este framework debido a que es altamente compatible con tecnologías hápticas y posee un enfoque hacia los videojuegos que facilita mucho el desarrollo de estos. Unity posee la capacidad de generar programas que pueden ser ejecutados en tablets u otros dispositivos de manera fácil.

A los procesos de Unity pueden implementarse reglas o comportamientos a través de código. La facultad de crear e implementar dichos códigos de comportamiento y aplicarlos a cualquier tipo de objeto, formas, figuras, colores o sonidos, entrega la flexibilidad suficiente como para permitir crear una interfaz especializada para compatibilizar con las necesidades especiales de un tipo de usuario en específico.

La tecnología que se utilizó como dispositivo háptico fue una Tablet Samsung Galaxy Note 10.1, que es el modelo de tablet Android. El motivo por el que se eligió un tablet como dispositivo háptico es que poseen las facultades de vibrar y emitir sonido, además de tener una pantalla táctil, y se determinó que era una herramienta apropiada para el desarrollo del proyecto. Más adelante, se incluye el estudio de las diferentes herramientas hápticas consideradas y los diferentes motivos por los cuales se descartaron a la hora de elegir la herramienta más indicada para este desarrollo.

La primera etapa de desarrollo fue definir la isla y su mapa, la forma en que el niño o niña explora la isla, los elementos presentes en esta y la ubicación de los personajes. Para esto se hizo un primer bosquejo de la isla delimitando sus bordes, topografía y colores. Posteriormente se crearon los lugares de interés en la isla y se decoró con detalles como árboles o playas.

La etapa siguiente fue crear una ambientación para el aprendizaje que el niño considerase atractiva y lo motivase a seguir adelante con los objetivos. Se implementó una historia que le otorgara un objetivo final y diversas tareas que debía completar para alcanzar dicho objetivo, junto con los personajes asociados a cada una de estas. Las tareas están relacionadas con aprendizaje matemático, ambientadas como problemas cotidianos de los distintos personajes presentes en la isla.

La siguiente etapa fue establecer la mecánica mediante la cual el niño se orienta a lo largo de la isla. Se seleccionaron un primer grupo de sonidos que fueran lo suficientemente reconocibles y diferenciables como para asociarse a un lugar en particular o a un personaje específico. Cuando se seleccionaron estos sonidos, se posicionaron y se implementaron como sonidos holofónicos para cumplir con la función de orientar al niño al servir como guía y poder orientarse con su posición relativa.

En una etapa simultánea a la creación de las mecánicas de navegación se construyó la mecánica con la cual los niños y niñas con discapacidad visual pueden comprender las actividades educativas. Se escribió un código que reconoce el color que el jugador está tocando y asocia una reacción a cada color. De esta manera una imagen o representación pictórica puede ser comprendida por un jugador ciego.

Posteriormente se crearon las actividades educativas. Cada actividad se creó en torno a una representación gráfica de un problema de matemáticas de acuerdo al Método de Barras de Singapur. El código que dirige el comportamiento completo de estas actividades primero reproduce un archivo de audio que corresponde a las instrucciones habladas del problema. Luego se implementó que el código pudiese detectar el color que el niño o niña está tocando y ejecuta la acción asociada a ese color, donde generalmente se trata la reproducción de un sonido y la ejecución de un patrón de vibración.

Finalmente, se creó una opción para desactivar una tarea al completarla, así el niño o niña puede continuar con el juego, teniendo que encontrar los personajes restantes y las tareas educativas asociadas a éstos.

Durante todo el proceso de desarrollo se fueron mejorando tanto la navegación dentro de la isla como la simplicidad de las actividades educativas. La implementación de los comandos de movimiento, retroalimentación de acciones, límites de la isla y mecanismos mediante los cuales el jugador puede moverse se fueron mejorando iterativamente a lo largo del proyecto completo. Durante las diferentes sesiones de usabilidad se entrevistó a los niños y niñas que formaron parte de la prueba sobre las formas en las que el juego se podría mejorar, además de que los evaluadores tomaron nota del desempeño de los niños.

Gracias a esta retroalimentación se hicieron las diversas mejoras que permitieron en una última instancia crear una mecánica de navegación y traducción de problemas comprensible por niños y niñas con discapacidad visual.

## 5. Desarrollo preliminar

### 5.1 Herramientas hápticas

Las herramientas hápticas sirven para interactuar con los usuarios por medio del sentido del tacto. Para este trabajo se hizo un análisis en busca de la herramienta más apropiada para el desarrollo que se planeaba realizar.

Durante el transcurso del proyecto se evaluaron las siguientes herramientas para determinar su valor pragmático en cuanto a las necesidades del proyecto: Wiimote, Tablet, control inalámbrico de Xbox 360, Kinect, NovintFalcon. A continuación se presentan los resultados de cada revisión:

Los criterios que se utilizaron para determinar la herramienta seleccionada fueron:

- Funcionalidades integradas
- Aceptación por parte de usuarios ciegos
- Facilidad de desarrollo
- Compatibilidad con Unity u otros frameworks

#### 5.1.1 Wiimote

El control inalámbrico de la compañía Nintendo<sup>20</sup>(Figura2: Control Wiimote) tiene las siguientes ventajas:

- Sensor infrarrojo
- Acelerómetro
- Funcionalidad de audio y vibración

Estas funcionalidades son muy prácticas a la hora de comunicarse con un usuario visualmente impedido ya que el control puede emitir sonidos o vibrar, agregando nuevos canales de comunicación más allá de las limitantes del dispositivo que ejecuta el juego. El acelerómetro puede detectar movimientos y aceleración en tres ejes distintos. El sensor infrarrojo funciona con una barra sensora que emite una luz infrarroja, funcionando como un dispositivo de señalamiento.

A pesar de las evidentes ventajas de este dispositivo, presenta una gran dificultad para este proyecto en cuanto al sensor infrarrojo. Este funciona con respecto a la barra sensora, teniendo que enfrentarse a este en un cono de hasta 5 metros de distancia. La habilidad necesaria para manipular esta interacción depende de la vista ya que el control debe apuntar a la barra con bastante precisión.

Simultáneamente, utilizar un acelerómetro sin tener un referente visual para evaluar las respuestas del sistema es muy complejo, por lo que no es una aplicación aprovechable en este escenario. Por tanto se descartó como una herramienta práctica para el proyecto.

---

<sup>20</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Nintendo>



*Figura2: Control Wiimote*

### 5.1.2 Control inalámbrico de Xbox 360

El control inalámbrico de la compañía Microsoft<sup>21</sup> de la consola Xbox 360<sup>22</sup> (Figura3: Control Inalámbrico de Xbox 360) posee 10 botones, 2 barras análogas de dirección y un control con botones de dirección. Además tiene la capacidad de vibrar como única interfaz háptica.

En general no es una herramienta muy completa ya que no cuenta con diversas maneras de retroalimentación para personas ciegas. Las barras de dirección no son apropiadas para gente con visión disminuida y la gran cantidad de botones dificulta la comprensión y adaptación del proceso.



*Figura3: Control Inalámbrico de Xbox 360*

### 5.1.3 NovintFalcon

La herramienta háptica desarrollada por la empresa Novint Technologies es un dispositivo completamente háptico diseñado para reemplazar un mouse de computador (Figura4: NovintFalcon). El Falcon tiene diversas manijas o empuñaduras que el usuario utiliza para controlarlo. El usuario puede mover dichas empuñaduras en tres dimensiones y el

---

<sup>21</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft>

<sup>22</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Xbox\\_360](http://es.wikipedia.org/wiki/Xbox_360)

Falcon rastrea la posición donde se encuentra y crea fuerzas que el usuario puede sentir, enviando corrientes a los motores del dispositivo.

Por lo mismo es una herramienta ideal para el modelamiento de figuras y formas, transmitiendo toda la información por medio de un canal táctil que no depende de la vista.

Sin embargo, el desarrollo de aplicaciones a través de NovintFalcon es sumamente complejo ya que las bibliotecas de controladores están bastante desactualizadas y no son compatibles con la herramienta Unity, que es la que se decidió utilizar para este proyecto. Además, el desarrollo de aplicaciones para este dispositivo es sumamente largo y poco compatible con los objetivos de este proyecto.



*Figura4: NovintFalcon*

### 5.1.4 Kinect

El dispositivo desarrollado por la compañía Microsoft para la consola Xbox 360 es un controlador de juego libre (Figura5: Kinect). Este dispositivo permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un controlador tradicional. Kinect es capaz de reconocer gestos, comandos de voz<sup>23</sup>, objetos e imágenes. A pesar de no poseer una interfaz háptica, puede darle instrucciones en voz alta al usuario o responder a sus comandos de voz.

Sin embargo, la herramienta tiene un margen de error bastante amplio en cuanto al reconocimiento de gestos. Esto ocurre porque cada persona se mueve de una manera particular, teniendo que ciertas variaciones en el movimiento vuelven el gesto irreconocible. Aunque este margen puede disminuirse almacenando la grabación de diversos usuarios repitiendo un gesto en particular, la única forma que tiene el dispositivo para corregir al usuario es mediante audio e imagen. Este mecanismo es imposible de aplicar con niños y niñas con discapacidad visual, por lo que no es el dispositivo ideal para este proyecto.



Figura5: Kinect

### 5.1.5 Tablet

Los dispositivos Tablet son computadores portátiles integrados en una pantalla táctil<sup>24</sup>, con la que se interactúa primariamente con los dedos o una pluma tipo *stylus*<sup>25</sup> sin necesidad de un teclado físico o un mouse (Figura6: Tablet Galaxy Note 10.1). Para este caso en particular se analizó el modelo Galaxy Note 10.1<sup>26</sup> fabricado por la compañía Samsung<sup>27</sup>. Este dispositivo tiene una pantalla táctil, parlantes estéreo, una pluma tipo *stylus* y la capacidad de vibrar.

---

<sup>23</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Reconocimiento\\_del\\_habla](http://es.wikipedia.org/wiki/Reconocimiento_del_habla)

<sup>24</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla\\_táctil](http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_táctil)

<sup>25</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Stylus>

<sup>26</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Samsung\\_Galaxy\\_Note\\_10.1](http://es.wikipedia.org/wiki/Samsung_Galaxy_Note_10.1)

<sup>27</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Samsung>

Es por estas propiedades que el Tablet Galaxy se evaluó como la mejor alternativa para el proyecto, ya que ofrece todas las funcionalidades que se requieren sin ningún impedimento relevante. La vibración y el audio proporcionan la suficiente retroalimentación como para poder interactuar adecuadamente con el niño.

























































A pesar que normalmente este tipo de Tablet funciona en base a la vista, se puede crear una interfaz donde el niño pueda palpar la pantalla recibiendo retroalimentación háptica. Por estas razones y por ser altamente compatible con Unity, se prefirió esta interfaz para realizar el proyecto.



*Figura6: Tablet Galaxy Note 10.1*



**Tabla 1: Comparación de los diferentes atributos de interfaces hápticas**

	 Wiimote	 Xbox	 Falcon	 Kinect	 Tablet
Vibra					
Emite sonidos					
Tiene botones					
Tiene acelerómetro					
Controles ajustables					
Abundante en el mercado					
Funcionamiento inalámbrico					
Funcionamiento independiente					
Bibliotecas actualizadas					
Compatible con Unity					
Adaptable a comandos nuevos					

## 5.2 Historia

Uno de los principales problemas de los juegos educativos en general, es la dificultad que presentan a la hora de ser entretenidos y atractivos para los niños. Para este fin, se ideó una historia que se irá contando al niño en voz alta para así ir construyendo el lugar o ambiente de aprendizaje en el que se encuentra. Esta tiene como objetivo unir las actividades con la navegación por el entorno e incentivar al niño a seguir adelante con el juego.

Al niño se le asignará un cargo para que se cuente la historia en torno a este, tal como un sheriff o un alcalde. El niño estará en una isla donde deberá ayudar a ciertos individuos. Cada persona del lugar le solicitará al niño le ayude a resolver un problema matemático relacionado a un aspecto de la vida cotidiana. De esta manera el niño se sentirá útil al poder ayudar a la gente de la zona.

Con esta historia el niño tendrá una motivación para seguir adelante con el juego y resolver las diferentes actividades educativas que se le irán presentando.

## 5.3 Diseño del mapa

El diseño del ambiente de aprendizaje es el de una isla con diferentes lugares donde el niño deberá resolver una tarea. Para lograr ambientes identificables y diferenciables entre sí, hay lugares puntuales y únicos. En cada uno de estos lugares se encontrará un personaje que le solicitará ayuda para resolver un problema matemático.

Cada lugar tiene asociado un sonido holofónico particular que lo vuelve identificable del resto del mapa. Gracias a estas referencias el niño es capaz de navegar a través del mapa sin problema.

Además se pretende implementar otros sonidos holofónicos que no tengan un objetivo particular, sino que simplemente sirvan de referencias para la navegación en el mapa. Sonidos tales como cantos de pájaros o conversaciones. A través de estas marcas el niño será capaz de orientarse por el mapa y recordar con mayor precisión los puntos que debe visitar.

## 5.4 Mecánica

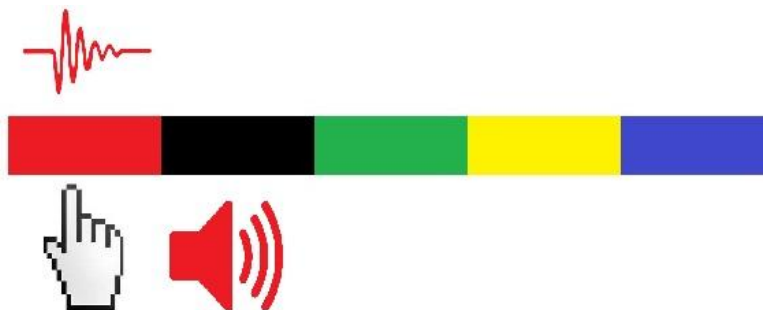
Para plantear y entender los problemas matemáticos se ideó un mecanismo que permite representarlos de manera que el niño sea capaz de comprenderlos. Se dibujaron todas las figuras con líneas lo suficientemente anchas como para que un niño pueda pasar un dedo y reconocerlos (Figura7: Ejemplo de Barras).



*Figura7: Ejemplo de Barras*

Cada elementos dibujado en un color claramente identificable para que un niño o niña con discapacidad visualo pueda identificar, marcando las separaciones. Cada color tiene asociada una reacción de sonido y/o patrón de vibración para que sea identificable para los niños ciegos.

De esta manera se le podrá presentar al niño una representación gráfica de números o problema matemático. El niño puede tocar toda la pantalla identificando la forma o silueta de acuerdo a la vibración y/o sonido que esta emite. En el caso de niños y niñas con discapacidad visual, es la suma de los colores altamente diferenciables y el patrón de vibración y/o sonido (Figura8: Ejemplo de Reacción, Figura9: Ejemplo de Reacción).



*Figura8: Ejemplo de Reacción*

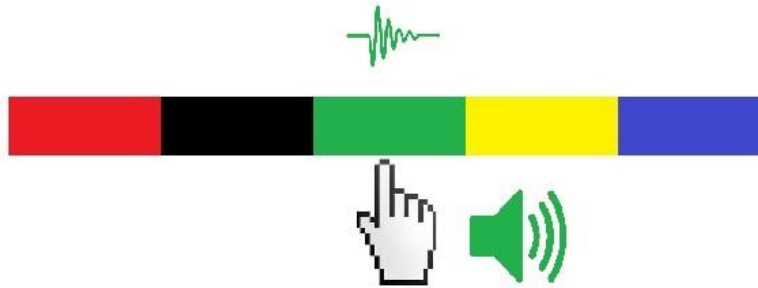


Figura9: Ejemplo de Reacción

La forma de asociar colores a sonidos y patrones de vibración es sumamente sencilla, y se desarrolló de forma que se puede integrar cualquier imagen a esta. Simplemente se escoge un color y se le asigna un archivo de audio y un patrón de vibración integrado en el Tablet (Figura10: Ejemplo de Barras).

Color 1		Audio Color 1	Drip	<input type="radio"/>	Vibration Color 1	2
Color 2		Audio Color 2	Coma	<input type="radio"/>	Vibration Color 2	3
Color 3		Audio Color 3	None (Audio Clip)	<input type="radio"/>	Vibration Color 3	4
Color 4		Audio Color 4	None (Audio Clip)	<input type="radio"/>	Vibration Color 4	-1
Color 5		Audio Color 5	None (Audio Clip)	<input type="radio"/>	Vibration Color 5	-1
Color 6		Audio Color 6	None (Audio Clip)	<input type="radio"/>	Vibration Color 6	-1

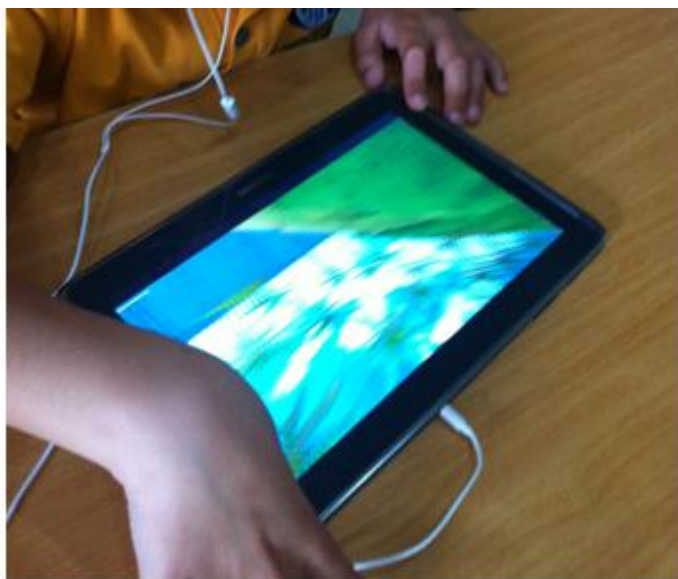
Figura10: Ejemplo de Barras

De esta manera el niño puede usar la aplicación completamente por su cuenta. El objetivo de esta mecánica es hacer que el juego sea de fácil dominio para que se pueda utilizar como una herramienta de apoyo educacional.

## 6.Desarrollo

A lo largo del proyecto se hicieron diversas sesiones de usabilidad con los usuarios para determinar cuáles son las características que les agradan de este y qué elementos estorban en el proceso (Figura 11: Prueba de Usabilidad). En cada sesión de usabilidad se le explicó al niño que iba a jugar un juego educativo, las instrucciones para utilizar el tablet y lo que significa la retroalimentación que recibe. El protocolo consiste en darle la siguiente serie de instrucciones al niño para que pueda aprender a manejar el tablet fácilmente:

- 1) Explicarle qué es un tablet.
- 2) Explicarle que va a jugar un juego en el tablet.
- 3) Posicionar su mano no diestra en un costado del tablet, lejos del área de detección.
- 4) Posicionar un dedo de su mano hábil (generalmente el índice) en el área de detección.
- 5) Explicarle que el tablet funciona únicamente con un dedo simultáneamente sobre el área de detección.
- 6) Pasarle los audífonos para que se los ponga.
- 7) Explicarle que los sonidos sirven para orientarlo (holofonía).
- 8) Decirle que debe encontrar los lugares que emiten los sonidos.
- 9) Dejarlo jugar.



*Figura 11: Prueba de Usabilidad*

Desde la primera sesión a los niños les gustó la posibilidad de tener retroalimentación auditiva constante y poder controlar el juego sin ayuda. En la primera versión no estaban implementados los sonidos de rotación y el personaje podía tanto retroceder como avanzar, emitiendo el mismo sonido en ambas acciones. Esto dificultó mucho el manejo de la herramienta para los niños ya que solo podían determinar si se estaban moviendo o no, pero no tenían retroalimentación directa entre las acciones que pretendían realizar y las que el personaje estaba ejecutando. Sin embargo, los niños lograron orientarse utilizando

únicamente los sonidos holofónicos como guía, encontrando los diferentes lugares y personajes.

A lo largo de las sesiones de usabilidad se encontraron niños con diferentes características con los que se tuvo que trabajar, y se pueden agrupar en: niños con resto visual<sup>28</sup> y niños ciegos.

Los niños con resto visual privación parcial de la vista que no puede ser corregida con anteojos. Esta visión varía desde la capacidad de distinguir entre luz y oscuridad hasta leer letras grandes especiales. Es para estos niños que se creó el mapa navegable de la isla y la facultad de detectar colores.

Durante las sesiones de usabilidad los niños pudieron navegar a lo largo del mapa y apreciar (dentro de sus limitantes) los diferentes colores y objetos presentes en la isla. La reacción general con respecto a los colores y elementos usados fue positiva, opinando que les es atractiva la interfaz gráfica.

El factor más agradable para los niños fue tener una interfaz gráfica que interactúa de manera auditiva simultáneamente. El tener una respuesta sonora les da una confirmación de la acción que intentan realizar, pudiendo navegar dentro del mapa y reconocer las figuras sin problemas. Por este motivo les atrajo el juego, opinando que es entretenido y desafiante.

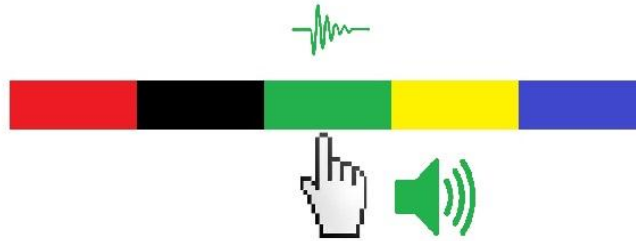
En general, el planteamiento inicial de elegir colores altamente diferenciales y un ambiente con elementos poco confundibles para facilitar la integración de niños con resto visual demostró ser válido. Mientras que estos elementos no afectan en lo más mínimo a niños sin resto visual, tienen los beneficios que facilitan el trabajo de desarrollo al tener una interfaz visual (en un principio se consideró no usar ninguna interfaz visual) y entregan herramientas adicionales a niños con resto visual.

## 6.1 Actividades

El desarrollo del proyecto se comenzó con la optimización de la herramienta de detección. Como se aclaró previamente, se diseñó una mecánica que permite asociar una reacción a un color, de manera que cada color tiene una vibración y un sonido particular asociado (Figura12: Ejemplo de Selección). De esta forma se crean dibujos que son comprensibles por medio del tacto y el oído.

---

<sup>28</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Baja\\_visión](http://es.wikipedia.org/wiki/Baja_visión)



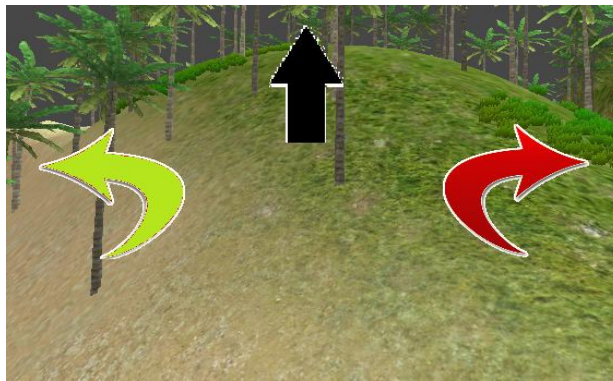
*Figura12: Ejemplo de Selección*

Al disponerse de esta herramienta se pueden crear las diferentes actividades que se plantean resolver.

## **6.2 Navegación**

Uno de los elementos más importantes en el juego es la facilidad con la que el niño puede orientarse dentro del mapa. La orientación espacial se expresa principalmente a través de dos elementos: Retroalimentación de las acciones del usuario y sonidos ambientales.

La retroalimentación de las acciones del usuario se refiere a todos los sonidos y/o reacciones que emite el juego en respuesta a un comando puntual del usuario. Estos se limitan más que nada a caminar y girar (Figura13: Ejemplo de Navegación). Los sonidos ambientales hacen referencia a los sonidos holofónicos que existen en el mapa que son capaces de orientar al niño para que encuentre los lugares a los que debe llegar.



*Figura13: Ejemplo de Navegación*

### **6.2.1 Evaluación de Navegación**

Uno de los primeros cambios que se implementaron consistió en integrar un sistema de rotación apto para las necesidades de los niños. Para esto se diseñó un mecanismo que emite un sonido particular cuando se está girando a la derecha y uno diferente cuando se está girando a la izquierda.

Junto con esto se eliminó la facultad de retroceder, ya que durante las pruebas se llegó a la conclusión que esto no facilitaba la navegación en ningún sentido y solo aportaba a que el niño tuviera más controles que lo confundían.

Las pruebas siguientes demostraron que estos cambios fueron suficientes para que el niño pudiera orientarse fácilmente y llegar a su objetivo con bastante facilidad. El tener los controles adecuados fue el primer paso para lograr una navegación sencilla.

A lo largo de las sesiones con los niños se recibió reiteradas veces el comentario que los sonidos son agradables. El hecho de tener que guiarse por sonidos vuelve el juego atractivo en general, incentivándolos a jugar, y al mismo tiempo los ayuda a movilizarse correctamente. La holofonía demostró ser eficiente en lo que respecta a la orientación del niño dentro de la isla.

El siguiente factor que presentó un problema fue el delimitar los límites de la isla y encontrar una manera de dar a entender que se encontraban en estos. La forma de solucionar esto consistió en detectar la altitud del personaje en todo momento, o sea, su posición en el eje Y. Como el mar es el punto más bajo del mapa al que el niño tiene acceso, se creó un script que constantemente revisa la posición del niño en el eje Y. Cuando encuentra que está en su punto más bajo (o “al nivel del mar”) simplemente cambia el sonido asociado a los pasos que da al avanzar (Figure 14: Fragmento del Script que asigna el sonido de los pasos).

```
6 | var tierra : AudioClip;
7 | var agua : AudioClip;

32 |     if (transform.position.y <= 8)
33 |         audio.clip = agua;
34 |     else
35 |         audio.clip = tierra;
```

Figure 14: Fragmento del Script que asigna el sonido de los pasos

Junto con esto se tuvo que enfrentar el problema de evitar que el personaje pudiera avanzar fuera de los límites establecidos de la isla. Para esto se tuvo que crear una mecánica que lograra que el usuario no pueda avanzar más allá de cierto punto. La primera mecánica que se estudió fue la de crear una superficie de movimiento. Si se establece una circunferencia sobre la isla donde el usuario es capaz de moverse, se soluciona este problema. Sin embargo, la forma de la isla es irregular y eso crea diferencias acerca de cuanto puede avanzar “en el mar” en distintas partes.

La otra alternativa que se estudió y finalmente se implementó fue la creación de un “muro de contención” a lo largo de la isla (Figura 15: Barreras de Contención **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Unity tiene la facultad de crear objetos “no rendereados” que son invisibles a efectos prácticos. De esta manera se puede crear un muro de múltiples barreras que intersectan entre sí, todas con un colisionador integrado. Un colisionador es un



elemento que hace que otros objetos no puedan cruzar a través de él, convirtiendo esta barrera en un muro de contención.



Figura 15: Barreras de Contención

### 6.3 Colisiones

A lo largo de la isla hay personajes que representan las diferentes actividades que se deben realizar. El niño debe encontrarlos basándose en los sonidos holofónicos que emiten al trabajar en las actividades de cada uno de estos. Cuando el jugador colisiona con uno de estos personajes gatilla una actividad del juego, donde la colisión se determina por un radio que puede ser aumentado o disminuido para encontrar el óptimo, facilitando el inicio de las actividades. El sistema está diseñado de tal forma que se puede asignar una actividad cualquiera a un personaje sin problema ya que se hace directamente desde la consola de Unity (Figura16: Configuración de escenas).

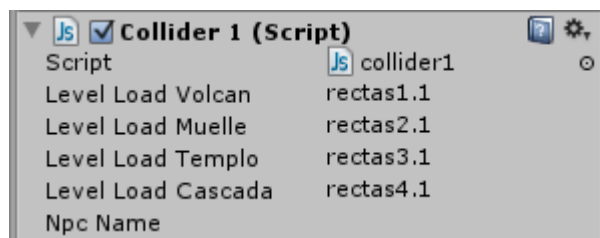


Figura16: Configuración de escenas

De esta manera se pueden asignar diferentes escenas a los personajes de manera dinámica, pudiendo cambiarse los problemas de forma sencilla en caso de haber cometido errores en la solución de ellos. Simultáneamente, se pueden determinar diversos niveles de dificultad donde solo cambian las escenas asignadas a cada personaje, teniendo todos los problemas almacenados y eligiendo los que corresponden al nivel seleccionado.

## 6.4 Dificultad

El tema de la dificultad se debió plantear en dos aspectos diferentes: la forma en que se aplican las diferencias de dificultades y el mecanismo con el cual se eligen.

### 6.4.1 Elección de dificultad

Unity funciona con escenas que no comparten información entre sí, además que cada vez que se invoca una escena nueva se destruye la anterior. Es por eso que no hay una forma trivial de mantener un nivel de dificultad establecido durante todo el juego a través de las diferentes escenas que se utilizan. Luego de una breve investigación se descubrió un mecanismo mediante el cual se pueden crear escenas o elementos de escenas que perduren en todo momento.

A través del comando “[DontDestroyOnLoad\(this\)](#)” Unity preserva el elemento asignado aunque se creen nuevas escenas. Si se le asigna a un script que contenga variables públicas<sup>29</sup>, estas se pueden almacenar desde un principio y modificar posteriormente. De esta manera la dificultad se establece en un principio y luego cualquier escena puede acceder a ella. Gracias a esto, a través de un menú sencillo se puede elegir la dificultad al inicio del juego y establecer posteriormente todos los parámetros pertinentes de manera fácil (Figura17: Elección de dificultad).

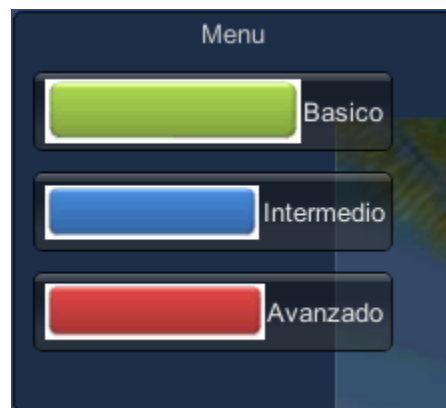


Figura17: Elección de dificultad

### 6.4.2 Alcance de la dificultad

El segundo elemento que se analizó fueron las partes del juego que se ven afectadas por el nivel de dificultad. La decisión fue si afectaba la navegación, las actividades o ambos.

---

<sup>29</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Variable\\_\(programación\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Variable_(programación))

El problema de elegir que la dificultad afecte la navegación radica en que genera mucho trabajo y posibles confusiones en el proceso de desarrollo y posible desarrollo posterior. Para hacer diferentes niveles de dificultad hay que crear diferentes islas, con sus respectivos sonidos y panoramas. Esto significa una cantidad de trabajo considerable en muchos aspectos, ya que además de la creación de este nuevo escenario hay que coordinar los traspasos de escenas entre múltiples mapas (Figura18: Manejo de escenas).

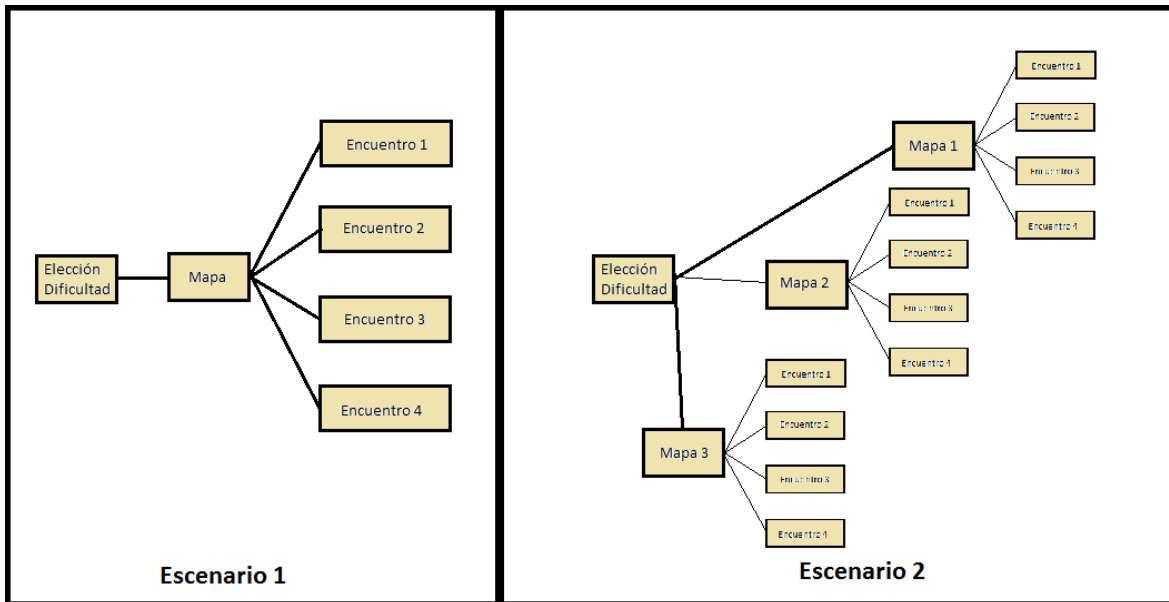


Figura18: Manejo de escenas

El Escenario 2 en la Figura18: Manejo de escenas presenta múltiples mapas y diferencias en cuanto a la navegación mientras que el Escenario 1 presenta un mapa único donde lo único que varían son las escenas. Como se puede ver, el manejo de escenas se complica mucho al crear diferentes mapas ya que se deben llamar más escenas, dando cabida a errores en el proceso. Por este motivo se optó por que la dificultad no afectase a la navegación.

En segundo lugar, luego de un tiempo los niños demostraron familiarización con el mapa, encontrando rápidamente los lugares y se les daba la oportunidad de explorar más. El crear diversos escenarios podría hacer que los niños pierdan el avance previo ya que deben acostumbrarse a un nuevo escenario.

Por esto se decidió que la dificultad del juego solo abarcara las actividades educativas.

### 6.5 Creación del mapa

En primer lugar se procedió a crear un contorno simple que no cumple con ninguna necesidad en particular. Se eligió una forma medianamente redonda para que el niño siempre se encuentre a una distancia razonable de los sonidos holofónicos, sin la posibilidad de perderse en zonas alejadas.

Como se explica en el capítulo 6.2 Navegación, los límites de la isla se delimitan por medio de una barrera invisible situada sobre el mar. El niño puede recorrer toda la isla y la superficie del mar hasta donde lo permiten las barreras.

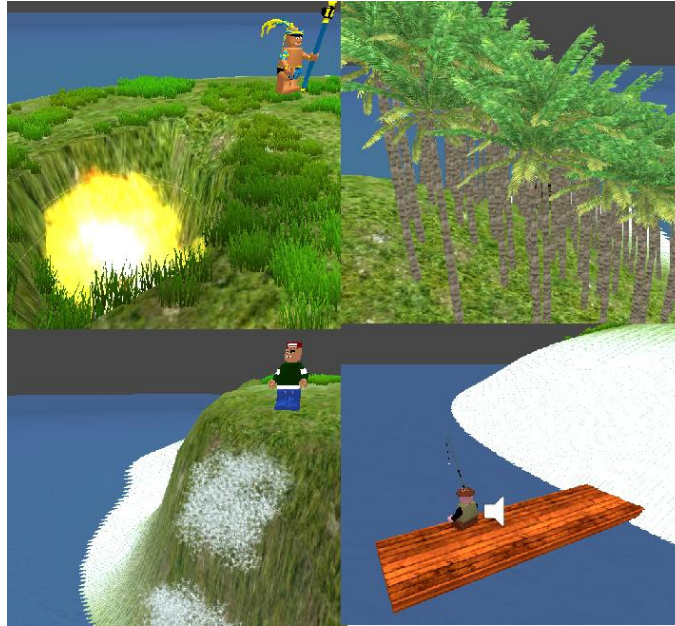
La isla tiene montañas que se extienden a lo largo de esta pero que no afectan la movilización del niño. El jugador ignora completamente el tipo de superficie en la que se encuentra y se mueve considerando que todo el terreno es plano. Además existen árboles, una cascada y pasto que no tienen colisión y el jugador no puede interactuar con ellos. El objetivo de estos elementos es decorar, pero también que un niño o niña con discapacidad visual los pueda usar como puntos de referencia para moverse. El alto contraste de colores entre el mar, el suelo, las montañas y los árboles son suficientes como para que un niño de baja visión logre diferenciarlos y ubicarse gracias a estos.

Se eligió una paleta de colores intentando mantener contrastes fuertes y no mezclar muchos colores en ninguna escena particular. El mar y la cascada son de color azul mientras que todos los elementos de la isla (árboles, pasto y suelo) son café o verde, diferenciándolos fácilmente (Figura 19: Modelo inicial de la isla).



*Figura 19: Modelo inicial de la isla*

La isla está dividida en cuatro “ecosistemas” diferentes de donde provienen los sonidos. Estos son: Muelle, bosque, cascada y pozo (Figura 20: Ecosistemas de la isla)



*Figura20: Ecosistemas de la isla*

A lo largo de la isla se encuentran repartidos cuatro personajes. Cada uno de ellos tiene asociada una actividad educativa que se gatilla como una escena aparte cuando el jugador colisiona con este. Luego que termina la actividad, el juego lo marca como completado, evitando que se vuelva a gatillar la escena cuando colisione nuevamente. Los personajes no respetan la homogeneidad de los colores para contrastar con el escenario y ser más fácilmente distinguibles.

Los personajes tienen un rol asociado y son: un hechicero, un pescador, un explorador y un guardabosque. Las actividades matemáticas de cada uno tienen que ver con su rol, ya sean contar, medir distancia, contar árboles o contar peces. El objetivo del jugador es ayudar a estos cuatro personajes en la tarea particular que presentan cumpliendo su rol como jefe de la isla.

Cada personaje se encuentra rodeado de un ambiente y sonido único que lo caracteriza para volverlos identificables (Figura21: Personajes de la isla). Los entornos de cada uno son:

- El hechicero se encuentra junto a una choza con un sonido de un caldero burbujeando.
- El explorador se encuentra junto a una cascada con un sonido de agua cayendo.
- El guardabosques se encuentra entre un grupo de árboles (sin colisión) con un sonido de aves cantando.
- El pescador se encuentra en un muelle junto al mar con un sonido de olas y tablas crujiendo.

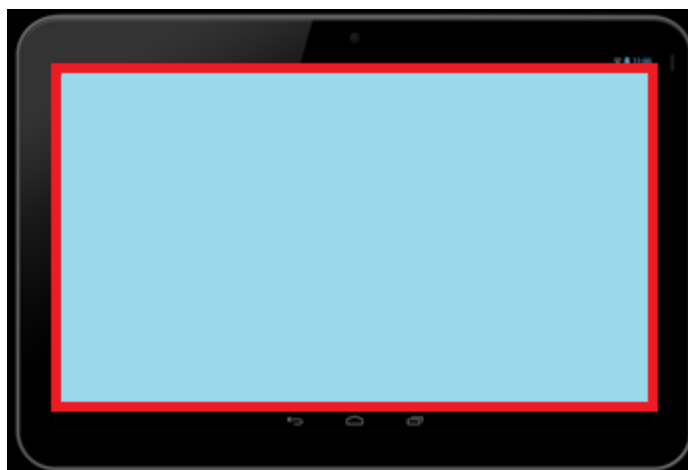


*Figura21: Personajes de la isla*

De esta manera todos los personajes son fácilmente identificables entre si y se pueden identificar sin problema por su sonido característico. El niño así puede recorrer toda la isla reconociendo los sonidos particulares de cada uno durante su exploración. A medida que los vaya encontrando, resolverá la actividad asociada a este y esta se desactivará. Simultáneamente, la intensidad del sonido disminuirá para que sea menos atractivo y priorice los otros personajes.

### **6.6 Área de detección**

El problema final que se encontró en las primeras sesiones usabilidades fue el de los límites de la superficie táctil. El tablet tiene una pantalla de vidrio que cubre la gran mayoría de su cara frontal. Sin embargo, la superficie de detección es ligeramente más pequeña que la pantalla de vidrio y tiene un área de “no detección” (Figura 22: Superficie de no detección (rojo)).



*Figura 22: Superficie de no detección (rojo)*

La dificultad de este problema radica en que el área de “no detección” es indistinguible al tacto del resto de la pantalla, por lo que los niños avanzan con el dedo hasta un punto donde el tablet deja de detectarlos. Esto se resolvió en gran medida con la retroalimentación auditiva a las acciones, ya que si el niño no escucha nada, es porque está haciendo un acción en el área de “no detección”.

Las soluciones que se plantearon a esto son las siguientes:

- Establecer una alarma de borde: Si se implementa una alarma que suene cada vez que el niño toca uno de los bordes para alertarlo que va a salir del área de detección, podrá prevenir esto. Sin embargo, es un conocimiento nuevo que se integra a la navegación que incluye un sonido extra que lo puede confundir. Como la retroalimentación tiene una gran integrante auditiva, implementar un mecanismo que genere alertas de sonido interfiere con las señales destinadas a orientar al niño.
- Establecer una barrera física: Si se pega una cinta que delimite los bordes o se hace un marco de papel que se pegue sobre el tablet se tiene una retroalimentación táctil fácil de detectar y que no requiere instrucciones para ser comprendido. Sin embargo esto oculta los botones propios de la interfaz del tablet (Los comandos para regresar y cerrar la aplicación por ejemplo) o deja uno de los bordes descubiertos (el inferior), lo que resuelve el problema de manera parcial. Simultáneamente, se requiere una modificación manual e individual para cada tablet que lo vuelve apto para el trabajo, dando cabida a posibles errores al quedar mal implementada esta solución.

En vista de las potenciales soluciones que se encontraron, se optó simplemente por no arreglar el problema en sí. Cada vez que un niño sale del área de detección sin notarlo dejará de oír los sonidos que le indican que está haciendo algún tipo de avance. Luego de unos cuantos intentos aprende que esto significa que debe volver al área de detección para poder continuar con el juego.

En las pruebas que se hicieron, se le dijo al niño que si deja de oír sonidos es porque estaba fuera del área de detección, lo que hizo que volviera desde esta hacia el centro de la pantalla.

## **6.7 Detección de figuras**

La detección de figuras se resolvió a lo largo de las sesiones de usabilidad. Se planteó en un principio que se debía analizar el grosor de las figuras y los bordes que las rodean. Sin embargo, a lo largo de las pruebas surgió un nuevo problema a resolver, la orientación.

### **6.7.1 Grosor de las figuras**

El problema principal en esta área fue encontrar un grosor adecuado en las figuras que permitiera a los niños comprenderlas fácilmente. El dilema planteado en un principio fue que si la línea a seguir es demasiado fina tendrían problemas para seguir las figuras ya que necesitarán movimientos muy precisos para seguirlas. Si las figuras son demasiado gruesas serán difíciles de distinguir y por tanto interpretar.

Para encontrar la solución óptima se hicieron sesiones de usabilidad con diferentes grosores de líneas (Figura 23: Prueba de grosor). Se estudiaron las reacciones del niño frente

a cada problema y luego se le preguntó qué mecanismo había sido el más sencillo para interpretar la figura.



*Figura 23: Prueba de grosor*

Como se supuso en un principio, los casos de bordes muy finos o muy gruesos no cumplieron satisfactoriamente su objetivo. Cuando las líneas eran muy delgadas (menos de 1 centímetro) les fue muy difícil seguir la línea satisfactoriamente y aún más comprender la figura que estaban tocando. Como el movimiento requerido para recorrer completamente el contorno es demasiado preciso, en reiteradas ocasiones se salió de la figura y no pudo reconocerla adecuadamente.

El escenario de una línea gruesa (más de 2 centímetros) presentó el problema que los niños no fueron capaces de reconocer la figura. A pesar que no tuvieron problemas siguiendo los contornos y se mantenían dentro de ella. Al ser una forma demasiado grande se dificulta el comprender su forma. Recorrer una figura grande con un solo dedo demostró ser sumamente ineficiente para reconocerla.

Por tanto, una figura muy pequeña es difícil de seguir y una muy grande es difícil de reconocer. Al usarse líneas medianas (entre 1 y 2 centímetros) el niño pudo recorrer la figura y reconocerla posteriormente.

Las hipótesis planteadas para las sesiones de usabilidad concuerdan con la opinión de los niños. Las líneas muy delgadas son difíciles de seguir y las líneas gruesas son difíciles de reconocer.

### **6.7.2 Bordes**

El segundo problema a resolver en esta categoría fue la separación entre las figuras. Se evaluó si el niño era capaz de comprender una figura que no tiene separaciones gráficas (y por consecuencia sonoras y de vibración) entre sus diferentes partes. Para esto se siguió la metodología del caso anterior y se le mostraron diferentes alternativas (Figura 24: Ejemplos de Figuras) para evaluar cuál es la que considera más simple para este caso.





*Figura 24: Ejemplos de Figuras*

Al tomar esta decisión hay que evaluar lo que se gana y se pierda en cada alternativa posible. Si se elige utilizar imágenes sin separación, la transición entre los colores es más clara, pero podría ocurrir que las ligeras gradientes entre colores generen errores de detección en el software, ya que la frontera en los colores tiende a generar colores híbridos entre ambos. A su vez, el utilizar separadores entre colores hace que se distinga claramente cada cuadro y color, sin embargo agrega una señal nueva (separación) que podría ser confusa a la hora de tener que interpretar la imagen.

En las pruebas con los niños se llegó a la conclusión que ambas alternativas son igualmente válidas. Las pruebas que se realizaron con ambos tipos de figura no presenta diferencias lo suficientemente relevantes en el funcionamiento como para que el niño pueda percibir las. La gradiente de colores y la separación con una línea responden de la misma manera, dejando de reaccionar en la intersección. Por tanto, en el aspecto técnico ambas son igualmente válidas.

El juego se les presentó a niños con visión disminuida pero no de manera total. Estos niños pueden distinguir formas y colores (dentro de ciertos rangos) y les es más fácil diferenciarlos si existe una separación clara. Por lo mismo se optó por elegir la alternativa de líneas negras separando las figuras, ya que es igual de práctica pero ayuda a niños con resto visual.

## **6.8 Actividades**

Las partes importantes a que se consideraron son la representación correcta de los problemas y el tipo de problema a seleccionar.

### **6.8.1 Representación de Partes y Todo**

En el Método de Barras para la Resolución de Problemas (MBRP) los primeros problemas que se enseñan son los de Partes y Todo, en los que la incógnita es una de las partes o el todo y las operaciones matemáticas involucradas en la solución de estos problemas son suma y resta. La representación pictórica debe mostrar la relación existente entre las partes y el todo e identificar la incógnita, para que a partir de esto se determine cómo se deben operar los datos disponibles para encontrar la incógnita. La representación pictórica o gráfica es de 2 tipos: Bloques (Figura 25: Ejemplos de Bloques), para niños de 2° básico, se usa para problemas que involucran números hasta el 10, esta representación es más cercana a lo

concreto, y barras que representan a cada parte(Figura 26: Ejemplos de Barras). Las representaciones de bloques y barras implementan corchetes para mostrar las cantidades (Figura 27: Ejemplos de Barras con corchetes).



Figura 25: Ejemplos de Bloques



Figura 26: Ejemplos de Barras

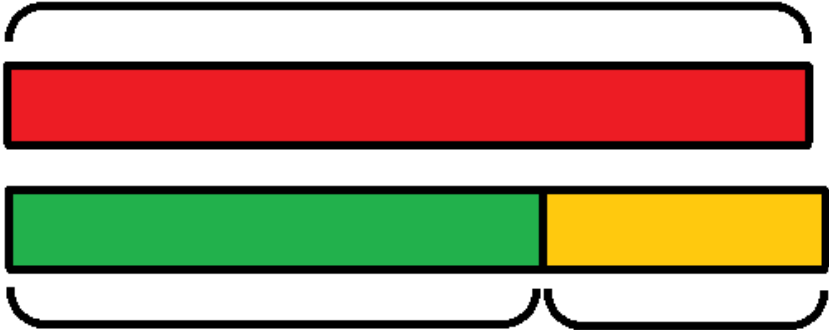


Figura 27: Ejemplos de Barras con corchetes

Cada una de estas representaciones ejemplifica el problema exponiendo los números a través de una representación pictográfica. La primera separa las barras en distintos bloques donde se pueden contar los elementos y así saber el valor total de la barra. La segunda representación muestra el largo total de una barra donde se puede estimar su valor midiéndola, con un apoyo auditivo que lee el valor. De esta manera se asocia el largo de una barra al número que tiene asignado.

La tercera alternativa usa una estructura diferente. Los corchetes son utilizados para mostrar el valor asignado a cada barra y las barras se usan solamente como representación visual.

Se deberá probar cuál es la metodología más óptima para dar a entender el valor de las barras y poder así representar el problema correctamente. Sin embargo, como estos modelos son de complejidad incremental, la solución que parece más válida sería utilizar una combinación de las 3.

La primera representación tiene la facultad de enseñar a los niños que las barras son un conjunto de elementos con un valor numérico asociado. La segunda representación muestra las barras como un todo que tienen un valor asociado a su largo. La tercera representación deja a los corchetes la tarea de mostrar el valor (auditivamente) y las barras solo se utilizan por su largo, como representación visual (o auditiva y táctil en este caso).

Por lo mismo se les puede enseñar a los niños cómo funciona el método de enseñanza usando las tres representaciones incrementalmente. A medida que aumenta la complejidad de las representaciones visuales el niño puede manejar conceptos más complicados y pasar fácilmente a la resolución de problemas.

### **6.8.2 Tipo de actividad**

Lo primero que se debe hacer es determinar la forma de los problemas que se representarán en el juego. Luego de consultar con el libro “TheSingaporeModelMethodforLearningMathematics” del Ministerio de Educación de Singapur, se determinó que el tipo de problema más óptimo para ser representado con esta mecánica es el de Parte y Todo (Figura 28: Problema de Parte y Todo).

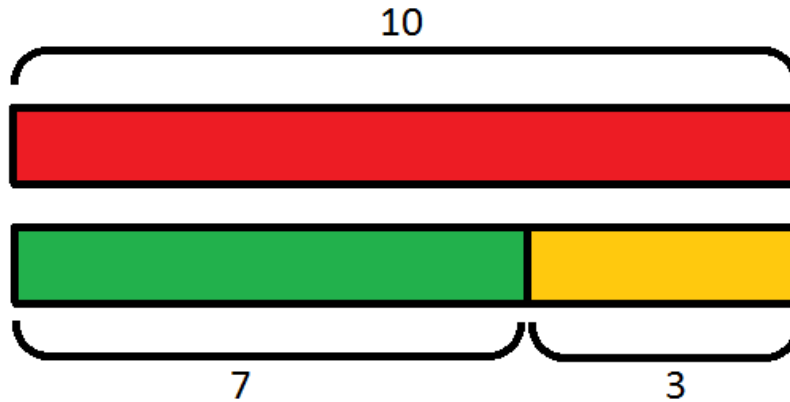


Figura 28: Problema de Parte y Todo

Este método consiste en mostrar una representación de un problema con barras y consultar por una barra en particular. Se conoce como problema de Partes y Todo porque se puede consultar por el valor de la barra superior (Todo) o por el valor de una de las barras inferiores (Parte) (Figura 29: Problema de Todo y Problema de Parte). La representación acompaña a un problema escrito (que en este caso será leído en voz alta) y cada barra representa un elemento del problema.

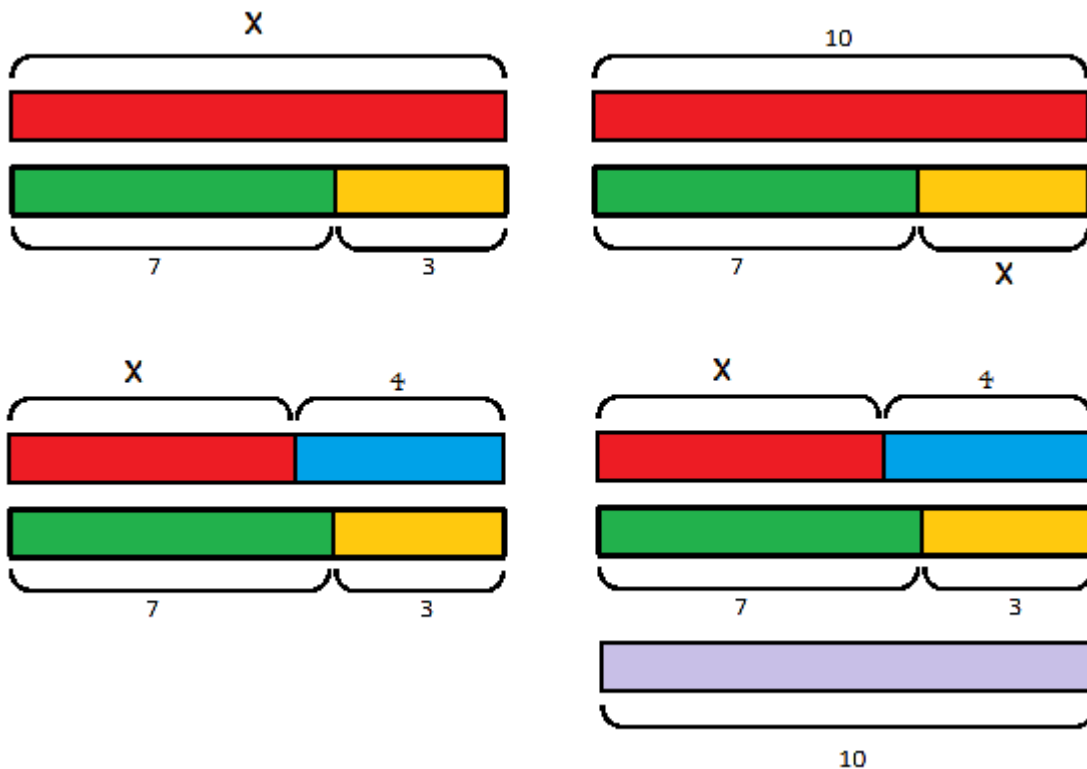


Figura 29: Problema de Todo y Problema de Parte

De esta manera, las actividades a realizar se hacen ejemplificando las diferentes preguntas que se pueden hacer, mostrando las diferentes partes, la pregunta y el proceso.

## 6.9 Prototipo final

El juego que se creó finalmente se inicia con la selección del grado de dificultad, donde se debe elegir entre los niveles disponibles (Figura30: Escena 1).

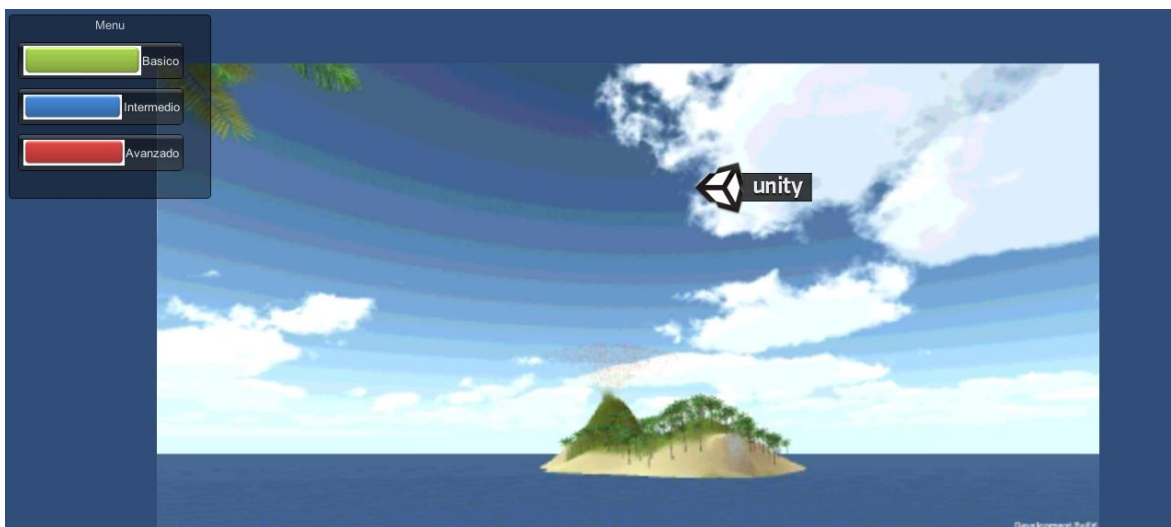


Figura30: Escena 1

Luego que se elige la dificultad del juego, este comienza inmediatamente. El jugador se encuentra en la isla, escuchando los sonidos de los diferentes personajes que se encuentran en esta. La imagen muestra la isla desde la perspectiva del jugador y se escuchan además los sonidos ambientales de la isla (Figura31: Escena 2).

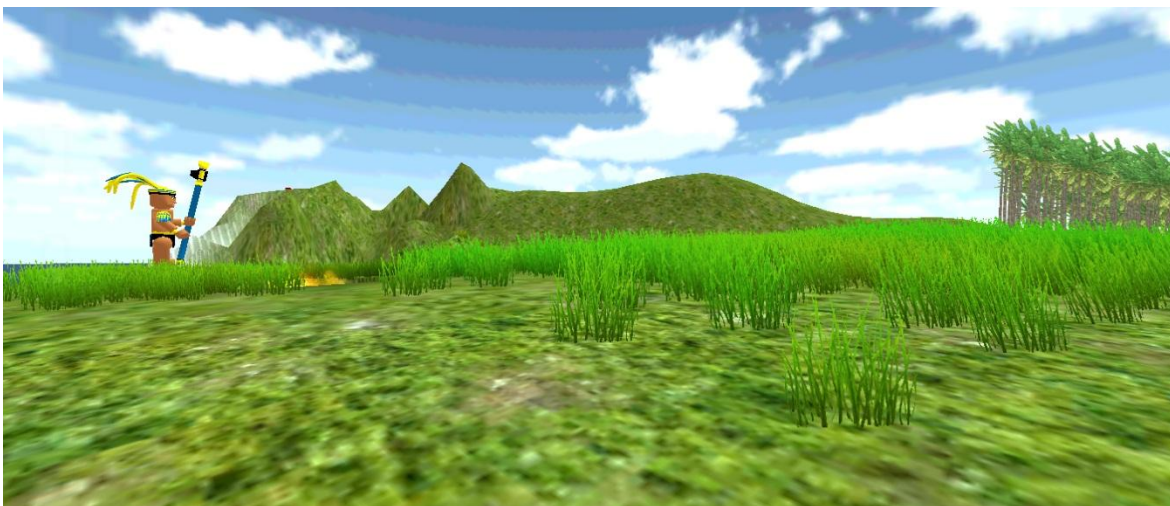
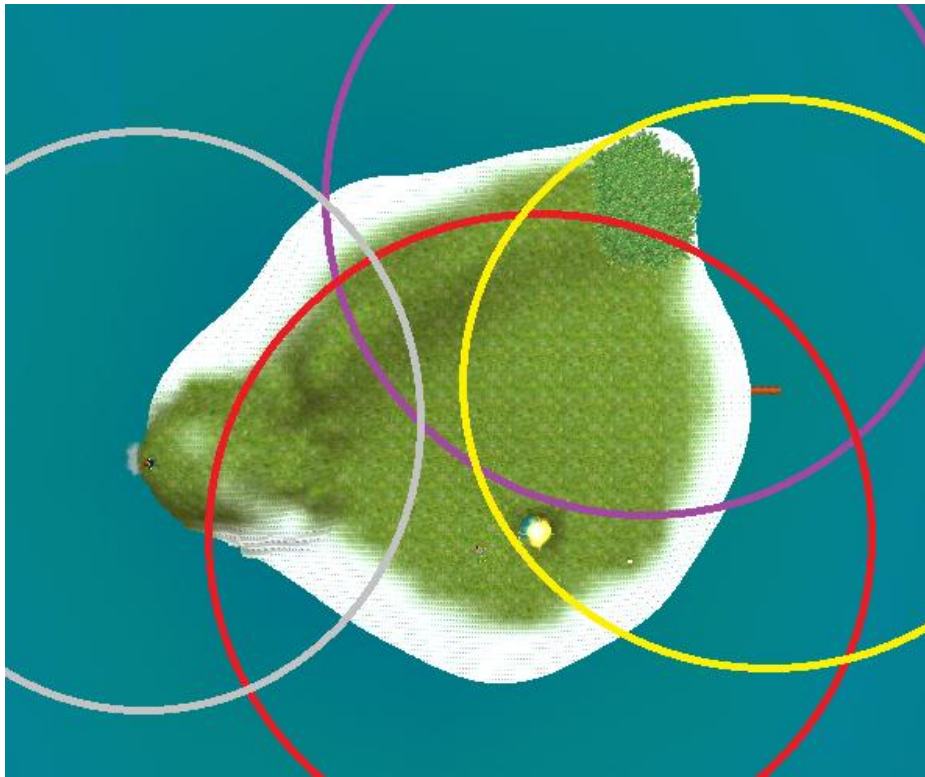


Figura31: Escena 2

El jugador navega a través de los comandos explicados anteriormente, moviéndose por la isla y explorando los diferentes sonidos que encuentra en esta. Cuando el jugador entra en el radio de un sonido holofónico, dicho sonido es audible, con una intensidad que varía de acuerdo a la distancia a la que se encuentra del origen. El volumen del sonido aumenta a medida que el jugador se acerca a la fuente de este. Simultáneamente, los parlantes varían la

intensidad del sonido en forma individual permitiendo al usuario detectar la posición de estos con respecto a si mismo. El área que afectan los sonidos se puede visualizar como un radio (Figura32: Radio de sonidos holofónicos).



*Figura32: Radio de sonidos holofónicos*

El jugador se mueve entre estas zonas, diferenciándolas y encontrando los personajes que están asociados a cada sonido. Al colisionar con un personaje, se da inicio a las actividades matemáticas. Cada actividad comienza con la lectura en voz alta del enunciado mientras se expone el problema.

El niño recorre la pantalla, identificando las diferentes partes de esta por medio de los patrones de vibración y audio asociados. Luego de que considera que puede seguir adelante, toca dos veces seguidas la pantalla y se continúa con la historia, volviendo a la isla y desactivando la colisión del personaje con el que interactuó. Cuando se completan todas las actividades, se reactivan todas las colisiones para seguir practicando.

## 7. Discusión final

### 7.1 Discusión de la plataforma háptica utilizada

Originalmente se indicaron las razones por las que se eligió el Tablet como el hardware a utilizar. Luego de haber creado el juego y hecho múltiples sesiones de usabilidad, es importante contrastar los supuestos planteados en un principio con lo encontrado en la experiencia.

La primera característica que se planteó al momento de considerar el dispositivo a utilizar fueron las facultades que posee para comunicarse con niños ciegos. El Tablet posee sonido estéreo y la capacidad de vibrar con múltiples patrones, además de ser un dispositivo que funciona de manera independiente, sin requerir monitores o interfaces hápticas adicionales.

Por medio del sonido y la vibración se planteó la creación de un canal de comunicación lo suficientemente complejo como para que el niño pudiera comprender todas las instrucciones necesarias y recibir la retroalimentación que le permitiría jugar. Las pruebas demostraron que efectivamente estos elementos son suficientes para permitir una comunicación clara. Los diferentes patrones de vibración son diferenciables por el niño, así como los canales de audio estéreo.

Gracias a estas dos herramientas se pudo crear una interfaz que el niño pudo explorar y controlar sin problema. Auditivamente se pudieron entregar las instrucciones además de los sonidos que sirven para orientarse y diferenciar objetos. Táctilmente, la vibración cumplió el objetivo de diferenciar múltiples “superficies” con diferentes patrones asociados.

Por lo que se concluye que los objetivos planteados acerca de la utilidad de un Tablet, se cumplieron. Sin embargo, durante el proceso se descubrieron diferentes características de un Tablet en este entorno, tanto positivas como negativas que se describen a continuación.

#### 7.1.1 Aspectos positivos

Como se planteó previamente, el Tablet cumple eficientemente todos los objetivos relacionados con los canales de comunicación. Pero además, durante las evaluaciones se encontraron muchas ventajas con respecto a otras herramientas similares.

El Tablet es una herramienta fácil de transportar y almacenar ya que no requiere dispositivos ni cables adicionales. Posee una batería que tiene autonomía de varias horas, además de poder cargarse en enchufes o puertos USB, por lo que no requiere baterías adicionales y siempre se puede cargar. Es compatible con audífonos de todo tipo (excepto los que utilizan entrada USB) lo que facilita enormemente la comprensión de los sonidos estéreo.

La gran mayoría de los dispositivos hápticos deben usarse en conjunto con otros elementos, cumpliendo la función de un accesorio y no de una interfaz completa. Todos los controles comunes (incluyendo el NovintFalcon) requieren un computador o una consola a la que transmitir la información. El Tablet en vez incluye todas las funcionalidades necesarias para funcionar eficientemente en proyectos como este.

Una de las principales características positivas del Tablet es su accesibilidad y simplicidad, ya que es bastante más económico que las herramientas especializadas e incluye todos los accesorios necesarios para tareas como esta. La adquisición de dispositivos equivalentes es más costosa y difícil de implementar, ya que el proceso de preparación en general es complejo y requiere modificaciones, mientras que el Tablet solo requiere que se cargue el programa y se ejecute.

El Tablet es una interfaz muy simple de utilizar y de aprendizaje rápido. Los niños no tuvieron problemas para aprender a utilizar el dispositivo con la retroalimentación adecuada.

Durante las sesiones de usabilidad se tuvo que trabajar con educadores, tanto del Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento como de los colegios visitados (Colegio HellenKeller<sup>30</sup> y colegio Santa Lucía<sup>31</sup>). Estas personas utilizaron el Tablet para explicarles a los niños su funcionamiento y guiarlos durante el proceso sin necesidad de gran ayuda.

La interfaz de un Tablet (en este caso particular el Tablet Samsung Galaxy Note 10.1) es bastante intuitiva, además de ser conocida por usuarios de dispositivos móviles Android<sup>32</sup>, tanto celulares como Tablets similares (aunque se utilizó un tablet Android en este escenario, es perfectamente viable replicar este juego en un tablet con sistema operativo IOS). Cuando se tuvo que explicar a educadores el manejo del Tablet y la navegación dentro del juego no tuvieron problemas para comprenderlo, por tratarse de una interfaz conocida y de herramientas con las que estaban bastante familiarizados.

### 7.1.2 Aspectos negativos

A pesar de todas las ventajas que presenta el Tablet, posee inconvenientes a la hora de utilizarse para proyectos como este. Uno de los principales es que la máquina está diseñada para funcionar principalmente a través de retroalimentación visual. El Tablet no posee botones (fuera de los de control de sonido y prendido/apagado) ni marcas que puedan ser reconocidas por tacto de ningún tipo. Se compone de una pantalla táctil que cubre prácticamente toda la superficie del dispositivo.

Este problema tiene como consecuencia que un niño ciego no puede diferenciar si está tomando el Tablet en la dirección correcta a menos que utilice los botones como referencia. Claramente el principal canal de comunicación del Tablet es la vista y usa los sonidos y la vibración como complementos. Al omitirse la representación visual se depende de canales de comunicación secundarios para transmitir toda la información.

El problema de los bordes que se planteó previamente es un ejemplo de estas limitantes. El Tablet está diseñado para ser utilizado por un usuario que sabe lo que está tocando y no que tantea la pantalla para recibir información. Los bordes tanto físicos como

---

<sup>30</sup><http://www.hellenkeller.cl/>

<sup>31</sup><http://www.santalucia.cl/>

<sup>32</sup>[es.wikipedia.org/wiki/Android](http://es.wikipedia.org/wiki/Android)



virtuales tienen botones y comandos que realizan acciones del sistema que el niño no debiese utilizar. Sin embargo, un niño puede tocar por error estos comandos y cerrar la aplicación o apagar el Tablet. No es posible cambiar el comportamiento de estos botones o desactivarlos, siendo una vulnerabilidad constante. Las zonas que debe evitar tocar son principalmente los controles propios del tablet (Figura33: Controles propios del Tablet).



Figura33: Controles propios del Tablet

Aparte que se le debe enseñar a un niño todas las acciones que no debe realizar para que funcione correctamente, es necesaria una ayuda para comenzar a usarse ya que no es de uso intuitivo. Las acciones y señales que se pueden asociar a cada acción deben explicarse previamente para comprenderse por no disponerse de comandos estándar, como apretar un botón por ejemplo. En resumen, se trata de una herramienta que no está diseñada para esta tarea, por lo que requiere cierta adaptación y condiciones para funcionar correctamente.

Finalmente, el Tablet es un dispositivo que funciona por sí solo, donde el usuario o desarrollador tiene una cantidad limitada de funciones a las que puede acceder. Como posee una arquitectura<sup>33</sup> interna propia, un desarrollador debe adecuarse a esta y utilizar las funciones o comportamientos ya integrados. La ventaja de esto es que incluye funcionalidades ya desarrolladas que no es necesario implementar y funcionan en perfecta armonía con la arquitectura del sistema.

Por tanto, acciones altamente especializadas (traspaso de información al equipo con protocolos especializados, encriptación de señales o manejo de los comandos inherentes de Android) son muy complejos de utilizar o, en algunos casos, inviables. Esto tiene el problema

<sup>33</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_architecture](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_architecture)

que limita el desarrollo a un grupo de acciones o complejiza ciertas decisiones simplemente porque operan de una forma muy opuesta a la arquitectura del sistema.

## 7.2 Navegación

Luego de que se implementaron todas las correcciones propuestas, se analizó el desempeño de los niños moviéndose sobre el mapa. Lo primero que se pudo apreciar fue la capacidad de aprendizaje de los niños, ya que lograban orientarse mejor y moverse más rápido tras cada sesión. Durante el período de juego, aprendían sobre el entorno en el que se encontraban y memorizaban los diferentes objetos que se encontraban en la isla, encontrándolos con más rapidez en la sesión siguiente.

Esto indica que a través del sonido, tanto de la retroalimentación de su movimiento como del que emiten los diferentes personajes de la isla, el niño logró orientarse y crear un mapa mental de la isla. Las referencias auditivas son lo suficientemente reconocibles como para asociarlas con un lugar e identificarlas en una sesión posterior.

Los sonidos holofónicos permiten una navegación fácil al tenerlos de referencia en todo momento y poder usarlos para determinar la dirección y la distancia del objeto que lo emite. Se pudo crear un mapa completamente navegable solamente utilizando sonidos como mecanismo de orientación.

La ambientación gráfica contribuye mucho a los niños que tienen visión parcial, pudiendo utilizar los diferentes elementos de la isla como referencia o simplemente disfrutando de la vista y entreteniéndose con lo que encuentran.

## 7.3 Sonido

En un principio se tuvo la duda del tipo de sonidos a utilizarse dentro del juego. Estos se usaron para identificar lugares, ambientar, dar retroalimentación de acciones e identificar problemas. Los sonidos ambientales y de identificación de lugares se eligieron intentando hacer que sean reconocibles y capaces de entregar la mayor cantidad de información posible al niño sobre el lugar donde se encuentran.

El primer elemento interesante que vale la pena destacar es que los sonidos elegidos y lo que el niño interpretó no necesariamente coinciden. Cuando se eligió un sonido de gaviotas para representar un muelle, en más de una ocasión los jugadores pensaron que estaban en un gallinero, porque les era más familiar. Lo mismo ocurrió con el sonido de un volcán donde los jugadores pensaron inicialmente que era un burbujeo.

De lo anterior, se comprendió que, si bien el sonido es crucial, no es crítico cuál sonido se elige, ya que el niño aprende a asociar un sonido a un lugar y a una acción, sin importar mucho el sonido en sí. En las primeras sesiones de usabilidad se usaron sonidos toscos que cumplían con la única función de ser diferenciables entre sí, que no estaban necesariamente relacionados con la realidad sonora de la experiencia cotidiana del niño, y los niños fueron capaces de asociar los sonidos a acciones y lugares.

En iteraciones posteriores se mejoraron estos sonidos, integrando algunos más claros, menos molestos y más fácilmente identificables con sonidos de la experiencia cotidiana de los niños. Los resultados de las evaluaciones fueron los mismos, con cambios muy sutiles. Esto apunta a que los sonidos son más importantes por estar asociado a una acción o lugar que por el significado del sonido en sí.

## 7.4 Actividades

Como se implementó una solución nueva, existía la incertidumbre si resultaría viable dadas las limitantes de los niños. Sin embargo, los resultados que se obtuvieron fueron prometedores.

La principal diferencia entre ambas escenas (Navegación y actividades) es la sensibilidad del juego. Durante la navegación el juego solo determina la dirección y la velocidad gracias a lo que el niño toca, sin importar realmente qué esté tocando. En los problemas, la velocidad y dirección del dedo del niño no produce ningún efecto, siendo importante únicamente el lugar donde el niño toca.

Esto produjo una demora en la adaptación a estas escenas ya que el niño intentaba controlarla como la escena anterior o replicar los comandos de navegación. Esos movimientos solo generan señales aleatorias en esta escena ya que el Tablet sigue la posición del dedo e intenta interpretarla.

El comportamiento que se repitió en esta ocasión fue que el niño recorrió la superficie táctil completamente, buscando seguir moviéndose, sin detenerse a interpretar los sonidos que obtenía al tocar ciertos lugares. Al no encontrar la retroalimentación que se obtiene en la navegación, el niño movía el dedo aún más rápido o intentaba tocar con un segundo dedo, obteniendo una retroalimentación aún peor.

Los niños con resto visual comprendieron inmediatamente que se encontraban en un tipo de escena diferente. Al notar esto, no intentaron replicar los comandos anteriores sino que exploraron los comandos propios de ese tipo de escena, no demorándose un tiempo adicional en este paso.

Al explicárseles detenidamente cómo se trabaja en este tipo de escenas, los niños pudieron comenzar a explorar el entorno y a obtener reacciones. Como cada color tiene asociado un patrón de vibración y un sonido único, pudieron distinguir los diferentes elementos que tenían frente a ellos.

En general los niños pudieron comprender la actividad que se les presentaba, diferenciando las partes y la información que se les proveyó. Sin embargo, el mecanismo de interacción es completamente innovador, por lo que el proceso de adaptación a este tipo de actividades es largo. La cantidad de elementos a los que se tuvieron que adaptar los niños fue sumamente alta (hardware, mecánicas, sonidos, etc.) por lo que necesitaron más de una sesión.

A pesar que los niños consideran que esta parte es más aburrida que la navegación por la isla, las actividades matemáticas son lo suficientemente desafiantes como para llamar su atención. En general los juegos educativos tienen este inconveniente, lo educativo es poco desafiante o estimulante, por lo que los niños lo consideran un obstáculo a la entretención que el juego puede entregar. Sin embargo, por el mecanismo mediante el cual los niños tienen que comprender las actividades, es lo suficientemente estimulante como para que los desafíe a completarlas.

Para ellos la experiencia de utilizar un juego nuevo y estimulante es tal, que se saltan las escenas educativas o las hacen con muy poca dedicación, simplemente preocupándose de llegar a la escena siguiente. En ese aspecto, las mecánicas de traducción de imagen a sonido y vibración que les llama la atención en gran medida. Por lo que consideran las actividades como parte del juego y no una pausa en la entretención.

Pero el juego cumplió el objetivo de presentar una actividad educativa que se explica mediante sonido y vibración. Los niños comprendieron el concepto que se les explicaba en conjunto con la representación pictográfica. Al preguntárseles por su opinión, la respuesta más común fue la de haber comprendido el problema y la utilidad del juego como herramienta educativa.

Sin embargo, durante las sesiones de trabajo se descubrió que esta herramienta calzaba bien con la metodología de enseñanza que se conoce como Flipped Classrooms<sup>34</sup> el que es un concepto educativo incipiente relacionado con la tecnología. El planteamiento inicial surgió por la poca cantidad de tiempo que los profesores les dedican a sus alumnos en las aulas. En vez de enfocarse en los problemas puntuales de cada uno, las metodologías de enseñanza tradicionales sitúan al profesor como la única fuente de enseñanza en una sala de clases.

Este nuevo modelo supone una estructura completamente diferente. En lugar de que los niños hagan tareas en sus casas (“homework”) y el aprendizaje en la escuela, todo el aprendizaje se hace en casa utilizando tecnología online. El modelo se basa en que los alumnos ven los videos disponibles de sus profesores en su casa, así como el material didáctico que publican. Esto permite que los niños aprendan a su ritmo, por ejemplo algunos niños requerirán ver el video muchas veces, para tener un dominio completo de lo enseñado, otros, lo podrán ver muy pocas o una vez. Esta metodología ha mostrado ser especialmente efectiva para los niños con más dificultades, porque además de poder repasar un video educativo varias veces, permite que el niño no se exponga frente a sus compañeros preguntando muchas veces aquello que no entiende, lo que a veces le genera vergüenza o daña su autoestima. Esta forma de enseñanza reserva el espacio y tiempo de la clase para resolver dudas, trabajos prácticos y afianzar el aprendizaje, generando espacios de experiencia educativa, en los que un número mayor de niños tiene dominio sobre lo enseñado, lo que permite lograr mayores niveles de abstracción en el aula.

---

<sup>34</sup><http://www.theflippedclassroom.es/>

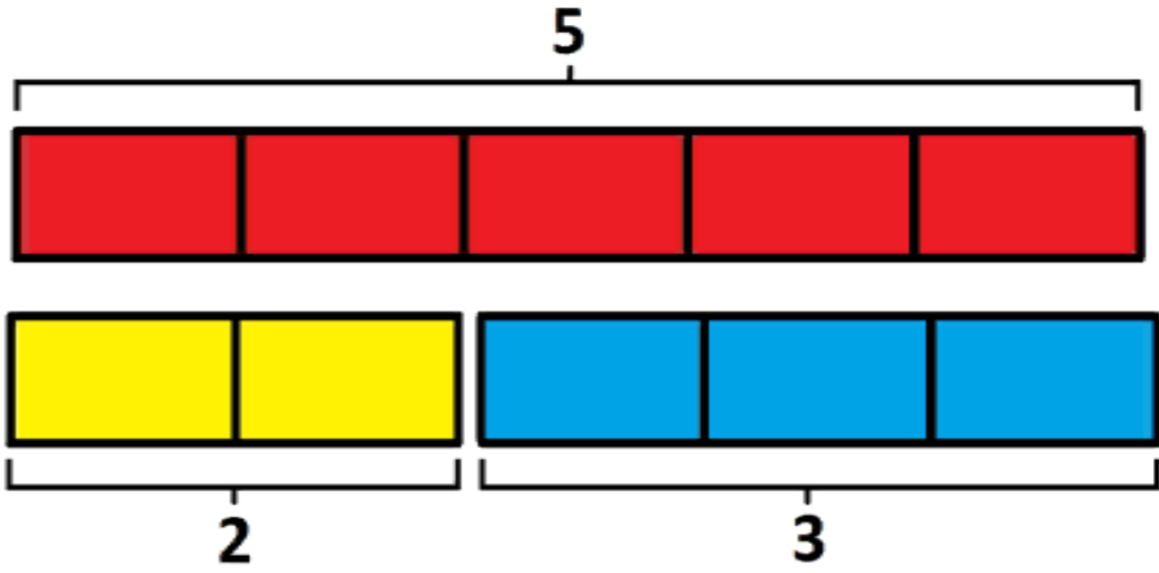
El trabajo que deben hacer en casa es ver videos educativos hechos por profesores o recomendados por estos y formar parte de debates online, chats y tutorías con el profesor. Todas las herramientas computacionales y móviles juegan un rol muy importante en esta metodología, ya que da acceso a los estudiantes a todo el material que necesitan para aprender.

De esta manera el profesor puede delegar la carga de enseñar a todo el curso y dedicar las clases a actividades interactivas (relacionales y colaborativas, laboratorio, prácticas, resolución de problemas, conversación, ejercicios, etc.) o a resolver dudas que hayan quedado.

Los beneficios que aporta es que la enseñanza se vuelve más personalizada y cada alumno puede adecuar el proceso a su propio ritmo viendo un video cuantas veces sea necesario (Freeman and Schiller, 2013). Además, los niños de hoy en día están acostumbrados a aprender por medio de videos y a discutir en línea (Tucker, 2012), por lo que se aprovechan las habilidades que ya tienen y se eliminan las barreras que impiden que los niños tímidos participen.

Esta herramienta puede ser usada de manera independiente al no requerir supervisión de un educador, siendo completamente compatible con el modelo. De esta manera, el jugador puede utilizarlo en su casa utilizando cualquier Tablet con sistema operativo Android (en las evaluaciones varios niños comentaron que tienen en sus casas un Tablet).

Los niños de esta forma pueden repasar contenido en sus casas o aprender materias completamente nuevas por su cuenta. De esta manera el trabajo de los educadores se aliviana, teniendo que preocuparse de resolver dudas y dirigir trabajo, en lugar de tener que dirigir el proceso de aprendizaje completo. Además, el niño puede repasar un ejemplo o asignatura tantas veces como sea necesario.



*Figura34: Ejemplo con ayuda visual*

## 8. Conclusiones

Los niños y niñas con discapacidad visual presentan mayores dificultades en el aprendizaje de las matemáticas que los demás estudiantes. Esto debido a que la enseñanza de esta disciplina en los primeros años de educación escolar se realiza utilizando el método COPISI (COncreto - Pictórico - Simbólico). Dicha metodología se desarrolla pasando del material concreto, a las representaciones pictóricas para finalizar en los conceptos abstractos.

Los niños y niñas con discapacidad visual se ven enfrentados a mayores desafíos educativos que aquellos con visión normal, en tanto que su discapacidad les impide utilizar herramientas gráficas o pictóricas de apoyo al aprendizaje. Para el caso específico de las matemáticas, no pueden acceder a material visual que facilita el aprendizaje de conceptos abstractos.

Una de las metodologías que ha demostrado mayor eficiencia en la enseñanza de resolución de problemas matemáticos es el MBRP, desarrollado por el Ministerio de Educación de Singapur. El uso de dicho método, ha logrado que los y las estudiantes de Singapur obtengan resultados sobresalientes en diferentes evaluaciones internacionales. Esta metodología plantea la enseñanza de las matemáticas mediante el proceso COPISI, que utiliza como una herramienta fundamental las representaciones pictóricas.

En esta memoria, se creó un juego educativo que se basa en el MBRP, traduciendo las representaciones pictóricas utilizadas por dicho método en estímulos auditivos y vibratorios. Dicho juego, ha sido diseñado para ser operado a través de un dispositivo háptico disponible en el mercado nacional, de fácil acceso y bajo costo. El uso de dicho dispositivo ha mostrado ser atractivo para estudiantes con discapacidad visual.

Para seleccionar el dispositivo háptico más apropiado se evaluaron las diferentes alternativas disponibles considerando: su accesibilidad en el mercado, flexibilidad estructural, funcionamiento independiente y la capacidad de emitir diferentes patrones de vibración y sonido estéreo. La interfaz elegida fue el tablet por su maleabilidad, compatibilidad con frameworks de desarrollo de juego, simplicidad y disponibilidad. El tablet que se utilizó fue el Samsung Galaxy Note 10.1, aunque se podría haber seleccionado cualquier tablet similar disponible en el mercado.

El framework que se utilizó para desarrollar dicho juego fue Unity- Esto debido a sus múltiples funcionalidades, su simplicidad de uso, su flexibilidad arquitectónica y su compatibilidad con las herramientas hápticas.

El juego diseñado crea el contexto de una isla que el niño o niña recorre orientándose mediante sonidos holofónicos. En dicho recorrido se transita por diferentes ambientes, y en cada uno de ellos se interactúa con un personaje característico. En cada ambiente, el niño o niña se enfrenta a diferentes situaciones de los personajes, que se representan utilizando el Método de Barras de resolución de problemas matemáticos. De esta forma, el juego enseña dicha metodología al usuario.

El niño o niña puede recorrer los ambientes de la isla en el orden que desee. Una vez que ha pasado por un ambiente, y se ha llevado a cabo la actividad, esta se desactiva. Todas las actividades se reactivan una vez que el niño o niña ha realizado el circuito completo.

El prototipo final del juego permite a los niños y niñas con discapacidad visual recorrer la isla y encontrar los diferentes ambientes en que se llevan a cabo las actividades. Asimismo, comprender la traducción a sonido y vibración de las representaciones pictóricas. Dicha traducción, entrega a los niños y niñas con discapacidad visual un apoyo al aprendizaje de conceptos matemáticos abstractos.

Adicionalmente, este juego podría adaptarse para funcionar como una herramienta evaluativa. Para ello, se debe implementar una funcionalidad mediante la cual el niño o niña puede ingresar una respuesta, por ejemplo, selección de alternativas múltiples.

La contribución de este juego, esta es, traducir representaciones pictóricas en sonidos y vibraciones, puede ser de utilidad para el aprendizaje de otros conceptos matemáticos y constructos abstractos en otras disciplinas.

Por ejemplo, para el caso de geometría, se pueden programar cambios en los patrones de sonido y vibración asociados a una forma, permitiendo crear una figura geométrica que sea percibida a través de estímulos táctiles y auditivos. Incluso, es posible hacer accesible a personas con discapacidad visual pinturas artísticas, asociando la paleta de colores a distintos patrones de vibración y sonido.

La disponibilidad de plataformas hápticas y el desarrollo de programas capaces de comunicar información gráfica a través de canales hápticos o auditivos, representa un avance en la integración de personas con discapacidad visual.

Futuras investigaciones deben evaluar la efectividad educativa de esta herramienta. Utilizando un grupo de control, se deben comparar los resultados en aprendizaje de resolución de problemas matemáticos en niños y niñas con discapacidades visuales que han ejercitado con la aplicación y aquellos que no han tenido acceso a ella. Ello permitiría optimizarla como herramienta de aprendizaje.



## 9. Glosario

<b>COPISI</b>	: Concreto – Pictórico – Simbólico
<b>MBRP</b>	: Método de Barras para la Resolución de Problemas
<b>C5</b>	: Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento
<b>MINEDUC</b>	: Ministerio de Educación de Chile
<b>SIMCE</b>	: Sistema de Medición de la Calidad de la Educación
<b>PISA</b>	: Program for International Student Assessment
<b>TIMSS</b>	: Trends in International Mathematics and Science Study
<b>OCDE</b>	: Organización para la Cooperación del Desarrollo Económico
<b>IEA</b>	: International Association for the Evaluation of Educational Achievement

## 10. Bibliografía

- 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: 70 <[http://educacion.once.es/appdocumentos/educa/prod/Necesidades\\_20y\\_20respuestas\\_20educativa.pdf](http://educacion.once.es/appdocumentos/educa/prod/Necesidades_20y_20respuestas_20educativa.pdf)> [consulta: 24 abril 2013].
- Barber y Mourshed. 2008. Cómo hicieron los sistemas educativos con mejor desempeño del mundo para alcanzar sus objetivos
- BOON, R., M. BURKE, C. FORE, and S. HAGAN-BURKE. 2006. Improving Student Content Knowledge in Inclusive Social Studies Classrooms Using Technology-Based Cognitive Organizers: A Systematic Replication *Learning Disabilities: A Contemporary Journal* 4: 1-17.
- Bruner, J. 1977. *The Process of Education*. Harvard University Press.
- EDWARDS, A., H. MCCARTNEY, and F. FOGAROLO. 2006. A multimodal approach to making mathematics accessible to blind students. The Eighth International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility, Portland, Oregon, USA: 48-54.
- FLORENTINO PINO, A. J. 2010. ENSEÑAR MATEMÁTICAS A DISMINUIDOS VISUALES. <http://www.csi-csif.es/Dep>. Legal: GR2922/2007, Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas.
- FREEMAN, C., and N. SCHILLER. 2013. Case Studies and the Flipped Classroom. *Journal of College Science Teaching* 42: 62-66.
- HELLER, M., and S. BALLESTEROS. 2012. Visually-impaired touch. *Scholarpedia* 7: 8240.
- HIDALGO, A. 2011. DIFICULTADES DE APRENDIZAJE EN EL ALUMNADO CON DÉFICIT VISUAL y CIEGO. Fundación ONCE para la Solidaridad con Personas Ciegas de América Latina. <http://www.foal.es>.
- MINEDUC. 2012. MATEMÁTICA: Programa de Estudio QUINTO BÁSICO Unidad Currículum y Evaluación, Evaluación Programa de Estudio de Matemática (Quinto Básico), Ministerio de Educación, Gobierno de Chile.
- Ministry of Education Singapore. 2009. *The Singapore Model Method for Learning Mathematics*. EPB Pan Pacific.
- PETRUCCI, R., and T. PUN. 2009. From Dots To Shapes, an auditory haptic game platform for teaching geometry to blind pupils. *Colección Digital Eudoxus* 1.
- PINELLE, D., N. WONG, and T. STACH. 2008. Heuristic Evaluation for Games: Usability Principles for Video Game Design. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Florence, Italy: 1453-1462.
- RESEARCH AND DEVELOPMENT INSTITUTE, I. 1997-2006. Project Math Access: Mathematics and the Blind Student 2013].
- ROUZIER, S., B. HENNION, T. P. SEGOVIA, and D. CHENE. 2004. Touching geometry for blind pupils. *Computers Helping People with Special Needs: Proceedings* 3118: 697-704.
- SANCHEZ, J. 2005a. Training blind children to develop mathematics skills through audio. *Cyberpsychology & Behavior* 8: 354-355.
- \_\_\_\_\_. 2005b. Developing Mathematics Skills through Audio Interfaces. Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction, HCI, Las Vegas, Nevada, USA: 1-10.
- SANCHEZ, J., and M. LUMBRERAS. 1999. Virtual Environment Interaction Through 3D Audio by Blind Children. *CyberPsychology & Behaviour* 2: 101-110.
- SANCHEZ, J., and L. JORQUERA. 2000. Interactive virtual environments for blind children: usability and cognition, V Congreso Iberoamericano de Informatica Educativa, Viña del Mar, Chile.
- SANCHEZ, J., and M. SAENZ. 2006. Three-dimensional virtual environments for blind children. *Cyberpsychology & Behavior* 9: 200-206.

- 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.
- 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 PartII (UAHCI'11), Constantine Stephanidis (Ed.), Vol. Part II. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 362-371.
- SHAFFER, D. W., K. D. SQUIRE, R. HALVERSON, and GEE J. P. , 104–111. 2005. Video games and the future of learning *Phi Delta Kappan* 87: 104-111.
- STEVENS, R. D., A. D. N. EDWARDS, and P. A. HARLING. 1997. Access to mathematics for visually disabled students through multimodal interaction. *Human-Computer Interaction* 12: 47-92.
- SÁNCHEZ, J., and M. SÁENZ. 2005. 3D sound interactive environments for blindchildren problem solving skills. Proceedings of the Seventh International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, Baltimore, Maryland, USA: 173-178.
- SÁNCHEZ, J., M. ESPINOZA, and J. GARRIDO. 2012. Modelo de videojuegos para mejorar habilidades matemático-geométricas en aprendices ciegos. XVII Congreso Internacional de Informática Educativa, TISE, Santiago, Chile: 97-104.
- 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>.
- TALBERT, R. 2012. Inverted Classroom, *Colleagues*, Article 7, <http://scholarworks.gvsu.edu/colleagues/vol9/iss1/7>.
- TORREGROSA, G., and H. QUESADA. 2007. COORDINACIÓN DE PROCESOS COGNITIVOS EN GEOMETRÍA. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa* 10: 275-300.
- TUCKER, B. 2012. The Flipped Classroom: Online instruction at home frees class time for learning. *Education Next*, <http://educationnext.org>.
- VILLARROEL, S., and N. SGRECCIA. 2011. Materiales didácticos concretos en Geometría en primer año de Secundaria. *Números: Revista Didáctica de las Matemáticas* 78: 73-94.
- 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-CREATE '09. ACM, New York, NY, 1-4.

## Anexo A

### Código

#### Footsteps

Footsteps es el código que genera el sonido de pasos, que funciona cada vez que el usuario avanza. También es el código que asigna el tipo de sonido de pasos de acuerdo a dónde se encuentra el usuario.

```
1 | pragma strict
2 | private var lastX : float;
3 | private var lastY : float;
4 | private var lastZ : float;
5 | private var i : int;
6 | var tierra : AudioClip; //Sonido de pasos en tierra
7 | var agua : AudioClip; //Sonido de pasos en agua
8 |
9 | function Start () {
10 |     lastX = transform.position.x;
11 |     lastY = transform.position.y;
12 |     lastZ = transform.position.z;
13 |     i = 0;
14 | }
15 |
16 | function Update () {
17 |     if(i == 5){ //Se revisa cada 5 ciclos para adecuarse a la velocidad de movimiento
18 |         if (lastX > transform.position.x + 0.05 || lastX < transform.position.x - 0.05 ||
19 |             lastY > transform.position.y + 0.05 || lastY < transform.position.y - 0.05 ||
20 |             lastZ > transform.position.z + 0.05 || lastZ < transform.position.z - 0.05){
21 |             //Se revisa si el usuario se movio en cualquier direccion
22 |             if(!audio.isPlaying)
23 |                 audio.Play(); //Si el usuario se movio y no estaba sonando el audio, reproduce el paso
24 |             }
25 |             else
26 |                 audio.Stop(); //Si el usuario se dejo de mover, detiene el sonido de pasos
27 |             lastX = transform.position.x;
28 |             lastY = transform.position.y;
29 |             lastZ = transform.position.z;
30 |             //Actualiza la posicion para comparar
31 |             i = 1;
32 |         }
33 |         else
34 |             i++;
35 |         if (transform.position.y <= 8) //Evalua si esta al nivel del mar y asigna el sonido de paso correspondiente
36 |             audio.clip = agua;
37 |         else
38 |             audio.clip = tierra;
39 |     }
```

## Pivot

El script pivot se divide en 2 scripts diferentes. Cada uno evalúa el pivoteo hacia una dirección y reproduce un sonido cuando lo hace. Se separó este script para facilitar la corrección de errores. Este script es el que genera un sonido cuando el usuario rota hacia la izquierda.

```
1  #pragma strict
2  private var lastY : float;
3  private var i : int;
4
5  function Start () {
6      lastY = transform.eulerAngles.y;    //Cambia la notacion a grados cartesianos
7      i = 0;
8  }
9
10 function Update () {
11     if(i == 5){
12         if (lastY < transform.eulerAngles.y - 1.5 && Mathf.Abs(lastY - transform.eulerAngles.y) < 300){
13             //Revisa si el si el usuario roto al menos 1.5 grados y agrega la excepcion que no este
14             //girando completamente
15             if(!audio.isPlaying)
16                 audio.Play();    //Si giro, reproduce el sonido
17         }
18         else
19             audio.Stop();
20         lastY = transform.eulerAngles.y;    //Actualiza los grados
21         i = 1;}
22     else
23         i++;
24     if (transform.eulerAngles.y == 0)    //Corrige para los casos borde
25         lastY = 0;
26     if (transform.eulerAngles.y == 360)
27         lastY = 360;
28 }
```

## Collider

Collider es el código que evalúa cuando el jugador colisiona con un objeto. Si el objeto con el que colisionó es uno de los personajes que estaba buscando, inicia la escena correspondiente al personaje.

```
2 | var levelLoad1 : String;
3 | var levelLoad2 : String;
4 | var levelLoad3 : String;
5 | var levelLoad4 : String;
6 | //Variables que contienen las escenas a las que pasa con cada colision
7 | var npcName : String;
8 | function Start () {
9 |
10 | }
11 |
12 | function Update () {
13 |
14 | }
15 |
16 | function OnTriggerEnter(theCollision : Collider)
17 | {
18 |     if(theCollision.gameObject.name != "Player"){
19 |         Debug.Log(theCollision.gameObject.name);
20 |         //Cada colision inicia una nueva escena
21 |         if(theCollision.gameObject.name == "Collider1")
22 |             Application.LoadLevel(levelLoad1);
23 |         if(theCollision.gameObject.name == "Collider2")
24 |             Application.LoadLevel(levelLoad2);
25 |         if(theCollision.gameObject.name == "Collider3")
26 |             Application.LoadLevel(levelLoadC3);
27 |         if(theCollision.gameObject.name == "Collider4")
28 |             Application.LoadLevel(levelLoad4);
29 |     }
30 | }
```

## Anexo B

Fecha	02-09-13			09-09-13		
Edad	13	12	11	10	12	
Género	M	M	M	M	F	
Resto visual	No	No	No	No	No	
Me gusta el juego	5	10	9	10	9	
El juego es entretenido	4	10	9	10	10	
El juego es desafiante	9	10	8	2	5	
El juego me hace estar activo	5	10	7	10	10	
Lo volvería a jugar	9	10	2	10	10	
Recomendaría el juego a otros	8	10	3	10	10	
Aprendí con este juego	7	10	9	1	7	
El juego tiene distintas dificultades	3	5	8	5	7	
Me sentí controlando el juego	4	5	5	9	10	
El juego es interactivo	1	10	5	1	5	
El juego es fácil de utilizar	7	10	5	10	10	
El juego es motivador	6	5	5	10	10	
El juego se adapta a mi ritmo	6	5	10	10	10	
El juego me permitió entender cosas nuevas	6	10	10	1	10	
Me gustan los sonidos del juego	6	10	10	4	10	
Los sonidos son identificables	7	10	10	9	10	
Los sonidos me transmiten información	10	1	10	5	10	
Las imágenes me transmiten información	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

¿Qué te gustó del juego?	-Sí, porque es entretenido. Desarrollo mi oído. -Si, es entretenido por los sonidos porque así sé lo que hay.
¿Qué no te gustó del juego?	-Que hay pocos sonidos. -La pantalla touch me confunde. -Que algunos sonidos no los entendí.
¿Qué agregarías al juego?	-Que hubiera un sonido siempre que uno toca la pantalla. -Sonidos siempre, sonido ininterrumpido. -Agregaría más sonidos a lugares.
¿Para qué podría servir el juego?	-Puede que me sirva para ir a clases. -Para ubicarme mejor en un lugar. Para aprender qué tengo en frente y a los lados.
¿Te gustó utilizar el Tablet?	-Ya sabía usar un Tablet, lo encontré fácil y entretenido. -Sí, porque nunca he usado una y no me dejar usar una en mi casa. -Si, es como la primera vez que uso la Tablet, es mejor para aprender, yo creo, que con botones.

Fecha	16-09-13			30-09-13		
Edad	13	17	10	13	13	
Género	F	M	M	M	M	
Resto visual	No	No	No	Si	No	
Me gusta el juego	5	10	6			
El juego es entretenido	1	10	8	5	9	
El juego es desafiante	1	9	6	5	9	
El juego me hace estar activo	5	5	5	7	5	
Lo volvería a jugar	5	10	9	4	9	
Recomendaría el juego a otros	9	9	7	8	10	
Aprendí con este juego	10	9	5	8	10	
El juego tiene distintas dificultades	5	5	7	5	9	
Me sentí controlando el juego	1	5	5	9	9	
El juego es interactivo	1	9	7	6	10	
El juego es fácil de utilizar	5	9	7	7	10	
El juego es motivador	10	10	6	5	9	
El juego se adapta a mi ritmo	10	5	6	5	9	
El juego me permitió entender cosas nuevas	5	9	8	5	6	
Me gustan los sonidos del juego	1	5	7	5	8	
Los sonidos son identificables	1	9	6	7	5	
Los sonidos me transmiten información	5	9	5	5	5	
Las imágenes me transmiten información	N/A	N/A	N/A	5	N/A	

¿Qué te gustó del juego?	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Que se mueve y los sonidos</li> <li>-Que es atractivo y entretenido</li> <li>-Los sonidos, la campana</li> <li>-Que hay que estar constantemente en movimiento para encontrar los lugares</li> </ul>
¿Qué no te gustó del juego?	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Que deja de funcionar</li> <li>-Se mueve muy lento</li> <li>-Faltan sonidos y entretenición</li> <li>-Pocos sonidos, no es tan fácil encontrar los lugares</li> </ul>
¿Qué agregarías al juego?	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Más cosas y sonidos, una casa o un colegio</li> <li>-Más sonidos y voces. Los sonidos de girar</li> <li>-Más sonidos y más dificultad</li> </ul>
¿Para qué podría servir el juego?	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Para orientación, saber dónde va y cerca de qué está</li> </ul>
¿Te gustó utilizar el Tablet?	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le llama la atención</li> <li>-Sí, es muy nuevo y da a conocer nuevas tecnologías.</li> <li>-Sí, porque puedo usar un dedo y jugar con las manos.</li> <li>-Si</li> </ul>



Fecha	09-10-13			09-09-13		
Edad	10	11	14	13	13	12
Género	M	M	M	M	F	M
Resto visual	No	Si	Si	Si	No	No
Me gusta el juego	1	5	10	10	5	6
El juego es entretenido	1	5	5	5	10	7
El juego es desafiante	10	4	3	4	10	6
El juego me hace estar activo	1	1	4	4	1	5
Lo volvería a jugar	1	10	10	10	5	5
Recomendaría el juego a otros	1	10	10	10	5	7
Aprendí con este juego	1	1	10	10	10	4
El juego tiene distintas dificultades	1	10	10	10	5	1
Me sentí controlando el juego	1	10	9	7	5	2
El juego es interactivo	1	10	7	9	5	3
El juego es fácil de utilizar	1	5	10	5	10	9
El juego es motivador	1	1	10	10	9	8
El juego se adapta a mi ritmo	1	10	10	10	7	6
El juego me permitió entender cosas nuevas	10	10	7	7	10	5
Me gustan los sonidos del juego	10	5	7	5	10	9
Los sonidos son identificables	10	10	10	10	5	10
Los sonidos me transmiten información	10	5	8	8	10	5
Las imágenes me transmiten información	N/A	10	10	10	N/A	N/A

¿Qué te gustó del juego?	-Quería buscar la isla -Se puede mover -Los sonidos
¿Qué no te gustó del juego?	-Lo educativo -Siempre que va caminando no dice a donde va -Que no funcionan ciertas cosas
¿Qué agregarías al juego?	-Que cambie el lugar, lo mismo que la vez anterior -Caer al mar
¿Para qué podría servir el juego?	-Para nada o para entretenerme
¿Te gustó utilizar el Tablet?	Es divertido usarlo.

Fecha	09-10-13			09-09-13		
Edad	11	15	13	14	10	13
Género	M	F	M	M	M	M
Resto visual	Si	No	No	No	No	Si
Me gusta el juego	7	10	9	9	7	5
El juego es entretenido	10	10	10	7	9	5
El juego es desafiante	6	2	5	10	5	10
El juego me hace estar activo	2	10	10	10	10	9
Lo volvería a jugar	10	10	10	10	10	7
Recomendaría el juego a otros	8	10	10	7	7	10
Aprendí con este juego	9	6	5	10	5	10
El juego tiene distintas dificultades	1	10	10	5	5	10
Me sentí controlando el juego	1	5	10	5	10	10
El juego es interactivo	1	5	5	10	10	1
El juego es fácil de utilizar	10	4	3	10	10	4
El juego es motivador	1	1	4	8	9	7
El juego se adapta a mi ritmo	10	10	6	5	9	10
El juego me permitió entender cosas nuevas	10	5	6	5	9	10
Me gustan los sonidos del juego	5	9	8	5	6	10
Los sonidos son identificables	9	9	3	10	10	7
Los sonidos me transmiten información	10	5	6	9	5	7
Las imágenes me transmiten información	10	N/A	N/A	N/A	N/A	9

¿Qué te gustó del juego?	-Los sonidos -Que me puedo mover solo -Los sonidos y el movimiento
¿Qué no te gustó del juego?	-Que no se puede nadar -Faltan enemigos -No siempre escucho todo
¿Qué agregarías al juego?	-Nadar -Más sonidos y lugares -Otros lugares
¿Para qué podría servir el juego?	-Para entretenerme y aprender
¿Te gustó utilizar el Tablet?	-Sí, porque en mi casa hay uno y este es diferente -Sí, porque lo puedo usar fácilmente -Me gustó usarlo