



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

**INTERFAZ MULTITÁCTIL CON RETROALIMENTACIÓN AUDITIVA PARA  
APRENDICES CON DISCAPACIDAD VISUAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

IVÁN ANTONIO GALAZ JERIA

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2011**



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

**INTERFAZ MULTITÁCTIL CON RETROALIMENTACIÓN AUDITIVA PARA  
APRENDICES CON DISCAPACIDAD VISUAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

IVÁN ANTONIO GALAZ JERIA

PROFESOR GUÍA  
JAIME HERNÁN SANCHEZ ILABACA

MIEMBROS DE LA COMISION  
NANCY HITSCHFELD KAHLER  
CESAR GUERRERO SALDIVIA

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2011**



# Resumen

---

La ciencia de la computación cada vez está más cerca de nosotros, presente en diversos dispositivos, desde el computador de escritorio hasta nuestro celular, incluso en el portaretratos. Una de las tecnologías con gran auge en el último tiempo ha sido la de dispositivos táctiles, plateando un nuevo paradigma de interacción de las personas con los computadores. Históricamente la computación ha sido una ciencia avocada a ayudar a las personas a resolver problemas o realizar tareas de manera más eficiente, en este contexto existen aplicaciones diseñadas para grupos de personas con cualidades especiales.

Esta memoria tuvo como objetivo diseñar, desarrollar y evaluar la usabilidad de una aplicación multitáctil, con retroalimentación acústica, para el aprendizaje de geometría de alumnas y alumnos ciegos. Como resultado se construyó GeoPRAC, una aplicación que dibuja figuras geométricas en una pantalla plana y en respuesta al estímulo generado por las usuarias y usuarios genera sonidos significativos, permitiéndoles reconocer las figuras.

Para establecer la utilidad real de la aplicación, y posibles proyecciones en el ámbito de la educación, se realizaron variadas evaluaciones de funcionalidad y usabilidad. La funcionalidad de la aplicación fue evaluada durante el desarrollo de la misma con el objetivo de asegurar que aquellas funciones críticas para el correcto funcionamiento de la aplicación estuvieran presentes. Por otra parte, la usabilidad fue evaluada desde el primer prototipo y hasta finalizar el proceso de desarrollo, tanto con usuarias expertas en educación diferencial, especialistas en ciegos, como por usuarias finales. Estas evaluaciones permitieron detectar tempranamente las deficiencias de la implementación dando lugar a las soluciones y consecuentemente mejorar la usabilidad.

Los resultados obtenidos muestran que GeoPRAC es una aplicación con el potencial para apoyar los procesos de aprendizaje en Geometría de alumnas y alumnos ciegos. No sólo por la funcionalidad sino por la motivación y entusiasmo del público objetivo.

# Agradecimientos

---

A mis padres Mané e Iván, quienes con su esfuerzo lograron darme la oportunidad de estudiar la carrera de mi elección. Quienes con su apoyo incondicional me acompañaron en esta senda.

A mi hermano, por acompañarme y ayudarme en tiempos difíciles.

A mi novia, Isabel, por su apoyo constante desde que llegó a mi vida.

Al todo el equipo de C5 por permitirme experimentar, crear y jugar. A Mauricio, Héctor, Marina, Natalia muchas gracias por su tiempo y dedicación. Gracias a JS por crear este espacio de arduo y recompensante trabajo con niñas y niños ciegos.

# Índice

---

Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Contextualización en Tecnología Táctil.....	1
1.1.1 Interacciones.....	2
1.1.2 Tipos de Implementaciones de Tecnologías Táctiles .....	3
1.2 Retroalimentación y Tecnologías Táctiles.....	10
1.3 Motivación .....	12
1.4 Fundamentación del problema.....	13
1.5 Objetivos .....	14
1.5.1 Objetivo General .....	14
1.5.2 Objetivos Específicos.....	14
1.6 Hipótesis.....	15
Capítulo 2: Revisión bibliográfica .....	16
2.1 Personas con Discapacidad Visual en el Mundo .....	16
2.2 Personas con Discapacidad Visual en Chile.....	17
2.3 Tecnologías de la Información en educación para las personas con discapacidad visual .....	17
Capítulo 3: Metodología.....	19
3.1 Diseño de interfaz .....	19
3.2 Desarrollo y evaluación de la aplicación .....	19
3.3 Limitaciones del proyecto.....	20
Capítulo 4: Diseño de GeoPRAC .....	21
4.1 Consideraciones Preliminares.....	21
4.2 Descripción General.....	22

4.2.1	Sonidos de Retroalimentación .....	24
4.2.2	Proceso de Reconocimiento .....	26
4.3	Modelo.....	27
4.4	Decisiones de diseño .....	29
Capítulo 5:	Desarrollo de GeoPRAC .....	35
5.1	Herramientas de desarrollo .....	35
5.1.1	Hardware.....	35
5.1.2	Software .....	36
5.2	Implementación .....	37
5.2.1	Patrones Utilizados .....	37
5.2.2	Cálculos Geométricos.....	39
Capítulo 6:	Evaluación de la Usabilidad .....	41
6.1	Introducción.....	41
6.2	Participantes.....	42
6.3	Instrumentos.....	42
6.4	Procedimiento .....	42
6.5	Resultados .....	46
6.6	Resultados de pauta de usabilidad con preguntas abiertas.....	48
Capítulo 7:	Conclusiones y Trabajo Futuro .....	50
7.1	Conclusiones.....	50
7.2	Trabajo Futuro.....	51
7.2.1	Implementación.....	52
7.2.2	Evolución.....	53
Referencias	.....	55
Anexos	.....	59
Anexo 1	.....	60



# Índice de Figuras

---

Figura 1. Ejemplo pantalla multitáctil.....	2
Figura 2. Interacción usando los dedos.....	2
Figura 3. Interacción utilizando dedos e instrumentos .....	2
Figura 4. Ilustración pantalla táctil vía infrarrojo .....	3
Figura 5. Ilustración pantalla táctil vía resistencia .....	4
Figura 6. Capas pantalla resistiva .....	5
Figura 7. Ilustración pantalla táctil vía Capacitancia .....	6
Figura 8. Ilustración pantalla táctil vía Imagen Óptima.....	7
Figura 9. Ilustración pantalla táctil vía Señal Dispersiva .....	8
Figura 10. Ilustración pantalla táctil vía Pulso Acústico.....	9
Figura 11. Figura referencia para el tutor .....	22
Figura 12. Imagen con el recorrido realizado .....	22
Figura 13. Círculo .....	23
Figura 14. Al tocar el achurado virtual, el dispositivo emite un Sonido de Cuerpo Sólido. 24	
Figura 15. Al tocar un borde virtual, el dispositivo emite un Sonido Perimetral....	24
Figura 16. Al tocar un vértice virtual, el dispositivo emite un Sonido de Vértice ..	25
Figura 17. Al tocar un vértice virtual, el dispositivo emite un Sonido de Vértice ..	25
Figura 18. Reconocimiento incremental multitáctil con retroalimentación acústica 26	
Figura 19. Modelo utilizado para el diseño de GeoPRAC .....	27
Figura 20. Flujo de GeoPRAC para un Tap.....	30
Figura 21. Flujo de GeoPRAC para el desplazamiento.....	31
Figura 22. Flujo de juego .....	32

Figura 23. Dispositivo, y adaptador para audífonos .....	35
Figura 24. Código con implementación AVAudioPlayer .....	36
Figura 25. Código con Implementación OpenAL .....	37
Figura 26. Diagrama de Clases para el Gestor de Sonidos usando OpenAL .....	37
Figura 27. Diagrama de Clases para Figuras .....	38
Figura 28. Detalle FigureProtocol .....	39
Figura 29. Reconocimiento del dispositivo .....	43
Figura 30. Aprendizaje de sonidos y su significado.....	44
Figura 31. Figuras prototipo 1 .....	44
Figura 32. Figuras prototipo 4.....	45
Figura 33. Reconociendo un vértice .....	45
Figura 34. Recorriendo un borde .....	46
Figura 35. Borde Delgado.....	47
Figura 36. Borde Grueso .....	47
Figura 37. Triángulo Isóceles.....	48
Figura 38. Triángulo Equilátero.....	48
Figura 39. Gráfico de resultados totales de la Evaluación de Usabilidad comparando dos prototipos .....	49
Figura 40. Gráfico de resultados totales de la Evaluación de Usabilidad.....	49
Figura 41. Deformación de los vértices .....	52
Figura 42. Variación en intensidad de SCS, disminuyendo desde el centro hacia el borde del cuerpo. ....	52

# Capítulo 1: Introducción

---

## 1.1 Contextualización en Tecnología Táctil

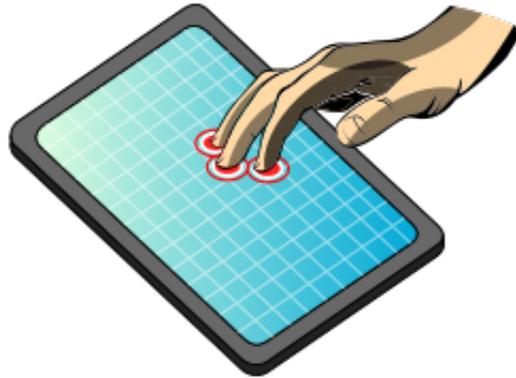
La tecnología ha intentado unir la funcionalidad y el desempeño, con las emociones y el contacto físico con el usuario y esa es la razón del gran éxito que tienen todos los dispositivos que impliquen un intercambio físico con quien lo utiliza. Tanto el teclado como el puntero, fueron, en su período, una revolución, ayudando a la interfaz humano computador, pero la tecnología ha ido avanzando, presentándonos un sistema de interacción mas moderna y eficaz, “La tecnología multitáctil”.

Esta es una tecnología que permite al usuario interactuar con un dispositivo independizándose de tanto de periféricos (teclado y puntero) como de botones embebidos en los dispositivos. Su utilización es a través de un toque directo sobre una superficie llamada pantalla táctil, que permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo.

La tecnología multitáctil tiene diversas formas de interacción, de acuerdo a sus diversas implementaciones.

### 1.1.1 Interacciones

La usuaria o usuario interactúa con un dispositivo utilizando varios puntos de interacción a la vez [Figura 1].



**Figura 1. Ejemplo pantalla multitáctil**

La interacción puede ser activada utilizando instrumentos, como lápices o punteros, o los dedos [Figura 2], o incluso una mezcla de ambos [Figura 3].



**Figura 2. Interacción usando los dedos**

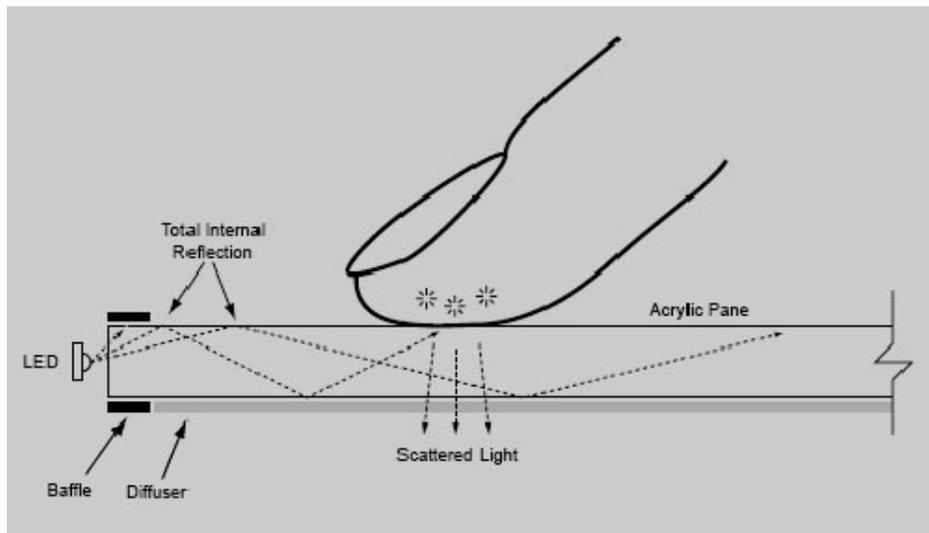


**Figura 3. Interacción utilizando dedos e instrumentos**

## 1.1.2 Tipos de Implementaciones de Tecnologías Táctiles

### 1.1.2.1 Utilización de Infrarrojo

En esta implementación se utilizan sensores para detectar los puntos de interacción utilizando el reflejo de luz emitidas por emisores infrarrojos [Figura 4].



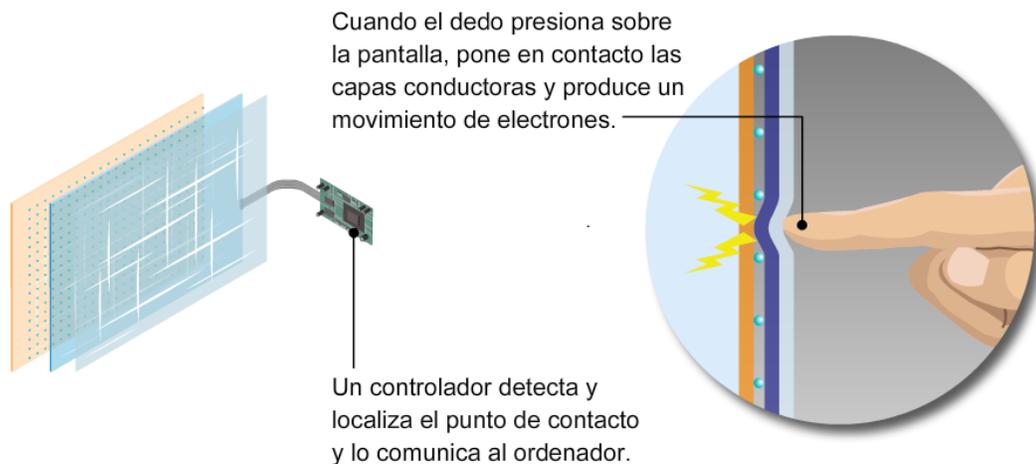
**Figura 4. Ilustración pantalla táctil vía infrarrojo**

Las pantallas táctiles que utilizan infrarrojos consisten en una matriz de sensores y emisores infrarrojos horizontales y verticales. En cada eje los receptores están en el lado opuesto a los emisores, de forma tal, que al tocar con un objeto la pantalla, se interrumpe en un haz infrarrojo vertical y otro horizontal, permitiendo de esta forma, localizar la posición exacta en que se realizó el contacto.

### 1.1.2.2 Utilización de Resistencia

Una pantalla táctil resistiva es aquella que está formada por varias capas y las más importantes son dos finas capas de material conductor<sup>1</sup> entre las que existe una pequeña separación [Figura 5].

Cuando algún objeto toca esta superficie de la capa exterior, las dos capas conductoras entran en contacto en un punto concreto y de esta forma se produce un cambio en la corriente eléctrica [Figura 5] que permite a un controlador, calcular la posición del punto en el que se ha tocado la pantalla, midiendo la resistencia. Existen, también, pantallas que pueden medir, aparte de las coordenadas del contacto, la presión que se ejerce sobre la misma.

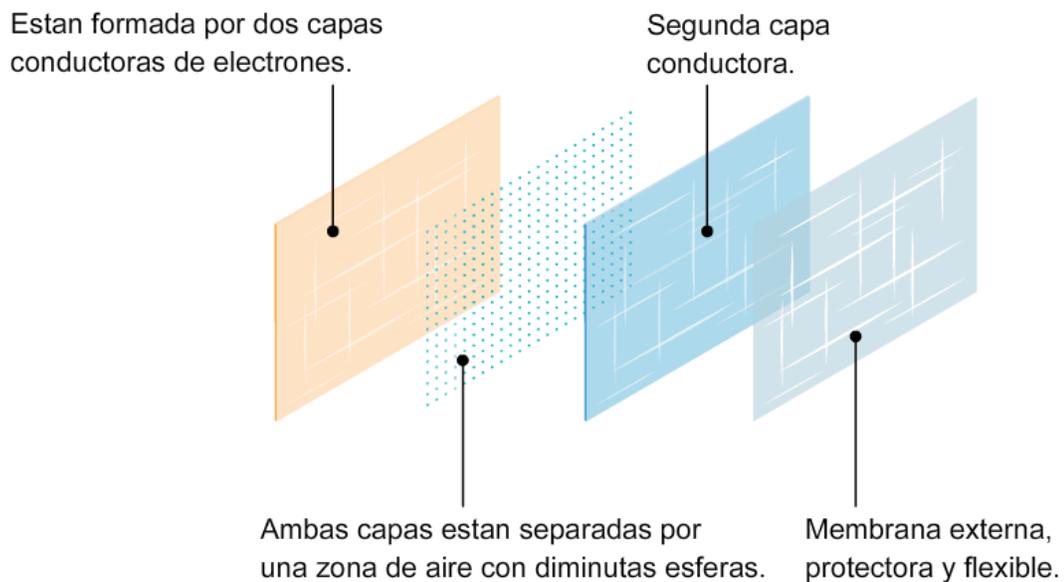


**Figura 5. Ilustración pantalla táctil vía resistencia**

---

<sup>1</sup> Un **conductor eléctrico** que es aquel cuerpo, que puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad, transmite ésta a todos los puntos de su superficie. Generalmente son, aleaciones o compuestos con electrones libres que permiten el movimiento de cargas.

Las pantallas táctiles resistivas son, por norma general, más accesibles pero tienen una pérdida de aproximadamente el 25% del brillo debido a las múltiples capas necesarias [Figura 6]. Otro inconveniente que tienen es que pueden ser dañadas por objetos afilados.



**Figura 6. Capas pantalla resistiva**

Por el contrario no se ven afectadas por elementos externos como el polvo o el agua, razón por la que son el tipo de pantallas táctiles más utilizadas en la actualidad.

### 1.1.2.3 Utilización de Capacitancia

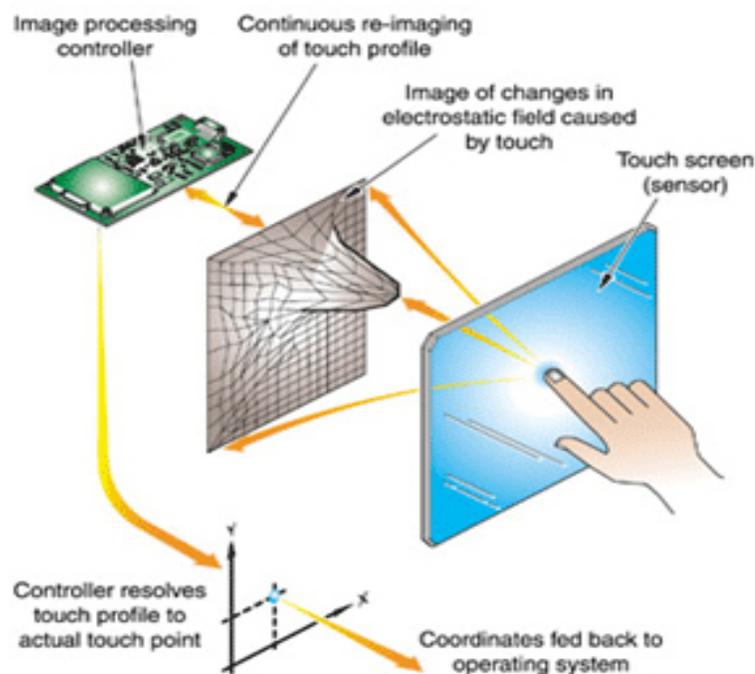
Una pantalla Táctil Capacitiva está cubierta con un material<sup>2</sup> que conduce una corriente eléctrica y continúa a través de un sensor. Este sensor[6] muestra un campo de

---

<sup>2</sup> Habitualmente estos materiales son el óxido de indio y el estaño

electrones controlado con precisión tanto en el eje vertical como horizontal y esto quiere decir que adquiere capacitancia<sup>3</sup>.

El cuerpo humano también se puede considerar un dispositivo eléctrico en cuyo interior hay electrones, por lo que también dispone de capacitancia y cuando el campo de capacitancia normal del sensor es alterado por otro campo de capacitancia, como puede ser el dedo de una persona, los circuitos electrónicos situados en cada esquina de la pantalla miden la 'distorsión' resultante en la onda senoidal característica del campo de referencia y envía la información acerca de este evento al controlador para su procesamiento matemático [Figura 7].



**Figura 7. Ilustración pantalla táctil vía Capacitancia**

---

<sup>3</sup> La capacidad o capacitancia eléctrica es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una unidad de la cantidad de energía eléctrica almacenada para un potencial eléctrico dado.

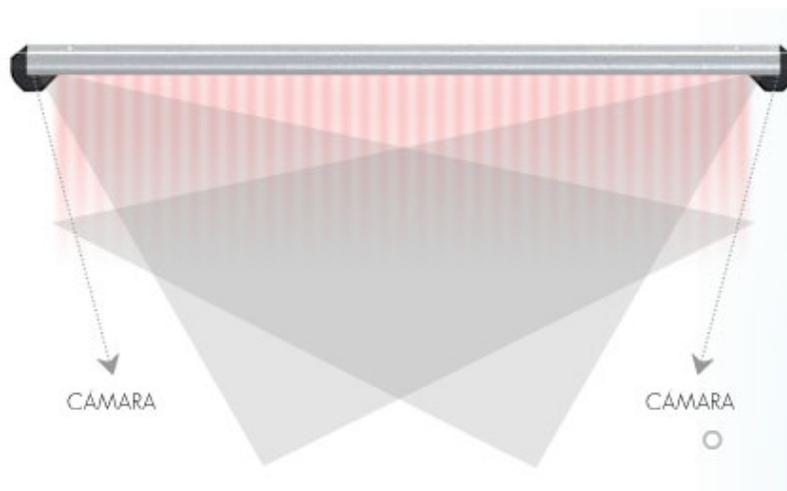
Los sensores capacitivos deben ser tocados con un dispositivo conductor en contacto directo con la mano o con un dedo, al contrario que las pantallas resistivas o de onda superficial en las que se puede utilizar cualquier objeto.

Las pantallas táctiles capacitivas no se ven afectadas por elementos externos y tienen una alta claridad.

La mayor ventaja que presentan sobre las pantallas resistivas es su alta sensibilidad y calidad

#### 1.1.2.4 Utilización de la Imagen Óptica

Es un desarrollo relativamente moderno en la tecnología de pantallas táctiles, donde dos o más sensores son situados alrededor de la pantalla, habitualmente en las esquinas [Figura 8]. Emisores de infrarrojos son situados en el campo de vista de la cámara en los otros lados de la pantalla. Un toque en la pantalla muestra una sombra de forma que cada par de cámaras puede triangulizarla, para localizar el punto de contacto.

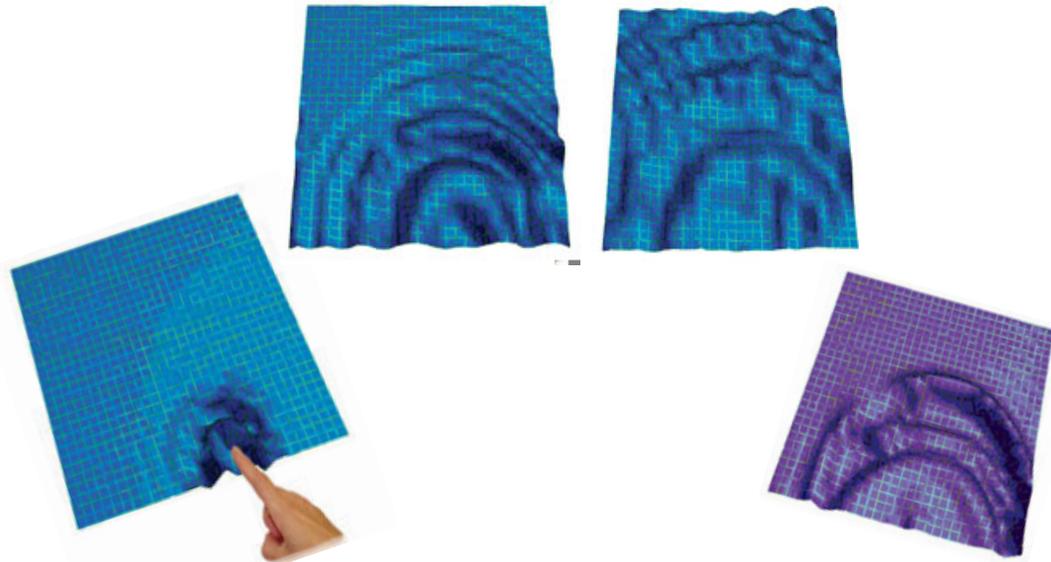


**Figura 8. Ilustración pantalla táctil vía Imagen Óptica**

Esta tecnología está ganando popularidad debido a su escalabilidad, versatilidad y asequibilidad, especialmente para pantallas de gran tamaño.

#### 1.1.2.5 Utilización de Señal Dispersiva

Este sistema utiliza sensores para detectar la energía mecánica producida en el cristal debido a un toque [Figura 9]. Unos algoritmos complejos se encargan de interpretar esta información para obtener el punto exacto del contacto.



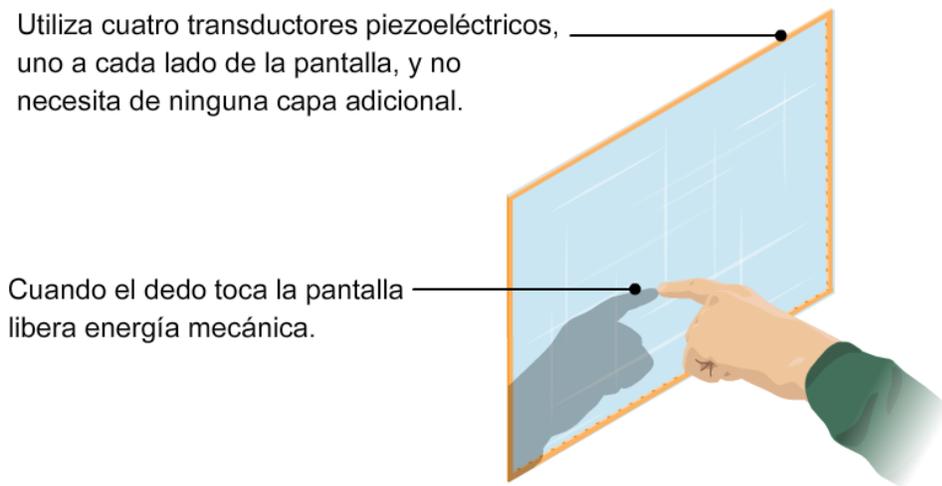
**Figura 9. Ilustración pantalla táctil vía Señal Dispersiva**

Esta tecnología es muy resistente al polvo y otros elementos externos, incluidos arañazos. Como no hay necesidad de elementos adicionales en la pantalla también proporciona unos excelentes niveles de claridad.

Por otro lado, como el contacto es detectado a través de vibraciones mecánicas, cualquier objeto puede ser utilizado para detectar estos eventos, incluyendo el dedo o uñas. Un efecto lateral negativo de esta tecnología, es que tras el contacto inicial, el sistema no es capaz de detectar un dedo u objeto que se encuentre detenido tocando la pantalla.

#### 1.1.2.6 Utilización de Pulso Acústico

Este sistema utiliza cuatro transductores piezoeléctricos<sup>4</sup>, situados a cada uno de los lados de la pantalla, para convertir la energía mecánica del contacto, en una señal electrónica. Esta señal es posteriormente convertida en una **onda de sonido**, la cual es comparada con el perfil de sonido preexistente para cada posición en la pantalla.



**Figura 10. Ilustración pantalla táctil vía Pulso Acústico**

Este sistema tiene la ventaja de que no necesita ninguna malla de cables sobre la pantalla y que la pantalla táctil es de hecho de cristal, proporcionando la óptica y la durabilidad del cristal con el que está fabricada.

---

<sup>4</sup> Un material piezoeléctrico es aquel que al ser sometido a tensiones mecánicas adquiere una polarización eléctrica, apareciendo una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

También presenta las ventajas de funcionar con arañazos y polvo sobre la pantalla, de tener unos altos niveles de precisión y de que no necesita ningún objeto especial para su utilización.

## 1.2 Retroalimentación y Tecnologías Táctiles

La retroalimentación es un elemento crucial en la interacción con un computador. Si nuestras interacciones con el computador no reciben una retroalimentación nos sentimos perdidos y rápidamente diagnosticamos un problema con la máquina. Imagínese escribiendo este texto, y que cada vez que presiona una tecla, en vez de aparecer el carácter en la pantalla de su computador, no se registre ningún cambio, ni un parpadeo, ni un cambio de posición, ¿cómo sabría si el computador ha recibido el mensaje de que usted ha presionado una tecla?, es muy probable que su diagnóstico sea “mi computador está lento”, pues estamos acostumbrados a que una vez presionada una tecla, el computador imprima el carácter correspondiente en la pantalla. Esto es lo que se denomina retroalimentación, que nuestras acciones tengan un efecto distinguible en el computador.

Ahora bien, la retroalimentación no sólo abarca el campo visual, también estamos acostumbrados a retroalimentaciones táctiles y acústicas: presionamos el teclado hasta que nuestro dedo no avanza más para marcar una letra o presionamos el mouse hasta que suena un “click”. Ésta última retroalimentación es ubícua pues si estamos acostumbrados a asociar el “hacer click” con presionar el mouse del computador, también al presionar el interruptor de luz sabemos que lo hemos accionado cuando escuchamos el sonido “click”.

En niños y niñas con discapacidad visual, el uso de retroalimentación auditiva ha probado ser una excelente herramienta para su aprendizaje. Así por ejemplo, el trabajo realizado con “La Granja de Theo y Seth” [19], aplicación desarrollada en el “Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento” (C5) del DCC de la Universidad de Chile, les permitió mejorar su aprendizaje de la aritmética. También ha

mostrado ser útil para aprender a desenvolverse su entorno, como lo realizado con AudioMetro [12],[15].

No obstante los trabajos realizados, en la actualidad alumnas y alumnos con discapacidad visual se enfrentan a un singular desafío en el campo de la educación, tanto en los mecanismos de enseñanza como en la medición de su aprendizaje. Por ejemplo, hasta el año 2009, la Prueba de Selección Universitaria (PSU) no contemplaba una versión para personas con discapacidad visual [30].

El año 2005, se inicia un proyecto de ley que viene a modificar la antigua Ley N°19.284 donde se “establecen normas para la plena integración social de personas con discapacidad”, ley que ya tenía 10 años de antigüedad y que era urgente de modificar por las diversas falencias que poseía esta Norma positiva.

En Febrero del año 2010, se redacta y publica la Ley 20.422, que viene a establecer nuevas y mejores normas para personas con discapacidad, lo que constituyó un avance significativo, proporcionando el derecho a la “Igualdad de Oportunidades” ya que esta Ley obliga a adoptar medidas de acción positiva orientadas a compensar las desventajas de una persona con discapacidad para participar plenamente en la vida, por ejemplo; educacional, señalando medidas de accesibilidad, ya que toda persona o institución, pública o privada, que ofreciera servicios educacionales, exigiendo la rendición de exámenes u otros requisitos análogos, debería realizar los ajustes necesarios para adecuar los mecanismos, procedimientos y prácticas de selección en todo cuanto se requiera, para resguardar la igualdad de oportunidades de las personas con discapacidad que participen en ellos.

Por lo tanto, entre otras materias, esta Ley, Obliga, al Ministerio de Educación, a realizar las adecuaciones y adaptaciones necesarias, para que las alumnas y alumnos, con necesidades especiales, puedan participar en las mediciones de la calidad de la educación. La participación que establece la ley se refiere a todos los niveles de la educación: parvularia, básica, media y superior.

Es por todo lo anteriormente señalado, que este trabajo de título, busca proveer una opción para la medición de la calidad de la educación y propone desarrollar una aplicación a través de la tecnología multitáctil y retroalimentación auditiva para trabajar los contenidos de geometría plana con alumnas y alumnos ciegos entre cuarto y sexto año de educación general básica, además de entregar una herramienta que va a permitir participar de los procesos de selección en el ámbito Matemático-Geométrico para una edad mas avanzada y en diversas pruebas de selección a las que deban enfrentarse los jóvenes.

### 1.3 Motivación

Cuando hablamos de medición del conocimiento, ésta se realiza a través de instrumentos escritos, tales como la PSU y la prueba SIMCE.

Lamentablemente estas herramientas no permiten una revisión de los conocimientos de los niños y jóvenes ciegos en igualdad de condiciones con niños o jóvenes videntes, lo que les impide un acceso más equitativo en el mundo.

Hoy, para trabajar con niños ciegos, se necesita recurrir a diferentes herramientas como son el Braille o el thermoform, sin embargo ellas presentan problemas de velocidad de lectura y diversidad de formas respectivamente.

Es por lo anterior, que se decide trabajar en un proyecto que presenta una alternativa de aprendizaje y de medición de conocimientos para alumnos ciegos, que en particular, se enfoca en el área de las figuras planas, tales como cuadrados, círculos y otros, que les entregue una mayor velocidad de lectura de problemas y mayor diversidad en los mismos.

## 1.4 Fundamentación del problema

El aprendizaje de geometría plana de alumnas y alumnos ciegos, durante la educación básica, requiere de trabajo con material concreto que les entregue una base real para reconocer diversas figuras geométricas como cuadrados, cubos, pirámides, círculos y circunferencias.

Este aprendizaje condiciona el reconocimiento de figuras geométricas a realizar un trabajo de reconocimiento táctil que permite comparar la figura a reconocer con el modelo mental generado durante el aprendizaje. El problema de este proceso de reconocimiento radica en la creación de las herramientas de medición de la calidad de la educación, pues para las representaciones se utilizan figuras en relieve en Thermoform [31], las que generalmente se realizan como conjuntos para un número mayor de alumnas(os), es decir, se fabrica un mismo conjunto de piezas para un grupo de alumnas(os) que deben compartir durante el proceso de medición, lo que va en desmedro de su desempeño.

Ante esta situación es preciso considerar la exploración de las tecnologías actuales desde un ángulo distinto al abordado normalmente en el ámbito de la enseñanza a alumnas y alumnos ciegos de manera tal de presentar opciones distintas a las actuales dando cabida de aplicaciones e implementaciones actualmente no propuestas. Esto porque actualmente se utilizan nuevas tecnologías para mejorar los procesos de creación de Thermoform o para la creación de nuevos dispositivos que permitan el uso del sistema Braille [37].

En un futuro próximo las interfaces multitáctiles se convertirán en una tecnología masiva, presente en una gran variedad de dispositivos, tales como teléfonos móviles, computadores portátiles y computadores personales, los cuales nos permitirán un acceso y manipulación de la información en forma muy diferente a la interfaz actual de teclado y puntero.

¿Será posible utilizar esta tecnología multitáctil para apoyar a personas con discapacidad visual en su desarrollo educacional?

¿Es posible integrar tecnología multitáctil como herramienta en el currículum de aprendices con discapacidad visual?

¿Pueden las alumnas y alumnos entre cuarto y sexto año de educación general básica reconocer figuras geométricas utilizando el sonido como retroalimentación a la interacción de sus dedos sobre una superficie lisa?

¿Es posible que estas alumnas y alumnos mejoren su aprendizaje de geometría utilizando esta tecnología?

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Diseñar, desarrollar y evaluar la usabilidad de una aplicación multitáctil, con retroalimentación acústica, para el aprendizaje de geometría de alumnas y alumnos ciegos, entre cuarto y sexto año de educación general básica.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos comprenden los siguientes:

Determinar los elementos necesarios que una aplicación multitáctil con retroalimentación acústica requiere para presentar contenido geométrico a alumnas y alumnos ciegos.

Diseñar y desarrollar una aplicación multitáctil para el aprendizaje de geometría de alumnas y alumnos ciegos.

Evaluar la usabilidad de la aplicación mediante pruebas con usuarias y usuarios expertos y finales.

Evaluar la herramienta como opción que permita a alumnas y alumnos ciegos participar en las mediciones de la calidad de la educación de la manera que comprende la ley 20.422.

## 1.6 Hipótesis

Las alumnas y alumnos ciegos pueden reconocer, consistentemente, figuras geométricas planas basados en retroalimentación auditiva utilizando sus dedos como guías.

## Capítulo 2: Revisión bibliográfica

---

### 2.1 Personas con Discapacidad Visual en el Mundo

Tanto la mujer como el hombre, basan una gran cantidad de acciones diarias en el sentido de la vista. Cada mañana seleccionan qué ropa vestir, cuando solicitar la parada del bus que les lleva al trabajo, en qué lugar del escritorio dejar el cuaderno. Un sin número de acciones que normalmente las realiza sin dedicar tiempo a analizar la importancia del sentido de la vista en estas tareas.

De acuerdo con la información que entrega la Organización Mundial de la Salud cerca de 45 millones de personas son ciegas y cerca de 150 millones presentan algún problema de visión [35]. Éste no es un porcentaje que se pueda despreciar, es importante trabajar para atender las necesidades especiales de estas personas.

## 2.2 Personas con Discapacidad Visual en Chile

El decreto N° 2505, de 1995, del Ministerio de Salud, establece que ciego legal son aquellas personas que sufren alguna discapacidad visual que disminuye "...en a lo menos un tercio la capacidad del sujeto para desarrollar actividades propias de una persona no discapacitada, en situación análoga de edad, sexo, formación, capacitación, condición social, familiar y localidad geográfica. Las deficiencias visuales y auditivas se ponderarán, considerando los remanentes del mejor ojo u oído corregido el defecto".

El primer estudio de la discapacidad, ENDISC 2004, muestra estadísticamente la baja inclusión de las personas ciegas al campo laboral [36].

De acuerdo a la encuesta CASEN del año 2006 las personas con ceguera alcanzaban 510.370 individuos, lo que representa aproximadamente el 45% del total de discapacitados [34]. Este mismo estudio muestra una baja permanencia en el sistema educacional, con el 43% de las personas con discapacidad que no ha completado su educación básica.

## 2.3 Tecnologías de la Información en educación para las personas con discapacidad visual

Considerando que el trabajo de este trabajo de título tiene dentro de sus objetivos proveer una opción para las herramientas de medición de la calidad de la educación, la revisión se ha centrado en la búsqueda de trabajos que permitan la visualización de nuevas herramientas. Así por ejemplo, en el ámbito de la prueba de Lenguaje, existe un trabajo que permite un acercamiento desde un nuevo ángulo: AudioCuentaCuentos (ACC) [1],[10]. ACC propone utilizar la tecnología Text-to-Speech [22] tanto para entregar el contenido a

usuarias y usuarios ciegos como para la evaluación de la comprensión lectora. Este trabajo se realizó con alumnas y alumnos de enseñanza básica mostrando la efectividad de la aplicación de este tipo de tecnologías.

En el área del aprendizaje las matemáticas, tanto aritmética como algebraica, existen trabajos como MathTalks [1] y AudioMath [2], capaces de presentar de manera auditiva elementos algebraicos, lo que permite a los usuarios con discapacidad visual interactuar con fórmulas y problemas aritméticos. Y por otra parte, el trabajo ya mencionado “La Granja de Theo y Seth” [19], diseñado para comprender la teoría de conjuntos.

En el área de la geometría existen trabajos basados en tecnología háptica [24] tales como “Touching geometry for visually impaired pupils” [8] que permite a un aprendiz con discapacidad visual interactuar con figuras geométricas virtuales a través de la retroalimentación física que provee la interfaz háptica.

## Capítulo 3: Metodología

---

### 3.1 Diseño de interfaz

En esta etapa se establece la forma en que la alumna o alumno interactúa con la aplicación.

Para interactuar se utiliza uno o más dedos, de una o ambas manos, hasta un máximo de 4, que se desplazan sobre la pantalla del dispositivo y que genera una respuesta auditiva del mismo.

### 3.2 Desarrollo y evaluación de la aplicación

Esta etapa comprendió la generación de prototipos funcionales cuya usabilidad fue evaluada por usuario expertos y finales, luego de las cuales se introdujeron modificaciones de acuerdo a las opiniones y observaciones extraídas de las mismas.

Para la evaluación de usabilidad se utilizó la Metodología de Estudio de Caso pues no es posible contar con un número elevado de usuarios. Por lo tanto, como no se tiene la opción de trabajar con amplias muestras y seguir un protocolo rígido de examinación, el método de estudio de caso involucra un análisis para cada uno de los participantes [32]. La gran ventaja de utilizar una metodología de estudio de caso es la de no requerir un mínimo de casos y la no necesaria selección de participantes de forma aleatoria [33]. Con esta metodología se logra obtener resultados de los casos que permiten contribuir a construir las conclusiones de este trabajo.

### 3.3 Limitaciones del proyecto

Desde el punto de vista del contenido educativo, el proyecto de investigación estará limitado a materias del área geometría comprendida entre cuarto y sexto año de educación general básica Chilena. Específicamente figuras elementales contenidas dentro del plano, en que la alumna o el alumno se enfrentan a identificar las figuras utilizando sus bordes y vértices.

En el ámbito técnico este proyecto no pretende abarcar todos los tipos de implementación multitáctil disponible en el mercado, sino demostrar la posible utilización de esta tecnología para el objetivo planteado. Por ello se utiliza la tecnología propuesta por la compañía Apple Inc. con su dispositivo iPhone y su sistema operativo iOS.

Por último en el ámbito funcional las instrucciones para utilizar GeoPRAC serán entregadas por una persona en el rol de tutor. También se contará con el tutor para realizar el cambio de una figura a otra y la evaluación del reconocimiento de las mismas.

## Capítulo 4: Diseño de GeoPRAC

---

### 4.1 Consideraciones Preliminares

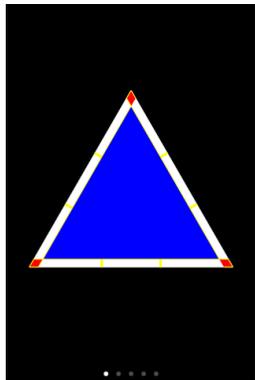
Con los trabajos realizados en C5 tales como AudioCuentaCuentos [1],[10] , AudioMetro [12],[15], AudioDoom [1],[14], AudioMath [14], La Granja de Theo y Seth [19], ha quedado demostrado que las personas ciegas son capaces de interactuar eficientemente con dispositivos móviles como PDA's, de identificar estructuras espaciales dentro de un ambiente virtual, y de desarrollar capacidades y habilidades en el área de la matemática. Son estos elementos los que permiten sentar una base para promover la utilización de la tecnología multitáctil y el sonido como herramientas dentro de la educación.

El diseño de la aplicación debe estar centrado en la usuaria o usuario [3], y trabajar directamente con ellas o ellos, toda vez que su percepción e interacción con el mundo es distinta de lo que estamos acostumbrados los videntes.

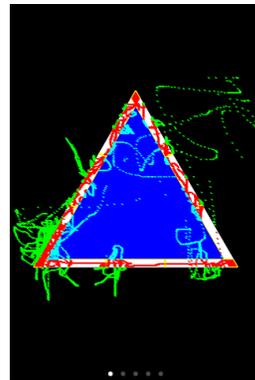
## 4.2 Descripción General

GeoPRAC (Geometría Plana con Retroalimentación Acústica para Ciegos) es una aplicación para iOS que permite a personas ciegas reconocer figuras planas utilizando diversos sonidos como medio de retroalimentación para el usuario.

GeoPRAC define zonas dentro de la pantalla de un dispositivo multitáctil y dibuja figuras geométricas planas que se correlacionan a las zonas definidas. Las figuras son utilizadas para ayudar a la persona en el rol de tutor a apoyar a la usuaria o usuario durante su interacción con la aplicación y para posterior a su uso evaluar los movimientos realizados durante el reconocimiento [Figura 11][Figura 12].



**Figura 11. Figura referencia para el tutor**

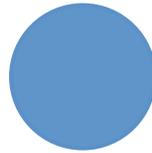


**Figura 12. Imagen con el recorrido realizado**

Las zonas definidas son las siguiente:

- Interior, equivalente al cuerpo de la figura
- Borde, equivalente a la separación entre la figura y el exterior
- Vértice, equivale a los puntos de intersección de dos lados de la figura
- Traste, son puntos, equidistantes, ubicados en cada borde de la figura

En este contexto se consideran figuras que incluyen los puntos del plano contenidos en su interior [Figura 13].



**Figura 13. Círculo**

En la pantalla del dispositivo se utiliza el tacto como guía para entregar retroalimentación acústica al usuario. Cada vez que el usuario toca un área de la pantalla que corresponde a una zona de la figura desplegada, el dispositivo emite un sonido.

El usuario debe ser entrenado en descifrar el significado de los diversos sonidos que se utilizan. Como en toda interfaz, cuando el usuario queda expuesto a ella, es necesario identificar los diversos mensajes que ésta envía como retroalimentación a cada acción del usuario.

Es en el contexto de la retroalimentación que el usuario debe aprender a reconocer el Sonido de Cuerpo Sólido (SCS), el Sonido Perimetral (SP), el Sonido de Vértice (SV) y el Sonido de Traste (ST).

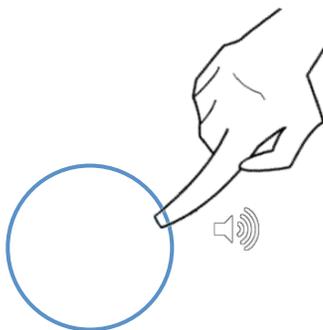
#### 4.2.1 Sonidos de Retroalimentación

Se define el Sonido de Cuerpo Sólido como el equivalente acústico del achurado con que se identifica los puntos del plano al interior de una figura sólida [Figura 13, Figura 14].



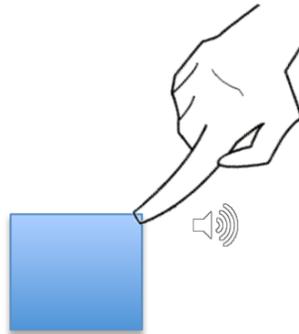
**Figura 14.** Al tocar el achurado virtual, el dispositivo emite un Sonido de Cuerpo Sólido.

Por otra parte se define el Sonido Perimetral como aquel equivalente acústico a la línea que separa el plano en interior y exterior respecto de la figura [Figura 15].



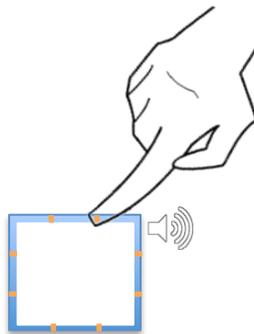
**Figura 15.** Al tocar un borde virtual, el dispositivo emite un Sonido Perimetral

Se define el Sonido de Vertice como aquel equivalente acústico al punto en común entre dos lados consecutivos de una figura geométrica [27] [Figura 16].



**Figura 16.** Al tocar un vértice virtual, el dispositivo emite un Sonido de Vértice

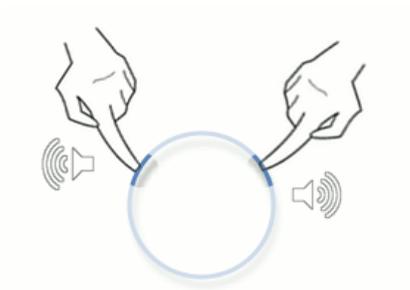
Por último se define un Sonido de Traste al que reproduce el dispositivo cuando la usuaria o usuario se desplaza a través de un borde y equivale a la representación acústica de la distancia recorrida en un borde. Un borde se divide en  $n$  partes, lo que genera  $n-1$  trastes por los cuales al pasar el dedo de la usuaria o usuario se alerta al usuario con un ST. En el dispositivo iPhone, dado el tamaño de la pantalla, el borde se divide en 3 partes, por lo que existen 2 trastes.



**Figura 17.** Al tocar un vértice virtual, el dispositivo emite un Sonido de Vértice

## 4.2.2 Proceso de Reconocimiento

El proceso de reconocimiento de las zonas para los diversos lugares geométricos que incluyen los puntos del plano encerrados en su perímetro se basa en realizar toques sobre el dispositivo [Figura 18], el cual reproduce un SCS cuando la usuaria o usuario toque sobre la zona definida como el interior de la figura, un SP cuando la usuaria o usuario toque sobre la zona definida como el borde de la figura, un SV cuando la usuaria o usuario toque sobre la zona definida como un vértice y un ST cuando la usuaria o usuario toque sobre la zona definida como un traste.



**Figura 18. Reconocimiento incremental multitáctil con retroalimentación acústica**

### 4.3 Modelo

Para el diseño e implementación de GeoPRAC se utilizó el modelo de aplicaciones móviles, el cual cuenta con los siguientes componentes [17],[18]:

#### Modelamiento

Esta componente corresponde a la representación del ambiente en que la aplicación representa para el usuario. En este caso el sistema no incluye a la usuaria o usuario dentro del ambiente, sino como un espectador externo. Dentro del ambiente se confina la representación de las figuras geométricas. Los sonidos serán las marcas que se utilizan para identificar zonas dentro del ambiente representado.

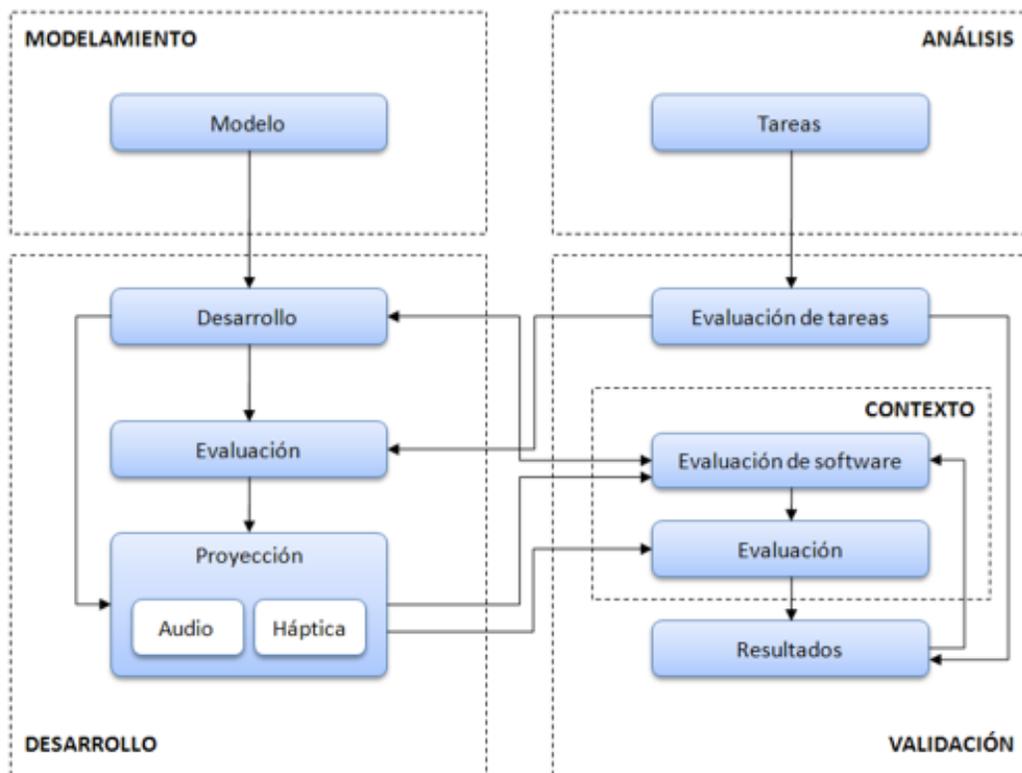


Figura 19. Modelo utilizado para el diseño de GeoPRAC

## **Desarrollo**

---

El proceso de desarrollo de la aplicación consiste en ciclos cortos orientados a generar funcionalidades críticas que busquen dar solución a los objetivos planteados. Por ello se implementan las funciones a cargo de gestionar los diversos eventos generados por la interacción de la usuaria o usuario con el sistema a través de los toques sobre la pantalla del dispositivo, a la par de lo anterior se desarrolla el mecanismo de creación de zonas y representaciones gráficas para las figuras geométricas, luego se centra en desarrollar la retroalimentación a través de la implementación del sistema de reproducción de sonido y finalmente enlazar los eventos lanzados por el hardware a la reproducción del sonido asociado al área sobre la que la usuaria o usuario tocó.

## **Análisis**

---

Esta aplicación debe ser analizada en su uso, y para ello se debe diseñar tareas específicas para estudiar la efectividad de la aplicación. Para evaluar la usabilidad de GeoPRAC, la tarea consistió en reconocer figuras sin más información que la que entrega la aplicación.

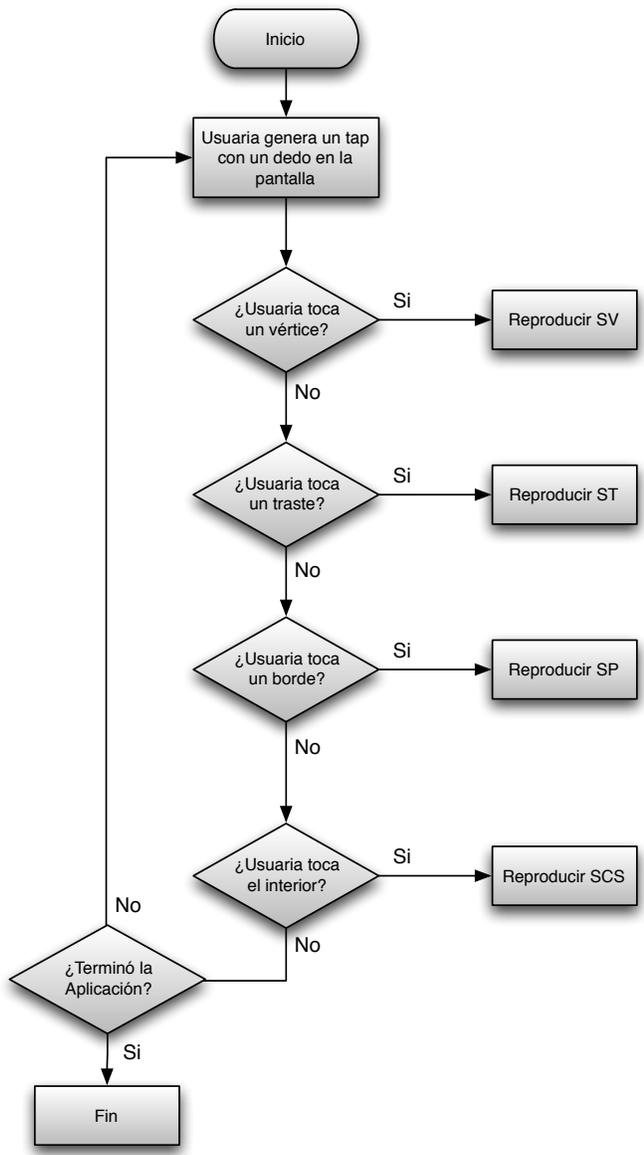
## **Validación**

---

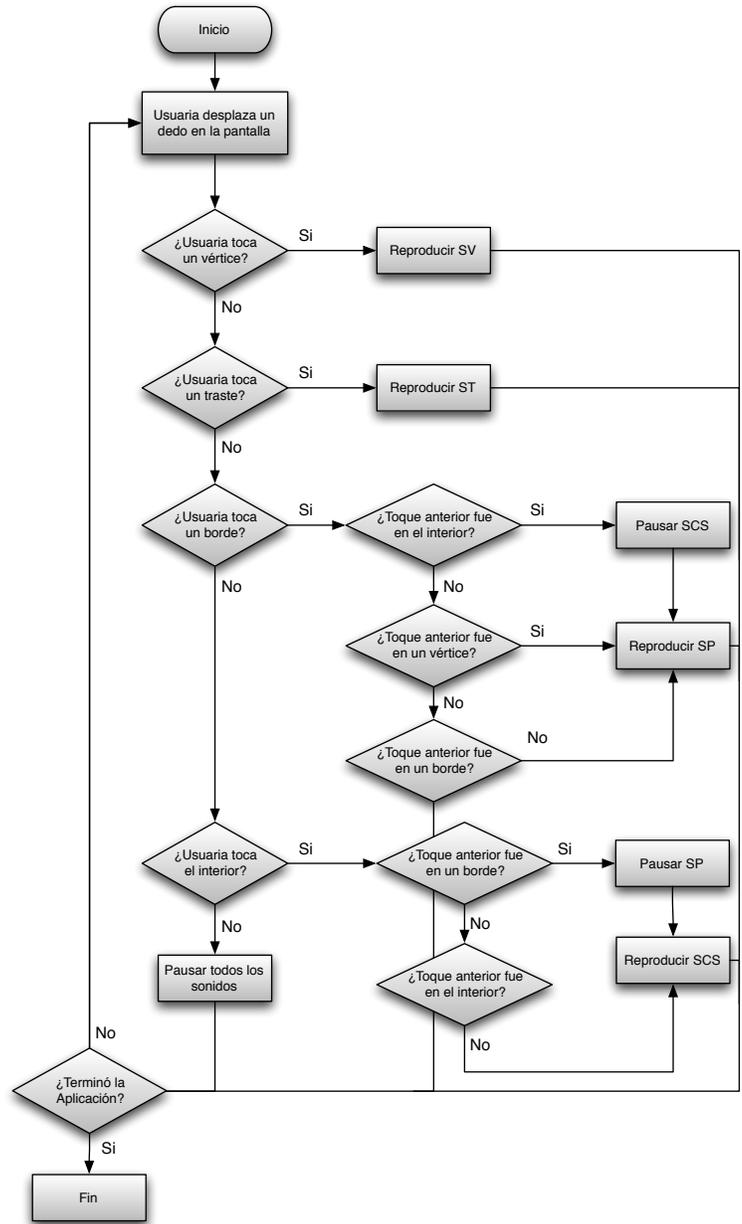
Esta etapa ofrece la oportunidad de realizar modificaciones y correcciones a la aplicación tanto en su implementación como en su interfaz. Con la intención de asegurar un buen desempeño de la aplicación en las tareas definidas, se realizaron pruebas de uso que permitieran asegurar la funcionalidad implementada o mostrar falencias en las mismas. Este proceso es fundamental en cualquier desarrollo de aplicaciones o sistemas computacionales. Durante esta etapa se realizaron varias sesiones de evaluación de usabilidad con usuarias y usuarios tanto expertos como finales, tanto en la interacción como en la interfaz y retroalimentación.

## 4.4 Decisiones de diseño

En cuanto a la interacción de la usuaria o usuario con GeoPRAC el diseño de éste está basado en dos flujos, que dependen de si se inicia un toque (TAP) o si se desplaza un dedo desde una posición anterior ilustrados respectivamente en la Figura 20 y Figura 21, el cual muestra el comportamiento de la aplicación en un alto nivel de abstracción. En este flujo se espera a la acción por parte de la usuaria o usuario y en base a ella la aplicación genera una respuesta acorde.

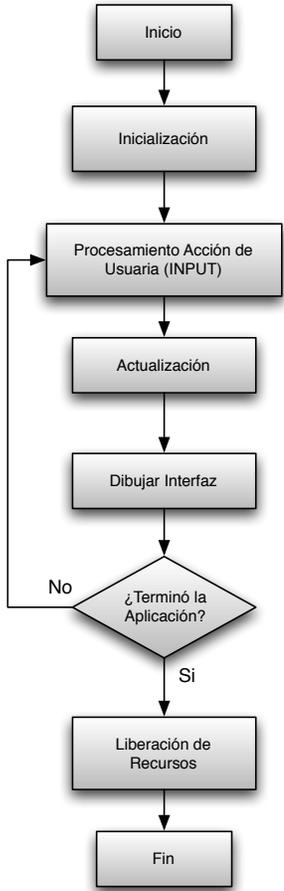


**Figura 20. Flujo de GeoPRAC para un Tap**



**Figura 21. Flujo de GeoPRAC para el desplazamiento**

Estos flujos, definidos para GeoPRAC, tienen similitudes con el flujo típico de un juego, en el cual se espera por la interacción de la usuaria o usuario (INPUT), se actualiza el o los estados de la aplicación y luego se despliega la información actualizada redibujando la interfaz de usuario como se aprecia en la Figura 22.



**Figura 22. Flujo de juego**

Tomando como base el flujo de juego se hará un paralelo entre los flujos de GeoPRAC de la siguiente manera:

## **Inicialización**

---

En esta etapa se inicializan las variables de ambiente, tales como aquellas que permiten definir las zonas dentro de la pantalla así como dibujar las figuras, se asignan variables e instancias de objetos necesarios para el funcionamiento de la aplicación. Aquí se agrupa la inicialización de la parte gráfica, definiendo el número de vértices a desplegar y la posición de los mismos (si corresponde), la definición de las zonas, el dibujo de la figura geométrica y la parte acústica, cargando los sonidos en memoria e inicializando el reproductor, por último la aplicación queda en espera por el INPUT de parte de la usuaria o usuario.

## **Procesamiento INPUT**

---

La usuaria o usuario interactúa con la aplicación a través de la pantalla del dispositivo. Cuando toca algún punto de la misma o desplaza un (o más) dedo(s) sobre ella la información es preprocesada y entregada a la aplicación por el sistema operativo del dispositivo.

## **Actualización**

---

Esta etapa comprende varias etapas de los diagramas de flujo de GeoPRAC [Figura 20][Figura 21]. Inicialmente el sistema operativo discrimina el tipo de interacción de la usuaria o usuario pudiendo ser identificado como un toque o desplazamiento. Una vez discriminado, el sistema operativo se encarga de entregar un objeto con el estado actual de los toques en la pantalla (incluyendo el estado anterior en caso que sea un desplazamiento), que es entregado a métodos predefinidos por el SDK que deben ser implementados por aquellos objetos que deseen recibir esta información. En cada uno de los métodos se analiza la información y se actualiza el estado de la aplicación, lo que se refleja en el cambio de estado de los reproductores de sonido.

## **Dibujar Interfaz**

---

En esta etapa se presenta al usuario los elementos del juego de acuerdo a su estado actual. En el caso particular, se realiza la reproducción o pausa de los sonidos de acuerdo a los estados definidos durante al Actualización.

## **Liberación de Recursos**

---

Si la ejecución de la aplicación termina, los recursos utilizados o reservados de memoria deben liberarse durante esta etapa.

## Capítulo 5: Desarrollo de GeoPRAC

---

### 5.1 Herramientas de desarrollo

#### 5.1.1 Hardware

El dispositivo seleccionado para desarrollar la aplicación es un iPhone 3G, el cual será entregado a cada usuaria o usuario durante la utilización de la aplicación. El dispositivo es utilizado sin modificación ni aditamento especial, salvo un adaptador para permitir la conexión de un segundo par de audífonos para el evaluador de la aplicación [Figura 23].



**Figura 23. Dispositivo, y adaptador para audífonos**

## 5.1.2 Software

GeoPRAC fue desarrollado utilizando las herramientas oficiales de Apple Inc. para aplicaciones para iPhoneOS, luego iOS. Las herramientas incluyen el lenguaje orientado a objetos Objective-C, el cual es un superconjunto de C y Xcode como ambiente integrado de desarrollo.

Para la implementación de la retroalimentación acústica se utilizó el framework AVFoundation que permite un manejo sencillo de medios audiovisuales. Para la reproducción de sonido se utiliza la clase AVAudioPlayer.

Para utilizar la clase AVAudioPlayer se requiere de un archivo en formato nativo en la plataforma iOS, por ejemplo AIFF, el cual se accesa utilizando el acceso a los recursos disponibles para la aplicación. Se crea una instancia de AVAudioPlayer con el objeto que representa el archivo de sonido y finalmente se alista para su utilización [Figura 24].

```
NSURL *singBowlURL = [NSURL fileURLWithPath:[mainBundle
pathForResource:@"singBowl" ofType:@"aiff"]];

AVAudioPlayer borderSound = [[AVAudioPlayer alloc]
initWithContentsOfURL:singBowlURL error:&error];

[borderSound prepareToPlay];
```

**Figura 24. Código con implementación AVAudioPlayer**

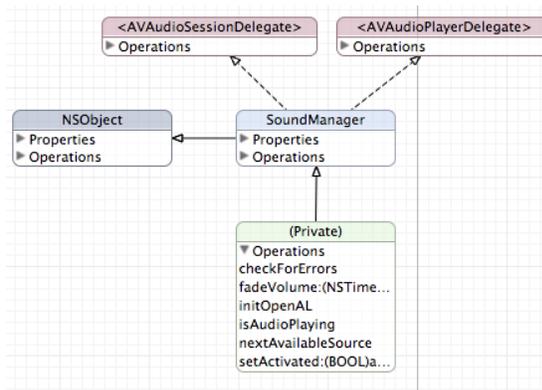
Sin embargo luego de las primeras pruebas de usabilidad se detectó que esta implementación tenía una latencia que impide la correcta identificación de la figura. Los sonidos tardaban demasiado en iniciar o terminar la reproducción. Por ello se reemplazó tanto el patrón de diseño como el framework multimedia.

Con la clase AVAudioPlayer se genera una nueva instancia para reproducir cada sonido, esto fue reemplazado por el patrón Singleton [3], dejando un solo gestor para todos los sonidos de la aplicación [Figura 25].

Respecto del framework, se reemplaza por OpenAL, biblioteca desarrollada por Creative Labs, especializada en reproducción en ambientes 3D con un alto nivel de optimización. En el caso de GeoPRAC no se utiliza la ventaja de audio 3D, pero sí la baja latencia de respuesta [Figura 25][Figura 26].

```
SoundManager sharedSoundManager = [SoundManager sharedSoundManager];
[sharedSoundManager loadSoundWithKey:@"singBowl" musicFile:@"singBowl.caf"];
[sharedSoundManager loadSoundWithKey:@"rustle" musicFile:@"rustle.caf"];
[sharedSoundManager loadSoundWithKey:@"bell" musicFile:@"bell.caf"];
```

**Figura 25. Código con Implementación OpenAL**



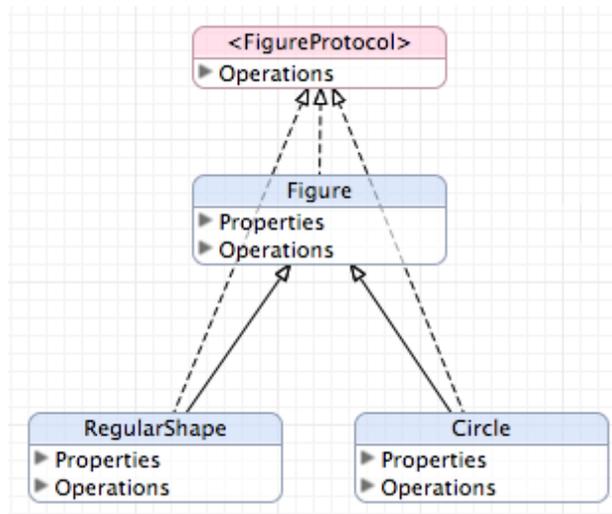
**Figura 26. Diagrama de Clases para el Gestor de Sonidos usando OpenAL**

## 5.2 Implementación

### 5.2.1 Patrones Utilizados

Con GeoPRAC se buscó emular la forma en que una persona identifica una figura geométrica en un plano utilizando la luz como retroalimentación. Para ello el exterior de la figura se asoció a negro, cuya representación en audio es silencio. Por su parte la figura,

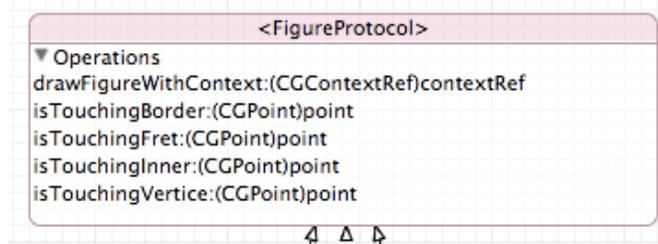
fue dividido en dos áreas: el borde y el cuerpo. Gráficamente, para apoyar el trabajo de las y los educadores, se representa la figura con un color para el borde y otro para el cuerpo. En la implementación actual se consideran dos tipos de figura: Círculo y Figura Regular. Se puede apreciar su relación en la siguiente Figura 27.



**Figura 27. Diagrama de Clases para Figuras**

En el diagrama se puede observar que ambos tipos de figura implementan FigureProtocol, un Protocol es lo que comunmente se conoce como Interfaz y que se utiliza para declarar métodos que otros objetos deben implementar o para capturar similitudes entre objetos que no tienen relación jerárquica [20].

En el detalle de FigureProtocol se puede observar que reúne los métodos necesarios para que una figura responda a los toques en vértices, trastes, interior y bordes.



**Figura 28. Detalle FigureProtocol**

Figure [Figura 27] es el objeto responsable de instanciar y disponer el reproductor de sonido para todas las figuras. Por otra parte también es el responsable de recibir los toques que entrega el sistema operativo y llamar a las funciones de la figura que está desplegada en el dispositivo que corresponden al FigureProtocol. Figure es la Vista de un modelo MVC [20] que es el modelo que se utiliza para todas las aplicaciones realizadas para iOS. Por último RegularShape y Circle, son los objetos, también Vistas, que se hacen cargo de dibujar los respectivos tipos de figuras.

## 5.2.2 Cálculos Geométricos

La usuaria o usuario de GeoPRAC espera que la aplicación le indique dónde se encuentra respecto de la figura geométrica que está tratando de indentificar utilizando para ello sonidos. Por su parte la aplicación, para identificar en qué lugar se encuentra un punto respecto de la figura puede utilizar diversas técnicas:

1. Para identificar si un punto P está dentro de un círculo o circunferencia C, se ubica el centro de la figura C, y luego se calcula la distancia desde este punto hasta P: si esta distancia es menor al radio de C, se puede concluir que P está dentro de la circunferencia.
2. En el caso de un rectángulo, cuyos lados se encuentran paralelos a los ejes de referencia, se identifica si las coordenadas del punto P están en los segmentos definidos por los vértices de la figura.
3. En el caso de un triángulo se puede utilizar la técnica del baricentro, que consiste en generar dos vectores a partir de un origen arbitrario definido como uno de los vértices del triángulo. Si elegimos A como nuestro punto de origen, nuestros vectores serán AC y AB, la suma de estos vectores nos dará cualquier punto en el espacio, luego un punto cualquiera será la suma ponderada de ellos. Basándose

en esto último se generan las ecuaciones que permiten calcular la ponderación de cada vector para describir el punto P y de acuerdo al valor de las ponderaciones identificar si este pertenece o no al triángulo [28].

Si bien para los casos expuestos es relativamente sencillo, es porque en sí mismo los casos son simples de resolver. Sin embargo para un rectángulo con una rotación en un ángulo agudo u obtuso el sencillo caso 2 deja de ser tan sencillo. Para ello lo que se hace es un proceso de descomposición del polígono en triángulos [26] y luego se realiza el proceso descrito en 3

## Capítulo 6: Evaluación de la Usabilidad

---

### 6.1 Introducción

La usabilidad de Geometría Plana con Retroalimentación Auditiva para Ciegos GeoPRAC, fue evaluada mediante varias evaluaciones, con usuarios expertos y usuarios finales. La evaluación con usuarios expertos tuvo como principal objetivo evaluar la efectividad de la retroalimentación auditiva considerando tiempo de respuestas, volumen del sonido y diferenciación entre los sonidos utilizados en la aplicación. Esta evaluación se realizó antes de la evaluación con usuarios finales de manera de minimizar los posibles problemas por una pobre elección de las piezas de retroalimentación.

La evaluación con usuarios finales, fue realizada en dos sesiones, entre las cuales se realizaron ajustes y correcciones. La primera sesión apuntaba a determinar el nivel de desafío y aceptación de la aplicación así como la efectividad de la retroalimentación. La segunda sesión se enfocó en evaluar la efectividad de las correcciones realizadas en base a la primer prototipo.

## 6.2 Participantes

Para la evaluación de usabilidad se trabajó con una muestra de 8 usuarios totalmente ciegos, cuyas edades fluctúan entre los 12 y 15 años, más una usuaria experta una educadora diferencial especialista en trastornos de la visión totalmente ciega.

## 6.3 Instrumentos

Para la evaluación por parte del usuario, final y experto, se utilizó una pauta adaptada de la pauta de Usabilidad de Software para Niños Ciegos diseñada por Sánchez (2003) [Anexo 1]. Esta pauta consiste de 15 sentencias en las que los usuarios deben definir en qué nivel se cumple cada una de ellas respecto de una escala Poco a Mucho, con valores cuantitativos desde 1 (poco) a 10 (mucho). Las sentencias corresponden a “Me gusta el software”, “El software es útil”, “El software me hace estar activo”, “Volvería a ocupar el software”, “Recomendaría este software a otros niños/jóvenes”, “Aprendí con este software”, “Me sentí controlando las situaciones del software”, “El software es interactivo”, “El software es fácil de utilizar”, “El software es motivador”, “El software se adapta a mi ritmo”, “El software me permitió entender nuevas cosas”, “Me gustan los sonidos del software”, “Los sonidos del software son claramente identificables”, y “Los sonidos del software me transmiten información”. Además de esto la pauta considera 5 preguntas abiertas, “¿Qué te gustó el software?”, “¿Qué no te gustó el software?”, “¿Qué agregarías al software?”, “¿Para qué crees que te puede servir el software?”, “¿Qué otros usos le darías al software?”, “¿Te gustó utilizar el joystick? ¿Por qué?” Y un espacio para observaciones o comentarios.

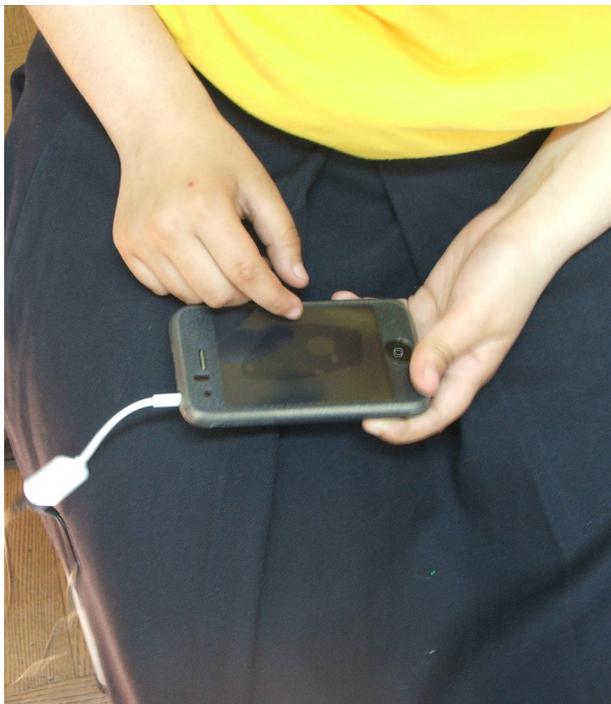
## 6.4 Procedimiento

La evaluación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Educacional para Niños y Jóvenes Ciegos Santa Lucía, del Colegio Hellen Keller y en el Centro de Computación y Comunicación para la Construcción del Conocimiento (C5) del Departamento de Ciencias

de la Computación, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

La evaluación de usabilidad de usuarios finales fue realizada con la aplicación en un iPhone 3G, en sesiones de 20 a 30 minutos de duración con cada usuario. Esta sesión consiste en reconocer tres figuras geométricas: una circunferencia, un cuadrado y un triángulo.

En primera instancia se les entrega el dispositivo apagado, tal como se observa en la Figura 29, para su exploración, durante esta etapa se le indica el área correspondiente a la pantalla cuyo reconocimiento se ve facilitado gracias al protector de silicona instalado en el iPhone, el cual tiene textura para las zonas que rodean la pantalla.



**Figura 29. Reconocimiento del dispositivo**

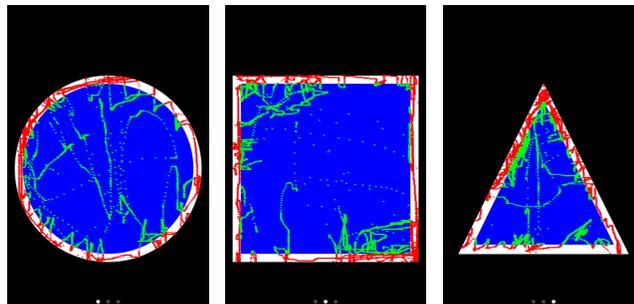
Posterior al reconocimiento del dispositivo, la siguiente etapa corresponde a la identificación y reconocimiento de los sonidos, el tutor, basado en la representación

gráfica de la figura, lleva a la usuaria o usuario a los distintos puntos con retroalimentación acústica indicando verbalmente qué significa cada sonido [Figura 30].



**Figura 30. Aprendizaje de sonidos y su significado**

Luego del aprendizaje de sonidos, la siguiente etapa consiste en el reconocimiento de las figuras disponibles, las cuales, para el prototipo 1 se pueden apreciar en la Figura 31<sup>5</sup>.

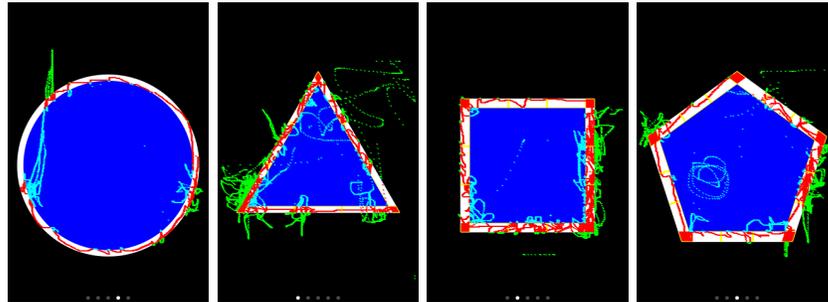


**Figura 31. Figuras prototipo 1**

Las figuras disponibles para el último prototipo testeados se pueden apreciar en la Figura 32<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> El significado de los colores se explica en la sección de Resultados



**Figura 32. Figuras prototipo 4**

La última etapa del proceso de evaluación consiste en el reconocimiento de las figuras geométricas disponibles, éstas son seleccionadas por el tutor y luego se le da la instrucción de comenzar a la usuaria o usuario. Esta etapa se repite para cada figura secuencialmente [Figura 33][Figura 34].



**Figura 33. Reconociendo un vértice**



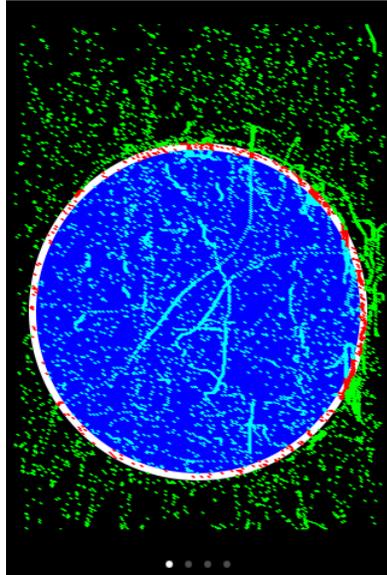
**Figura 34. Recorriendo un borde**

## 6.5 Resultados

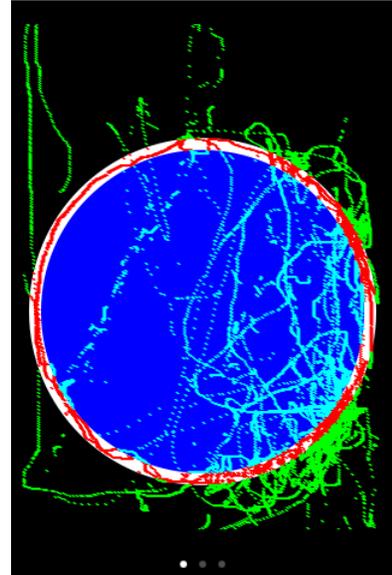
Un primer resultado relevante es que a todas las usuarias y usuarios les bastó una breve reproducción de cada sonido para realizar la asociación de éste con su significado geométrico.

Para el primer prototipo, evaluado por usuarias expertas, se identificó la necesidad de aumentar la velocidad de respuesta de la aplicación, pues al pasar el dedo rápidamente sobre la pantalla el dispositivo no reproduce sonido y al pasarlo de manera aleatoria, en ciertas ocasiones, reproducía un sonido que no correspondía al sitio en que la usuaria estaba ubicada. Además se observó la necesidad de tener un registro de los puntos que efectivamente la usuaria o usuario tocaba para realizar un análisis de la trayectoria requerida para reconocer figuras.

Para el segundo prototipo, evaluado por usuarias y usuarios finales, se identificó la necesidad de ajustar el espesor del borde de la figura geométrica correspondiente al Círculo. En las Figura 35 y Figura 36 se puede observar en verde los puntos recorridos fuera de la figura, los rojos en el borde y los celestes en el interior de la misma.

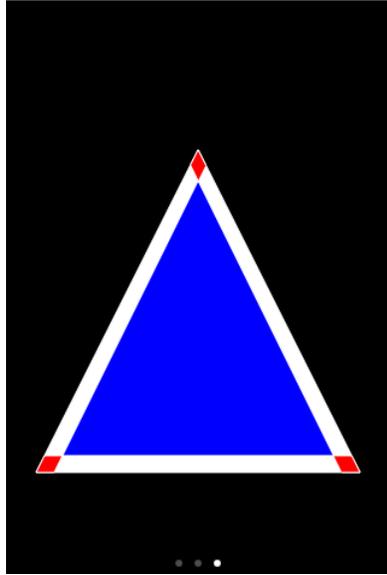


**Figura 35. Borde Delgado**

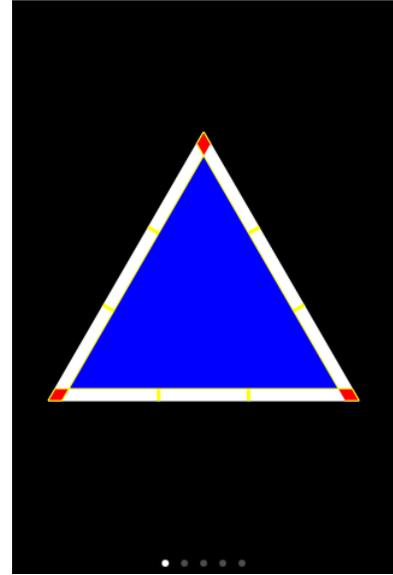


**Figura 36. Borde Grueso**

En la evaluación del tercer prototipo, evaluado tanto por usuarias y usuarios finales como por usuarias expertas se observó la necesidad de agregar indicadores de distancia que les permitieran comparar dos (o más) lados de una figura. Esto se debe a la imposibilidad de distinguir entre figuras como las presentadas en Figura 37 y Figura 38.



*Figura 37. Triángulo Isóceles*



*Figura 38. Triángulo Equilátero*

Luego de esta última evaluación, en el último prototipo se modificó el algoritmo de generación de figuras, de manera tal de generar figuras geométricas regulares de  $n$  lados, con  $n$  entre 3 y 6, pues para un número mayor de vértices el algoritmo de generación de zonas de vértices genera áreas que no corresponden a lo que se desea representar.

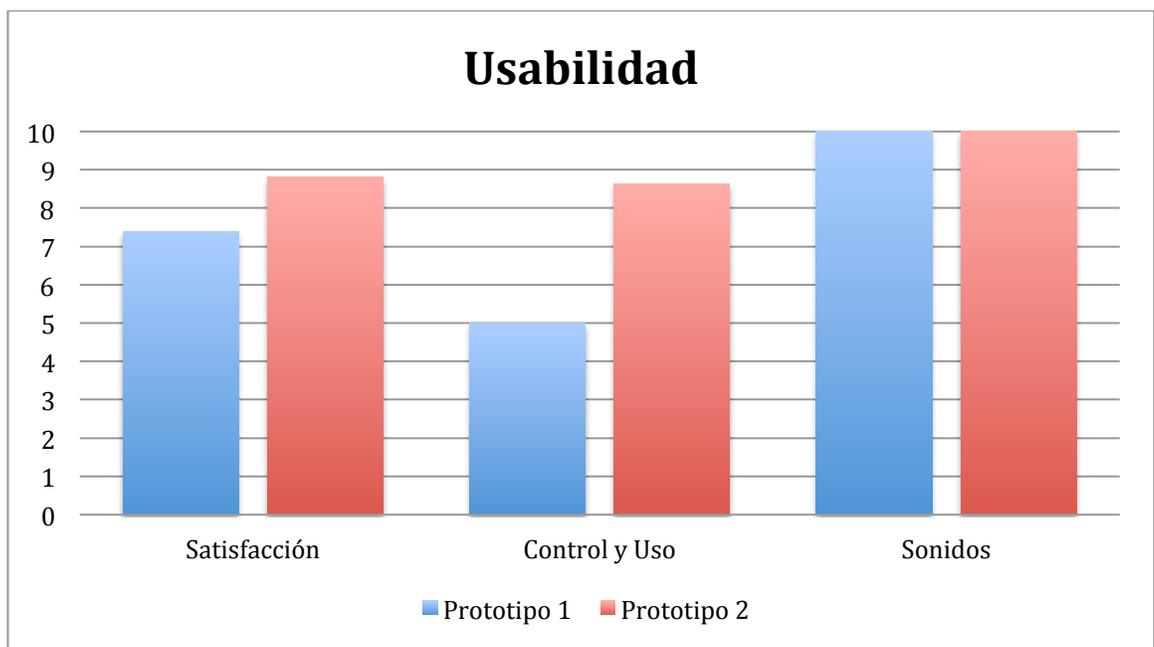
## 6.6 Resultados de pauta de usabilidad con preguntas abiertas

De las preguntas abiertas de la pauta de usabilidad, las usuarias y usuarios coinciden en que les gustó la aplicación, en particular el poder recorrer los bordes, el SV y la marcada diferencia entre los diversos sonidos.

También se puede recoger que esperan la existencia de un sonido cuando salen de la figura, la simple inexistencia de un sonido en particular no es suficiente pista para comprender rápidamente que ya no están en la figura.

Un resultado importante de destacar es que se tanto las usuarias finales como las expertas consideran la aplicación como una herramienta útil para el aprendizaje de geometría plana.

Los resultados, comparados de los prototipos 1 y 2 se pueden ver en el siguiente gráfico:



**Figura 39. Gráfico de resultados totales de la Evaluación de Usabilidad comparando dos prototipos**

**Figura 40. Gráfico de resultados totales de la Evaluación de Usabilidad**

La satisfacción y la sensación de control aumentaron considerablemente, mayormente producto de la mejora en la implementación de la retroalimentación.

## Capítulo 7: Conclusiones y Trabajo Futuro

---

### 7.1 Conclusiones

El objetivo de esta investigación ha sido diseñar, desarrollar y evaluar la usabilidad de GeoPRAC, una aplicación para usuarias y usuarios ciegos que les permite identificar figuras geométricas utilizando tacto y sonido como herramientas de retroalimentación, potenciando el pensamiento abstracto.

GeoPRAC es una herramienta diseñada tanto para el aprendizaje como para la evaluación, pretende ayudar a personas ciegas en la identificación de figuras geométricas, utilizando el movimiento de sus dedos sobre superficies planas, movimientos que llevan a la usuaria o usuario a diversos puntos respecto de la figura los cuales tienen asociados sonidos que sirven de retroalimentación a la interacción con el usuario. Debido a las características del hardware y ambiente en que se puede utilizar, se optó por utilizar audífonos estéreo para asegurar la rapidez en el reconocimiento de las pistas auditivas.

De acuerdo a los resultados de usabilidad, la retroalimentación acústica es efectiva para identificar las diferentes zonas de una figura (interior, borde, exterior), cada sonido

seleccionado es significativo, y distinto del resto, lo que permite una navegación a través de las distintas partes de la figura logrando identificar la misma.

Un punto crítico para el éxito de la aplicación reside en la velocidad de respuesta en la reproducción de sonidos. Con las pruebas realizadas sobre el primer prototipo, con usuarios expertos, fue evidente la necesidad de utilizar una biblioteca de bajo nivel, en este caso OpenAL, para lograr una respuesta eficaz de la aplicación.

Durante el primer testeo de usabilidad con usuarias y usuarios finales, se detectó que para algunas figuras un borde muy delgado era imposible de percibir, dada la velocidad de movimiento de los dedos sobre la pantalla, mientras que un border muy grueso permite reconocer figuras equivocadamente, por ejemplo: un cuadrado en un figura que representa un círculo. Por ello se realizó el ajuste del espesor del borde de acuerdo a las pruebas con los usuarios.

En un principio se consideró sólo las zonas de una figura, sin embargo los resultados de las pruebas de usabilidad demostraron la necesidad de marcar las zonas de vértice, para aquellas figuras que los tienen, así como generar marcas que permitan registrar el espacio recorrido con el fin de discriminar la diferencia de tamaño entre los distintos bordes de una figura.

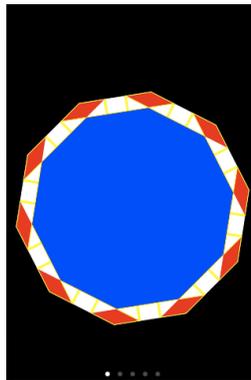
De los diversos testeo y encuestas a las usuarias y usuarios, tanto finales como expertos, se concluyó que GeoPRAC es una herramienta que recomiendan para el aprendizaje de geometría en personas ciegas.

## 7.2 Trabajo Futuro

Dado que tanto la interfaz como la finalidad de GeoPRAC han sido validadas el trabajo a futuro tiene varias aristas para abordar, desde el punto de vista de la implementación y de su evolución.

## 7.2.1 Implementación

Actualmente GeoPRAC utiliza un algoritmo para la creación de las áreas de vértices que funciona bastante bien en figuras de hasta 6 lados, para una mayor cantidad de lados estas áreas comienzan una deformación que anula su funcionalidad [Figura 41].



**Figura 41. Deformación de los vértices**

Una característica que se propone desarrollar es que el SCS sea un sonido cuya intensidad decrece, utilizando una escala logarítmica [25], desde el lugar más lejano del perímetro, que se encuentra dentro de la figura, hasta el más cercano al perímetro [Figura 42].



**Figura 42. Variación en intensidad de SCS, disminuyendo desde el centro hacia el borde del cuerpo.**

Un punto débil de la aplicación es que requiere de una persona, vidente, que acompañe el uso de la aplicación, por lo que se hace necesario construir las piezas auxiliares que permitan a una persona ciega desenvolverse sin mayor ayuda con GeoPRAC. Por una parte la versión 4 del iPhone incorpora tecnología TTS de manera nativa con VoiceOver, tecnología que ha probado ser útil para el objetivo planteado [13], que se puede utilizar para entregar instrucciones al usuario. Respecto del reconocimiento de figuras y su evaluación, existen aplicaciones de reconocimiento de voz como Dragon Dictation [29] que muestran la posibilidad real de utilizar este medio para interactuar una vez la usuaria o usuario ha reconocido la figura.

La aplicación registra e informa de los puntos utilizados por la usuaria o usuario para identificar la figura, ésta es información relevante para comparar el aprendizaje y velocidad de reconocimiento, incluso para evaluar si existe algún grado de adivinanza en el proceso. Sin embargo la versión actual sólo presenta la información de manera gráfica, con puntos coloreados sobre la figura original. Existen diversos mecanismos para exportar los datos desde el dispositivo, uno de ellos es enviarlos por correo electrónico para evitar la necesidad de crear un cliente de escritorio. Este proceso está avanzado en el último prototipo, sin embargo no fue posible enviar los archivos adjuntos con información pues estos llegan vacíos cada vez.

### 7.2.2 Evolución

En cuanto a la evolución de GeoPRAC, se considera estudiar la implementación de figuras geométricas no regulares, tales como triángulos escalenos. Así como establecer niveles de dificultad en el reconocimiento de diversas figuras, de tal manera que la usuaria o usuario perciva un avance en sus capacidades de reconocer figuras.

Otra evolución es diseñar GeoPRAC para ser utilizado en pantallas más grandes, como la del iPad, en la que se podría desplegar más de una figura al mismo tiempo, dándole aún más posibilidades a las usuarias o usuarios.

En este mismo contexto, es necesario considerar figuras tales como medio círculo, lunas, estrellas, etc., figuras que son la mezcla de otras más básicas.

## Referencias

---

- [1] A. D. N. Edwards and R. D. Stevens, "A Multimodal Interface for Blind Mathematics Students," in INSERM, Paris, France, 1994, pp. 97 - 104.
- [2] Ferreira, Helder and Freitas, Diamantino. "Audio Rendering of Mathematical Formulae using MathML and AudioMath". UI4ALL Proceedings. 2004.
- [3] Gamma, E. (1995). Design patterns: elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley professional computing series. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- [4] International Standard (1999). ISO 13407. Human-centered design processes for interactive systems.
- [5] Jacquet, C. Bellik, Y., Bourda, Y. (2006) Electronic Locomotion Aids for the Blind: Towards More Assistive Systems. Intelligent Paradigms for Assistive and Preventive Healthcare. N. Ichalkaranje, A. Ichalkaranje, LC Jain, editores. Springer-Verlag, Abril, pp. 133-163
- [6] Larry K. Baxter (1996). Capacitive Sensors. John Wiley and Sons. p. 138. ISBN 9780780353510.

- [7] Lumbreras, M. & Sánchez, J. (1999). Interactive 3D sound hyperstories for blind children. Proceedings of the ACM-CHI '99, Pittsburgh, USA, pp. 318-325
- [8] Roth, Petrucci, Pun. "From Dots To Shapes": an auditory haptic game platform for teaching geometry to blind pupils. In Proceedings of International Conference on Computers Helping People with special Needs: ICCHP 2000. Karlsruhe, Germany, July 17-21 2000.
- [9] Rouzier, Hennion, Pérez Segovia, Chêne. "Touching geometry for visually impaired pupils". Proceedings of EuroHaptics 2004, Munich Germany, June 5-7, 2004.
- [10] Sánchez, J. (2003) End-user and facilitator questionnaire for Software Usability. Usability evaluation test. University of Chile, Santiago, Chile
- [11] Sánchez, J., Zúñiga, M. (2006). Evaluating the Interaction of Blind Learners with Audio-Based Virtual Environments. *CyberPsychology & Behavior*, Volume 9, Number 6, 2006, pp. 717 ISI
- [12] Sánchez, J., Sáenz, M. (2006). Assisting the Mobilization through Subway Networks by Users with Visual Disabilities. Proceedings of the International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, ICDVRAT 2006. Esbjerg , Denmark , 18-20 September 2006, pp. 183-190
- [13] Sánchez, J., Galaz, I. (2005). Cuentos Interactivos Móviles a través de Audio para Aprendices con Discapacidad Visual. En Sánchez, J. (editor). *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, pp. 101-106. Santiago de Chile: Lom Ediciones S.A.
- [14] Sánchez, J., Flores, H. (2005). AudioMath: Blind children learning mathematics through audio. *International Journal on Disability and Human Development*, IJDHD, Vol. 4, No. 4, October-December 2005, pp. 311-316
- [15] Sánchez, J., Maureira, E. (2007). Mobile Blind Navigation through Subway Network. Center on Disabilities' 22nd Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference, CSUN '07. March 19-24, 2007, Los Angeles, USA.

- [16] Sánchez, J., Galaz, I. (2007). AudioStoryTeller: Enforcing Blind Children Reading Skills. In C. Stephanidis (Ed.): Universal Access in HCI, Part III, HCII 2007, LNCS 4556, pp. 786–795, 2007 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007 ISI
- [17] Sánchez, J. and Sáenz, M. (2007) Usability of Audio-Based Virtual Environments for Users with Visual Disabilities. Virtual Reality and Human Behavior Symposium, LAVAL Virtual 2007, Laval, France, April 18-22, 2007
- [18] Sánchez, J., Sáenz, M. and Baloian, N. (2007) Mobile Application Model for the Blind. In C. Stephanidis (Ed.): Universal Access in HCI, Part I, HCII 2007, LNCS 4554, pp. 527– 536, 2007. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [19] Sánchez, J. (2008). User-Centered Technologies for Blind Children. Human Technology Journal, 45(2), November 2008, pp. 96-122
- [20] [http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html%23//apple\\_ref/doc/uid/TP40008195-CH32](http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/MVC.html%23//apple_ref/doc/uid/TP40008195-CH32)
- [21] <http://developer.apple.com/library/mac/#documentation/cocoa/conceptual/objectivec/articles/ocProtocols.html>
- [22] <http://es.wikipedia.org/wiki/Text-to-speech>
- [23] <http://es.wikipedia.org/wiki/Multit%C3%A1ctil>
- [24] [http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1ptica#Tecnolog.C3.ADa\\_H.C3.A1ptica](http://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A1ptica#Tecnolog.C3.ADa_H.C3.A1ptica)
- [25] [http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner_law)
- [26] [http://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_triangulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_triangulation)
- [27] [http://es.wikipedia.org/wiki/Vértice\\_\(geometr%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Vértice_(geometr%C3%ADa))
- [28] <http://www.blackpawn.com/texts/pointinpoly/default.html>
- [29] <http://www.dragonmobileapps.com/>
- [30] Radio Cooperativa, [http://www.cooperativa.cl/joven-ciega-presento-recurso-de-proteccion-para-rendir-la-psu/prontus\\_notas/2009-10-05/123649.html](http://www.cooperativa.cl/joven-ciega-presento-recurso-de-proteccion-para-rendir-la-psu/prontus_notas/2009-10-05/123649.html). Último acceso, Agosto 2010
- [31] Observatorio Tecnológico, Herramientas Tiflotécnicas y su Función en la Escuela,

<http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=317>. Último acceso, Agosto 2010

- [32] Soy, S. (1996). The case study as a research method. Presentation at the uses and users of information seminar, Austin, the University of Texas. <http://www.ischool.utexas.edu/~ssoy/usesusers/l391d1b.htm>. Último acceso, Agosto 2010
- [33] Tellis, W. (1997) Introduction to case study. The qualitative report [e-journal], 3(2). <http://www.nova.edu/ssss/QR/QR3-2/tellis1.html> Último acceso, Agosto 2010
- [34] SENADIS, Resultados de la encuesta de caracterización socioeconómica nacional, casen 2006 discapacidad, [http://www.senadis.cl/centro/encuesta\\_casen2006.php](http://www.senadis.cl/centro/encuesta_casen2006.php). Último acceso, Agosto 2010
- [35] Organización Mundial de la Salud, Fact Sheet N°282, Mayo 2009
- [36] SENADIS, Primer estudio nacional de la discapacidad e informes regionales ENDISC 2004, [http://www.senadis.cl/centro/estudios\\_endisc2004.php](http://www.senadis.cl/centro/estudios_endisc2004.php), Último acceso, Agosto 2010.
- [37] Yoichi Haga, Wataru Makishi, Kentaro Iwami, Kentaro Totsu, Kazuhiro Nakamura and Masayoshi Esashi. “Dynamic Braille display using SMA coil actuator and magnetic latch”

## Anexos

---

# Anexo 1

---

## Usabilidad de Software para Niños Ciegos

### **Pauta resumida usuario final.**

#### **“Evaluación de Usabilidad de Software”**

*Dr. Jaime Sánchez I.*

*Universidad de Chile*

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

### **Antecedentes**

Nombre del Software

--	--

Nombre del niño

Edad

Sexo

--	--	--

Nivel del evaluador

Resto Visual

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

SI	NO
----	----

Poco

Mucho

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

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

## Cuestionario

1.- ¿Qué te gusto del software?


2.-¿Qué no te gusto del software?


3.- ¿Qué agregarías al software?


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


Observaciones o comentarios
