

# **Uso de técnicas de realidad aumentada en dispositivos Android para soportar el tratamiento de trastornos en el procesamiento auditivo central**



Monografía presentada para optar el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Cindy Maryory Mera Solís**  
**Daniel Alejandro Rodríguez Rúaless**

Director: Ing. Javier Alexander Hurtado Guaca  
Asesora: Fonoaudióloga Esp. Lady Johana Gómez Argote

*Universidad del Cauca*  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
**Departamento de Telemática**  
Línea de Investigación Servicios Avanzados de Telecomunicaciones  
Popayán, Noviembre de 2014

# **Uso de técnicas de realidad aumentada en dispositivos Android para soportar el tratamiento de trastornos en el procesamiento auditivo central**



Monografía presentada para optar el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Cindy Maryory Mera Solís**  
**Daniel Alejandro Rodríguez Rúaless**

Director: Ing. Javier Alexander Hurtado Guaca  
Asesora: Fonoaudióloga Esp. Lady Johana Gómez Argote

*Universidad del Cauca*  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
**Departamento de Telemática**  
Línea de Investigación Servicios Avanzados de Telecomunicaciones  
Popayán, Noviembre de 2014

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN</u></b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
<b>1.4. ALCANCE</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5. APORTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>4</b>
<b>1.6. ESTRUCTURA DE LA MONOGRAFÍA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.7. METODOLOGÍA</b> .....	<b>5</b>
<b>1.8. ACTIVIDADES</b> .....	<b>5</b>
<b><u>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE</u></b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. CONTEXTO GENERAL</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Procesamiento Auditivo Central (PAC).....	7
2.2.1.1. <i>Introducción al PAC</i> .....	7
2.2.1.2. <i>Trastorno del PAC (TPAC)</i> .....	8
2.2.2. Realidad Aumentada (RA) .....	8
2.2.3. Características y Ventajas de la RA .....	10
<b>2.3. TRABAJOS RELACIONADOS</b> .....	<b>11</b>
2.3.1. Trabajos relacionados contexto Internacional .....	11
2.3.2. Trabajos relacionados contexto Nacional .....	14
2.3.3. Trabajos relacionados contexto Institucional .....	14
<b><u>CAPÍTULO 3. PEHEPAC Y TÉCNICAS DE RA</u></b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO</b> .....	<b>16</b>
3.2.1. PEHEPAC.....	16
3.2.1.1. <i>Propósitos, usos y limitaciones del PEHEPAC</i> .....	17
3.2.1.2. <i>Aplicación y calificación del PEHEPAC</i> .....	18
3.2.1.3. <i>Propiedades Psicométricas</i> .....	22
<b>3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SOPORTES DE RA</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4. DISPOSITIVOS DE REALIDAD AUMENTADA</b> .....	<b>24</b>

3.4.1. Pantallas .....	24
3.4.2. Dispositivos de entrada .....	25
3.4.3. Dispositivos de seguimiento .....	25
3.4.4. Computadores .....	25
<b>3.5. ETAPAS DEL PROCESO DE RA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.6. TECNOLOGÍAS DE RA .....</b>	<b>27</b>
3.6.1. Clasificación de las tecnologías desarrolladas de RA .....	27
3.6.2. Tipos de marcadores para RA.....	27
3.6.3. Frameworks para el desarrollo de aplicaciones de RA.....	28
<b>3.7. SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE RA PARA TPAC .....</b>	<b>29</b>

## **CAPÍTULO 4. TECNOLOGÍAS UTILIZADAS .....** **30**

<b>4.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO MÓVIL.....</b>	<b>30</b>
4.2.1. Características generales de dispositivos móviles.....	30
4.2.2. Las Capacidades de los dispositivos móviles .....	31
4.2.3. Especificaciones técnicas de los dispositivos móviles .....	32
4.2.4. Resultados de selección de dispositivo móvil.....	34
4.2.4.1. <i>Especificaciones del prototipo</i> .....	35
4.2.4.2. <i>Procedimiento</i> .....	35
<b>4.3. SELECCIÓN DEL SDK DE RA.....</b>	<b>36</b>
4.3.1. Criterios de selección.....	37
4.3.2. Estudio de los SDKs disponibles para RA .....	38
4.3.3. Estudio de SDK escogidos.....	39
4.3.3.1. <i>Vuforia SDK</i> .....	39
4.3.3.2. <i>Metaio Mobile SDK</i> .....	42
4.3.3.3. <i>Wikitude</i> .....	43
4.3.4. Preparación de un prototipo básico de prueba .....	44
4.3.5. Preparación de pruebas para la fase de reconocimiento y tracking.....	46
4.3.6. Resultados de las pruebas.....	47
4.3.6.1. <i>Conceptos generales</i> .....	47
4.3.6.2. <i>Resultados de las pruebas de distancia</i> .....	47
4.3.6.3. <i>Síntesis de resultados para las pruebas de distancia</i> .....	49
4.3.6.4. <i>Resultados de las pruebas de oclusión en el target</i> .....	49
4.3.6.5. <i>Síntesis de resultados para las pruebas de oclusión</i> .....	50
4.3.6.6. <i>Resultados de las pruebas de distorsión de la perspectiva</i> .....	51
4.3.6.7. <i>Síntesis de resultados para las pruebas de distorsión</i> .....	54
4.3.6.8. <i>Resultados de las pruebas de incidencia de la iluminación</i> .....	55
4.3.6.9. <i>Síntesis de resultados para las pruebas de iluminación</i> .....	56
4.3.7. Selección del SDK .....	57

<b>4.4. ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN .....</b>	<b>60</b>
4.4.1. Modelado de negocio y su descripción.....	60
<b>4.5. DISEÑO Y MODELADO DEL PROTOTIPO.....</b>	<b>64</b>
4.5.1. Requerimientos funcionales y no funcionales.....	64
4.5.2. Descripción del prototipo.....	66
4.5.3. Arquitectura Lógica del Sistema.....	71
4.5.4. Diagrama de clases de la Aplicación.....	72
4.5.5. Diagrama de despliegue del sistema:.....	73
4.5.6. Funciones y variables del IDE Unity3D .....	73

## **CAPÍTULO 5. PROTOTIPO Y EXPERIMENTACIÓN..... 76**

<b>5.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>76</b>
<b>5.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>76</b>
5.2.1. Técnicas de recolección de información.....	76
5.2.2. Técnicas de recolección de información para el caso de estudio .....	80
<b>5.3. CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>81</b>
5.3.1. Plan de pruebas.....	81
5.3.2. Resultados obtenidos en la encuesta previa .....	82
5.3.3. Adaptación realizada al PEHEPAC para su uso en RA.....	89
5.3.4. Herramientas hardware y software utilizadas .....	94
5.3.5. Evidencia de la ejecución del caso de estudio Fisiocenter. ....	96
5.3.6. Resultados obtenidos en la encuesta posterior .....	97
<b>5.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>105</b>
<b>5.5. OPINIONES DE LOS PARTICIPANTES.....</b>	<b>105</b>

## **CAPÍTULO 6. APORTES, CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO..... 107**

<b>6.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>107</b>
<b>6.2. APORTES.....</b>	<b>107</b>
6.2.1. Aportes intelectuales.....	107
6.2.2. Aportes físicos .....	108
<b>6.3. CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>
6.3.1. Conclusiones sobre el estado del arte.....	108
6.3.2. Conclusiones sobre las pruebas de batería, reconocimiento y tracking... 108	
6.3.3. Conclusiones sobre la construcción de un prototipo de RA.....	112
6.3.4. Conclusiones sobre la implantación en el caso de estudio .....	113
<b>6.4. TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>115</b>

## **7. REFERENCIAS..... 116**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> a) Continuo realidad-virtualidad. b) Continuo clásico .....	9
<b>Figura 2.</b> Dispositivos de entrada: a) Guantes y b) Pulsera inalámbrica.....	25
<b>Figura 3.</b> Fases del proceso de RA.....	26
<b>Figura 4.</b> Tipos de Marcadores físicos .....	27
<b>Figura 5.</b> Markerless tracking a) Picture marker-Image Target, b) markerless .....	28
<b>Figura 6.</b> Prototipo para evaluación de batería .....	35
<b>Figura 7.</b> Duración de batería con aplicaciones de RA.....	36
<b>Figura 8.</b> Target Manager de Vuforia .....	39
<b>Figura 9.</b> Puntos de reconocimiento en una imagen con buena calificación.....	39
<b>Figura 10.</b> Puntos de reconocimiento en una imagen con baja calificación.....	39
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo del SDK Vuforia en un entorno de aplicación . .....	40
<b>Figura 12.</b> Arquitectura modular de Metaio Mobile SDK.....	42
<b>Figura 13.</b> Arquitectura Wikitude.....	43
<b>Figura 14.</b> Prototipo básico de prueba usando Vuforia.....	44
<b>Figura 15.</b> Prototipo básico de prueba usando Metaio .....	45
<b>Figura 16.</b> Prototipo básico de prueba usando Wikitude .....	45
<b>Figura 17.</b> Tamaños de targets usados para pruebas .....	46
<b>Figura 18.</b> Resultados de distancia mínima .....	48
<b>Figura 19.</b> Resultados de distancia máxima.....	48
<b>Figura 20.</b> Ejemplos de porcentajes de oclusión sobre target. ....	49
<b>Figura 21.</b> Resultados de oclusión.....	50
<b>Figura 22.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target pequeño y $E > 1000$ ...	51
<b>Figura 23.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target mediano y $E > 1000$ ...	52
<b>Figura 24.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target grande y $E > 1000$ .....	52
<b>Figura 25.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target pequeño y $E < 100$ ....	53
<b>Figura 26.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target mediano y $E < 100$ ....	53
<b>Figura 27.</b> Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target grande y $E < 100$ .....	54
<b>Figura 28.</b> Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target pequeño.....	55
<b>Figura 29.</b> Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target mediano.....	55
<b>Figura 30.</b> Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target grande .....	56
<b>Figura 31.</b> Puntaje de SDKs en las pruebas de reconocimiento y tracking.....	58
<b>Figura 32.</b> Puntaje de SDKs en las pruebas de reconocimiento y tracking.....	59
<b>Figura 33.</b> Modelo de casos de uso del negocio (organización).....	60
<b>Figura 34.</b> Modelo de objetos del negocio. Implementar un protocolo de manejo. ....	61

<b>Figura 35.</b> Modelo de objetos del negocio. Iniciar sesión Terapia. ....	61
<b>Figura 36.</b> Modelo de objetos del negocio. Evaluar PAC. ....	62
<b>Figura 37.</b> Modelo de objetos del negocio. Seleccionar habilidad a evaluar.....	62
<b>Figura 38.</b> Modelo de objetos del negocio. Generar actividad.....	63
<b>Figura 39.</b> Modelo de objetos del negocio. Realizar actividad.....	63
<b>Figura 40.</b> Modelo de objetos del negocio. Realizar reunión .....	64
<b>Figura 41.</b> Casos de uso de la aplicación.....	67
<b>Figura 42.</b> Diagrama de secuencia del caso de uso Detectar y localizar .....	70
<b>Figura 43.</b> Arquitectura lógica del Sistema.....	71
<b>Figura 44.</b> Arquitectura de la aplicación.....	72
<b>Figura 45.</b> Diagrama de despliegue del sistema. ....	73
<b>Figura 46.</b> Componente AudioSource y variable Pan 2D en el inspector de Unity3d. ...	75
<b>Figura 47.</b> Técnicas de recolección de información. ....	76
<b>Figura 48.</b> Actividades realizadas en el caso de estudio. ....	81
<b>Figura 49.</b> Personal que conforma la empresa Fisiocenter. ....	83
<b>Figura 50.</b> Experiencia laboral de los Fonoaudiólogos participantes. ....	83
<b>Figura 51.</b> Estudios de posgrado de los Fonoaudiólogos participantes. ....	84
<b>Figura 52.</b> Resultados para pregunta 1 - Encuesta previa. ....	84
<b>Figura 53.</b> Resultados para pregunta 2 - Encuesta previa. ....	85
<b>Figura 54.</b> Resultados para pregunta 3 - Encuesta previa. ....	85
<b>Figura 55.</b> Resultados para pregunta 4 - Encuesta previa. ....	86
<b>Figura 56.</b> Resultados para pregunta 5 - Encuesta previa. ....	86
<b>Figura 57.</b> Resultados para pregunta 6 - Encuesta previa. ....	87
<b>Figura 58.</b> Resultados de encuesta previa. ....	87
<b>Figura 59.</b> Interfaz gráfica de usuario.....	89
<b>Figura 60.</b> Ventana de confirmación al presionar el botón atrás del dispositivo.....	89
<b>Figura 61.</b> Información de la aplicación de RA desarrollada.....	90
<b>Figura 62.</b> Objeto 3D aumentado para la habilidad de lateralizar. ....	90
<b>Figura 63.</b> Instrucción presentada al paciente para que realice la actividad. ....	91
<b>Figura 64.</b> Opciones presentadas para completar la actividad. ....	91
<b>Figura 65.</b> Refuerzo positivo al completar la actividad. ....	92
<b>Figura 66.</b> Modelo 3D de un gusano creado y texturizado con Blender.....	94
<b>Figura 67.</b> Herramientas software utilizadas. ....	96
<b>Figura 68.</b> Evidencia de caso de estudio.....	96
<b>Figura 69.</b> Resultados para pregunta 1 - Encuesta posterior. ....	97
<b>Figura 70.</b> Resultados para pregunta 2 - Encuesta posterior. ....	98
<b>Figura 71.</b> Resultados para pregunta 3 - Encuesta posterior. ....	98

<b>Figura 72.</b> Resultados para pregunta 4 - Encuesta posterior. ....	99
<b>Figura 73.</b> Resultados para pregunta 5 - Encuesta posterior. ....	99
<b>Figura 74.</b> Resultados para pregunta 6 - Encuesta posterior. ....	100
<b>Figura 75.</b> Resultados para pregunta 7 - Encuesta posterior. ....	100
<b>Figura 76.</b> Resultados para pregunta 8 - Encuesta posterior. ....	101
<b>Figura 77.</b> Resultados para pregunta 9 - Encuesta posterior. ....	101
<b>Figura 78.</b> Resultados para pregunta 10 - Encuesta posterior. ....	102
<b>Figura 79.</b> Resultados para pregunta 11 - Encuesta posterior. ....	102
<b>Figura 80.</b> Resultados de encuesta posterior.....	103
<b>Figura 81.</b> Error de compilación del proyecto en unity3d.....	112
<b>Figura 82.</b> Error de compilación ocasionado por el jdk de java. ....	113
<b>Figura 83.</b> Error presentado por unity3d.....	113

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resultado general de la evaluación.....	23
<b>Tabla 2.</b> Técnicas de RA condicionadas por el caso de estudio. ....	29
<b>Tabla 3.</b> Resumen características entre smartphones y tablets.....	31
<b>Tabla 4.</b> Calificación de las Capacidades. ....	32
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones técnicas de las tablets usadas.....	33
<b>Tabla 6.</b> Especificaciones técnicas de los smartphones Android usados.....	34
<b>Tabla 7.</b> Criterios de selección en SDKs pre-seleccionados.....	38
<b>Tabla 8.</b> Puntaje de pruebas para la selección del SDK.....	59
<b>Tabla 9.</b> Descripción detallada del caso de uso Detectar y localizar un sonido .....	68
<b>Tabla 10.</b> Ubicación de recurso multimedia utilizados en proyecto.....	95



## LISTA DE ACRÓNIMOS

**2-D:** 2 dimensiones  
**3-D:** 3 dimensiones  
**AELFA:** Asociación Española de Logopedia, Foniatra y Audiología  
**API:** Interfaz de Programación de Aplicaciones  
**ASHA:** American Speech-Language-Hearing Association  
**CD:** Disco compacto  
**CPU:** Unidad Central de Procesamiento  
**ED:** Escucha Dicótica  
**GPS:** Sistema de posicionamiento global  
**HMD:** Pantallas montadas en la cabeza (Head Mounted Display)  
**iOs:** Sistema Operativo de la empresa Apple Inc.  
**IPS:** Institución prestadora de servicios de salud  
**LMS:** Sistema para la gestión del aprendizaje  
**MCS:** Modelo para la Construcción de Soluciones  
**MID:** Modelo para la Investigación Documental  
**NFC:** Tecnología de Comunicación de Campo Cercano  
**PC:** Computador personal  
**PAC:** Procesamiento Auditivo Central  
**PDA:** Dispositivo ayudante personal digital  
**PEHEPAC:** Protocolo de Evaluación de Habilidades Especificas del Procesamiento Auditivo Central  
**QR:** Código de respuesta rápida  
**RA:** Realidad aumentada  
**RAM:** Memoria de acceso aleatorio  
**RM:** Realidad Mixta  
**RV:** Realidad virtual  
**SAR:** Realidad Aumentada Espacial  
**SAVIA:** Sistema de Aprendizaje Virtual Interactivo para personas con autismo y dificultades de Aprendizaje  
**SD:** Síndrome de Down  
**SDK:** Kit de desarrollo de software  
**TEA:** Trastornos del Espectro del Autismo  
**TIC/ICT:** Tecnologías de la información y la comunicación  
**TPAC:** Trastorno en el Procesamiento Auditivo Central  
**TV:** Televisor  
**VA:** Virtualidad aumentada

# CAPÍTULO 1

## Presentación

### 1.1. INTRODUCCIÓN

---

Este primer capítulo inicia describiendo el contexto tecnológico y el sector poblacional hacia el cual está dirigido el presente trabajo de grado, plantea el problema encontrado y los objetivos para alcanzar la solución a dicho problema, posteriormente especifica los aspectos que delimitan el trabajo y los aportes generados a partir de este. Finalmente presenta la estructura por capítulos de la monografía y la metodología utilizada.

### 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

Con la continua digitalización de los contenidos, el usuario de un servicio de información no está vinculado directamente con el personal del centro que le presta el servicio, sino con una aplicación informática [1]. De esta forma, la interacción humano-máquina (disciplina dentro del campo de la Informática) ha ido ganando importancia debido a que cada vez, una población más amplia es enfrentada a la necesidad de utilizar una nueva gama de dispositivos [2], tales como el ratón del computador, el teléfono móvil o el kinect, permitiendo el surgimiento de nuevas herramientas tecnológicas capaces de complementar el conocimiento con métodos novedosos.

Como tecnología emergente y novedosa está la Realidad Aumentada (RA), que permite a las personas interactuar con objetos del mundo real. Estos objetos son complementados con información virtual que les es sobrepuesta, generando una mejor interacción entre los individuos y el entorno que los rodea [3].

La adopción de estos nuevos sistemas de interacción de RA ha generado la apertura de una amplia gama de posibilidades orientadas a brindar un conjunto de soluciones en diversos campos como: el comercial, laboral, industrial, académico, militar, social, empresarial y el de la salud [4]. Este último contexto de aplicación resulta de gran interés para el presente trabajo de grado, debido a que cuenta con amplios campos de investigación en los que es necesario un soporte tecnológico en pro de optimizar procesos que generen salud, bienestar y mejoren las condiciones de vida de una persona.

Entre las profesiones propias del sector salud está la Fonoaudiología [5], que incluye entre sus áreas de interés la Audiología [6], encargada de tratar alteraciones o inhabilidades en la recepción, análisis y procesamiento de la información auditiva. Una de esas alteraciones son los Trastornos en el Procesamiento Auditivo Central (TPAC), resultados de una disfunción en el procesamiento de la información auditiva [7], que conllevan a dificultad para detectar la presencia de un sonido, dificultad para entender conversaciones en ambientes ruidosos, seguir instrucciones complejas, entre otras.

Para el caso de estudio a abordar en este trabajo, los especialistas del área soportan el tratamiento de dichos trastornos en fuentes separadas de estímulos auditivos y visuales, bajo la referencia del Protocolo de Evaluación de Habilidades Específicas del Procesamiento Auditivo Central (PEHEPAC). No obstante y de acuerdo a reuniones

realizadas con ellos<sup>1</sup>, consideran que estas técnicas podrían ser mejoradas si tuvieran la posibilidad de realizar una integración sensorial<sup>2</sup>. De esta manera, lograrían enriquecer su proceso de intervención con experiencias multi-sensoriales en las que la RA puede jugar un papel importante para la exploración de nuevas alternativas [8] que complementen o mejoren los estilos tradicionales de detectar y tratar los TPAC a través de un componente didáctico.

La inclusión de RA en el tratamiento de trastornos auditivos, además de proveer componentes visuales y auditivos aumentados e interactividad, también contribuye a superar dificultades asociadas al trastorno tales como: la adaptación escolar y en general a la cotidianidad [8]. La RA ofrece la posibilidad de manipular un modelo digital en tres dimensiones similar a como se haría con un modelo físico, permitiendo crear un pensamiento espacial, esencial para el pensamiento científico y usado para representar y manipular información en el aprendizaje y en la resolución de problemas, ventajas señaladas para la RA que otras herramientas tecnológicas como una aplicación web, un video juego convencional o un TV no ofrecen [9]. Por otro lado, esta tecnología permite que los posibles usuarios (pacientes) tengan una aproximación más real a la información que se les pretende suministrar, de modo que conlleve a una menor dificultad para la asociación entre la información presentada y la de su entorno, facilitando su adaptación escolar y social.

Como puede apreciarse, la RA no solo es una tecnología de actualidad y proyección, sino también una herramienta que provee todas las potencialidades para su incorporación como nuevo sistema de interacción, en procesos que mejoren o complementen los métodos comúnmente empleados para el tratamiento de trastornos en el PAC.

Según el Hype Cycle<sup>3</sup> [10], de julio de 2012, las tecnologías móviles, junto a la RA, liderarían las listas de las tendencias tecnológicas en los próximos cinco años. Las tecnologías móviles proporcionan componentes de interacción y dinamismo a los usuarios; además, a diferencia de otros dispositivos de RA, son portables y de fácil adquisición en el mercado. Estas características abren la posibilidad de seleccionar los dispositivos móviles como la plataforma más adecuada para el despliegue de RA. Entre los sistemas operativos disponibles para dispositivos móviles están Android, iOS y Windows Phone, cuya participación en el mercado es de 84.7%, 11.7% y 2.5% respectivamente para el segundo trimestre del 2014 (ver ANEXO B), pronosticándose de esta manera a Android como el líder indiscutible en SO móvil para Smartphone y a Samsung como el líder en ventas de smartphones según estudios realizados por la IDC (International Data Corporation).

Android es uno de los SO más recientes en su incursión en el mundo móvil. A diferencia de otros sistemas operativos, Android es caracterizado por: su extensa gama de dispositivos en el mercado, “su amplia expectativa y crecimiento en los últimos años, así como también las grandes ventajas que ofrece a los desarrolladores de aplicaciones por sus características de código abierto y flexibilidad de configuración” [11]; dichos aspectos contribuyen a la selección de Android como la mejor alternativa tecnológica para abordar los requerimientos del presente trabajo de grado.

---

<sup>1</sup> Resultado obtenido de encuesta realizada, ver ANEXO A.

<sup>2</sup> Integración sensorial: combinación de diferentes sentidos (audición, visión, tacto, etc.)

<sup>3</sup> Representación gráfica de la madurez, adopción de tecnologías y aplicaciones, y la forma en que estas son potencialmente relevantes.

De lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo utilizar técnicas de Realidad Aumentada, soportadas en dispositivos móviles, para el tratamiento de Trastornos en el Procesamiento Auditivo Central?

Con el propósito de construir una solución a la pregunta de investigación es planteada la presente propuesta con los siguientes objetivos.

### 1.3. OBJETIVOS

---

#### 1.3.1. Objetivo general

Aplicar técnicas de realidad aumentada en dispositivos Android para brindar soporte en el tratamiento de trastornos en el procesamiento auditivo central.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Seleccionar las técnicas<sup>4</sup> de RA más adecuadas para el tratamiento del trastorno en el procesamiento auditivo central.
- Construir un prototipo Android que haga uso de la(s) técnica(s) de RA seleccionada(s).
- Desarrollar un caso de estudio, con fines de evaluación, en el contexto de trabajo de la institución Fisiocenter.

### 1.4. ALCANCE

---

El presente trabajo de grado busca desarrollar un prototipo que haga uso de técnicas de RA para soportar tratamientos en los Trastornos del Procesamiento Auditivo Central. Para ello realiza un análisis de las herramientas y dispositivos actuales que sirven de soporte para la RA, establece diversos criterios para escoger aquel o aquellos que brinden las mejores características para el tipo de aplicación a desarrollar, orientada hacia el campo de la salud. Posteriormente construye un prototipo a partir de las herramientas y dispositivos seleccionados para finalmente ser implementado en un caso de estudio en particular.

Las tecnologías a analizar comprenden: dispositivos móviles y los SDKs de RA. Otras herramientas complementarias como las orientadas hacia el diseño gráfico tridimensionales y animación, motor de video juegos, no son consideradas dentro del estudio. De igual manera, el sistema operativo móvil para el análisis de las herramientas es Android debido a su naturaleza libre, excluyéndose los demás sistemas operativos para trabajos futuros. El presente trabajo de grado está enfocado únicamente en un área específica de la salud como son los trastornos en el PAC donde la población objetivo son niños. Para su implementación es realizado un caso de estudio en la institución Fisiocenter.

---

<sup>4</sup> Entendiéndose por *técnica* como el “conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte” según la Real Academia Española en <http://lema.rae.es/drae/> y [12].

## 1.5. APORTES DEL PROYECTO

---

El desarrollo de este trabajo de grado brinda los siguientes aportes:

- Base teórica relacionada con RA en el contexto de dispositivos Android y aplicaciones ubicuas.
- Reporte de la(s) herramienta(s) y/o tecnología(s) empleada(s) para RA en el contexto de dispositivos Android.
- Integración del uso de técnicas de RA utilizando dispositivos Android aplicados para el tratamiento de la salud auditiva.
- Un piloto, que haga uso de técnicas de RA, con el fin de utilizarlo para el tratamiento de trastornos del procesamiento auditivo central.
- Reporte de resultados de la experiencia piloto implementada en el caso de estudio.

## 1.6. ESTRUCTURA DE LA MONOGRAFÍA

---

El documento está organizado en cinco capítulos descritos a continuación:

**Capítulo 1:** contiene una introducción del tema, la definición del problema y especifica los objetivos a alcanzar con el trabajo de grado.

**Capítulo 2:** construye la base teórica alrededor de RA y el Procesamiento Auditivo Central (PAC). A partir de estos núcleos temáticos realiza una descripción de los trabajos relacionados junto a sus aportes y brechas.

**Capítulo 3:** caracteriza el TPAC, son presentadas las técnicas de RA y concluye con la selección de las técnicas de RA apropiadas al caso de estudio.

**Capítulo 4:** realiza la descripción de la selección del dispositivo móvil, el SDK de RA y a partir de estas técnicas, es construido un prototipo funcional que adapte el PEHEPAC para su uso en RA, para ello presenta el análisis de la organización del caso de estudio, al igual que el diseño y modelado del prototipo.

**Capítulo 5:** presenta los métodos de investigación disponibles para la recolección de información, especifica los usados en este trabajo, también documenta la implementación del prototipo en el caso de estudio y son analizados los resultados obtenidos.

**Capítulo 6:** describe los aportes generados a partir de la investigación de este trabajo, plantea las conclusiones y finaliza con la descripción de posibles trabajos futuros en el tema.

## 1.7. METODOLOGÍA

---

Con el propósito de cumplir los objetivos establecidos para el presente trabajo de grado, la metodología a seguir tiene como base inicial de referencia los lineamientos establecidos en el “Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería” [13], por medio del cual, serán desarrolladas un conjunto de actividades. La metodología propuesta consiste en:

- El “Modelo para la Investigación Documental (MID)” [14]: empleado para la elaboración de una base de conocimiento teórica en temas como: realidad aumentada (RA), dispositivos de RA, tecnologías de desarrollo, procesamiento auditivo central, entre otros.
- El “Modelo para la Construcción de Soluciones (MCS)” [15]: será empleado como una metodología de referencia en el proceso de análisis, diseño, e implementación de un prototipo de prueba. Cabe aclarar que de todas las fases del MCS solo son consideradas aquellas herramientas que permitan un desarrollo rápido de la solución.

Finalmente, para la captura de información en el caso de estudio en donde es implementado el prototipo de prueba, son consideradas técnicas de recolección de información, las cuales están conformadas por dos lineamientos: la investigación cuantitativa y la investigación cualitativa. Estas a su vez están compuestas por instrumentos estandarizados para recolectar la información como son las encuestas y las entrevistas.

## 1.8. ACTIVIDADES

---

A continuación son descritas las actividades a realizar para alcanzar los objetivos propuestos.

**Objetivo Específico 1:** seleccionar las técnicas de RA más adecuadas para el tratamiento del trastorno en el procesamiento auditivo central (según MID).

- **Actividad 1. Recopilación bibliográfica:** estudio y revisión de información relacionada con: conceptos fundamentales sobre RA, tipos de tecnologías para RA, dispositivos de uso actual y SDKs de desarrollo para Android.
- **Actividad 2. Construcción de la base teórica:** depuración de la información recopilada para su posterior síntesis en la construcción del marco teórico.

**Objetivo Específico 2:** construir un prototipo Android que haga uso de la(s) técnica(s) de RA seleccionada(s) (según MCS).

- **Actividad 3. Selección de técnicas:** análisis de los SDK de RA adecuados para el PEHEPAC, a partir de la definición de criterios de evaluación que permitan comparar sus características para su posterior selección.
- **Actividad 4. Formulación:** selección de los dispositivos Android adaptables a las condiciones necesarias. Trabajo de campo, diseño, análisis y adaptación del PEHEPAC para su uso en RA.

- **Actividad 5. Ejecución:** implementación de la adaptación diseñada del PEHEPAC al sistema de RA.
- **Actividad 6. Validación:** verificación de las características funcionales del sistema de RA implementado.

**Objetivo Específico 3:** desarrollar un caso de estudio, con fines de evaluación, en el contexto de trabajo de la institución Fisiocenter.

- **Actividad 7. Formulación:** análisis, diseño y construcción de un piloto que permita evaluar el mecanismo en el caso de estudio.
- **Actividad 8. Ejecución:** implementación del piloto en el contexto del caso de estudio.
- **Actividad 9. Pruebas:** verificación de las características funcionales del sistema de RA, mediante la realización de pruebas al piloto desarrollado, en el entorno real propuesto.
- **Actividad 10. Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas:** análisis y conclusiones del proyecto.

# CAPÍTULO 2

## Estado del Arte

### 2.1. INTRODUCCIÓN

---

Esta unidad del trabajo de investigación presenta el estado actual del conocimiento del problema, dividido en las siguientes secciones temáticas:

- *PAC*: la población base para la investigación está enmarcada bajo un área específica del ámbito de la salud, concretamente la audiología, encargada de tratar los Trastornos en el Procesamiento Auditivo Central, objeto de estudio de este trabajo de grado.
- *Realidad Aumentada*: la tecnología establecida para proporcionar herramientas que sirvan para abordar el problema del presente trabajo, orientándola hacia el soporte en tareas de salud desde la perspectiva de un contexto ubicuo.

Finalmente, la última sección de la unidad presenta las síntesis de proyectos relacionados con estas temáticas a nivel internacional, nacional e institucional y su relación con este trabajo.

### 2.2. CONTEXTO GENERAL

---

#### 2.2.1. Procesamiento Auditivo Central (PAC)

##### 2.2.1.1. Introducción al PAC

El presente trabajo de grado tiene como uno de sus objetivos complementar las técnicas empleadas por los especialistas del caso de estudio para tratar los trastornos del PAC, los cuales son tema de estudio de diferentes ramas de la salud, algunas de ellas son la fonoaudiología y la audiología. La fonoaudiología es una disciplina encargada del estudio de la comunicación humana y su manifestación en trastornos de la voz, la audición y el lenguaje [5] [16]; los lineamientos que han seguido en general las aplicaciones de RA han sido en torno al campo visual, sin embargo, este trabajo de grado pretende vincular también el sentido de la audición, por esta razón es seleccionada una de las sub-áreas de trabajo de la fonoaudiología: la audiología [17] encargada de tratar trastornos que generan problemas auditivos tales como las pérdidas parciales o totales en la audición [6].

Uno de los focos de estudio de la audiología está alrededor del PAC, denominado como: “la capacidad que tiene el sistema nervioso central para procesar, analizar, interpretar y emplear la información sonora que recibe” [18], en otras palabras es “lo que hacemos con lo que escuchamos” [19]; cuando existen desordenes que perjudican el procesamiento o la interpretación de la información que recibe el sistema auditivo es denominado un Trastorno en el Procesamiento Auditivo Central (TPAC). Este trastorno ocasiona limitantes en: la comprensión del habla, la evolución lingüística, la capacidad de escucha y la posibilidad de aprender de una forma eficaz, por ende, genera problemas al momento de: atender, discriminar, recordar y comprender el habla, así este dentro de la normalidad su audición periférica y demás competencias cognitivas [20].



Aunque existen test certificados por la Asociación Americana del Habla, Lengua y la Audición (American Speech-language-Hearing Association, ASHA) para la valoración del PAC, tales como: Test de Discriminación Auditiva, Test de Procesamiento Temporal, Test Dicóticos, Test Monoaurales de Habla de Baja Redundancia, Test de Interacción Biaural y Pruebas Electrofisiológicas, para fines del presente trabajo de grado es utilizado y estudiado un test o protocolo denominado PEHEPAC [18], una producción intelectual realizada por estudiantes de postgrado de la Corporación Universitaria Iberoamericana.

### **2.2.1.2. Trastorno del PAC (TPAC)**

Después de realizar estudios en adultos con lesiones en el sistema nervioso auditivo central, en la década de 1970, surge el concepto de Trastorno del Procesamiento Auditivo Central. Con estas investigaciones, inicia el desarrollo de pruebas para evaluar el TPAC en niños.

Temas como el diagnóstico y el tratamiento del TPAC, 25 años después continúan generando controversia. A pesar de que recientemente investigadores centraran sus estudios en el TPAC, inusualmente es definido el concepto propiamente dicho. El TPAC es definido por la ASHA en 1996 (revisado en ASHA, 2005b) como: “la dificultad del sistema nervioso central para procesar información auditiva, demostrada por resultados deficientes en una o más de las siguientes capacidades funcionales: localización y lateralización del sonido; discriminación auditiva; reconocimiento de patrones auditivos; aspectos temporales de la audición, tales como integración temporal, resolución temporal (por ejemplo, detección de vacíos temporales), ordenamiento temporal y enmascaramiento temporal; desempeño auditivo frente a señales acústicas competitivas (incluida la audición dicótica); y desempeño auditivo en condiciones de degradación de la señal acústica” [19][21]. Con el objetivo de tratar estos trastornos, un grupo de estudiantes de la Corporación Universitaria Iberoamericana, realizó una investigación que recolecta toda la información concerniente a los TPAC y los elementos que pueden ser utilizados en una sesión de terapia para tratarlos, cuyo resultado fue la definición del PEHEPAC, el cual ha sido el referente actual utilizado en el caso de estudio del presente trabajo de grado, por lo tanto es necesario explicar en qué consiste. La explicación detallada de este protocolo puede encontrarse en el capítulo 3.

Una vez presentada la información relacionada con los TPAC es necesario centrarse en otro de los temas de interés del presente trabajo de grado, el cual es la descripción de la tecnología de RA, la cual es estudiada para abordar la solución al problema planteado.

### **2.2.2. Realidad Aumentada (RA)**

Aunque el concepto de RA fue propuesto inicialmente por Iván Sutherland [22], actualmente son aceptadas las definiciones de Salmi [23], Azuma [24] y Milgram [25]. De acuerdo con Azuma, la RA combina aspectos de un entorno real y un entorno virtual, es interactiva en tiempo real y sus objetos son combinados en 3-D, es decir, la RA permite al usuario ver el mundo real, con objetos virtuales superpuestos o compuestos con el mundo real [24]. Este aumento consiste en objetos virtuales y/o información adicional añadida al entorno real, por lo tanto, la RA suplementa la realidad en lugar de sustituirla por completo [26]. Posteriormente, aspectos como la visualización de contenidos en 2D se han convertido en parte de la definición de RA, aunque la definición original de Azuma todavía sigue siendo una referencia importante para la RA [23].

De la definición anterior, tres aspectos fundamentales son importantes de mencionar: en primer lugar, la RA no está limitada a tecnologías de visualización particulares como una pantalla montada en la cabeza (Head Mounted Displays, HMD), unas gafas como las Google Glass o un dispositivo específico. En segundo lugar, esta definición tampoco es limitada al sentido de la vista ya que la RA puede potencialmente aplicarse a todos los sentidos, incluyendo el oído, el tacto y el olfato. Por último, la eliminación de objetos reales mediante la superposición de objetos virtuales es conocida como realidad mediada o disminuida y también es considerada como parte de la RA [3].

La RA y la Virtualidad Aumentada (VA) hacen parte de la Realidad Mixta (RM)[3]; estas a su vez son un caso particular de las tecnologías de Realidad Virtual (RV). La RV está fundamentada en experiencias sensoriales virtuales por medio de la visualización de un ambiente completamente sintético. La característica más destacable de los entornos de RV y factor diferenciador de los demás ambientes de visualización, es la inmersión, lo que implica para el usuario un aislamiento del ambiente real [27]. En los entornos virtuales, el ambiente real es reemplazado o eliminado completamente y predomina la información sintética. Por otro lado, la Realidad Aumentada (RA) es definida también, como una visión directa o indirecta en tiempo real de un entorno físico del mundo real que ha sido mejorado o aumentado con información virtual generada por un computador [4], uniendo por tanto el mundo real y el virtual pero predominando el primero [27].

Paul Milgram y Fumio Kishino [25] presentan una propuesta de un esquema de la taxonomía del continuo realidad-virtualidad, ver Figura 1 a. En este continuo, el ambiente real está en un extremo y en el otro el ambiente virtual. En medio del continuo está el ambiente mixto en el cual aparece una unión de ambos mundos; la RA aparece más cerca al mundo real y la VA más cercana a los ambientes virtuales puros [27]. Este continuo ya clásico [25] puede derivarse como modelo educativo [23] y fue ampliado en un plano de dos dimensiones de "virtualidad" y "modalidad", ver Figura 1.b.

El modelo describe dos escenarios de la educación: el aprendizaje formal e informal desde una nueva perspectiva, añadiendo la dimensión virtual-real. Muestra los diferentes tipos de soluciones de aprendizaje virtual que han producido una gran cantidad de nuevos materiales de aprendizaje, especialmente para ambientes informales, que corresponde al área de interés del presente proyecto (RA).

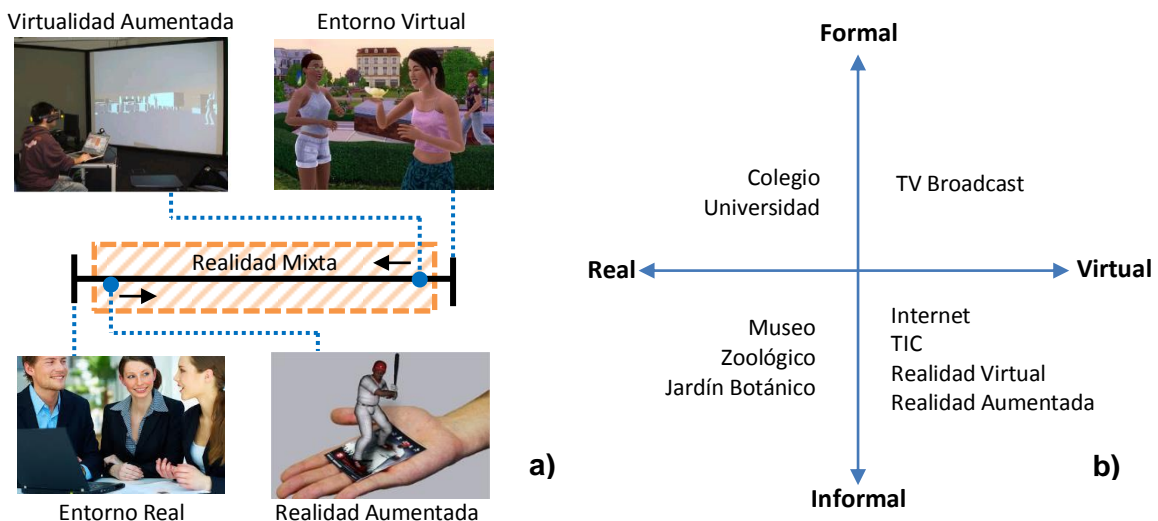


Figura 1. a) Continuo realidad-virtualidad. b) Continuo clásico como modelo educativo.

La RA está entre las tecnologías emergentes más interesantes y prometedoras, de acuerdo a estudios realizados por la vicepresidenta de Gartner, Jackie Fenn [28]. Esta tecnología es considerada relevante, debido a que tiene la posibilidad de ofrecer grandes cambios. Este estudio es respaldado a través de la Metodología [10] de Gartner Hype Cycle, en su versión 2012 [29], ubica la RA entre un segmento del ciclo llamado: pico de expectativas infladas (a menudo acompañados por decenas de fracasos), en donde la publicidad temprana produce una serie de historias de éxito, además, proyectan una adopción generalizada de la tecnología de 5 a 10 años, ubicando la RA entre las tecnologías que tienen un potencial de impacto significativo. Al igual que la RA, las tecnologías móviles también están presentes en este Hype Cycle en forma de tabletas, pagos NFC, respuesta rápida (QR)/códigos de colores, tiendas de aplicaciones móviles y de aplicaciones sensibles a la localización. Las primeras aplicaciones de RA, más ampliamente difundidas entre usuarios están relacionadas con el marketing en teléfonos inteligentes. Sin embargo, se predice que surgirán muchas más aplicaciones de RA, las directrices que predominaran incluirán temas como: la impresión interactiva, compras móviles y la educación de los niños, según un nuevo estudio realizado por ABI Research [30]. Las aplicaciones de RA generaron cerca de 300 millones de dólares en ingresos a nivel mundial en 2013 [31] y son esperados más de 1.500 millones de dólares para el año 2015 [32], según informes de Juniper Research y proyecta que más de 2.500 millones de aplicaciones de RA sean descargadas a teléfonos inteligentes y tabletas por año para el 2017 [31].

### 2.2.3. Características y Ventajas de la RA

En 1997 Azuma [24] define los sistemas de realidad aumentada mediante tres características [33]:

1. *Un ambiente de realidad aumentada combina información real y virtual.* La realidad aumentada integra información en el entorno real mediante la inserción de imágenes virtuales en los entornos reales, a través de animaciones u objetos estáticos sobre el video grabado del entorno mediante la cámara del dispositivo.
2. *Es interactivo en tiempo real.* El usuario puede interactuar con los objetos virtuales mientras que simultáneamente interactúa con el entorno real.
3. *Registra información en 3-D.* La RA realiza reconocimiento de objetos en tercera dimensión del entorno a través de distintas técnicas de reconocimiento que permiten superponer información de los objetos en el entorno, asegurando una correspondencia del objeto con la información virtual.

La tercera característica no constituye un limitante para los sistemas, de aumentar sólo gráficos 3-D, debido a que muchas aplicaciones renderizan<sup>5</sup> etiquetas 2-D u otro tipo de información, por ejemplo auditiva [27]; sin embargo, el sistema si debe tener en cuenta también posiciones tridimensionales para poder superponer de forma coherente los gráficos virtuales sobre los objetos reales que son en 3-D.

---

<sup>5</sup> Proceso de generar a partir de un modelo, una imagen (imagen en 3D o una animación en 3D), usando una aplicación de computador.

Algunas de las ventajas ofrecidas por los entornos de realidad aumentada son las siguientes [27]:

- Sobre el ambiente real es realizado el reconocimiento de objetos y sobre éste son sobrepuestos los gráficos generados por computador. El usuario de un sistema de RA puede interactuar tanto con los objetos virtuales como los reales y además puede mantener las herramientas tradicionales de interacción con los objetos del entorno.
- Los sistemas de RA integran la información adicional directamente sobre el entorno de una forma no invasiva.
- La RA acerca al usuario a un nivel de realismo mayor en la percepción, debido a que permite al usuario conservar su entorno real y agrega en menor medida información virtual, a diferencia de la realidad virtual.
- Por medio de la RA puede accederse a información que en un ambiente real sería difícil de visualizar, constituyendo una solución viable y económica desde el punto de vista tecnológico.
- Por medio de la superposición de gráficos virtuales en el entorno real, lograda por la RA, las oportunidades en los ámbitos de interacción humano–máquina son extendidas.

## **2.3. TRABAJOS RELACIONADOS**

---

### **2.3.1. Trabajos relacionados contexto Internacional**

- **Augmented Reality on Android Smartphones**

El objetivo de este trabajo es examinar la realidad aumentada en los teléfonos inteligentes Android utilizando la herramienta ARToolKit. Aquí son mostradas las aplicaciones que pueden dársele a la Realidad Aumentada en diversos contextos sociales, también explica el funcionamiento de la arquitectura Android, las APIs utilizadas, el entorno de desarrollo y el hardware utilizado. Posteriormente son presentadas las limitaciones que poseen los dispositivos móviles y cuáles son las tecnologías utilizadas para el desarrollo de aplicaciones de RA en el contexto móvil haciendo uso de la plataforma Android. Adicionalmente, define la arquitectura del Framework desarrollado, llamado AndAR, y los métodos para optimizar el rendimiento de la aplicación en los dispositivos. El principal aporte de este trabajo es una arquitectura de referencia para la creación de aplicaciones de RA utilizando java como estructura de soporte, pero es limitada ya que solo es aplicable a dispositivos Android cuyas versiones no son recientes (1.5 y 2.2), además los algoritmos empleados para el procesamiento y reconocimiento de imágenes y/o markers no son muy eficientes [34], por otra parte no tienen relación con el tratamiento de trastornos auditivos.

- **Markerless Augmented Reality Android App For Interior Decoration**

Este trabajo presenta una aplicación de realidad aumentada para la decoración de interiores haciendo uso de Smartphone Android y utilizando el SDK Metaio, describe los diferentes tipos de tecnologías de displays utilizadas por la realidad aumentada como anteojos, HMD, displays de retina virtual, etc. También describe los actuales SDK de uso libre que utilizan la plataforma Android, seguido a esto, este trabajo realiza una comparación entre las diferentes herramientas que pueden utilizarse para la RA, donde existen varias explicaciones sobre el porqué fue seleccionada la herramienta *metaio*, también son descritos los algoritmos utilizados para el seguimiento y captura de información y por último el trabajo muestra algunas imágenes con la aplicación en funcionamiento [\[35\]](#).

Los aportes del presente trabajo están enmarcados, principalmente, en el componente tecnológico, debido a que da a conocer diferentes herramientas de desarrollo de una aplicación basada en RA incluyendo el modelado en 3D de diferentes objetos, además del hecho de combinar estas tecnologías para ser utilizadas por dispositivos móviles como lo son los Smartphone

- **Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de Realidad Aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas**

El objetivo de este trabajo de tesis de maestría consiste en estudiar las herramientas de uso libre existentes para el desarrollo de aplicaciones de RA para dispositivos móviles bajo la plataforma Android e identificar las ventajas e inconvenientes entre ellas, para ello seleccionaron cuatro SDK de uso libre como lo son: AndAR, NyARToolkit, Vuforia y Metaio. Aquí realizan una descripción de las características, ventajas y limitaciones de cada uno y posteriormente generan una comparación entre el desempeño, seguimiento y procesamiento de la información para cada uno de los SDK elegidos utilizando markers así como sin el uso de ellos, destacándose principalmente los últimos, el trabajo concluye con el resultado de que el SDK Vuforia presenta un mayor desempeño y eficiencia frente a los demás SDK.

Los aportes del presente trabajo están enmarcados principalmente en las características, ventajas, desventajas y consideraciones a tener en cuenta en el momento de elegir una herramienta de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada para dispositivos móviles [\[36\]](#), pero no genera un aporte en el tratamiento de los trastornos del procesamiento auditivo central.

- **Potential for providing augmented reality elements in special education via cloud computing [\[8\]](#)**

Este trabajo observa dos tendencias tecnológicas y llama la atención sobre la posibilidad sinérgica de probarlas. Plantean el uso de técnicas de RA con el propósito de mejorar procesos de aprendizaje en alumnos con necesidades especiales utilizando computación en la nube, fue desarrollado en Malasia.

Su aporte principal es la identificación de una necesidad expresada por los especialistas de educación especial: el aprendizaje debe ser una experiencia multi-sensorial para los estudiantes; este trabajo considera personas con necesidades especiales, específicamente con problemas cognitivos y no auditivos. En este sentido

los TPAC contribuyen de manera negativa a incrementar los problemas cognitivos, por lo cual la experiencia descrita en el artículo es considerada una primera aproximación a la solución del problema planteado, puesto que su contexto es el educativo y no explora ningún SDK para dispositivos móviles.

- **Sistema de Aprendizaje Virtual Interactivo para personas con autismo y dificultades de Aprendizaje (SAVIA)**

La internacional de tecnologías de la información Indra [37] desarrolló SAVIA [38], tiene como objetivo implementar tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada con el propósito de dar soporte a la intervención formativa y educativa que profesionales y familiares realizan con personas con Trastornos del Espectro del Autismo (TEA), con o sin discapacidad intelectual. Indra propone el desarrollo de una plataforma tecnológica capaz de integrar sistemas y herramientas que cubran todos los contenidos educativos necesarios para las personas con TEA y permitan trabajar diferentes aspectos que hasta ahora requerían de soluciones diversas, como aprendizajes básicos (grande, pequeño, lejos, cerca, etc.), habilidades para la vida diaria (aseo, alimentación, etc.); conceptos como el trabajo en grupo y la comprensión de las relaciones, el reconocimiento de emociones o habilidades como la imaginación y el juego [39]. Este trabajo es presentado como una nueva solución que será diseñada para funcionar en videoconsolas, computadores y otras plataformas interactivas de uso extendido. El producto final está disponible desde finales del año 2013. Este gran proyecto integra tecnologías de RA en el aprendizaje con niños con necesidades educativas especiales, sin embargo no hacen énfasis en discapacidades auditivas ni en procesos de tratamiento o rehabilitación, sino en discapacidades cognitivas y procesos educativos.

- **La evaluación del procesamiento auditivo central: test de dígitos dicóticos**

El test de dígitos dicóticos consiste en la presentación simultánea en ambos oídos de dígitos del uno al nueve de forma aleatoria, agrupados en bloques de uno, dos y tres pares.

Las técnicas de evaluación del PAC más utilizadas son las conductuales no invasivas y las pruebas electrofisiológicas. Este trabajo está centrado en los procedimientos no invasivos, específicamente los test de escucha dicótica (ED), los cuales son ampliamente aceptados para diagnosticar trastornos del PAC tanto en contextos educativos como clínicos. Los test de ED que emplean números como ítems son clasificados como test de números dicóticos y test de dígitos dicóticos. El primero consiste en presentar de forma simultánea por cada oído cuatro dígitos agrupados en bloques de dos pares. El segundo presenta de forma aleatoria bloques de uno, dos y tres pares de números. Aquí son tomadas algunas variables que determinan de forma significativa las puntuaciones obtenidas en los test de ED, estas son: la edad y el grado de dificultad de la prueba. Finalmente, el material utilizado para la evaluación del PAC consiste de una grabación digital de los números del 1 al 9 [40].

El principal aporte de este trabajo es el conocimiento de otra forma de evaluar el PAC por medio de la utilización de dígitos para facilitar el estímulo auditivo de una forma básica, pero es limitada al no considerar otros aspectos y al no utilizar técnicas de RA para generar un entorno más didáctico y enriquecido.



- **Ayudas Informáticas para alumnos con deficiencias auditivas. Tecnologías de ayuda para el aprovechamiento de restos auditivos.**

Este artículo del “Espacio Logopédico” presenta una serie de programas que proporcionan una retroalimentación visual de la expresión oral para que los niños con problemas de audición, en ausencia de un feed-back auditivo, puedan ensayar determinados patrones relativos al modo de la articulación, la entonación y la intensidad, entre estos están: el sistema VISHA (VISualización del HAbLa), el visualizador Fonético de IBM (Speechview3.0), Proyecto Fressa 2000, TESSA (Text and Sign Support Assistant), entre otros. Este último es uno de los más recientes, representa un complejo prototipo de una persona virtual encargada de procesar el lenguaje hablado y traducirlo a Lengua de Signos; fue creado por la empresa británica Televirtual [\[41\]](#).

El aporte de este trabajo radica en el conocimiento de otro tipo de tecnologías que son aplicadas a trastornos auditivos, sin embargo, no abordan específicamente el PAC, emplean programas de escritorio convencionales y como núcleo de sus aplicaciones utilizan únicamente la voz, sin explotar componentes visuales, como es pretendido en este proyecto.

### **2.3.2. Trabajos relacionados contexto Nacional**

- **Mobile augmented reality Applications in daily environments**

Este artículo presenta las experiencias adquiridas con el uso de realidad aumentada en dispositivos, específicamente, en la necesidad de preservar el patrimonio cultural a través del uso de realidad aumentada.

Su aporte para el presente proyecto radica en la arquitectura implementada y la evaluación cuantitativa de los resultados, consistió en encuestas que preguntaban sobre aspectos tales como la eficiencia, la aceptación de la tecnología, ergonomía y facilidad de uso. Sin embargo su campo de implementación es otro, el patrimonio cultural colombiano sobre el cual buscan mejorar la experiencia de usuario al presentar piezas culturales colombianas detalladas. Aunque incluye dispositivos portátiles para la visualización, no está enfocado ni en el tratamiento de problemas auditivos ni en ningún campo relacionado con la audiología [\[42\]](#).

### **2.3.3. Trabajos relacionados contexto Institucional**

- **Integración de actividades de aprendizaje contextual en la plataforma .LRN a través de dispositivos móviles Android con soporte NFC [\[43\]](#)**

En este trabajo de grado explora un nuevo mecanismo que tiene como propósito contribuir en los procesos de enseñanza y aprendizaje en sistemas LMS, presentando como caso de estudio uno de los sistemas de gestión del aprendizaje utilizados en la Universidad del Cauca; el contenido de dicho trabajo presenta la definición, implementación y evaluación de una arquitectura de referencia, como soporte para la integración de dispositivos móviles con soporte NFC en actividades de aprendizaje contextual desarrolladas sobre una plataforma LMS a partir del modelo de Internet de Objetos.

El presente trabajo está orientado hacia los temas de aprendizaje contextual, aprendizaje móvil, aprendizaje ubicuo, pero excluye temas de salud. La arquitectura propuesta no resulta de interés para el presente trabajo, sin embargo la técnica de investigación cualitativa “Focus Group” (Grupos Focales) empleada en la sección de experimentación y resultados podría resultar útil para el presente trabajo, debido a que ofrecería una aproximación rápida sobre aspectos del producto que desean evaluarse.

- **Evaluación de Tecnologías Ubicuas Para Divulgación de Avifauna Turística. Caso de Estudio Sala Ornitología Museo Natural Universidad del Cauca [\[44\]](#)**

Este trabajo de grado de la Universidad del Cauca está basado en la divulgación de información relacionada con la avifauna de la región, a través de la implementación de tecnologías ubicuas como la RA en el interior del museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca en la ciudad de Popayán y uno de sus objetivos es el fortalecer y fomentar el turismo. Como SDK de RA se ha utilizado *Aurasma* por su gran facilidad de desarrollar aplicaciones de RA de forma ágil y rápida.

Aunque este trabajo implementa el uso de la tecnología de RA no está enfocado en tratar alteraciones auditivas ni mucho menos los TPAC, pero es el único precedente de cómo utilizar la Realidad Aumentada para agregar un valor innovador a una experiencia tradicional.

Una vez conocido el estado actual del conocimiento del problema frente a las temáticas de PAC, TPAC y RA, en el capítulo siguiente es extendida la información acerca de estas áreas, caracterizando el protocolo de evaluación utilizado por los terapeutas del caso de estudio conocido como PEHEPAC y su condicionamiento en el desarrollo de la investigación sobre RA.



# CAPÍTULO 3

## PEHEPAC y técnicas de RA

### 3.1. INTRODUCCIÓN

---

Este capítulo muestra la descripción del caso de estudio, presenta en detalle el protocolo de evaluación empleado por los terapeutas en este contexto, posteriormente cita las técnicas de RA disponibles y concluye con la selección de las técnicas más apropiadas para abordar la solución de la pregunta de investigación del presente trabajo de grado.

### 3.2. CONTEXTO DEL CASO DE ESTUDIO

---

Fisiocenter es una Institución Prestadora de servicios de Salud (I.P.S) en la ciudad de Popayán, especializada en la rehabilitación humana y el cuidado corporal. La labor de Fisiocenter es dirigida al fortalecimiento de la salud del individuo, la familia y la comunidad, con el propósito de mejorar la calidad en todos los estilos de vida, son gestores de procesos de planeación, asistencia y evaluación de la salud integral del hombre, con el fin de promover la funcionalidad en el área familiar, laboral y social.

Entre los servicios prestados por Fisiocenter está la fonoaudiología, la terapia física, respiratoria; entre otras, todas ligadas al contexto de Neurodesarrollo. El presente trabajo de grado toma como caso de estudio el área de Fonoaudiología. Actualmente esta institución ha ampliado su infraestructura tanto en servicios y recurso humano, permitiendo posicionarse como uno de los centros de rehabilitación más importantes y demandados de la ciudad y el departamento.

Dentro del contexto del caso de estudio seleccionado, son tratadas diferentes alteraciones o trastornos, de la voz, el habla, el lenguaje y la audición, para este trabajo es considerado específicamente el TPAC. Además, es descrito el PEHEPAC, un protocolo usado por la audióloga de la Institución para detectar la situación del menor en relación a sus habilidades en el PAC. En donde son especificadas cada una de las habilidades tratadas por el PEHEPAC, el objetivo de cada una, la evaluación respectiva y las dificultades presentadas en caso de no cumplir con la misma. Este protocolo se explica a continuación.

#### 3.2.1. Protocolo de Evaluación de Habilidades Específicas en el Procesamiento Auditivo Central (PEHEPAC) [\[18\]](#)

Es un protocolo que permite evaluar las habilidades específicas del PAC en niños de 7 años (edad cronológica) en adelante y consiste en sesiones de aproximadamente 30 minutos, tiene como finalidad determinar que habilidades del PAC presentan algún desorden o déficit mediante un conjunto de actividades y procedimientos, de esta forma el protocolo permite tratarlas y/o reforzarlas. Debido a esto, este protocolo es tomado como referencia para el soporte en el tratamiento de los trastornos del PAC, convirtiéndose en una herramienta ideal para la utilización de técnicas de RA más allá de lo puramente visual.

Las habilidades que pretende evaluar el PEHEPAC son las siguientes:

- Lateralización y localización del sonido
- Discriminación auditiva
- Reconocimiento de patrones auditivos
- Aspectos temporales de la audición
- Desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales
- Desempeño auditivo con señales acústicas degradadas

Este protocolo define cada una de las habilidades, explica las partes anatómicas que son estimuladas por cada habilidad, plantea un objetivo a lograr y realiza un conjunto de instrucciones que el niño debe desarrollar para completar de forma adecuada la sesión, finalmente realiza una evaluación psicométrica.

Las habilidades citadas previamente, permiten entrever un campo potenciabile explotable, distintas formas de percepción sensorial son utilizadas, específicamente la vista y la audición y abre con esto la posibilidad de integrar técnicas de RA que fortalezcan y complementen ambos sentidos.

### **3.2.1.1. Propósitos, usos y limitaciones del PEHEPAC**

El *PEHEPAC* permite detectar a través de un conjunto de resultados (evaluación), durante y después de iniciado el proceso de escolarización, la situación del menor respecto a sus habilidades de PAC. Si alguna de las habilidades está alterada o deficiente se procede a fortalecerla o adquirirla por medio de las actividades propuestas en este protocolo. Este protocolo pretende proveer al niño una puntuación a través de la cual busca identificar como están las habilidades específicas del PAC, ya que de ellas depende la adquisición de otros patrones y/o destrezas en el presente o a futuro.

A pesar de que estas habilidades pueden ser evaluadas por equipos especializados, el *PEHEPAC* considera que solo requiere de herramientas básicas como un sonajero, una lámina y un sonido, de esta manera logran englobar la evaluación de todas las habilidades en un mismo material sencillo y práctico. Además, el *PEHEPAC* puede ser aplicado en cualquier sistema de evaluación de habla hispana, siempre y cuando los contenidos tengan el mismo peso y validez conceptual debido a que no está suscrito a ningún método para la enseñanza del lenguaje ni del modo del como escuchar u oír.

Para realizar la evaluación deben ser tenidos en cuenta niños sin pérdidas auditivas significativas, neuropatías auditivas, sin deficiencia mental, ni atraso importante del habla y/o lenguaje, siempre y cuando el español sea su lengua materna al igual pacientes post implante coclear reciente.

Es importante tener en cuenta que el protocolo no es adecuado para la evaluación de menores de 7 años debido a que puede generar resultados inconsistentes y con pobre veracidad debido a que en estas edades aún no se ha logrado madurar el Sistema Auditivo en correspondencia a las funciones del PAC.

### **3.2.1.2. Aplicación y calificación del PEHEPAC**

En las secciones siguientes A y B, son citadas inicialmente especificaciones o consideraciones generales para la aplicación del PEHEPAC, posteriormente es realizada una guía paso a paso para la aplicación de cada habilidad.

#### **A. Procedimiento general de la aplicación**

Debe tenerse en cuenta que el protocolo busca evaluar las habilidades específicas del PAC, por ello son registrados los resultados del menor, los comportamientos de este durante la prueba y los factores disposicionales en la prueba.

El *PEHEPAC* es aplicado en 30 minutos aproximadamente, es útil para niños entre 7 y 9 años (edad cronológica), así como para niños de edades superiores que sufren algún desfase en este rango de edad.

Antes de iniciar la evaluación, es necesaria la adecuación del espacio donde será implementada, principalmente: una mesa, dos sillas, iluminación, ventilación, una grabadora, el cassette o CD con las grabaciones respectivas y en orden de evaluación, láminas y demás material necesario. Posteriormente, para la primera parte, es indispensable la presencia de los padres ya que ellos proporcionaran información del niño pertinente a la prueba.

La evaluación debe llevarse a cabo de manera individual con el propósito de que el evaluador tenga una mayor observación y una mayor concentración por parte del menor evaluado que conlleve a obtener mejores y veraces resultados.

EL *PEHEPAC* requiere que sea respetado un orden en el momento de la aplicación, establecido de la siguiente manera:

1. Lateralización y localización del sonido
2. Discriminación auditiva
3. Reconocimiento de patrones auditivos
4. Aspectos temporales de la audición, incluyendo:
  - a) Resolución temporal
  - b) Enmascaramiento temporal
  - c) Integración temporal
  - d) Ordenamiento temporal
5. Desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales
6. Desempeño auditivo con señales acústicas degradadas

La aplicación del protocolo requiere que previamente se halla logrado una empatía con el niño, de lo contrario podría ser un factor que genere respuestas inconsistentes, además las instrucciones dadas deben ser con palabras claras y en un lenguaje natural, de ser necesario repita la instrucción pero no le de muchas pautas porque eso invalida la prueba. Es significativo de igual manera, felicitar al niño ante un acierto, esto facilitará su próxima respuesta y creará un ambiente de diversión ameno.

## **B. Procedimiento específico de la aplicación**

Esta sección especifica de forma individual las habilidades del procesamiento auditivo, también conocidas como fenómenos comportamentales subyacentes al procesamiento auditivo. El procedimiento de aplicación establecido comprende para cada habilidad: definición de la habilidad, el objetivo de la prueba, la posible evaluación y las posibles dificultades, de la siguiente manera:

### **1. Lateralización y localización del sonido:**

**Definición:** Capacidad para determinar el oído estimulado y localización de la fuente sonora. La localización define la capacidad del individuo de determinar la ubicación de la fuente sonora en el espacio, y sólo es posible a partir de la audición binaural.

**Objetivo:** Identificar la capacidad para determinar la localización del sonido como estímulo.

**Evaluación de esta habilidad:** evaluada haciendo uso de un instrumento musical tomándolo como fuente sonora, con el objetivo de ubicarlo en el espacio tanto arriba como a la derecha, izquierda, atrás y adelante. Debe realizarse mediante claves secuenciales.

**Instrucción:** “Voy a vendarte los ojos y debes indicarme con tu cabeza o con tu mano donde está sonando el instrumento”

#### **Posibles dificultades en caso de trasteo en esta habilidad:**

- Dificultad con la orientación espacial y la organización práctica constructiva.
- Dificultad para leer o deletrear.

### **2. Discriminación auditiva:**

**Definición:** habilidad para diferenciar si dos sonidos son iguales o diferentes.

**Objetivo:** identificar la habilidad para diferenciar si dos sonidos son iguales o diferentes.

**Evaluación de esta habilidad:** esta habilidad toma como parte primordial la discriminación de sonidos onomatopéyicos apropiados al campo semántico de los(as) niños(as). La tarea consiste en presentar al (la) niño(a) cuatro laminas con diferentes animales cada una, posteriormente escuchará los respectivos sonidos onomatopéyicos de cada animal por separado, el (la) menor debe discriminar si los sonidos presentados eran iguales o distintos, señalando la imagen respectiva ante el estímulo auditivo.

**Instrucción:** “Vas a escuchar unos sonidos de animales, cada vez que suene uno, tú debes indicar cual animal es, señalando en la lámina”

**Posibles dificultades en caso de trance en esta habilidad:**

- Dificultad para oír en situaciones ruidosas.
- Dificultad para seguir conversaciones.
- Dificultad para escuchar conversaciones telefónicas.
- Dificultad para aprender una lengua extranjera o un vocabulario difícil.
- Dificultad para recordar información oral (es decir, déficit de memoria auditiva)
- Dificultad para tomar apuntes.
- Dificultad con la organización.
- Lentitud en las respuestas.
- Problemas de discriminación auditiva.
- Dificultad para distinguir palabras que suenan parecido.
- Dificultad para repetir secuencias de sonidos, letras y números.
- Rendimiento académico pobre.

**3. Reconocimiento de patrones auditivos:**

**Definición:** Habilidad de procesar señales acústicas no verbales y reconocer el orden o patrón de presentación de esos estímulos.

**Objetivo:** identificar los patrones de frecuencia, intensidad y duración y la diferencia entre los mismos.

**Evaluación de esta habilidad:** el reconocimiento de patrones auditivos busca conocer si el (la) niño(a) identifica los patrones de frecuencia, intensidad y duración, para ello son emitidas duplas de sonidos diferenciadas en cada parámetro instruido (sonido largo – sonido corto, sonido agudo- sonido grave, sonido fuerte – sonido suave). El niño debe tratar de revelar en cuál es la diferencia entre dichos sonidos.

**Instrucción:** “Vas a escuchar parejas de sonidos, cada vez que suene tú me vas a decir en qué se diferencia un sonido del otro”

**Posibles dificultades en caso de trance en esta habilidad:**

- Dificultad para seguir conversaciones largas.
- Dificultad para recordar información oral (es decir, déficit de memoria auditiva)
- Dificultad con la organización.
- Dificultad para seguir instrucciones con varios pasos

**4. Aspectos temporales de la audición:**

**Definición:**

**a) Resolución temporal:** habilidad para detectar los intervalos de silencio entre sonidos.

**b) Integración temporal:** habilidad para unir la información auditiva con el procesamiento temporal del lenguaje.

**c) Enmascaramiento temporal:** refiere a cómo los sonidos son enmascarados por otro sonido en relación al tiempo, lo que depende de las características del sonido a ser enmascarado y del enmascarador, al igual que los milisegundos de diferencia entre el enmascarador y el sonido a ser enmascarado.

**d) Orden temporal:** habilidad para reconocer la secuencia de sonidos presentados.

**Objetivo:** Evidenciar la capacidad del (la) niño(a) para detectar los intervalos de silencio entre sonidos y para reconocer la secuencia de sonidos presentados.

**Evaluación de esta habilidad:** La tarea para lograr evaluar los aspectos temporales de la audición, tiene por objetivo evidenciar la capacidad del (la) niño(a) para secuenciar sonidos e integrarlos dentro de palabras, combinándolos con sentido. Los estímulos utilizados fueron cadenas tonales donde aparecen como su nombre lo indica una secuencia de sonido interrumpida por intervalos de silencio donde el (la) niño(a) debe identificar dichos intervalos. La integración de onomatopeyas con su respectiva imagen y de igual forma con las vocales. De esta forma el (la) niño (a) debe repetir los sonidos en el mismo orden.

**Instrucción:**

**1ª** “Vas a escuchar unos sonidos, cada vez que dejes de escucharlo dices ¡paro!”

**2ª** “Vas a escuchar sonidos de animales o vocales seguidas y luego debes decirme en qué orden aparecieron”

**Posibles dificultades en caso de trance en esta habilidad:**

- Dificultad para oír en situaciones ruidosas.
- Dificultad para seguir conversaciones largas.
- Dificultad para aprender una lengua extranjera o un vocabulario difícil.
- Dificultad para recordar información oral (es decir, déficit de memoria auditiva)
- Dificultad para mantenerse enfocado en una actividad, si existen otros sonidos en el ambiente (es decir, el niño se distrae fácilmente con otros sonidos)
- Dificultad con la organización.
- Dificultad para seguir instrucciones con varios pasos.
- Dificultad para leer o deletrear.

## 5. Desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales

**Definición:** habilidad de comprender la señal primaria en presencia de ruido de fondo o ambientes acústicos adversos.

**Objetivo:** identificar la habilidad de comprender la señal primaria en presencia de ruido de fondo o ambientes acústicos adversos.

**Evaluación de esta habilidad:** con el fin de identificar la habilidad de centrarse en un sonido específico en presencia de otro (ruido enmascarante) el menor escuchará un sonido de lluvia que ejemplificara un ambiente ruidoso o también denominado ruido de fondo que es específico de una situación cotidiana (lluvia). Son aplicados cuatro (4) estímulos que corresponden al pito (señal primaria) en presencia del sonido o ruido de

fondo. En esta actividad el (la) niño (a) debe identificar los estímulos del pito (número) e identificar cuantas veces sonó.

**Instrucción:** “Te voy a vendar los ojos y vas a escuchar un sonido de lluvia, a este sonido no le prestes atención, has de cuenta como si estuviese lloviendo, al sonido que le vas a prestar atención es al pito, y me vas a decir cuántas veces sonó el pito en total”

**Posibles dificultades en caso de trance en esta habilidad:**

- Dificultad para oír en situaciones ruidosas.
- Dificultad para escuchar conversaciones telefónicas.
- Dificultad para mantenerse enfocado en una actividad, si existen otros sonidos en el ambiente.
- Dificultad para distinguir palabras que suenan parecido.
- Distracción fácilmente con sonidos externos.

**6. Desempeño auditivo con señales acústicas degradadas**

**Definición:** habilidad para comprender cuando parte de la señal no está presente.

**Objetivo:** identificar la habilidad para comprender cuando parte de la señal no está presente.

**Evaluación de esta habilidad:** este fenómeno busca observar el desempeño auditivo mediante la presentación de señales degradadas estudiando de esta forma la capacidad del (a) niño (a) para reconstruir palabras cuando se ha perdido parte de estas. En ella el (la) menor debe complementar el estímulo verbal inconcluso y reproducir el lexema apropiado.

**Instrucción:** “Te voy a decir unas palabras incompletas tú debes completarlas cuando la escuches”

**Posibles dificultades en caso de trance en esta habilidad:**

- Dificultad para aprender una lengua extranjera o un vocabulario difícil.
- Dificultad para tomar apuntes.
- Dificultad con la organización.
- Dificultad para leer o deletrear

**3.2.1.3. Propiedades Psicométricas**

A partir de las habilidades evaluadas anteriormente es asignada una puntuación de acuerdo a la ejecución de las actividades, ver Tabla 1 del [ANEXO C](#). Esta puntuación va de un máximo de tres (3) puntos a un mínimo de cero (0), permitiendo identificar de igual forma en que habilidad no está dando la respuesta adecuada y cual presenta normalidad. Posteriormente, a partir de la puntuación total de la evaluación, es obtenido un resultado general de la aplicación de la prueba, es decir, si las habilidades están presentes y de manera adecuada (normal), si existe dificultad leve en estas o hay marcadas dificultades, según lo indicado en la Tabla 1.

Puntuación General	Resultado General
0 a 6 Puntos	Dificultad marcada en habilidades auditivas
7 a 13 Puntos	Dificultad leve en habilidades auditivas
13 a 18 Puntos	Habilidades auditivas adecuadas a la edad

**Tabla 1.** Resultado general de la evaluación

Una vez conocida la temática tratada en el caso de estudio específicamente en el área de fonología, es necesario conocer las técnicas de RA existentes y de éstas son escogidas las que más puedan adaptarse al protocolo utilizado por los especialistas.

### **3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS SOPORTES DE RA.**

Existen diferentes formas de presentar la tecnología de Realidad Aumentada. El dispositivo escogido depende de factores como: tipo de aplicación, propósitos de la aplicación, hacia qué tipo de usuarios está dirigida la aplicación, etc. En general, entre los principales dispositivos de soporte para RA están: el computador tradicional, dispositivos portátiles miniaturizados, y equipos específicos de realidad aumentada [45]. La sección siguiente (2.2.4) registra información adicional sobre los mismos.

- *Gestión de Realidad Aumentada en computador tradicional:* son sobrepuestas capas de datos, imágenes fijas o en movimiento, textos y/o sonidos sobre la imagen captada por la cámara del computador. La información añadida pertenece a la base de datos local o remota (por ejemplo: la red de Internet), esta superposición es realizada de forma sincronizada (en tamaño, posición y en tiempo real) entre las imágenes reales captadas, y el resto de datos virtuales adicionados. El objetivo es generar coherencia entre los objetos reales y virtuales, con el propósito de que no existan errores de orientación que provoquen un desajuste perceptible. El resultado final de este proceso simultáneamente es mostrado al usuario a través de una pantalla, en tiempo real.
- *Gestión de Realidad Aumentada en equipo portátil:* estos dispositivos ya incluyen una cámara de captura de imágenes móviles. Al igual que en las computadoras, estas minicomputadoras presentan en sus pantallas todo el despliegue de la RA.
- *Gestión de Realidad Aumentada con equipos específicos:* para aplicaciones específicas suelen desarrollar dispositivos especiales para la captura y visión como por ejemplo: gafas, que integran tecnologías especiales que permiten al usuario, a través de la lente, ver el efecto de la RA por medio de la superposición y despliegue de información gráfica.



### 3.4. DISPOSITIVOS DE REALIDAD AUMENTADA<sup>6</sup>

---

Entre los principales dispositivos de RA están: pantallas, dispositivos de entrada, de seguimiento y computadoras.

#### 3.4.1. Pantallas

Existen tres tipos principales de pantallas utilizadas en RA, estas son: pantallas montadas en la cabeza (HMD), pantallas portátiles y pantallas espaciales.

- **HMD:** es un dispositivo de visualización, usado sobre la cabeza o como parte de un casco, coloca tanto imágenes del entorno real como virtual sobre el campo de visión del usuario. En los dispositivos HMD su funcionamiento puede ser a través de vista de video o a través de vista óptica. En el primero, los sistemas son más exigentes debido a que requieren que el usuario use dos cámaras sobre la cabeza y requiere del procesamiento de ambas para proporcionar tanto la "parte real" de la escena aumentada como los objetos virtuales con una resolución igual; mientras que en los sistemas de vista óptica emplean una tecnología de espejo semi-plateado para permitir vistas del mundo físico a través de un lente y gráficamente superponer información que es reflejada en los ojos del usuario.
- **Pantallas portátiles:** estos terminales portátiles son usados en dispositivos informáticos pequeños con una pantalla que el usuario puede tener en sus manos. Estos dispositivos usan la técnica de vista de vídeo para superponer gráficos en el entorno real y emplean sensores, como por ejemplo brújulas digitales y GPS. Actualmente, existen tres clases distintas de pantallas portátiles disponibles en el mercado utilizadas por sistemas de realidad aumentada, estas son: *Smartphones*, extremadamente portátiles y generalizados, y con los últimos avances suponen una combinación de potentes CPU, cámara, acelerómetro, GPS, brújulas de estado sólido, por lo que es una plataforma muy prometedora para la RA. Sin embargo, el tamaño de la pequeña pantalla es menos que ideal para interfaces de usuario 3D; *las PDAs* presentan gran parte de las mismas ventajas y desventajas de los Smartphones, pero son cada vez menos extendidos que los Smartphones desde que surgieron los avances más recientes, como los teléfonos basados en Android y iOS. *Las Tablet PC* son mucho más potentes que los Smartphones, pero son mucho más pesados para una sola mano, e incluso para uso prolongado con las dos manos.
- **Pantallas espaciales:** son usadas en Realidad Aumentada Espacial (Spatial Augmented Reality, SAR), pueden ser proyectores de video, elementos ópticos, hologramas, etiquetas de radiofrecuencia y otras tecnologías de seguimiento para mostrar información gráfica directamente sobre los objetos físicos sin que el usuario use o lleve una pantalla. Estos dispositivos, separan la mayor parte de la tecnología del usuario y la integran en el entorno. Existen tres enfoques diferentes para la SAR que difieren principalmente en la forma en que aumentan el entorno: a través de la vista de video, a través de la vista óptica y el aumento directo.

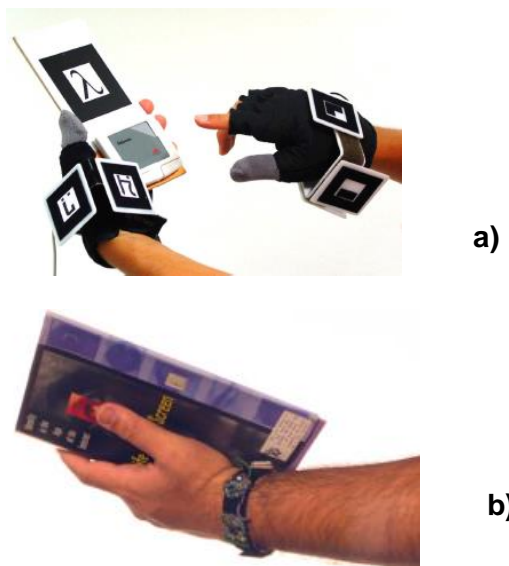
---

<sup>6</sup> Traducido de "Augmented reality technologies, systems and applications"[\[4\]](#)

### 3.4.2. Dispositivos de entrada

La selección del dispositivo de entrada para la interacción con el sistema de RA depende en gran medida del tipo de aplicación que este siendo desarrollada y/o la pantalla elegida.

Hay varios tipos de dispositivos de entrada para sistemas de RA como por ejemplo: guantes [46], usados como la interfaz de usuario principal junto con una pulsera con tres marcadores ópticos para ser rastreados por HMD y permitir un seguimiento fiable a través de una amplia gama de posturas de mano. Otros, como Reach Media [47] usan una pulsera inalámbrica con un lector RFID para detectar los objetos con que el usuario está interactuando, otros trabajos han planteado métodos de interacción diferentes, a los convencionales basados en la mano, que consisten en la interacción de la mirada a través de un HMD con un rastreador de mirada integrado [48] mostrado en la Figura 2.



**Figura 2.** Dispositivos de entrada: a) Guantes y b) Pulsera inalámbrica

Para los sistemas que emplean Smartphones, el propio teléfono es utilizado como un dispositivo de señalización, por ejemplo, la aplicación Google SkyMap [49] requiere que el usuario apunte su teléfono en la dirección de las estrellas o planetas de los cuales desea recibir información. Otra opción para los desarrolladores, si un sistema hace uso de una pantalla portátil, puede ser utilizar como dispositivo de entrada la pantalla táctil.

### 3.4.3. Dispositivos de seguimiento

Los dispositivos de seguimiento están basados en cámaras digitales y/u otros sensores ópticos, GPS, acelerómetros, brújulas de estado sólido, sensores inalámbricos, ultrasonidos, etc. Estas tecnologías tienen diferentes niveles de exactitud y dependen en gran medida del tipo de sistema que está siendo desarrollado.

### 3.4.4. Computadores

También pueden emplearse computadores en los sistemas de RA, que integran potentes CPU y una considerable cantidad de RAM para procesar las imágenes de la cámara.

Estos sistemas pueden utilizar una estación de trabajo tradicional con una potente tarjeta gráfica.

Además de los dispositivos empleados por los sistemas de RA, es importante conocer el proceso de Aumento de la realidad, descrito en la siguiente sección.

### 3.5. ETAPAS DEL PROCESO DE RA

---

El proceso llevado a cabo por la RA para aumentar cualquier elemento de la realidad consta de 5 fases [36] descritas a continuación:

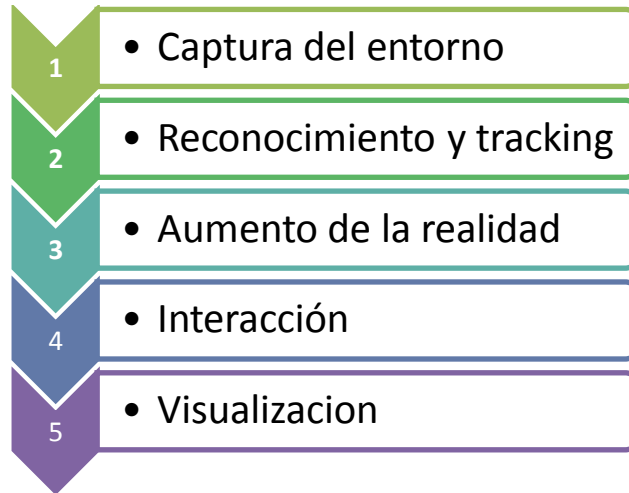


Figura 3. Fases del proceso de RA

- **Captura del entorno:** captura la escena real, el target o el marker a través de dispositivos como la cámara (los conceptos “target” y “marker” se explican en la sección 3.6.2. Tipos de marcadores para RA).
- **Reconocimiento y tracking:** en esta fase es realizado el procesamiento de la escena capturada, a través de dos métodos: localización espacial utilizando GPS o reconocimiento espacial de marcadores (ver sección 3.6.2 llamada: Tipos de marcadores para RA). En esta fase es determinado el punto de vista (ángulo) del usuario y su distancia al objetivo, con ello pueden ubicarse los objetos virtuales sobre la pantalla o lente del dispositivo empleado.
- **Aumento de la realidad:** después de la fase de reconocimiento y tracking continúa la fase de renderizado del objeto virtual, cuya ubicación estará determinada por la posición calculada en la fase previa.
- **Interacción con el usuario:** esta fase puede estar o no contenida en el proceso de algunas aplicaciones de RA, dependiendo de si requiere o no una acción del usuario antes de ser lanzado el objeto virtual superpuesto.
- **Visualización:** en esta última etapa son superpuestas las capas real y virtual.

## 3.6. TECNOLOGÍAS DE RA

### 3.6.1. Clasificación de las tecnologías desarrolladas de RA

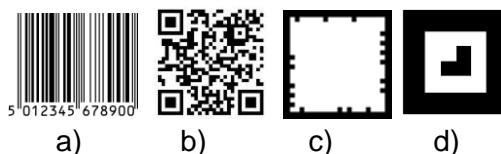
El proceso de superposición de información virtual sobre el entorno real llevado a cabo por la RA funciona a partir de tres recursos tecnológicos básicos [45], estos son:

- *Patrones de disparo de software RA:* el lanzamiento de una aplicación puede efectuarse a partir de una imagen captada, esta puede ser: un marcador (Marker), un dibujo, imagen específica o esquema icónico (Tag), un código icónico de barras o digital (código QR), el reconocimiento de dicha imagen puede ser el desencadenante de video, texto, sonido, otra imagen y/o de un enlace a Internet.
- *Geo-localización:* variedad de aplicaciones con RA son desarrolladas a partir del GPS que ya viene incorporado en la mayor parte de dispositivos portátiles miniaturizados y permite la ubicación de los usuarios en cualquier lugar. Una imagen captada puede ser ubicada a una altura, sentido de dirección, longitud y latitud específicos a partir del cálculo de la distancia relativa a los satélites geoestacionarios. Una vez identificado el lugar, información es adicionada y de forma simultánea puede compararse con un mapa almacenado e indicar lugares cercanos a los usuarios.
- *Interacción con Internet:* algunas aplicaciones requieren vincular la imagen captada con información adicional (audio, imágenes, videos, páginas) que está en las bases de datos de Internet, para ello estos sistemas superponen hipervínculos con información complementaria de la red sobre la imagen real que ha sido identificada a partir de elementos esenciales sobre ella.

### 3.6.2. Tipos de marcadores para RA

El seguimiento de marcadores es esencial para determinar la posición y la dirección que debe tener la cámara del dispositivo empleado para desplegar la información de RA [50]. Teniendo en cuenta algoritmos de seguimiento, los marcadores de RA pueden clasificarse según como es reconocido un objeto en el espacio, de la siguiente manera [36]:

- **Reconocimiento de marcadores físicos (*Marker Tracking*):** consiste en la detección códigos de barra, códigos QR [50], frame markers o códigos genéricos, ver Figura 4. Para facilitar en la comprensión de conceptos en este trabajo de grado, de ahora en adelante esta clasificación será denominada markers (marcadores).



**Figura 4.** Tipos de Marcadores físicos a) códigos de barra, b) códigos QR, c) frame marker, d) códigos genéricos.

- **Reconocimiento espacial sin marcadores (*Markerless Tracking*):** es una técnica un poco más compleja porque implica el reconocimiento de imágenes u objetos que componen el mundo real (Markerless 3D tracking), a esta clasificación de objetos que son detectados por el dispositivo que implementa RA reciben el nombre de targets.

Dependiendo del creador de SDKs de RA surgen conceptos con diversos nombres para el reconocimiento de imágenes los cuales tienen muy pocas diferencias, pero su finalidad es la misma: reconocer una imagen. Por ejemplo, SDKs como Vuforia y Wikitude utilizan el concepto de “*Image Target*”, mientras que Metaio utiliza conceptos como “*Picture Marker*” (análogo al *Image Target*) y *markerless*, esta última denominación son imágenes que difieren de las otras por no poseer un borde lo suficientemente definido, ver Figura 5.



**Figura 5.** Markerless tracking a) picture marker-Image Target, b) markerless<sup>7</sup>

### 3.6.3. Frameworks para el desarrollo de aplicaciones de RA.

La tecnología de RA ha tardado más en madurar ya que exige más recursos que la RV, sin embargo, las bases para construir un sistema de RA se han mantenido desde que Iván Sutherland comenzó a trabajar en este concepto en 1960. En este sentido, markers, seguidores, computadoras y software que procesen gráficos, siguen siendo esenciales en muchas experiencias de RA [3]. Partiendo de esto, para desarrollar aplicaciones que realicen tareas típicas de RA como seguimiento, detección, visualización e interacción con el usuario y que puedan integrarse fácilmente a diferentes dispositivos [3] existen actualmente diversas herramientas tecnológicas de desarrollo, de las cuales son enumeradas solo algunas:

- **ARToolkit:** es una librería de seguimiento de visión por computador que permite al usuario crear aplicaciones de realidad aumentada [4].
- **Unity:** es un motor gráfico también conocido como Unity3D. Este motor de desarrollo creado por Unity Technologies está totalmente integrado y ofrece un sinnúmero de funcionalidades innovadoras para crear juegos y otros contenidos 3D interactivos [51].
- **Metaio SDK:** el SDK Metaio incluye un potente motor de renderizado en 3D, además de plugins para Unity. Tiene características avanzadas de seguimiento, tales como seguimiento de markers, targets en 2D-3D y búsqueda visual basada en el cliente [35].
- **Vuforia (SDK Qcar):** es un SDK de realidad aumentada proporcionada por Qualcomm. Es compatible con una variedad de tipos de Target<sup>8</sup> en 2D y 3D, incluyendo Target de imagen, configuraciones multi-Target en 3D y una forma de marcador fiduciario direccionable conocido como un Frame Marker [35].

<sup>7</sup> Imágenes tomadas de [50]

<sup>8</sup> Imagen u objeto detectado con la cámara de un dispositivo y utilizado para desplegar aplicaciones de realidad aumentada.

- **LookAR:** con este software las aplicaciones que emplean dibujos en 2D y 3D pueden desarrollarse con el fin de ser superpuestas con las imágenes tomadas en un teléfono móvil [52].
- **Blender:** es una herramienta de uso libre para el modelado en 3D, puede integrarse fácilmente con otras herramientas similares como es el caso de Unity3D.

### 3.7. SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE RA PARA TPAC

Es importante conocer todo lo relacionado con los tratamientos para los TPAC, debido a que esto condiciona la selección de las herramientas y técnicas de RA. En este sentido, las técnicas de RA que más se ajustan a las necesidades de este trabajo son las registradas en la Tabla 2.

Técnica	Selección	Descripción
Soporte de RA	Gestión de Realidad Aumentada en equipo portátil	Particularmente los dispositivos móviles como tablets o smartphones brindan funciones adicionales en la aplicación, debido a que cuentan con sensores como GPS, acelerómetro y giroscopio.
Dispositivos de RA	Pantallas portátiles	Permite movilidad y portabilidad para el paciente, además agregan un componente de interactividad con el que puede enriquecerse cualquier aplicación.
Proceso de superposición de información	Patrones de disparo de software para RA	El PEHEPAC es basado en el uso de láminas, por lo tanto el reconocimiento de una imagen específica es fundamental al momento de mostrar el contenido virtual.
Tipo de marcador	Reconocimiento espacial sin marcadores (target)	El reconocimiento de imágenes u objetos que componen el mundo real es necesario porque provee mayor cantidad de puntos de reconocimiento, además facilita la captura de la atención en los pacientes (niños).
Frameworks de RA	Existen variedad de SDKs para RA	Es necesario realizar un proceso de selección con el propósito de escoger el (los) SDK (s) que más se adecuen a las condiciones del caso de estudio.

**Tabla 2.** Técnicas de RA condicionadas por el caso de estudio.

# CAPÍTULO 4

## Tecnologías utilizadas

### 4.1. INTRODUCCIÓN

---

En el capítulo anterior son establecidas las primeras condiciones para abordar la solución al problema planteado, sin embargo, aún debe especificarse cuál es el tipo de equipo portátil y el SDK de RA más adecuados. Por ello, en las siguientes secciones es presentada la evaluación y los resultados de la selección de los dispositivos más recomendados para el presente proyecto, así como la selección del SDK de RA, el análisis de la organización y la construcción del prototipo a partir de las herramientas y/o tecnologías previamente seleccionadas.

### 4.2. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO MÓVIL

---

Como alternativas de dispositivos móviles Android están los smartphones y las tablets, cada uno con características distintivas que deben ser tenidas en cuenta para su uso o selección, siendo consistentes con sus fortalezas. A continuación son citadas características generales [53] que destacan a cualquiera de estas dos clases de dispositivos móviles respecto a otros usados para implementar técnicas de RA. Posteriormente es realizado un resumen de las características más distintivas.

#### 4.2.1. Características generales de dispositivos móviles

- **Único para el usuario:** tanto los teléfonos inteligentes como tabletas suelen pertenecer y ser utilizados por una sola persona.
- **Tamaño de pantalla:** las pantallas de los dispositivos móviles son más pequeñas que la mayoría de los PCs de escritorio o portátiles, implicando una ventaja significativa de peso.
- **Portabilidad:** las tablets al igual que los smartphones son muy portátiles debido a su cómodo tamaño y peso por ejemplo: el Oppo R819, el smartphone más ligero con 110g en una pantalla de 4,7", el Alcatel One Touch pesa 115g con una pantalla de 4,65", el Nexus4 cuenta con 139g [54], el iPad es sólo 1.6 libras, dispositivos fáciles de sostener y llevar en un bolso o cartera.
- **Arranque y apagado al instante:** las tablets y los smartphones están siempre encendidos o pueden activarse al instante sin necesidad de esperar largos tiempos de arranque o apagado.
- **Duración de la batería muy larga:** estos dispositivos móviles tienen una mayor duración de la batería que la mayoría de computadores portátiles disponibles en el mercado, conllevando a que puedan ser usados de forma continua durante largos periodos de tiempo.



- **Facilidad de uso:** son fáciles de usar, debido a que funcionan a través del tacto, sin necesidad de usar teclado, ratón u otro dispositivo señalador. Pueden ser utilizados por cualquier persona sin restricción en ningún rango de edad, pueden realizar cualquier actividad con solo tocar con un dedo.
- **Acelerómetro y giroscopio:** los dispositivos móviles contienen un acelerómetro, encargado de medir la velocidad y la dirección de su movimiento. Por otra parte, cuentan con un giroscopio, que informa sobre la orientación de los mismos.
- **GPS:** Estos equipos poseen GPS (Global Positioning System) responsable de proporcionar al usuario y las aplicaciones del dispositivo una ubicación precisa y fiable además de información sobre la hora bajo cualquier clima o lugar.
- **Resolución:** La gran diferencia que tiene un dispositivo móvil con respecto a otro es la resolución de su pantalla, esta característica es la clave para poder lograr unos acabados de calidad. De esta manera, cuantos más píxeles o puntos contenga una pantalla, mayor será su resolución.
- **Conectividad:** los dispositivos móviles cuentan con conectividad a redes de datos (internet) por Wi-Fi o 3G/4G y parte de ellos poseen conectividad para las redes de telefonía (voz).
- **Compatibilidad:** las aplicaciones diseñadas para smartphones pueden funcionar en una tablet, pero las aplicaciones especiales para tablet no funcionan en smartphones.
- **Accesorios:** existen cómodos y funcionales accesorios, como teclados Bluetooth o teclados removibles diseñados para tablets.
- **Amplio mercado:** existen tiendas de aplicaciones para dispositivos móviles donde pueden descargar e instalar aplicaciones de cualquier tipo de forma paga o gratuita.

Característica General	Smartphone	Tablet
Tamaño de pantalla	Bajo	Alto
Portabilidad	Alto	Bajo
Duración de la batería	Bajo	Alto
Resolución	Alto	Bajo
Conectividad (3G/WiFi)	Alto	Bajo
Compatibilidad	Bajo	Alto
Accesorios	Bajo	Alto

**Tabla 3.** Resumen características entre smartphones y tablets<sup>9</sup>

#### 4.2.2. Las Capacidades de los dispositivos móviles [53].

Existen tres características claves para elegir el dispositivo portátil más adecuado, estas son:

<sup>9</sup> Valores respecto a la favorabilidad de la característica frente al proyecto.



- **Capacidad de configurar:** capacidad para cambiar rápidamente la entrada y salida de información. Por ejemplo, el paso de la toma de fotografías a la grabación de notas de voz, resulta un proceso fácil en un smartphone o en una tablet, cualquier aplicación carga casi de inmediato después de tocar un icono, evento que genera mayores tiempos en un portátil.
- **Capacidad de consumo:** esta capacidad hace referencia a la facilidad con la cual el usuario puede consumir o interactuar con la información. En este aspecto las computadoras portátiles y tabletas se destacan, debido a que tienen tamaños de pantalla propicias para consumir información, cuentan con pantallas lo suficientemente grandes como para ver un video o ver una presentación de diapositivas.
- **Capacidad de Contexto:** capacidad relacionada con el conocimiento de aspectos de un contexto, como por ejemplo: el tiempo y el lugar. Característica que coloca a los dispositivos móviles un nivel más por encima de los PC portátiles, debido a que cuentan con funciones básicas como el sistema de GPS.

Característica	Smartphone	Tablet
Capacidad de configuración	Alto	Alto
Capacidad de consumo	Bajo	Alto
Capacidad de contexto	Alto	Alto

**Tabla 4.** Calificación de las Capacidades.

#### 4.2.3. Especificaciones técnicas de los dispositivos móviles<sup>10</sup>

Otro aspecto a tener en cuenta entre los dispositivos móviles Android para su selección consiste en la capacidad técnica que ofrecen los diversos smartphones y tablets en el mercado, característica que constituye un factor limitante. Según la plataforma empleada son determinadas las capacidades de interacción hombre-máquina, en los dispositivos adquiridos a través de la Universidad y recursos propios. La Tabla 5 y Tabla 6 presentan un resumen de las características más relevantes de los dispositivos utilizados en las pruebas.

Una vez seleccionados los dispositivos a ser usados, es realizada una prueba de batería para determinar cuál de ellos es el más adecuado para el uso de una aplicación móvil de RA, los resultados obtenidos son detallados en el [ANEXO E](#).

<sup>10</sup> Para mayor información sobre las características técnicas de los dispositivos consultar [\[55\]\[56\]\[57\]](#)

Característica	SoftwinerEvb	Blue S9	Galaxy Tab 3	Lenovo A8-50
Procesador	Single Core, A13 corteza A8	Dual Core 1.2 Ghz, Cortex A9	Dual Core 1.2 GHz	MTK 8121 Quad Core 1.3 GHz
Memoria interna	RAM:512MB ROM:4GB	RAM:1GB ROM:16GB	RAM: 1 GB ROM: 8GB	RAM: 1GB ROM:16GB
Memoria de expansión	Micro SD Hasta 32 GB	Micro SD Hasta 32 GB	Micro SD Hasta 64 GB	Micro SD hasta 32 Gb
Sistema Operativo	V4.0.4	V4.0.4	V4.1.2	V4.2.2
Pantalla	7"	9" LED Multitouch	7" TFT	8" multitáctil Tipo de LCD: IPS
Resolución	800x480 PPP:133	800x1280 PPP:168	600x1024 PPP:170	800x1280 PPP:168
Batería (conversación)	180m	-	420min	-
Batería <sup>11</sup> (RA)	80.3 min	145.7 min	258.4 min	249.7 min
Cámara	Doble: 0.3 Mpx, Cámara secundaria 0.3 Mpx	Doble: 3 Mpx, Cámara secundaria a VGA	Doble: 3 Mpx, Cámara secundaria 1,3 Mpx	Tipo: CMOS Píxeles: 5,0 MP (posterior) + 2,0 MP (frontal)
Video	-	-	720/30fps	
Año Lanzamiento	Mayo/2012	Septiembre/2012	Julio/2013	Abril/2014
NFC	No	No	No	No
Peso (en g)	289 g	550 g*	300 g	360g
Alto (en mm)	182	241*	188	217
Largo (en mm)	121	164*	111,1	136
Profundidad (en mm)	12	9,8*	9,9	8.9
Costo	€49	€109	€296	€155.18

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas de las tablets usadas.

\* Datos no suministrados por el fabricante, tomado a partir de una fuente propia.

Característica	Huawei G510	Nexus S
Procesador	Dual core 1.2GHz, Qualcomm MSM8225	Hummingbird chipset , 1 GHz Cortex-A8
Memoria interna	RAM: 512MB, ROM: 4GB	RAM : 512 MB, ROM: 16 GB
Memoria de expansión	Micro SD hasta 32 Gb	No
Sistema Operativo	v4.1	v4.1.1
Pantalla	4.5" FWVGA TFT LCD CORNING® GORILLA® GLASS 2	4" WVGA Super AMOLED touchscreen capacitivo
Resolución	480 x 854, PPP: 218.	480 x 800, PPP:233
Batería (conversación)	324 min	384 min
Batería <sup>12</sup> (en RA)	126.5 min	179.1 min
Cámara	Doble: 5.0 Mpx, Cámara secundaria VGA	Doble: 5.0 Mpx, Cámara secundaria VGA
Video	720/30fps	HD 720p/ 30fps
Año Lanzamiento	Febrero/2013	Diciembre/2010
NFC	No	Si
Peso (en g)	150g	129 g
Alto (en mm)	133	123.9
Largo (en mm)	67	63
Profundidad (en mm)	9,9	10,9
Costo	€155	€174

**Tabla 6.** Especificaciones técnicas de los smartphones Android usados.

#### 4.2.4. Resultados de selección de dispositivo móvil

La solución del problema planteado exige que el dispositivo móvil sea usado por periodos largos de tiempo, por lo tanto es de vital importancia realizar una prueba de batería a los dispositivos móviles seleccionados. Debido a que la mayoría de los fabricantes proporcionan datos de referencia para la duración de la batería del Smartphone o de la Tablet, sin embargo estos son en base a dos estados: Stand-by y Talk time, relacionados respectivamente con la duración de una sola carga de batería cuando:

- El equipo está inactivo y únicamente conectado a una red GSM.
- El equipo está activo, usándolo constantemente en una conversación.

Sin embargo, estos datos no son suficientes, por tal motivo es necesario plantear un prototipo de prueba que haga uso de RA.

<sup>12</sup> Datos registrados a partir de pruebas realizadas especificadas en el [ANEXO E](#).

#### 4.2.4.1. Especificaciones del prototipo

Para determinar el consumo de batería a partir de una aplicación de RA es tenido en cuenta un prototipo de prueba desarrollado a partir del SDK de Vuforia, debido a que mantiene la aplicación en continuo funcionamiento sin tener en cuenta el tiempo de suspensión del equipo, es decir, desde el momento en que es ejecutada la aplicación la cámara queda abierta y es realizado el proceso de captura del entorno y procesamiento de la escena, el dispositivo móvil no es suspendido, condicionándolo de esta forma a un caso extremo de funcionamiento y por ende exigir un mayor consumo de la batería.

#### 4.2.4.2. Procedimiento

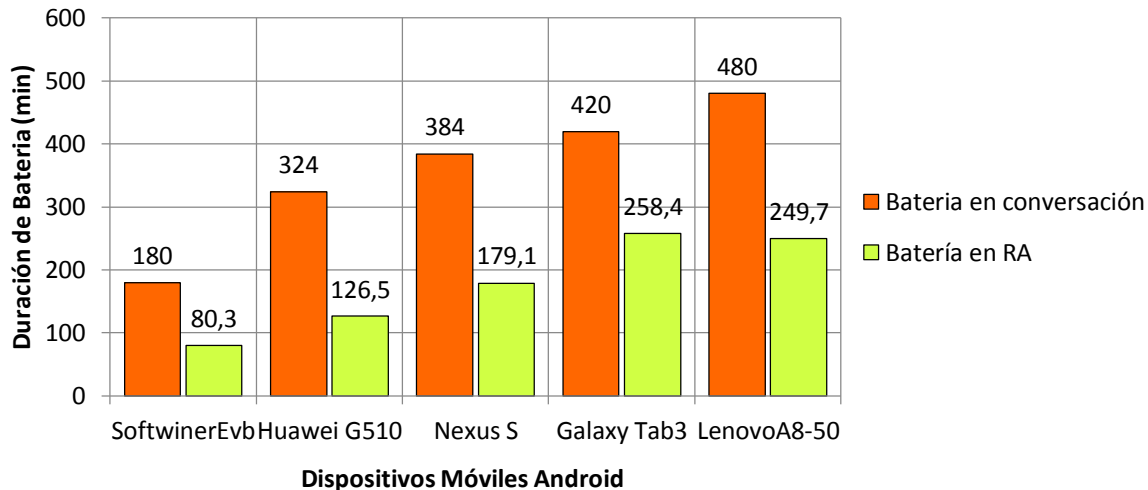
Es tomado como base un prototipo básico de prueba con varios objetos (vaca, hierba y árbol) y tres botones virtuales que realizan las siguientes funciones: rotar el objeto alrededor del target, reproducir un sonido musical y mostrar una instrucción en pantalla, esto con el fin de exigir un mayor procesamiento del dispositivo móvil que conlleve a un menor tiempo de descarga.

Con el equipo cargado al 100% de batería, es lanzada la aplicación enfocando el target, ver Figura 6. manteniéndose de forma constante la actividad del dispositivo móvil. Finalmente es registrado el tiempo transcurrido hasta la descarga del equipo.



**Figura 6.** Prototipo para evaluación de batería

La Figura 7 permite resumir los resultados de la prueba. A partir de ella puede establecerse el impacto en el consumo de la batería al utilizar aplicaciones de RA, respecto al uso de la batería en otras actividades, como por ejemplo: en tiempo de conversación o en tiempo de trabajo. De otro lado, esta prueba permite determinar los dispositivos que presentaron mayor duración en la batería y por lo tanto, serían los adecuados para ser utilizados en las sesiones de terapia en audiología. Los resultados permiten recomendar el uso de smartphones con características similares al Nexus S, y tablets con características similares a la Galaxy Tab 3. Sin embargo, para la realización de las pruebas de reconocimiento y tracking fue utilizado el dispositivo Huawei G510 por razones de utilización de recursos, ya que los demás dispositivos eran propiedad de terceros y en el desarrollo de estas pruebas no se tuvo acceso a ellos.



**Figura 7.** Duración de batería con aplicaciones de RA

### 4.3. SELECCIÓN DEL SDK DE RA

Con el propósito de seleccionar el SDK más adecuado para abordar los objetivos del presente trabajo de grado, es realizado el siguiente proceso:

- **Criterios de selección:** definen las características específicas mínimas con las que debe cumplir el SDK seleccionado.
- **Estudio de los SDKs disponibles para RA:** es realizada una depuración a la lista de SDKs registradas en el [ANEXO D](#), y a partir de los criterios de selección, son escogidos los que cumplan dichas características.
- **Estudio de SDKs escogidos:** a partir de los SDK pre-seleccionados es elaborada una descripción de su funcionamiento y arquitectura respetiva.
- **Preparación de un prototipo básico de prueba:** construcción de un prototipo básico y evaluado en cada uno de los SDKs pre-seleccionados., teniendo en cuenta que cumpla con los mismos requerimientos y características en cada uno, con el propósito de realizar una evaluación de los mismos de forma equitativa.
- **Preparación de pruebas para los SDKs seleccionados en el prototipo básico de prueba:** con el prototipo y para cada SDK pre-seleccionado son realizadas una serie de pruebas de cada una de las características como: eficiencia en reconocimiento, tracking, etc. que resultan de importancia para lograr una mejor experiencia para la población objetivo del presente trabajo de grado.
- **Resultados de la prueba y selección del SDK:** a partir de los resultados de la prueba y las características de cada SDK es establecida una cuantificación ponderada de los resultados con los cuales es seleccionado el que registre el valor mayor.

### 4.3.1. Criterios de selección

De acuerdo con el propósito que tiene el trabajo de grado y su carácter académico son planteados los siguientes criterios para escoger los SDKs que mejor se adaptan a las necesidades del presente trabajo de grado, estos criterios de selección son:

- **Licencia Free/Open Source:** este criterio es importante para garantizar el desarrollo de las aplicaciones sin restricción de terceros y flexibilidad para cambios o ajustes de ser necesario. En este caso es requerido un SDK con licencia libre.
- **S.O móvil:** es importante que el SDK de RA posea compatibilidad con diversos S.O móviles, especialmente con Android que es el escogido para alcanzar los objetivos del presente trabajo de grado.
- **Tipo de aplicaciones desarrolladas:** los SDK deben permitir el desarrollo de cualquier tipo de aplicaciones de RA (con propósito general) y no enfocarse en tipos que no resultan de interés para el presente proyecto como: publicidad o geo-localización.
- **Documentación y comunidad:** es importante que los SDK brinden documentación actualizada y soporte a los desarrolladores, a través de comunidades de usuarios, para garantizar el desarrollo de sus aplicaciones.
- **Madurez y estado del SDK:** debido a que los SDK recientes pueden ser de fácil adquisición y tienen una documentación más actualizada, es considerado importante que sigan en actividad y estén desarrollándose aplicaciones con ellos.
- **Detección de Target:** para el presente trabajo de grado es importantes determinar si los SDK estudiados pueden detectar targets (imágenes u objetos tridimensionales), debido a que la adaptación del PEHEPAC necesita de estos para desplegar la información de RA.
- **Modelos en 3D y/o animación:** el SDK seleccionado debe permitir importar modelos en 3D y/o animación que aporten componentes de interacción.
- **Plugin para Unity3D (opcional):** las aplicaciones que utilicen modelos 3D, requieren de un entorno que permita el desarrollo de dichos contenidos interactivos y que a su vez puedan integrarse fácilmente con otras plataformas como Android, iOS y Windows Phone.
- **Formatos de modelos 3D:** algunos formatos de objetos o modelos 3D más comunes son .obj, .3ds, .fbx entre otros, por lo tanto aquellos SDK que garanticen su compatibilidad pueden servir de estudio para determinar su selección.
- **Sin marca de agua en la aplicación:** debido al componente gráfico que utilizan las aplicaciones de RA, estas no deben tener marcas de agua por razones de presentación, comodidad para el usuario y estética. Además para el objetivo de este trabajo puede ser un distractor para el paciente.

### 4.3.2. Estudio de los SDKs disponibles para RA

Son analizados los SDK [58] de la Tabla 1 del ANEXO D, para depurar aquellos que no cumplan con las condiciones establecidas en este trabajo de grado, para ello es realizada una breve descripción con las características más destacadas que pueden o no favorecer el presente trabajo de grado.

Teniendo en cuenta la breve descripción de cada uno de los SDKs y los criterios de selección mencionados previamente, los SDKs preseleccionados son: Vuforia, Wikitude y Metaio, debido a que cumplen con todas las condiciones básicas necesarias para abordar el presente trabajo de grado.

En la Tabla 7 es realizado un resumen de los criterios de selección escogidos, especificando las características de cada uno de los SDKs pre-seleccionados.

Criterio	Vuforia	Metaio	Wikitude
Licencia free/Open source	Free	Free,comercial SDK	Free,comercial SDK
S.O móvil soportado	Android, iOS	Android, iOS	Android, iOS, BlackBerry 10, extensión para Windows Phone
Orientado a	Detección de imágenes, marcadores, reconocimiento en la nube, juegos y objetos cilíndricos definidos por el desarrollador.	Detección de imágenes, marcadores, juegos, objetos reales, reconocimiento en la nube y geolocalización.	Reconocimiento de imágenes, marcadores, geo-localización, juegos, publicidad, aplicaciones para google glass.
Cuenta con documentación	Si	Si	Si
Fecha de creación	2010	2003	2008
Tipos de Marcadores	Frame Markers, Image Target, multi Target	Picture Marker, Markerless	Image target
Modelos 3D	Si	Si	Si
Plugin para Unity3D	Si	Si	No
Formatos de modelos 3D	obj, dae, fbx, 3ds	dae, obj, fbx, md2.	Utilizando wikitude 3d encoder pueden convertirse formatos como FBX o DAE a formato WT3 (propio de wikitude)
Marca de Agua	No	Si	Si

**Tabla 7.** Criterios de selección en SDKs pre-seleccionados

Una vez pre-seleccionados los SDKs, en la sección siguiente es ampliada la información relacionada a cada uno de ellos a través de una definición y descripción de la arquitectura respectiva, en el ANEXO F está la información adicional sobre otros SDKs.



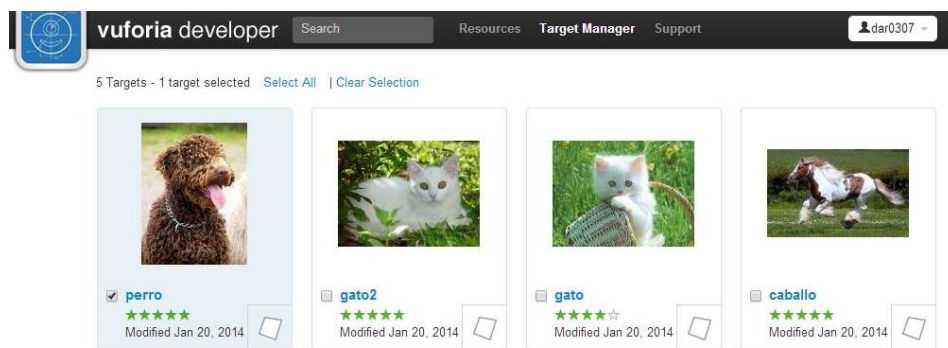
### 4.3.3. Estudio de SDK escogidos

#### 4.3.3.1. Vuforia SDK

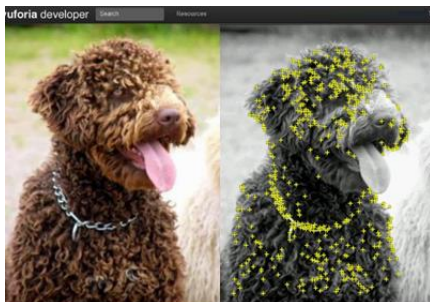
##### *Definición Vuforia SDK*

Vuforia SDK es un Framework de código abierto desarrollado por Qualcomm Technologies Inc. y cuyo propósito es construir aplicaciones de RA para dispositivos móviles con S.O Android e iOS. Este SDK tiene como base el reconocimiento de marcas naturales (Targets) y Markers incluyendo objetos en 3D, además cuenta con un plugin especial que puede integrarse con el entorno Unity3D para la creación de escenas virtuales, el manejo de animaciones [36] y otras características muy completas como la creación de aplicaciones de escritorio y consolas de video juegos.

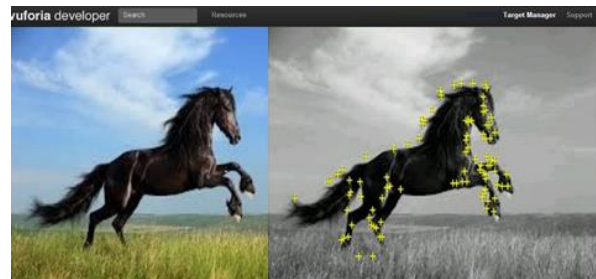
Vuforia SDK permite la creación de targets definidos por el desarrollador a través de su aplicación online denominada Target Manager, ver Figura 8. Cada imagen seleccionada para ser un target debe contener diversos puntos de reconocimiento para que las aplicaciones de RA funcionen correctamente, por lo tanto, el algoritmo de reconocimiento de imágenes utilizado por Vuforia les asigna una calificación, entre más alta sea ésta, mejor será el desempeño de las aplicaciones de RA al momento de reconocer los targets, ver Figura 9 y Figura 10



**Figura 8.** Target Manager de Vuforia



**Figura 9.** Puntos de reconocimiento en una imagen con buena calificación



**Figura 10.** Puntos de reconocimiento en una imagen con baja calificación



## Arquitectura Vuforia

Una aplicación de RA basada en el SDK Vuforia está compuesta de los siguientes componentes principales, ver Figura 11 [60]:

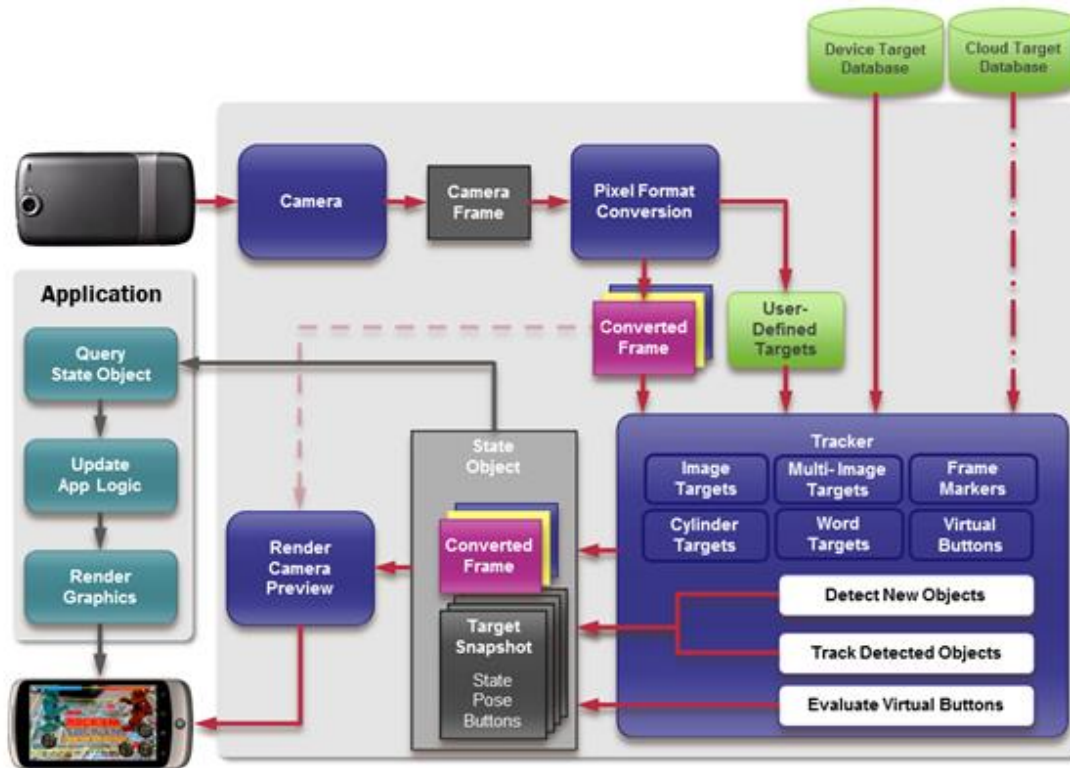


Figura 11. Diagrama de flujo del SDK Vuforia en un entorno de aplicación [60].

- **Camera:** el componente de la cámara asegura que cada frame (cuadro de imagen) es capturado y pasado de manera eficiente al tracker (rastreador). El desarrollador sólo tiene que inicializar la cámara para iniciar y detener la captura [60]. El tamaño y formato de cada frame dependerá del dispositivo móvil utilizado [36].
- **Image Converter:** este módulo convierte el formato de la cámara a un formato interoperable con OpenGL (por ejemplo de YUV12 a RGB565) para el seguimiento de los markers [60]. Esta conversión incluye reducción de la tasa de muestreo con el fin de disponer de la imagen de la cámara en diferentes resoluciones [36].
- **Tracker:** este componente contiene los algoritmos de visión por computador que detectan y rastrean los objetos del mundo real en los frames de la cámara de video. Basados en la imagen de la cámara, los diferentes algoritmos son encargados de la detección de nuevos “Targets” o markers y de evaluar los botones virtuales. Los resultados son almacenados en un objeto de estado que es utilizado por el procesador de vídeo de fondo y puede ser accedido desde el código de aplicación. El rastreador puede cargar múltiples conjuntos de datos al mismo tiempo y activarlos [60].
- **Video Background Renderer:** este módulo procesa la imagen capturada. El rendimiento de la representación de vídeo de fondo está optimizado para dispositivos específicos [36].

- **Application Code:** los desarrolladores deben inicializar todos los componentes anteriores y realizar tres pasos clave en el código de la aplicación. En cada frame es actualizado el objeto de estado y son llamadas a las funciones de procesamiento, por lo tanto el desarrollador debe [\[60\]](#):
  5. Consultar el objeto de estado para targets, markers recién detectados, o actualizar los estados de estos elementos.
  6. Actualizar la lógica de la aplicación con los nuevos datos de entrada.
  7. Procesar la superposición de gráficos aumentados.
  
- **Device Databases:** los desarrolladores de aplicaciones de RA que usen el sdk Vuforia deben registrarse en la página oficial de Qualcomm para poder crear sus propios targets o markers mediante un sistema online denominado *Target Manager*. Una vez seleccionada la imagen que servirá como target o marcador, es creada una nueva base de datos definida por el usuario y almacenada en el perfil del mismo, la cual albergará todas las imágenes creadas. El sistema analiza la imagen y le asigna una calificación que indica la efectividad del marcador en función del número de características especiales detectadas por la cámara del dispositivo. El siguiente paso es convertir la imagen a formatos entendidos por la librería. El sistema devuelve dos archivos: un \*.xml con la configuración del target o marcador y un archivo binario que contiene los datos rastreables, además, el sistema brinda la posibilidad de crear un archivo con extensión \*.unitypackage para integrarlo con el entorno unity3D y trabajar la aplicación de forma gráfica.
  
- **Cloud Databases:** las bases de datos en la nube pueden ser creadas usando el *Target Manager* o utilizando el API Web Services de Vuforia. Los Targets son consultados en tiempo de ejecución de la aplicación usando el reconocimiento en la nube, el cual realiza una búsqueda visual usando imágenes que la cámara ha enviado. Además de los datos del target, pueden contenerse metadatos que regresarán sobre la consulta [\[60\]](#).
  
- **User-Defined Targets:** un enfoque diferente fundamentalmente apoyado es el que brindan los targets definidos por el usuario. En vez de prepararse targets por fuera de los desarrolladores, estos son creados en la marcha de la imagen actual de la cámara. Un componente constructor es llamado para activar la creación de un nuevo target de usuario. El target devuelto es almacenado en caché, pero conservado sólo para una sesión de RA dada [\[60\]](#).
  
- **Word targets:** el SDK Vuforia puede reconocer palabras y hacer un seguimiento de manera similar a otros tipos de Targets, con dos modos disponibles de reconocimiento, "Palabras" y "caracteres." Al utilizar el modo reconocimiento de "Palabras", una palabra es reconocida (y luego seguida), si ésta pertenece a una lista de palabras dada, puede ser almacenada en el dispositivo y cargada por la aplicación en tiempo de ejecución. Las listas de palabras también pueden ser ampliadas con palabras adicionales y filtros de palabras específicas pueden ser cargadas y aplicadas a través del API del SDK. Además, cuando está en el modo "Caracteres", cualquier palabra resultante de una secuencia de caracteres arbitrarios (incluidos los números) también es detectable [\[60\]](#).

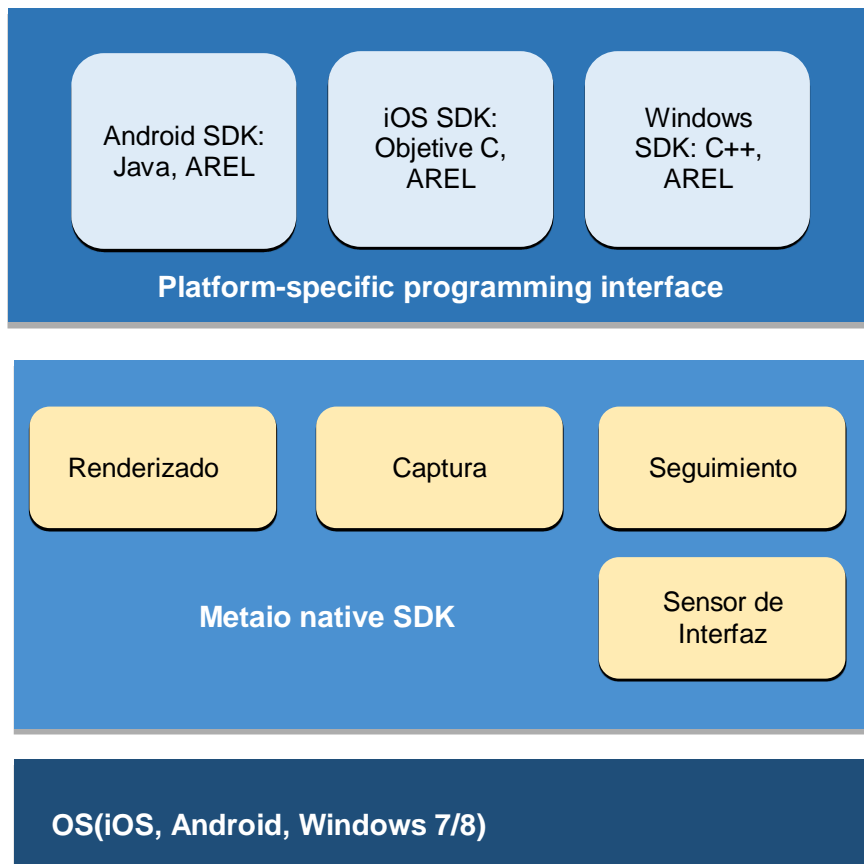
### 4.3.3.2. Metaio Mobile SDK

#### **Definición Metaio Mobile SDK**

Metaio Mobile SDK es un framework de desarrollo de aplicaciones de RA nativas para dispositivos móviles con S.O Android e iOS creada por la empresa Metaio en Alemania [36]. Este framework cuenta con varias versiones de desarrollo entre las que están: Metaio SDK y Metaio Creator. La primera cuenta con licencia libre pero es limitada en funcionamiento y las aplicaciones desarrolladas tienen una marca de agua. La segunda es de licencia pagada, diseñada para la creación de aplicaciones de RA rápidas sin conocimientos previos en programación y brinda gran capacidad de desarrollo como almacenamiento en la nube y seguimiento de objetos 3D, entre otras funcionalidades.

#### **Arquitectura Metaio Mobile SDK**

Metaio Mobile SDK cuenta con un potente motor de renderizado 3D, además implementa sus propios algoritmos matemáticos para la detección y seguimiento de markers [61]. Metaio Mobile SDK está estructurada por una arquitectura modular, de forma que divide la actividad de RA en tres componentes: Seguimiento, Captura y procesamiento [36], a la vez que actúa como intermediario en diferentes plataformas como Android, iOS y Windows [61], ver Figura 12.



**Figura 12.** Arquitectura modular de Metaio Mobile SDK.

### 4.3.3.3. Wikitude

#### Definición Wikitude [62]

Esta tecnología de RA tiene un enfoque multiplataforma, funciona para Iphone, Android, BlackBerry y algunos móviles con Symbian. A través de Wikitude es posible Geo-RA<sup>13</sup>, reconocimiento y seguimiento de imágenes y modelado en 3D. Está disponible como un SDK para el desarrollo de aplicaciones por terceros, en lenguajes de programación conocidos, HTML, JavaScript y CSS3. La compañía es líder en la estandarización internacional de la tecnología de RA, por ser miembros activos del grupo de trabajo en Open Geospatial Consortium (OGC).

Wikitude GmbH provee una herramienta basada en la nube para la creación de RA, llamada Wikitude Studio. Dicha herramienta posee una interfaz gráfica intuitiva para el reconocimiento y seguimiento de imágenes. Cualquier desarrollo con esta herramienta puede ser importado fácilmente en el Wikitude SDK.

#### Arquitectura Wikitude [63]

Está basada en una arquitectura “Gateway and Platform” al igual que Layar. Como elemento característico en su arquitectura está el servidor web que realiza la función de proveedor (Platform), encargado de mediar entre las solicitudes del navegador de RA (App) y los servidores externos (modelos del World Model).

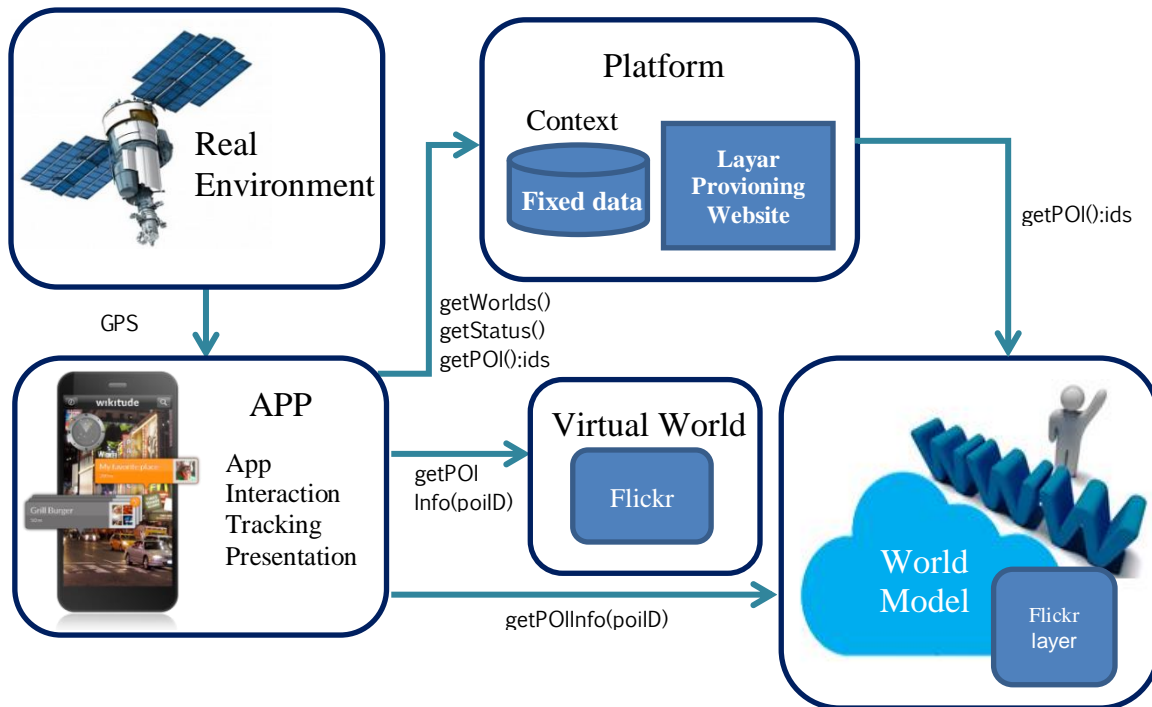


Figura 13. Arquitectura Wikitude

<sup>13</sup> Tipo de RA basada en la identificación de la posición geográfica real de un objeto o persona (geolocalización).

#### 4.3.4. Preparación de un prototipo básico de prueba

El prototipo básico desarrollado debe cumplir las mismas características y funcionalidades en cada uno de los SDKs utilizados, con el propósito de garantizar que todos estén bajo las mismas condiciones a la hora de llevar a cabo la selección del mejor.

Para realizar este prototipo son tenidos en cuenta los siguientes ítems:

- **Elementos:** los elementos considerados son: dispositivos móviles, SDKs de RA (Metaio, Vuforia, Wikitude), Tipo de target (imagen de una vaca) y un sonido de un animal (sonido de una vaca)
- **Funcionalidad:** detectar target (imagen de una vaca), realizar el movimiento de un objeto 3D y reproducir un sonido.
- **Procedimiento:** con el dispositivo encendido lanzar la aplicación desarrollada con cada uno de los SDKs de prueba, enfocar la cámara del dispositivo seleccionado hacia la imagen escogida de target (imagen de la vaca), mostrar objeto 3D de la vaca, interactuar con el objeto (realizar movimiento del mismo -rotación-), finalmente cada vez que es presionado un botón virtual debe reproducirse el sonido de un animal (en este caso el sonido de una vaca).

El diseño del prototipo básico de prueba para cada uno de los SDKs luce de la siguiente forma:



Figura 14. Prototipo básico de prueba usando Vuforia



**Figura 15.** Prototipo básico de prueba usando Metaio



**Figura 16.** Prototipo básico de prueba usando Wikitude

Las dimensiones de los target usados para realizar las pruebas son las siguientes:

- Target pequeño (cm): 5.15x3.8
- Target mediano (cm ): 10.3x7.6
- Target grande (cm): 20.6x15.2

Los targets usados fueron tres cada uno con tamaño diferente con el propósito de analizar la incidencia de diferentes factores sobre el desempeño de cada SDK. Los targets usados son los mostrados en la Figura 17.



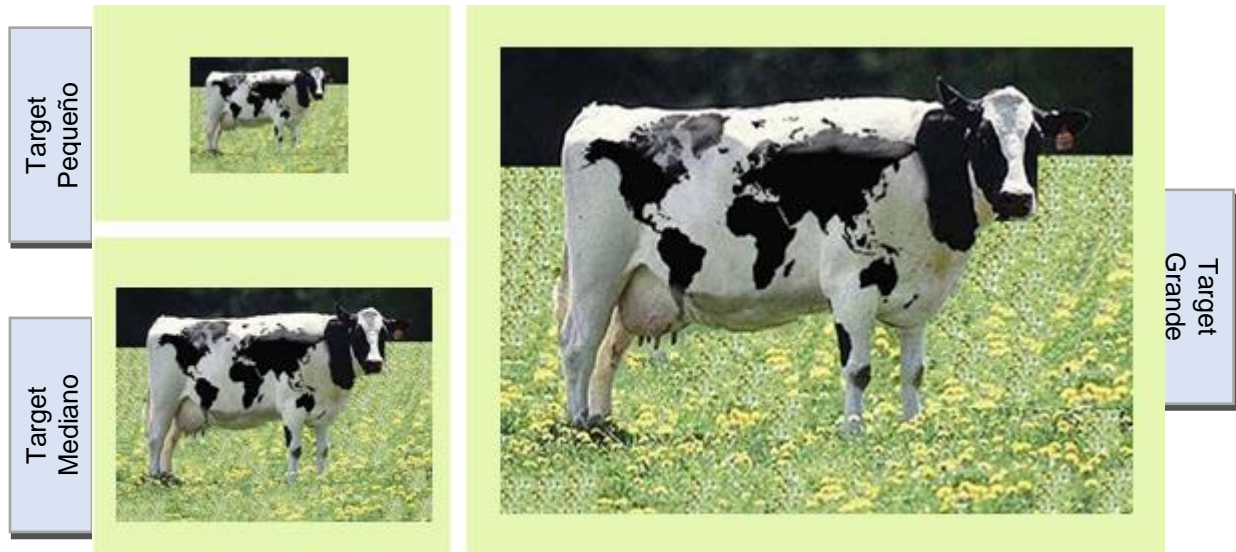


Figura 17. Tamaños de targets usados para pruebas

#### 4.3.5. Preparación de pruebas para la fase de reconocimiento y tracking en los SDKs seleccionados teniendo en cuenta el prototipo básico de prueba:

Estas pruebas quieren analizar el comportamiento de cada uno de los SDK frente a diversas condiciones como: distancia entre el dispositivo y el target utilizado, obstrucción parcial o total del target, distorsión de la perspectiva y condiciones de iluminación. Son elaboradas una serie de pruebas para evaluar los factores mencionados, que afectan de forma directa el óptimo desarrollo de cualquier aplicación de RA sobre dispositivos móviles. Las pruebas son descritas a continuación y en secciones posteriores están registrados los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

- **Distancia para el reconocimiento del target o marcador:** su objetivo es determinar la distancia mínima y máxima a la que puede ser detectado un target. Es importante porque de acuerdo a esta información es posible visualizar menor o mayor cantidad de información asociada al mismo.
- **Desempeño frente a oclusión del target:** es importante que las aplicaciones de RA detecten el Target de una manera eficiente, por lo tanto si este presenta algún obstáculo o interferencia, el desempeño de la aplicación puede verse comprometida.
- **Ángulo de detección del target o marcador:** el ángulo de detección del target es importante porque permite visualizar información asociada al mismo desde diferentes puntos de vista e incluso interactuar de cierta forma con el target.
- **Incidencia de la iluminación:** el reconocimiento del target está condicionado al nivel de iluminación presente en el espacio donde es ejecutada una aplicación de RA, por ello estudiar su incidencia en el comportamiento de los SDKs pre-seleccionados es importante.

### 4.3.6. Resultados de las pruebas

A continuación son registrados los resultados de las pruebas realizadas, para lo cual son empleadas gráficas que permiten realizar comparaciones a partir de diferentes aspectos como: el tipo de SDK preseleccionado, el nivel de iluminancia (medido en Lux, y simbolizado como E), el comportamiento del SDK (sin estado y con estado) y el tamaño del target. El procedimiento que se tuvo en cuenta para realizar las pruebas así como materiales empleados, detalles e interpretación de los resultados están especificados en el [ANEXO E](#). Más adelante es elaborada una síntesis del análisis de los resultados.

#### 4.3.6.1. Conceptos generales

- **Iluminancia:** o nivel de iluminación, el cual es una magnitud característica del objeto iluminado, que indica la cantidad de luz que incide sobre la superficie del mismo cuando es iluminado por una fuente de luz. Su unidad de medida es el Lux (lx) y 1lx equivale a 1Lumen/m<sup>2</sup>, su símbolo corresponde a la letra **E**. Para ambientes cerrados y poco iluminados esta propiedad está por debajo de los 100lx, mientras que para ambientes exteriores con luz natural y ambientes cerrados con buena iluminación, este valor es igual o superior a los 1000lx
- **Ángulo de apertura:** corresponde a la diferencia entre el mayor ángulo de lectura medido y el menor. Está medido en grados.
- **Estado:** a partir del análisis de los SDKs es observado un comportamiento particular durante el proceso de detección o reconocimiento, mostrando dos alternativas: sin estado y con estado, el primero representa la interacción inicial entre el target y la cámara del dispositivo, el segundo la interacción sostenida después de la detección inicial, donde es almacenada la información de RA, siempre y cuando este mantenido el enfoque en el target. Este último estado permite ampliar los límites de la detección frente a diversos factores analizados en las pruebas siguientes.
- **Tamaño de targets:** Para hacer alusión al tamaño de los targets empleados en las pruebas, son usadas las letras P (target Pequeño), M (target Mediano) y G (target Grande).
- **Unidades:** tanto en las pruebas como en las gráficas de resultados las unidades de medida usadas son: distancia en centímetros (cm), oclusión soportada en porcentaje (%), ángulos en grados (°) e iluminancia (E) en lux (lx).

Para mayor detalle en los conceptos utilizados consultar el [ANEXO E](#).

#### 4.3.6.2. Resultados de las pruebas de distancia

Esta prueba consiste en determinar cuáles son las distancias mínimas y máximas para que diversos tamaños de target puedan ser detectados por el dispositivo. Para ello es ubicado el target verticalmente de manera que forme un ángulo de 90° con el dispositivo, con el objetivo de establecer la distancia mínima y la distancia máxima requeridas para que sea detectado el target, el móvil es desplazado a través de una superficie plana hasta encontrar dichos valores y teniendo en cuenta la detección con y sin estado.



La Figura 18 y Figura 19 registran la distancia mínima y máxima necesaria para que el target pueda ser detectado por la cámara del dispositivo móvil.

### Comparación distancia mínima, Iluminancia

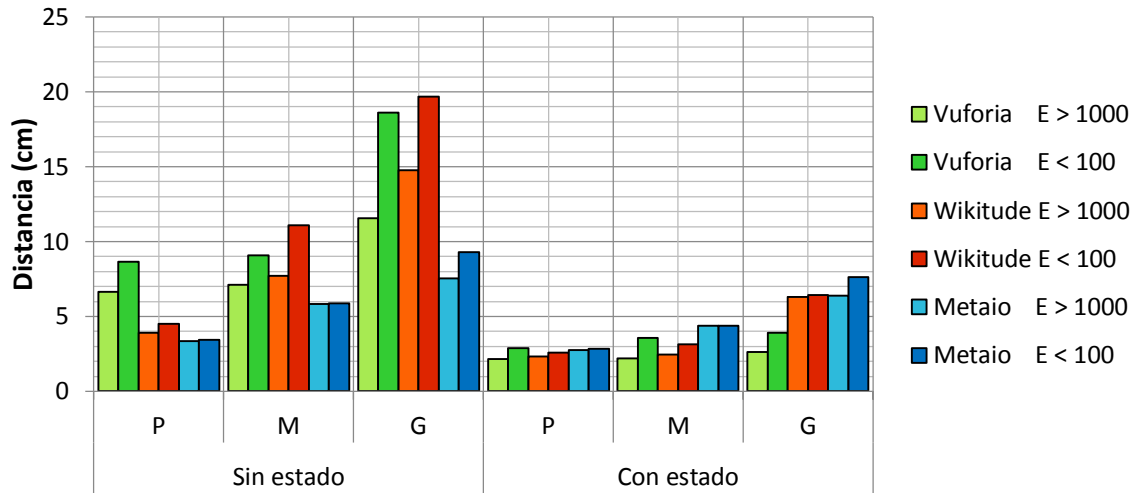


Figura 18. Resultados de distancia mínima

### Comparación distancia máxima, Iluminancia

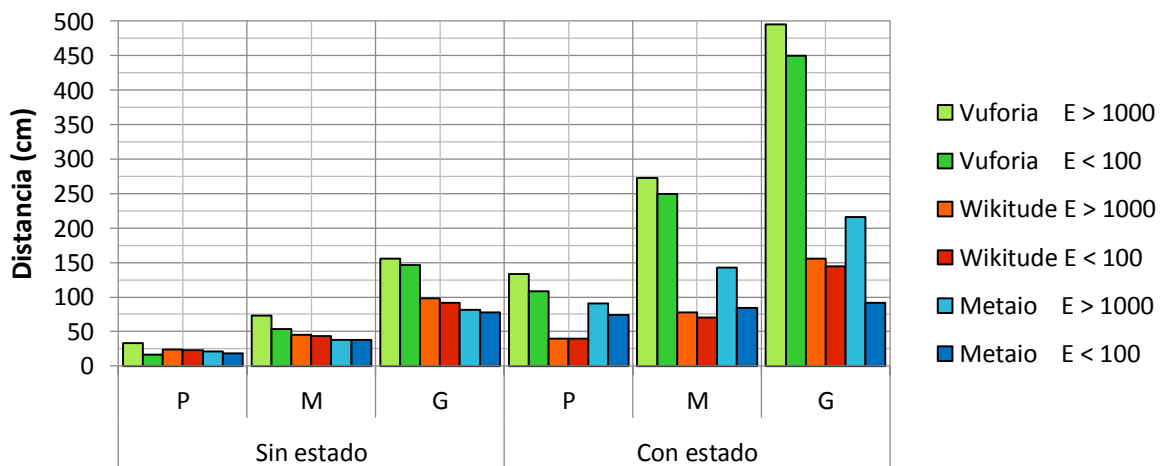


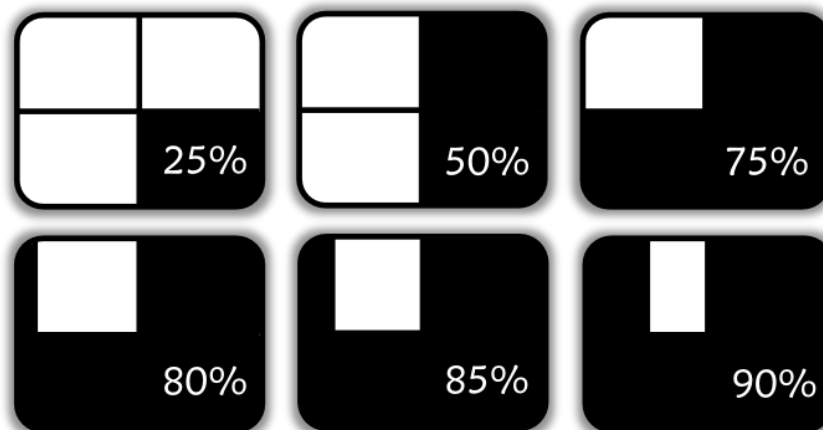
Figura 19. Resultados de distancia máxima

#### 4.3.6.3. Síntesis de resultados para las pruebas de distancia

- Sin estado Metaio posee menores valores de distancia mínima y distancia máxima que Wikitude y Vuforia.
- Vuforia alcanza distancias máximas más altas que Metaio y Wikitude independientemente del tamaño del target, los niveles de iluminancia y los estados considerados.
- Mientras más grande es un target la distancia mínima para la detección del mismo es mayor porque necesita visualizar una mayor área para detectar la mayor cantidad de puntos de reconocimiento del target.
- A medida que los niveles de iluminancia disminuyen la distancia mínima para la detección aumenta y la distancia máxima disminuye. Que sería el comportamiento esperado para un lugar con baja iluminación.
- Con estado la distancia mínima disminuye y la distancia máxima aumenta con respecto a las medidas sin estado.

#### 4.3.6.4. Resultados de las pruebas de oclusión en el target

Esta prueba pretende determinar cuál es el porcentaje de oclusión soportado por cada uno de los SDKs estudiados (ver Figura 20) teniendo en cuenta el tamaño del target y los rangos de distancia óptimos para la detección medidos en la prueba anterior. Para ello es ubicado el target verticalmente de manera que forme un ángulo de 90° con el dispositivo, con el objetivo de establecer el porcentaje de oclusión máximo soportado por cada SDK. Son elaboradas obstrucciones en papel que cubran porcentajes del target, esas obstrucciones son ubicadas a través de sus respectivos cuadrantes y con cada nueva ubicación el móvil es desplazado a través de una superficie plana teniendo en cuenta un rango de distancia (medida en cm) y solo un comportamiento (sin estado).



**Figura 20.** Ejemplos de porcentajes de oclusión sobre target.

La Figura 21 permite observar los niveles de obstrucción o porcentajes de oclusión que puede soportar cada SDK según el tamaño del target y el nivel de iluminancia.

## Comparación de oclusión

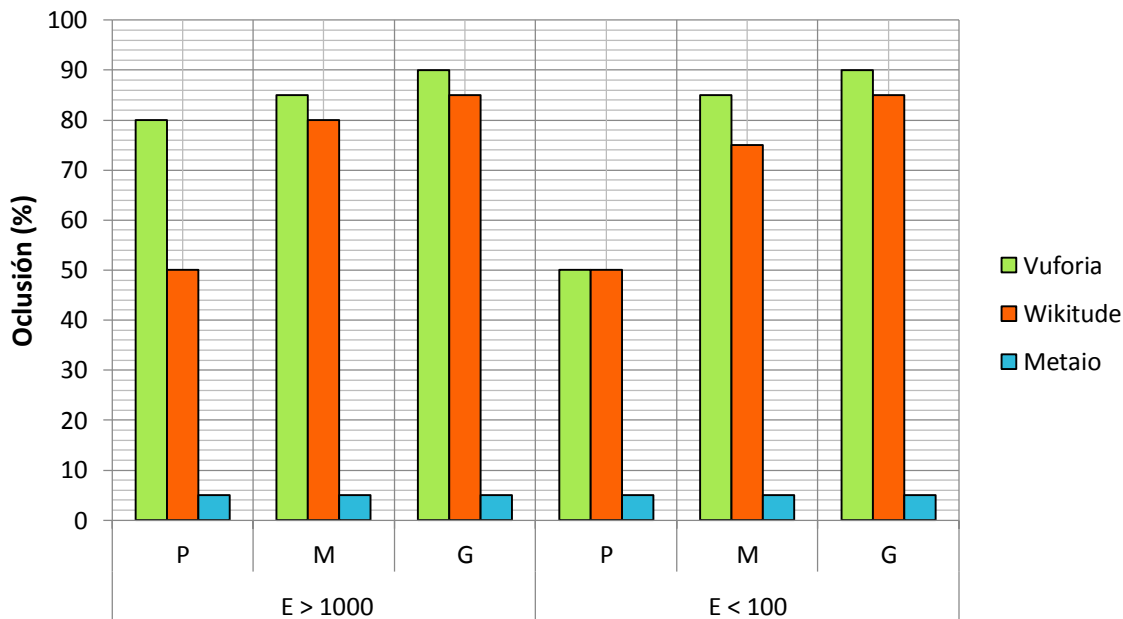


Figura 21. Resultados de oclusión

### 4.3.6.5. Síntesis de resultados para las pruebas de oclusión en el target

- Los cambios en los niveles de iluminación y los porcentajes de oclusión sobre el target afectan la distancia de reconocimiento. Tanto el decremento en los niveles de iluminación como aumento en los porcentajes de oclusión disminuyen la distancia para la detección o no del target con la obstrucción.
- Independientemente de la distancia de reconocimiento, la iluminancia y del tamaño del target, Metaio soporta solamente oclusiones menores al 5%.
- Los targets pequeños soportan menos oclusión que targets más grandes debido a que a mayor tamaño del target, mayor es el área que necesita reconocer para la detección de los puntos de reconocimiento.
- Vuforia soporta mayor porcentaje de oclusión, entre 50% - 90% dependiendo del nivel de iluminancia, que Wikitude y Metaio los cuales están en un rango entre 50% - 85%, y 5% respectivamente.

#### 4.3.6.6. Resultados de las pruebas de distorsión de la perspectiva

El objetivo de esta prueba es determinar cuál es el ángulo de apertura más amplio al que un SDK puede detectar cada uno de los targets empleados para realizar las pruebas, este ángulo de apertura corresponde a la diferencia entre el mayor ángulo de lectura medido y el menor.

En esta prueba es ubicado el target verticalmente al lente y gradualmente el dispositivo móvil es desplazado sobre una superficie plana recorriendo un arco entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  alrededor del target. Los radios seleccionados para el recorrido están entre los rangos de distancia óptimos para la detección, la cual esta medida en centímetros. Son tenidas en cuenta también dos condiciones de iluminación y de comportamiento de los SDKs.

### Ángulo de apertura para target pequeño, $E > 1000$

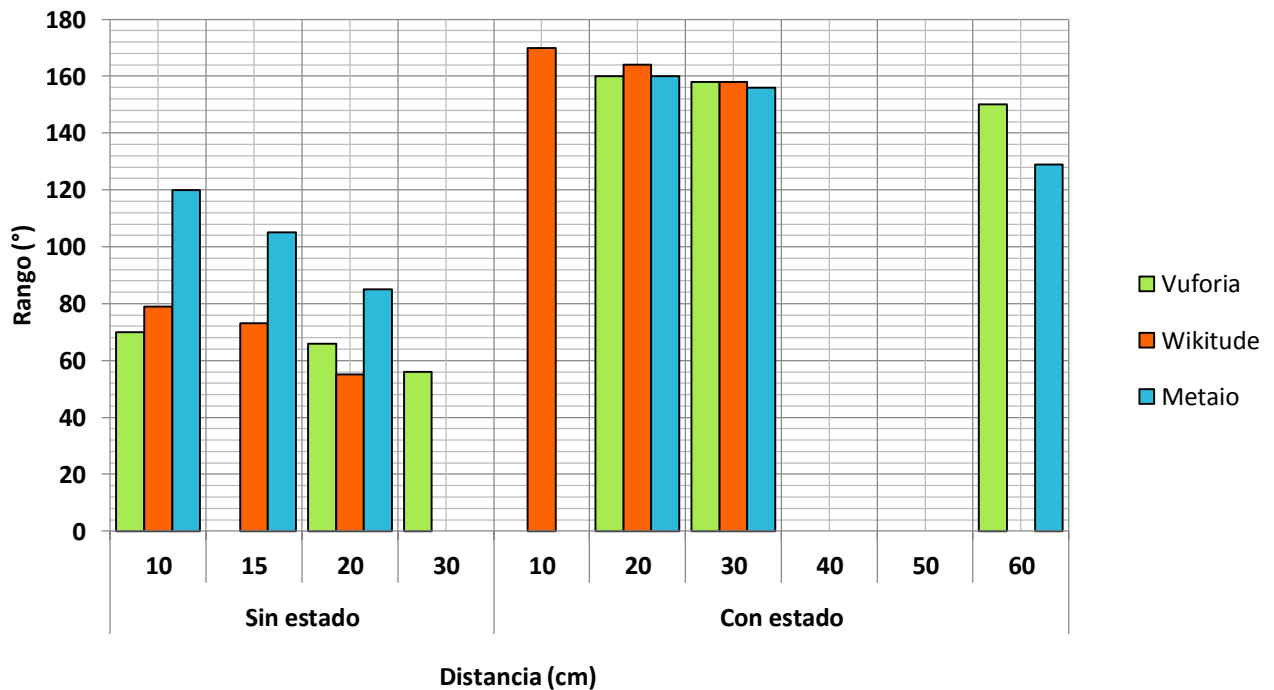


Figura 22. Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target pequeño y  $E > 1000$

### Ángulo de apertura para target mediano, $E > 1000$

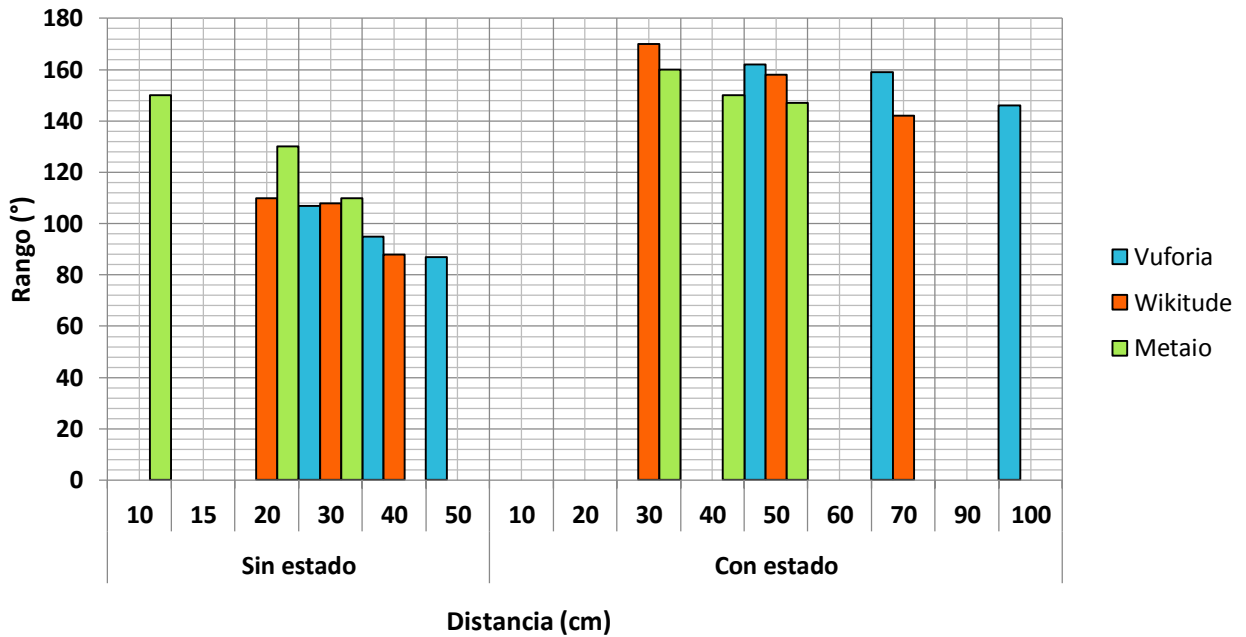


Figura 23. Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target mediano y  $E > 1000$

### Ángulo de apertura para target grande, $E > 1000$

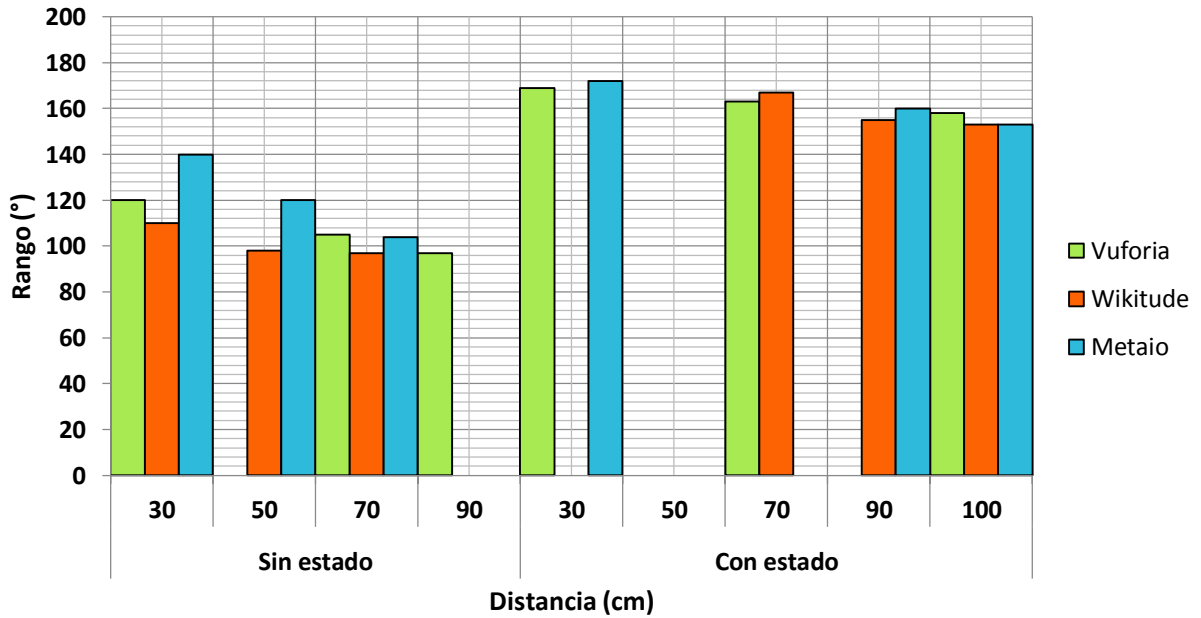


Figura 24. Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target grande y  $E > 1000$

## Ángulo de apertura para target pequeño, $E < 100$

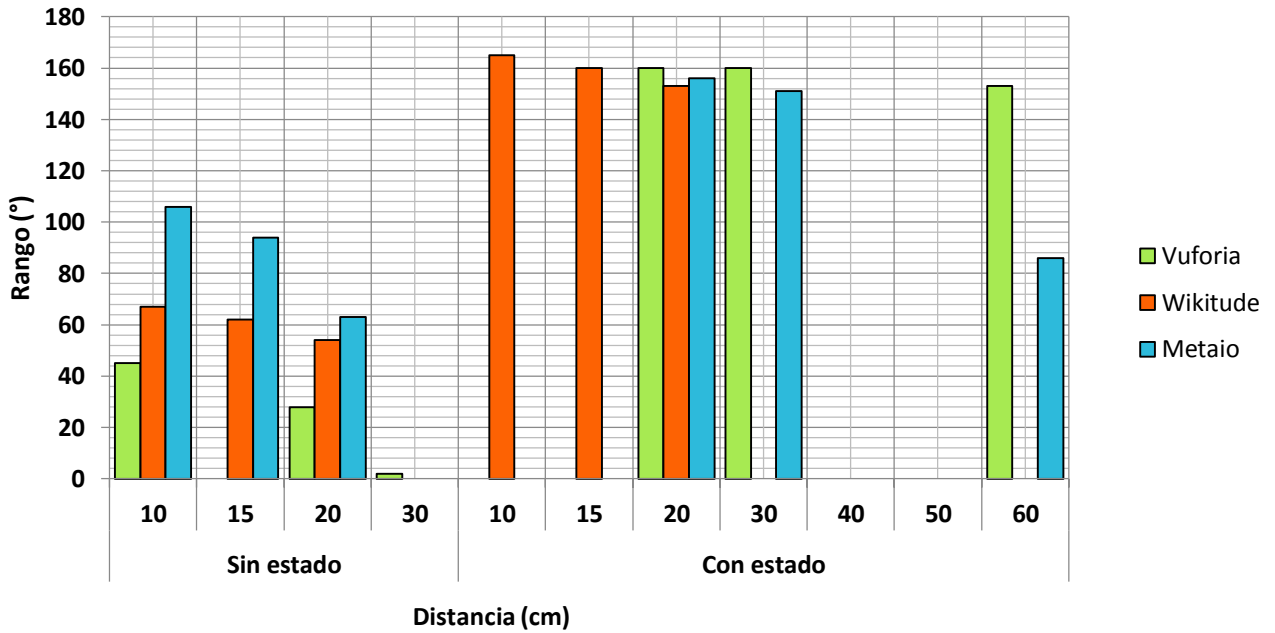


Figura 25. Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target pequeño y  $E < 100$

## Ángulo de apertura para target mediano, $E < 100$

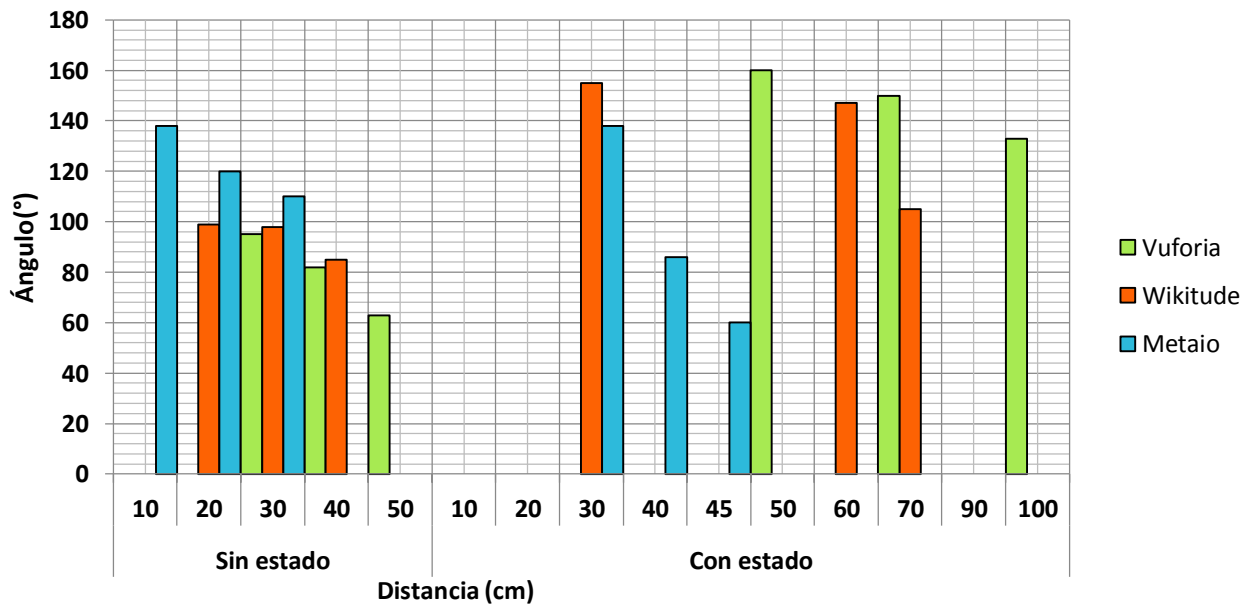
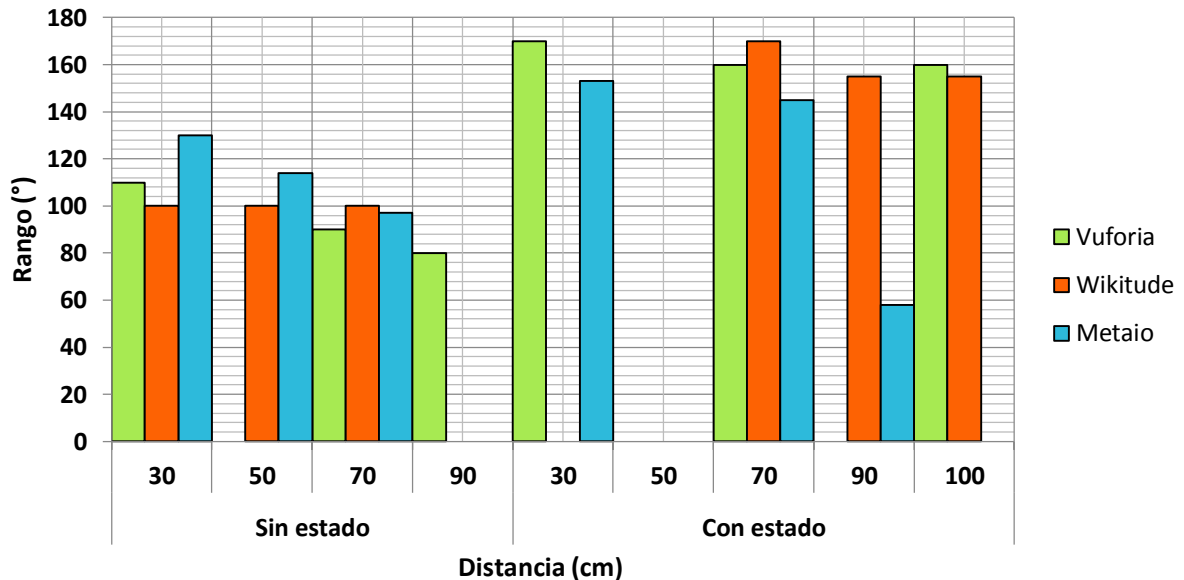


Figura 26. Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target mediano y  $E < 100$

## Ángulo de apertura para target grande, $E < 100$



**Figura 27.** Distorsión de la perspectiva entre SDKs para target grande y  $E < 100$

### 4.3.6.7. Síntesis de resultados para las pruebas de distorsión de la perspectiva

- El ángulo de apertura aumenta al aumentar los niveles de iluminancia.
- El ángulo de apertura disminuye al aumentar la distancia entre el dispositivo móvil y el target.
- El ángulo de apertura aumenta al aumentar el tamaño del target.
- El ángulo de apertura aumenta al realizar las pruebas con estado.
- Sin estado y a cualquier distancia (óptima para la detección), Metaio presenta el ángulo de apertura más grande para la detección del target.
- Con estado y a cortas distancias, Wikitude presenta el ángulo de apertura más amplio para la detección del target.
- Con estado y a largas distancias, Vuforia presenta el ángulo de apertura más amplio para la detección del target.
- Sin estado, a largas distancias y un decremento en la iluminancia, Vuforia es el más afectado, presentando el ángulo de apertura más estrecho para la detección del target.

#### 4.3.6.8. Resultados de las pruebas de incidencia de la iluminación

El propósito de esta prueba es determinar la iluminancia mínima requerida por cada SDK para la detección del target según los comportamientos o estados de los SDKs. En esta prueba es ubicado el target verticalmente, fijando el dispositivo móvil a cada una de las distancias establecidas y a través de un dimmer es regulada la intensidad de luz emitida por la fuente artificial. Los resultados de las pruebas de incidencia de iluminación registrados a continuación permiten establecer la mínima iluminancia requerida de acuerdo a la distancia, el comportamiento del SDK y el tipo de SDK.

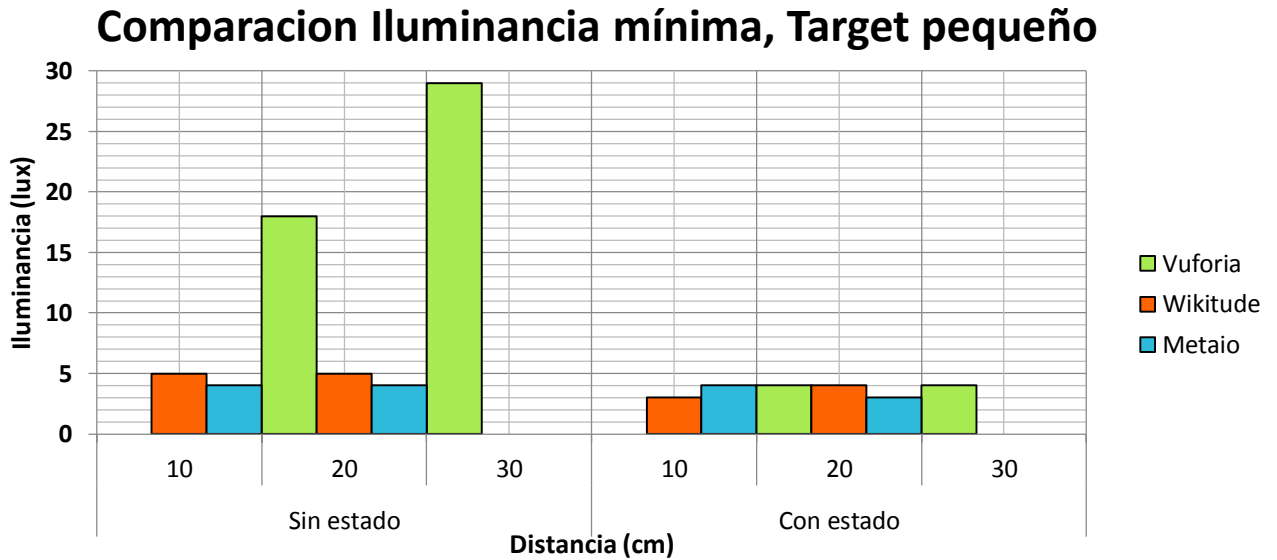


Figura 28. Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target pequeño

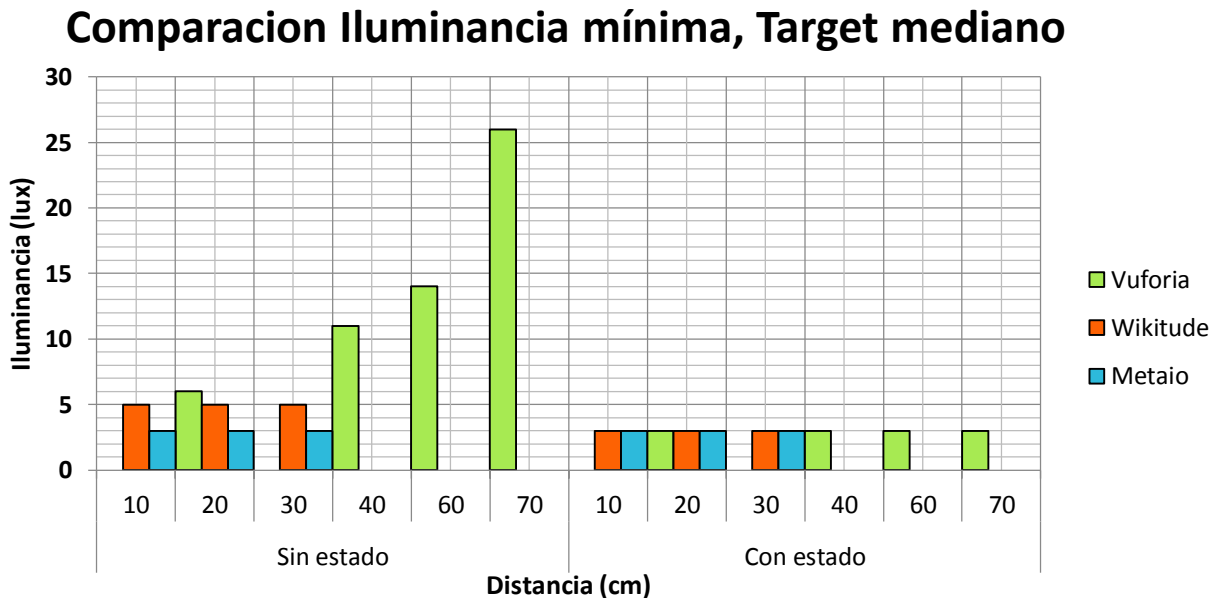


Figura 29. Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target mediano



## Comparación Iluminancia mínima, Target grande

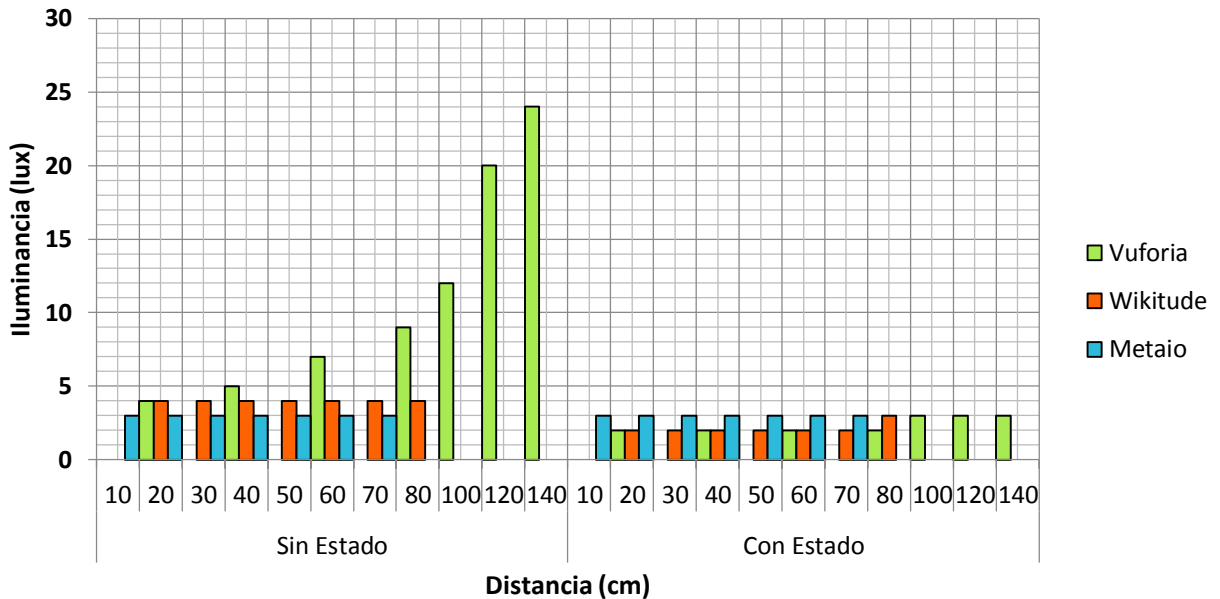


Figura 30. Comparación de iluminancia mínima entre SDKs para target grande

### 4.3.6.9. Síntesis de resultados para las pruebas de incidencia de la iluminación

- Vuforia es el más sensible ante los cambios de iluminancia, a medida que la distancia aumenta, Vuforia requiere de mayores niveles de iluminación para detectar el target.
- Metaio presenta valores de iluminancia mínima que varían alrededor de los 3 lx. Debido a que el luxómetro no maneja números decimales para escalas pequeñas, no fue posible establecer entre que valores está exactamente el mínimo, entonces es asumido como un valor constante.
- Metaio y Wikitude son más estables ya que no presentan variaciones considerables en los niveles de iluminación, además estos niveles son menores a los necesitados por Vuforia.
- Metaio presenta niveles de iluminancia mínima más bajos que los que necesita Wikitude y Vuforia.
- Con estado los niveles de iluminancia mínima disminuyen para los tres SDKs.
- El target pequeño requiere de mayor iluminación que los demás tamaños de target.
- En Vuforia y Wikitude el target grande requiere de menor iluminación que los demás tamaños de target.

#### 4.3.7. Selección del SDK

Las pruebas realizadas permiten evaluar el comportamiento de los SDK pre-seleccionados frente a diversos factores que condicionan el adecuado funcionamiento en la fase de reconocimiento y tracking de una aplicación de RA, y por ende afectar directamente la experiencia del usuario al momento de hacer uso de la aplicación. La incidencia de dichos factores permite tener una referencia de cuáles serían los campos en los que mejor pueden desempeñarse o sus posibles usos.

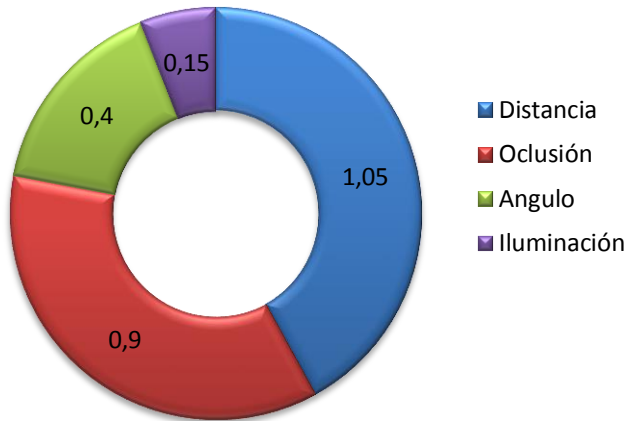
Para el presente trabajo de grado algunos de los factores de evaluación resultan de mayor importancia que otros, por esta razón es necesario realizar una ponderación de los resultados obtenidos, tal como son presentados en la Tabla 8. Para ello, son asignados porcentajes a las características evaluadas de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- **Factor Distancia (ponderación 35%):** esta característica constituye el factor más importante, debido a que de ella depende la cantidad de información que puede ser visualizada por el paciente en el target al utilizar el dispositivo. Por otro lado, a partir de esta característica puede determinarse la distancia correcta a la que el paciente puede comenzar a ver los elementos en el target.
- **Factor Oclusión (ponderación 30%):** después de la distancia, es fundamental tener en cuenta el porcentaje de oclusión soportado por cada SDK, debido a que un porcentaje alto de oclusión permitiría a los pacientes interactuar con el target sin preocuparse por obstáculos para la visualización del target. En caso contrario, si el SDK no es robusto en ese aspecto, perdería la información, conllevando a un comportamiento no deseado.
- **Factor Ángulo (ponderación 20%):** los pacientes del caso de estudio son niños y niñas que por su naturaleza van a estar constantemente en contacto con los dispositivos móviles y los targets, manipulándolos de diversas formas, por lo tanto el ángulo de apertura es un factor importante para lograr una correcta detección. Sin embargo, si es considerado el comportamiento denominado *estado* de cada uno de los SDK, este factor no resulta tan decisivo.
- **Factor Iluminación (ponderación 15%):** esta característica en relación a las anteriores no es tan relevante debido a que el caso de estudio tiene como escenario de trabajo un consultorio médico, que siempre va a estar provisto de buena iluminación, razón por la cual el target puede detectarse fácilmente.

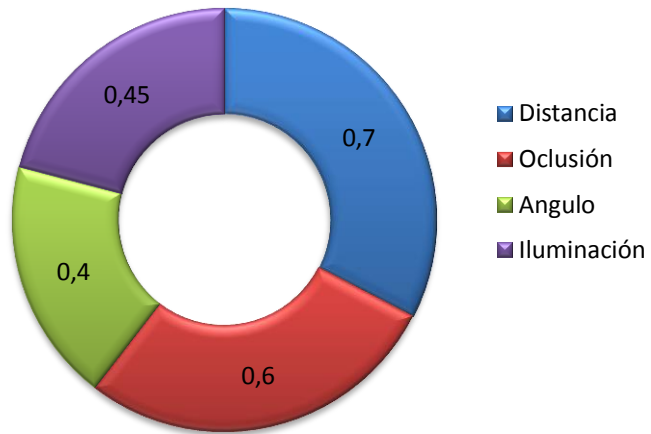
En la Tabla 8 son registrados los porcentajes asignados a cada característica del SDK, además de asignarse puntajes (de 1 a 3 puntos) conforme a los resultados obtenidos en las pruebas de reconocimiento y tracking, de acuerdo a un cumplimiento bueno (3), regular (2) o malo (1) de la característica.

Finalmente, es calculado un puntaje total teniendo en cuenta los porcentajes asignados a cada característica y la puntuación de cada SDK. Los resultados obtenidos son presentados inicialmente de forma individual con una gráfica, que corresponde a los ponderados de cada característica según el SDK evaluado, seguidamente la Tabla 8 muestra los valores correspondientes y para terminar son mostrados los resultados en un diagrama de barras que permite la comparación entre SDKs.

### Vuforia



### Wikitude



### Metaio

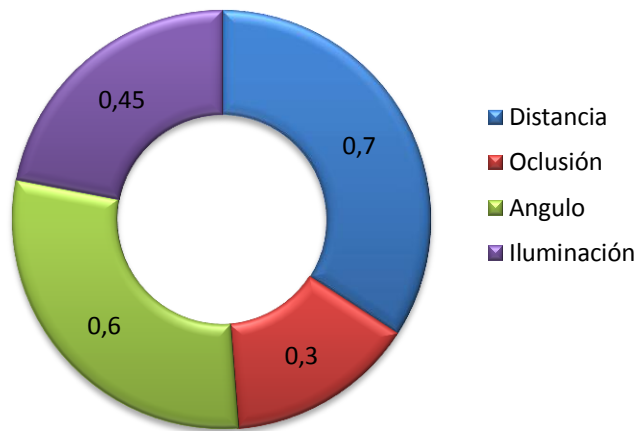


Figura 31. Puntaje de SDKs en las pruebas de reconocimiento y tracking

Prueba	Porcentaje	Vuforia		Metaio		Wikitude	
		Val	Pon	Val	Pon	Val	Pon
Distancia	0.35	3	1.05	2	0.7	2	0.7
Oclusión	0.3	3	0.9	1	0.3	2	0.6
Angulo	0.2	2	0.4	3	0.6	2	0.4
Iluminación	0.15	1	0.15	3	0.45	3	0.45
Total	1	9	2.5	9	2.05	9	2.15

Tabla 8. Puntaje de pruebas para la selección del SDK

### Puntaje de SDKs en las pruebas

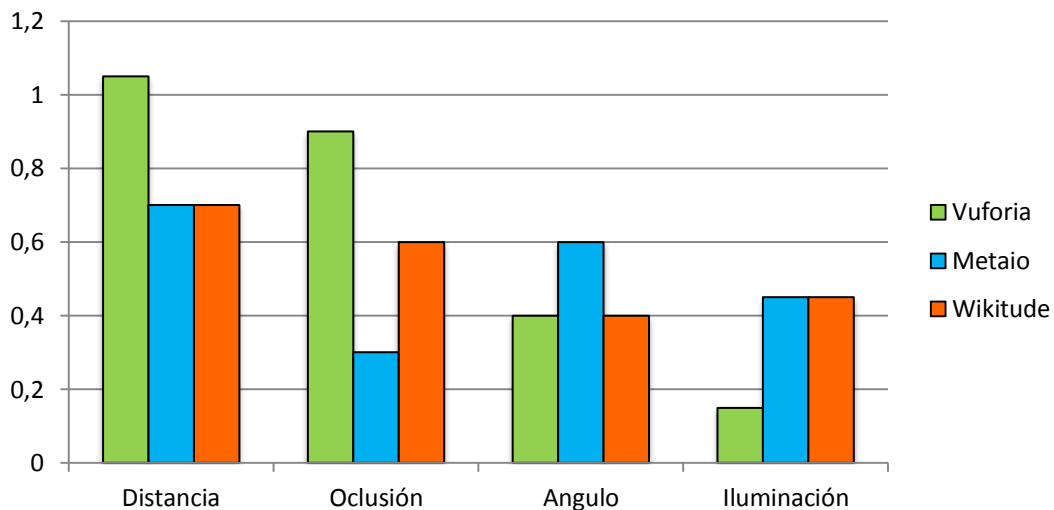


Figura 32. Puntaje de SDKs en las pruebas de reconocimiento y tracking

A partir de los resultados obtenidos, puede apreciarse claramente que el mejor SDK para las condiciones del trabajo de grado, es **Vuforia**. De igual manera permiten mostrar que factores perjudican en mayor o menor medida a cada uno de los SDKs evaluados.

## 4.4. ANÁLISIS DE LA ORGANIZACIÓN

### 4.4.1. Modelado de negocio y su descripción

A través del siguiente modelo de la organización (ver Figura 33) [64] puede conocerse la estructura y la dinámica de la organización en la cual va a implantarse el sistema. Para este trabajo la organización objetivo es Fisiocenter, dentro de sus recursos humanos cuenta con un grupo de coordinación encargado de realizar una evaluación inicial a los pacientes con dificultades auditivas remitidos por la EPS, después de analizar la condición del paciente lo socializan con el terapeuta especialista, responsable de sus sesiones de terapia. El terapeuta inicialmente realiza un protocolo de manejo en el cual como primera medida lleva a cabo la evaluación inicial del PAC, a partir de la cual estructura el tratamiento de cada paciente. Cada sesión de terapia comprende habilidades y actividades que deben ser llevadas a cabo por el paciente. Al final de cada mes, socializan los resultados obtenidos con otros terapeutas. El proceso anterior es descrito a través de los modelos de casos de uso y de objetos de la organización mostrados en las siguientes figuras.

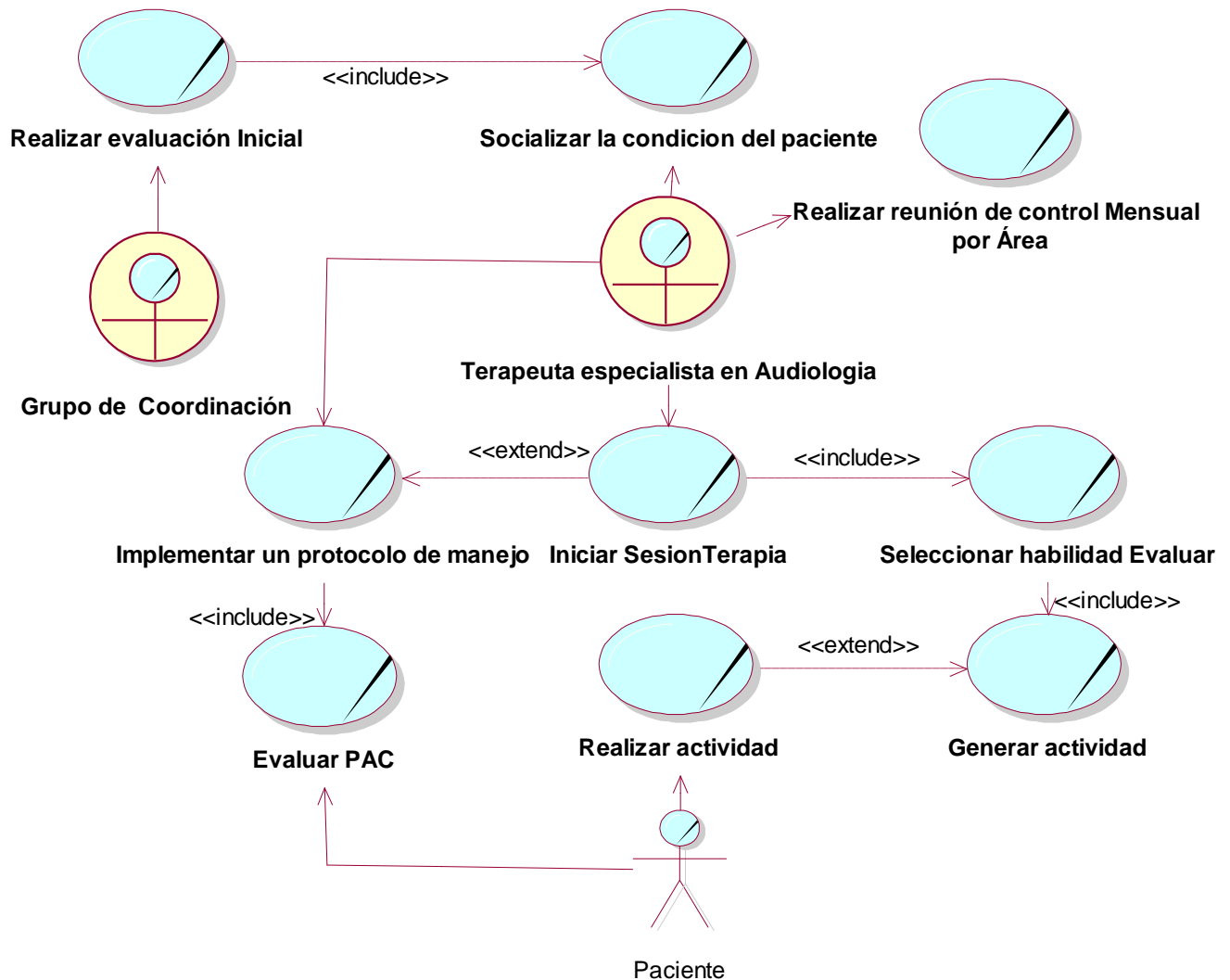
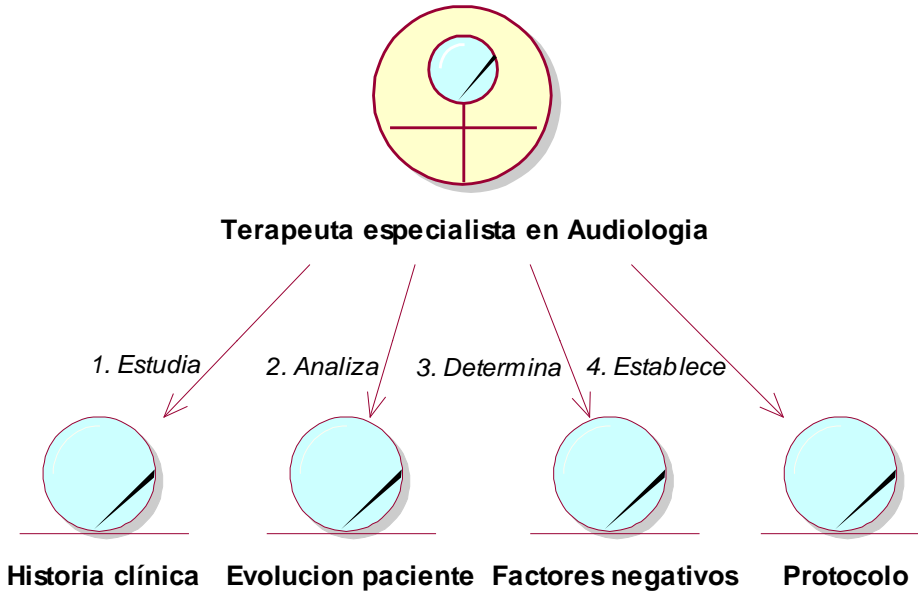


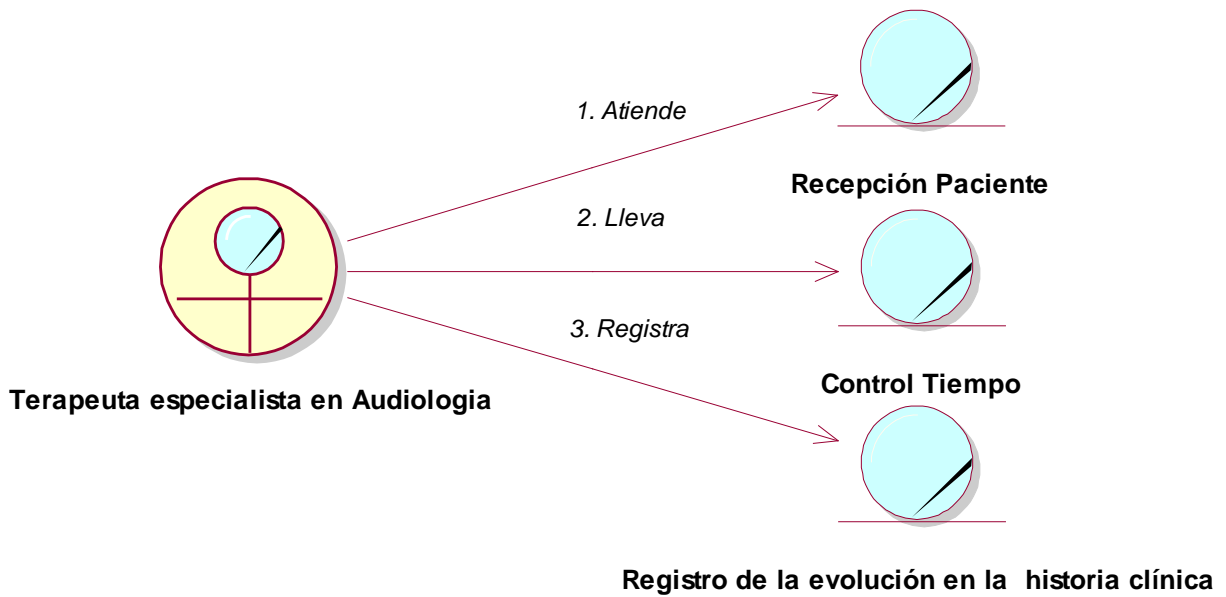
Figura 33. Modelo de casos de uso del negocio (organización)

El interés del proyecto comprende la labor del terapeuta y la interacción con el paciente, por tal razón son tenidos en cuenta sólo los casos de uso del negocio de mayor relevancia para realizar el modelo de objetos del negocio.

El primer modelo permite conocer los lineamientos básicos tenidos en cuenta por el terapeuta para realizar la formulación de un protocolo de manejo, el segundo describe el proceso de atención al paciente en cada sesión de terapia tal como es mostraso a continuación:

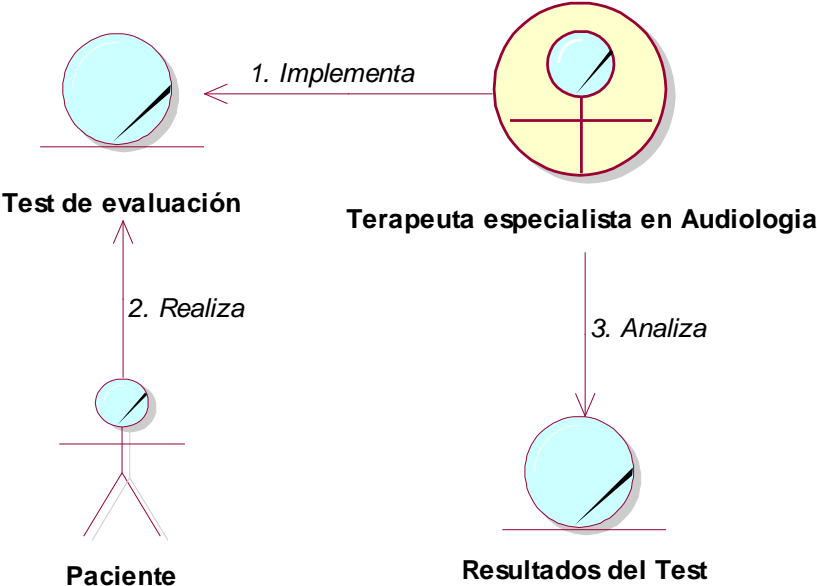


**Figura 34.** Modelo de objetos del negocio. Implementar un protocolo de manejo.

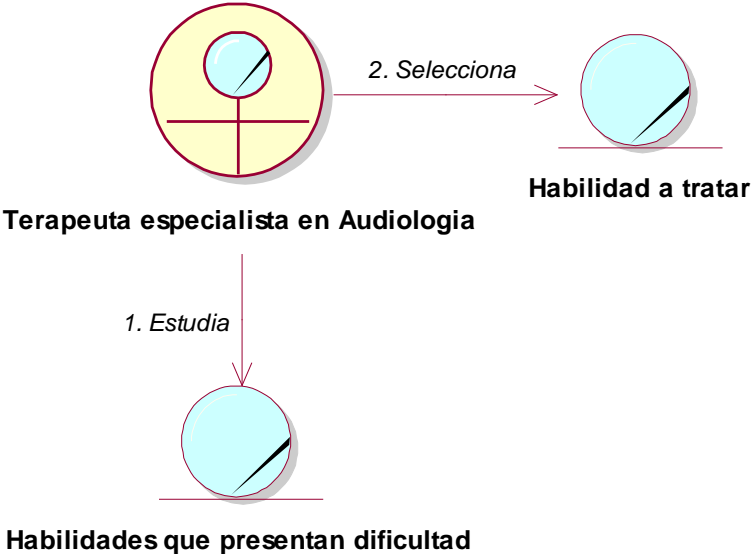


**Figura 35.** Modelo de objetos del negocio. Iniciar sesión Terapia.

El terapeuta antes de iniciar las sesiones regulares de terapia realiza la Evaluación del PAC con el propósito de determinar las condiciones iniciales con las que es recibido un paciente a la entidad, para ello el terapeuta establece un test de evaluación que debe ser aplicado al paciente. Los resultados del test permiten determinar que habilidades en el PAC presentan dificultades, y de esta forma puedan ser posteriormente tratadas en las sesiones de terapia.

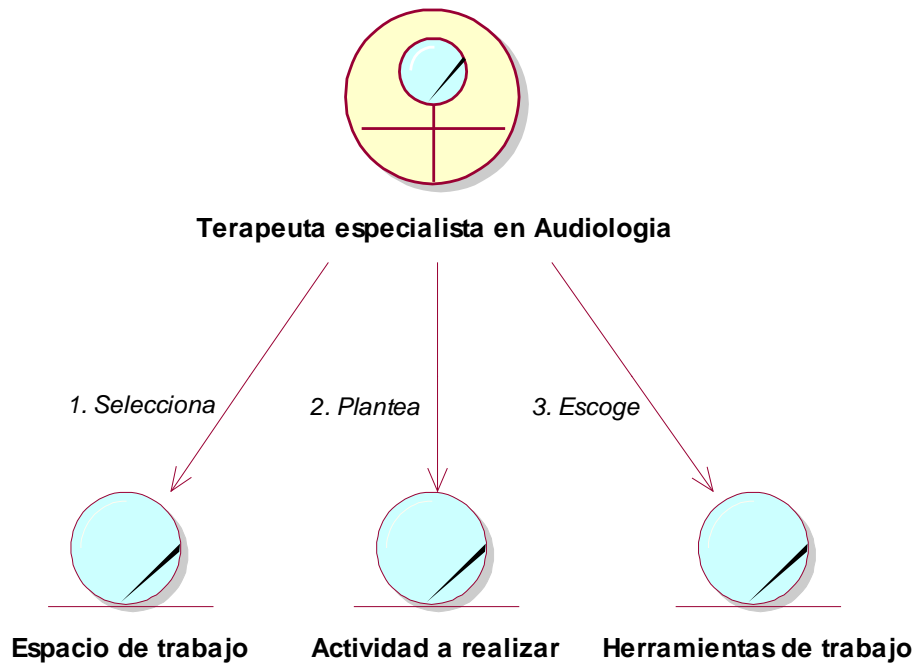


**Figura 36.** Modelo de objetos del negocio. Evaluar PAC.

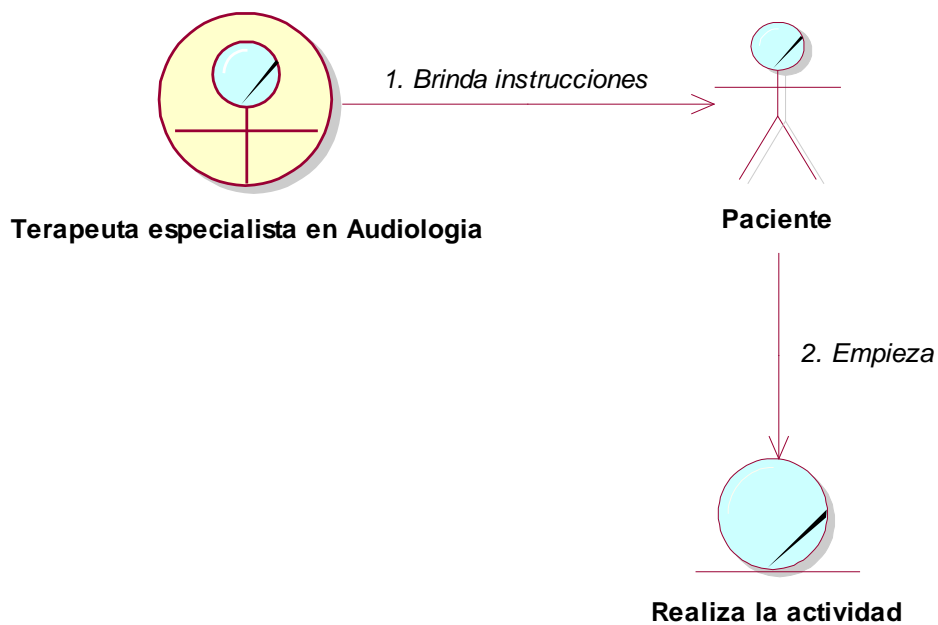


**Figura 37.** Modelo de objetos del negocio. Seleccionar habilidad a evaluar

Una vez establecida(s) la(s) habilidad(es) con dificultad, la descripción del funcionamiento de la organización continua con los siguientes modelos de objetos del negocio, procesos que son repetitivos en cada sesión de terapia. En el primero de ellos, Generar actividad, el terapeuta establece las actividades acorde a cada habilidad y organiza todos los elementos necesarios para que el paciente pueda realizarla. En el segundo, el terapeuta guía y acompaña al paciente a realizar la actividad.



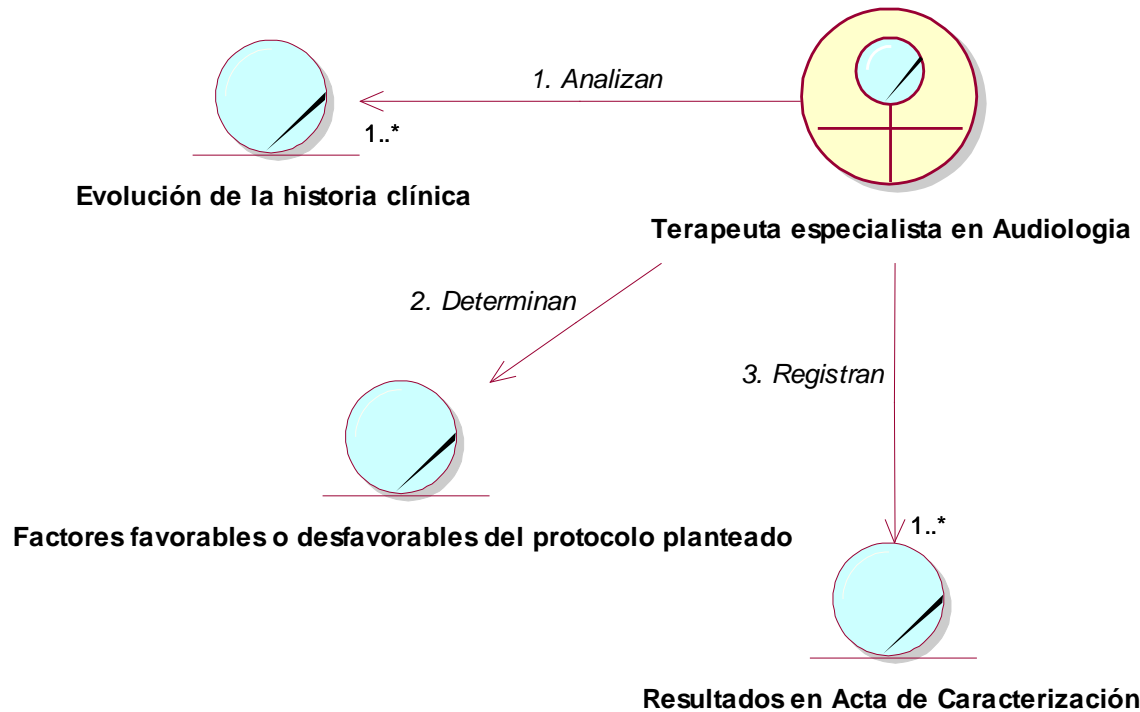
**Figura 38.** Modelo de objetos del negocio. Generar actividad.



**Figura 39.** Modelo de objetos del negocio. Realizar actividad.



El modelo de objetos del negocio siguiente finaliza un ciclo, en él describe una reunión mensual integrada por fonoaudiólogos y fonoaudiólogos especialistas, en donde retoman la historia clínica de cada paciente, discuten los registros de evolución y el protocolo de manejo realizados por el terapeuta responsable, finalmente consigan los resultados de la reunión un acta de caracterización.



**Figura 40.** Modelo de objetos del negocio. Realizar reunión de control mensual por área.

A partir de todos los anteriores modelos de objetos de negocio es posible establecer que los actores principales vinculados a la organización son los conformados por el grupo de coordinación, el terapeuta especialista y el paciente. El grupo de coordinación está conformado por especialistas y magísters en las áreas de terapia tratadas por la organización, estas son: fisioterapia, terapia ocupacional y fonoaudiología, a partir de la evaluación inicial realizada por ellos son asignados terapias y terapeutas en las diferentes áreas dando inicio a un ciclo que inicia con el planteamiento de un protocolo de manejo y finaliza con una reunión mensual de los terapeutas.

## 4.5. DISEÑO Y MODELADO DEL PROTOTIPO

### 4.5.1. Requerimientos funcionales y no funcionales

A partir de la entrevista realizada a la especialista y asesora del trabajo, son determinados los requerimientos y las necesidades tecnológicas para el soporte en el tratamiento de trastornos en el procesamiento auditivo central planteándose los siguientes requerimientos para el prototipo:

#### No funcionales:

- Cada actividad realizada debe contener, al finalizar, refuerzos positivos independientemente si el paciente la realizó correcta o incorrectamente.
- La tecnología seleccionada permite adecuar el entorno a través de objetos adicionales sobre la interfaz o el escenario, sin embargo para el caso de estudio constituyen elementos distractores para el paciente, razón por la cual no deben ser tenidos en cuenta para el prototipo.
- Para la selección de las onomatopeyas a usar en el prototipo son sugeridos los sonidos de animales de granja o domésticos, que son de uso común y por tanto de fácil reconocimiento por los pacientes.
- El medio idóneo para mostrar la información de RA son láminas.
- Los sonidos empleados para la aplicación deben tener buena calidad.
- Para la primera habilidad del procesamiento auditivo denominada *lateralización y localización de sonidos* deben tenerse en cuenta sonidos de instrumentos agudos, medios y graves.
- Para la *discriminación auditiva* es preferible el uso de 4 láminas.
- En el *reconocimiento de patrones auditivos* emplear un sonido corto y un sonido largo asociados a elementos como: imágenes u objetos con tamaño corto y largo respectivamente. Si es posible, emplear vocales para un nivel de mayor dificultad.
- Para *aspectos temporales de la audición*, específicamente para la memoria auditiva deben manejarse secuencias de mínimo cuatro sonidos. Si no termina la actividad debe empezarla de nuevo, sin embargo, si es realizada la actividad tres veces sin tener éxito, entonces debe cambiarse la secuencia.
- Como sonido de fondo para el enmascaramiento temporal emplear el de la lluvia. Adicionalmente debe identificarse cuando suena y deja de sonar la onomatopeya y la lluvia de una forma progresiva. Si desea elevarse el nivel de dificultad, la sugerencia es repetir el proceso anterior pero variando el volumen de la fuente sonora hasta un máximo de 30db por encima de su intensidad inicial.

#### Funcionales:

- El terapeuta puede configurar la sesión de terapia en la aplicación:
  - ✓ **Habilidades:** El PEHEPAC contiene la descripción detallada para la evaluación del PAC para ello establece 6 habilidades que deben realizarse de forma progresiva a partir de la que sea considerada como la principal falencia en el test de evaluación. Por ello las 6 habilidades son fundamentales y deben ser tenidas en cuenta para el desarrollo de su aplicación, además el terapeuta debe tener la facilidad de seleccionar cualquier habilidad para iniciar el tratamiento con el paciente.

- ✓ **Parámetros de complejidad:** A medida que el paciente evoluciona en el desarrollo de cada una de las actividades, el terapeuta agrega un valor adicional por ejemplo, una lámina más, o un sonido diferente, con propósito de elevar el nivel de dificultad y fortalecer la habilidad; por tanto la aplicación debe contener parámetros aleatorios que generen dificultad en la actividad y deben estar presentes en todas las habilidades.
- Soporte de la habilidad de lateralización / localización: La aplicación debe tener la funcionalidad de alternar un sonido entre los dos oídos del paciente.
- Soporte de la habilidad de discriminación auditiva: La aplicación debe permitir relacionar un sonido onomatopéyico a un elemento representativo del sonido.
- Soporte de la habilidad de memoria auditiva: La aplicación debe estructurar un conjunto de sonidos de forma que puedan ser manipulados de forma secuencial.
- Soporte de la habilidad de duplas: El terapeuta a través de la aplicación debe instruir al paciente sobre el concepto de duplas y posteriormente la aplicación debe abrir la posibilidad al usuario para que aplique los conocimientos adquiridos previamente.
- Soporte de la habilidad de enmascaramiento temporal: La aplicación debe permitir el manejo de dos sonidos (sonido de la fuente y sonido enmascarante) de forma simultánea y que el paciente pueda escucharlos de forma junta o independiente en cada uno de sus oídos.

#### 4.5.2. Descripción del prototipo

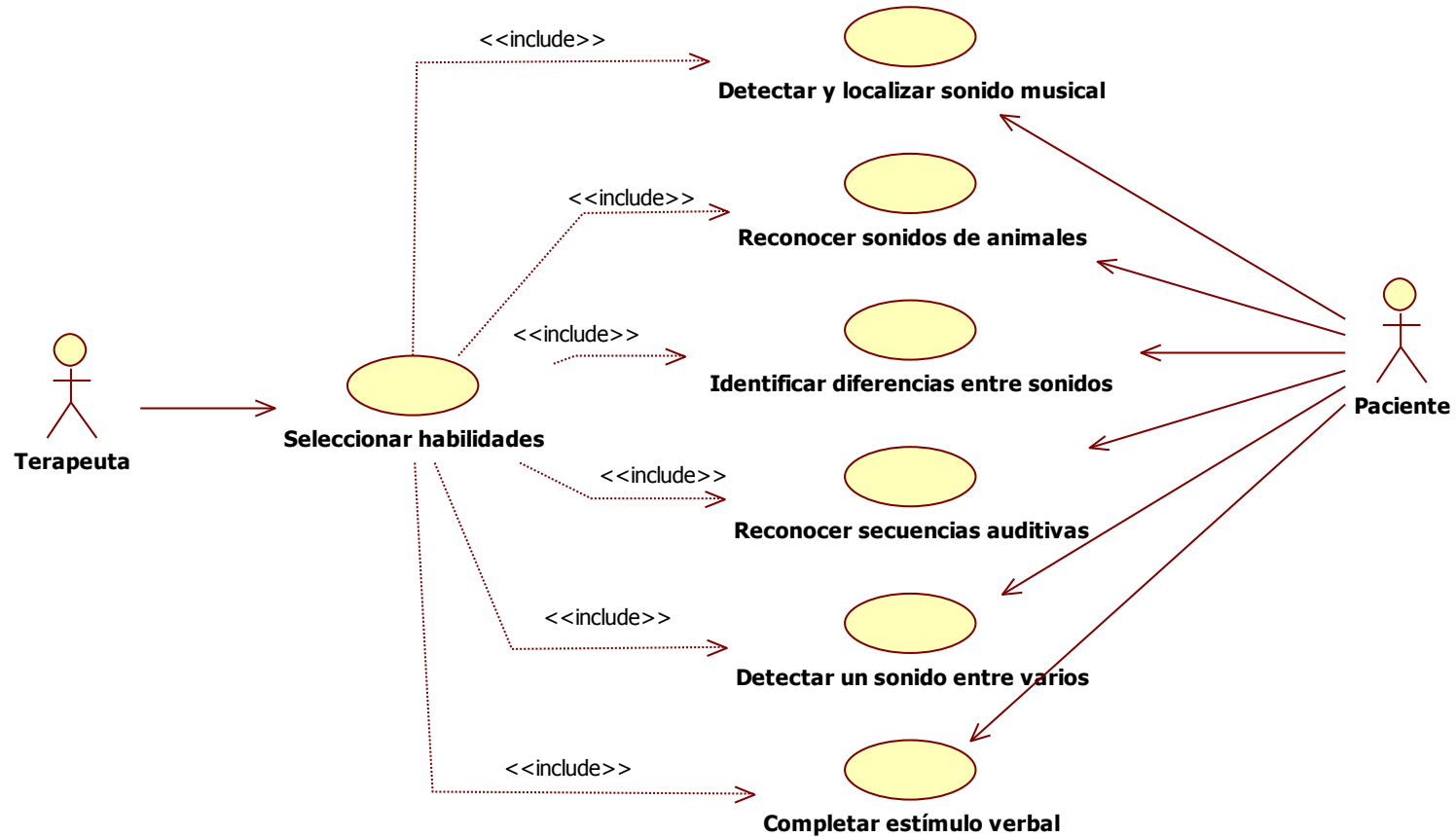
Para la descripción del prototipo, los detalles de los casos de uso esenciales, así como los diagramas de secuencia de las habilidades del PEHEPAC (discriminación auditiva, reconocimiento de patrones auditivos, aspectos temporales de la audición, desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales, y desempeño auditivo con señales acústicas degradadas) son detallados en el [ANEXO G](#), esta sección solo considera la descripción detallada de la habilidad Lateralización y localización de una fuente sonora.

##### Descripción de Actores:

- **Terapeuta:** especialista encargado de evaluar las habilidades del procesamiento auditivo central (PAC) en un paciente, para ello utiliza una serie de actividades por habilidad para dar un diagnóstico.
- **Paciente:** persona que presenta trastornos en el PAC. Es la persona encargada de realizar las actividades sugeridas por el terapeuta.

**Modelo de Casos de Uso del Sistema:**

El modelo de casos de uso del sistema implementa una adaptación del PEHEPAC, empleado por los terapeutas para llevar a cabo sesiones de terapias, a una aplicación de RA. Para ello son identificadas las habilidades tratadas en cada sesión y las actividades realizadas por el paciente.



**Figura 41.** Casos de uso de la aplicación.

🔗 Descripción detallada de los casos de uso esenciales

Nº 2	
<b>Caso de uso</b>	Detectar y localizar un sonido musical
<b>Actor</b>	Paciente (iniciador) / Terapeuta
<b>Propósito</b>	Identificar que oído es estimulado y localizar la fuente sonora
<b>Resumen</b>	Emplear un instrumento musical como fuente sonora con tres (3) sonidos: agudo (pandereta), medio (flauta) y grave (tambor), el paciente debe determinar la procedencia de dicho sonido.
<b>Precondiciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El terapeuta debe seleccionar del menú el botón virtual de lateralización.</li> <li>▪ El terapeuta debe poseer el (los) target (s) necesario (s) para realizar la actividad.</li> </ul>
<b>Escenario</b>	<b>Actor (es)</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El paciente apunta hacia un marcador</li> <li>3. El paciente toca el instrumento 3D sobre la pantalla del dispositivo.</li> <li>6. El paciente presiona uno de los botones laterales indicando que oído fue estimulado.</li> </ol>
	<b>Sistema</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Muestra un instrumento musical en 3D como contenido de RA.</li> <li>4. El sistema emite un sonido y le pregunta al usuario que oído fue estimulado (derecho o izquierdo).</li> <li>5. El sistema muestra en pantalla dos opciones de selección.</li> <li>7. Emite un estímulo positivo e invita al niño a utilizar otro target.</li> </ol>
<b>Post Condiciones</b>	El terapeuta selecciona otro target y repite el proceso hasta terminar con los tres sonidos predeterminados.
<b>Excepciones</b>	<b>Actor (es)</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El paciente responde incorrectamente al estímulo.</li> <li>3. El paciente contesta 3 veces erróneamente.</li> <li>5. El terapeuta o paciente presiona el botón <i>Volver</i>.</li> <li>7. El terapeuta presiona el botón menú del dispositivo.</li> </ol>
	<b>Sistema</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Invita al paciente a jugar de nuevo con el mismo target. Invita al paciente a jugar con otro target.</li> <li>6. Regresa a la interfaz principal.</li> <li>8. Muestra una ayuda indicándole las instrucciones que debe realizar en la actividad.</li> </ol>

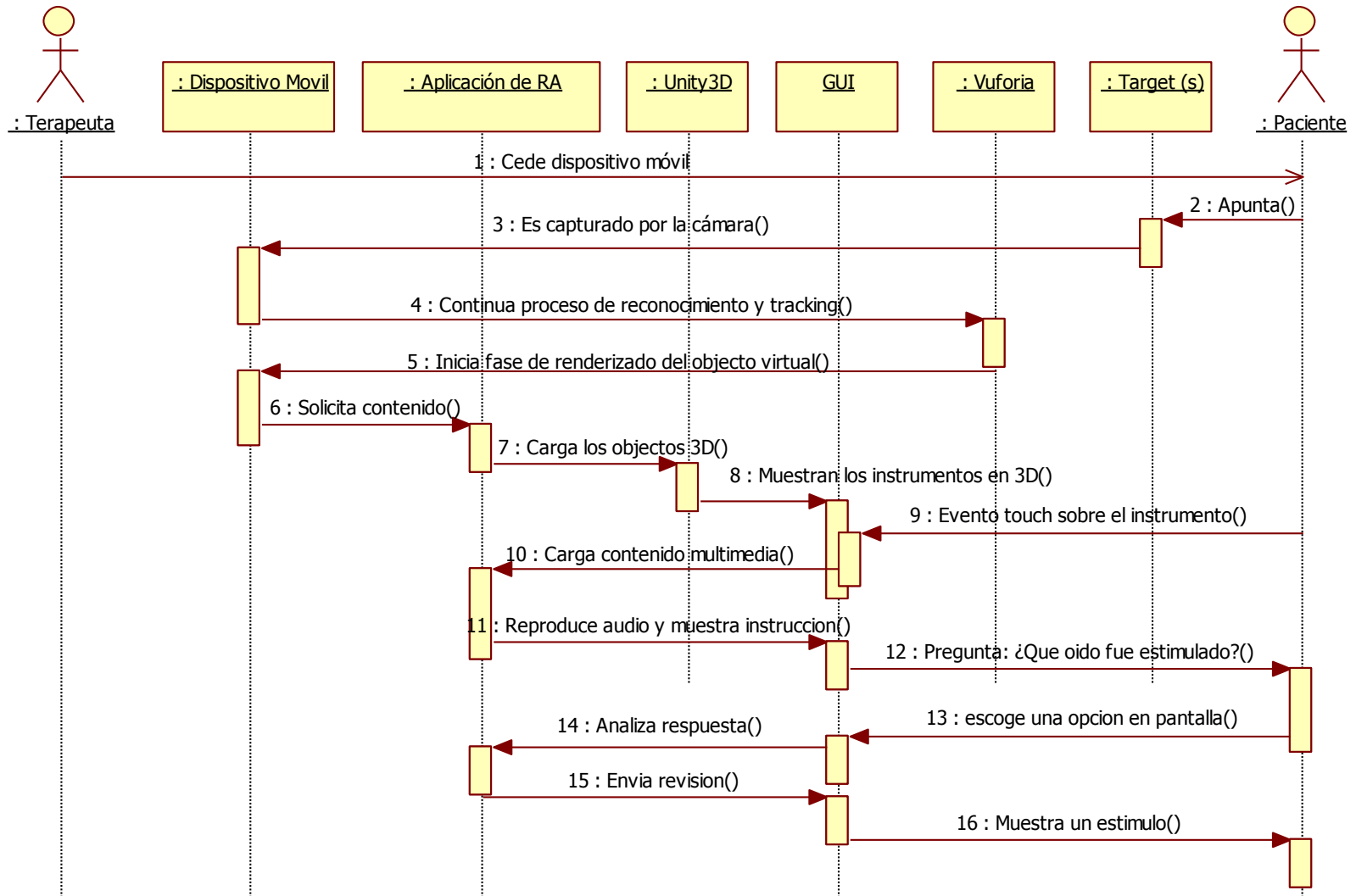
**Tabla 9.** Descripción detallada del caso de uso Detectar y localizar un sonido musical.

## Diagramas de secuencia de la adaptación

Los diagramas de secuencia siguientes representan la adaptación realizada de las habilidades tratadas en el PEHEPAC: localización y lateralización del sonido, discriminación auditiva, reconocimiento de patrones auditivos, aspectos temporales de la audición, desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales, y del desempeño auditivo con señales acústicas degradadas.

Para ello es identificado el logro que debe alcanzar un paciente en cada habilidad, las actividades posibles para llevarlas a cabo y los materiales usados, con el propósito de realizar una adopción de ellas a un prototipo de RA que contiene objetos como: dispositivo móvil, objetos 3D, targets, GUI, entre otros.

Una vez establecidos previamente los casos de uso y las plantillas correspondientes para el prototipo de RA, por medio de diagramas de secuencia es modelada la interacción a través del tiempo entre el Terapeuta, el Paciente, la aplicación y demás objetos pertenecientes al sistema. Ver Figura 42.

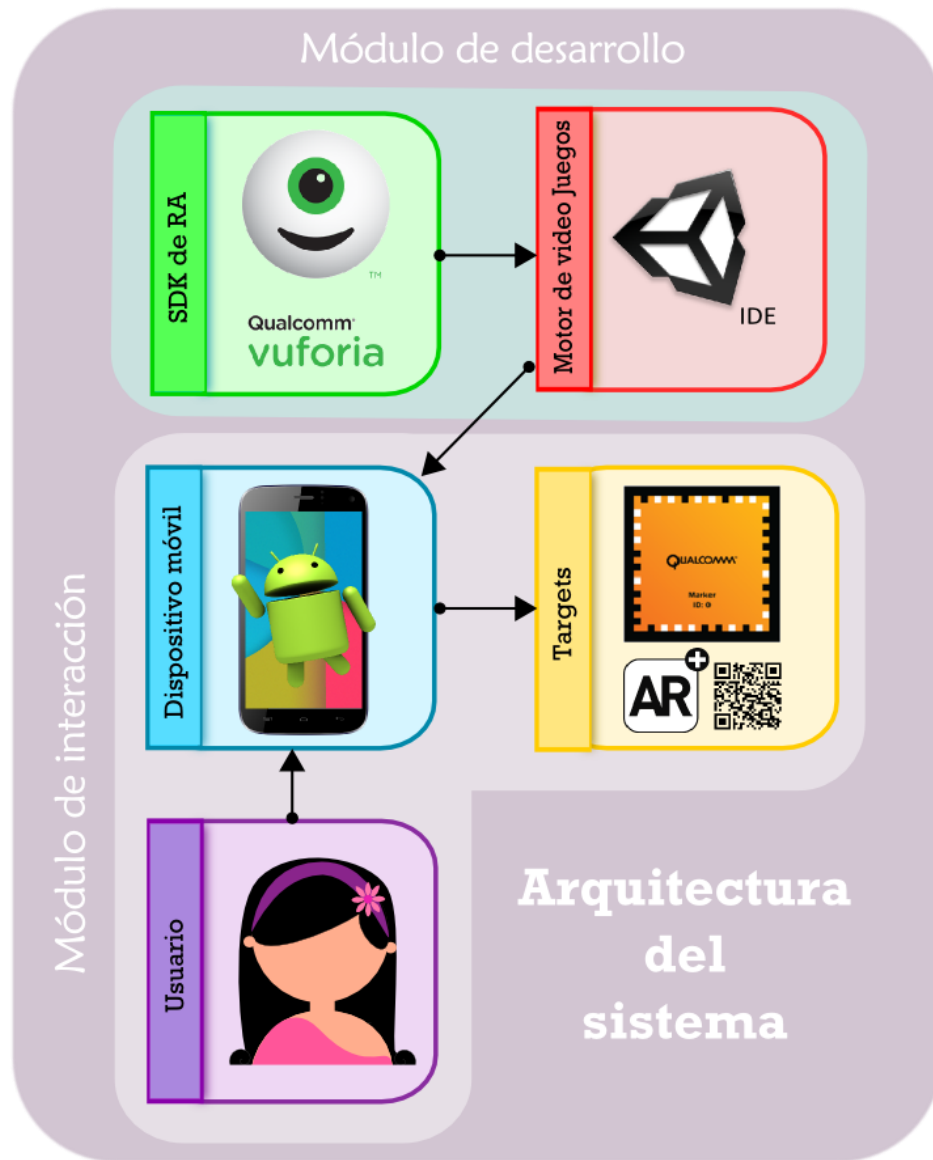


**Figura 42.** Diagrama de secuencia del caso de uso Detectar y localizar un sonido musical

### 4.5.3. Arquitectura Lógica del Sistema

La arquitectura del sistema está compuesta por un módulo de RA, un conjunto de targets necesarios para desplegar la información respectiva de RA, un dispositivo móvil con S.O Android (tecnología móvil base) y una fuente de recursos multimedia (audio, modelos 3D). El sistema debe identificar varios targets, los cuales muestran información virtual (auditiva y visual) correspondiente a ellos, una vez detectados por la cámara del dispositivo, el paciente bajo la supervisión del terapeuta debe realizar las actividades desempeñadas por el sistema.

De lo anterior son establecidos los siguientes componentes necesarios para diseñar el sistema de RA:



**Figura 43.** Arquitectura lógica del Sistema



#### 4.5.4. Diagrama de clases de la Aplicación

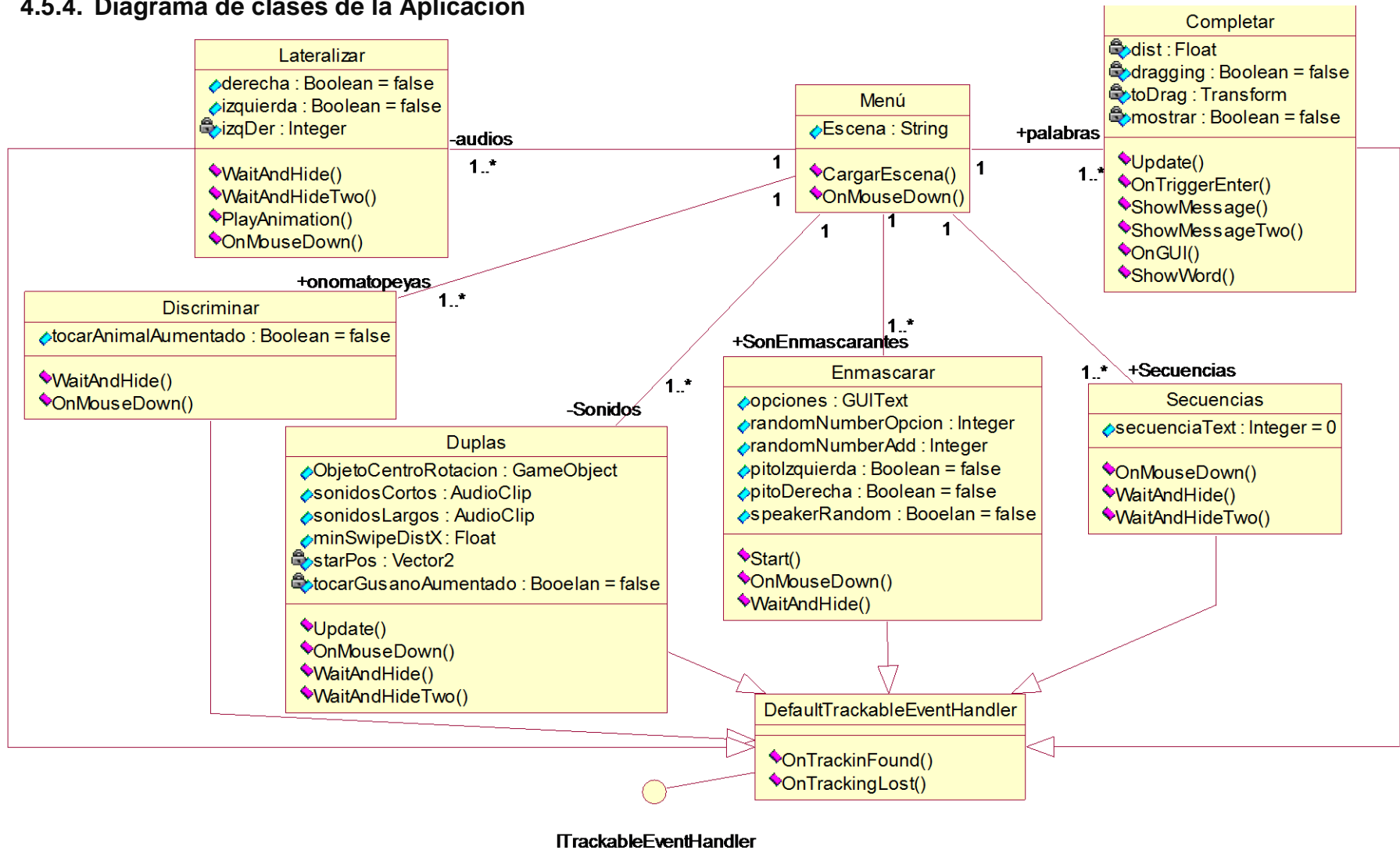


Figura 44. Diagrama de clases de la aplicación.

La Figura 44 muestra el diagrama de clases del sistema, el cual permite conocer con mayor detalle cómo están adaptadas las habilidades evaluadas por el PEHEPAC al sistema de RA, mostrando las variables y métodos utilizados para su implementación.

#### 4.5.5. Diagrama de despliegue del sistema:

El diagrama de despliegue permite dar un vistazo de los nodos que componen el sistema y su estructura interna. Por lo tanto la Figura 45 presenta dicho diagrama con los componentes necesarios para diseñar el sistema-solución.

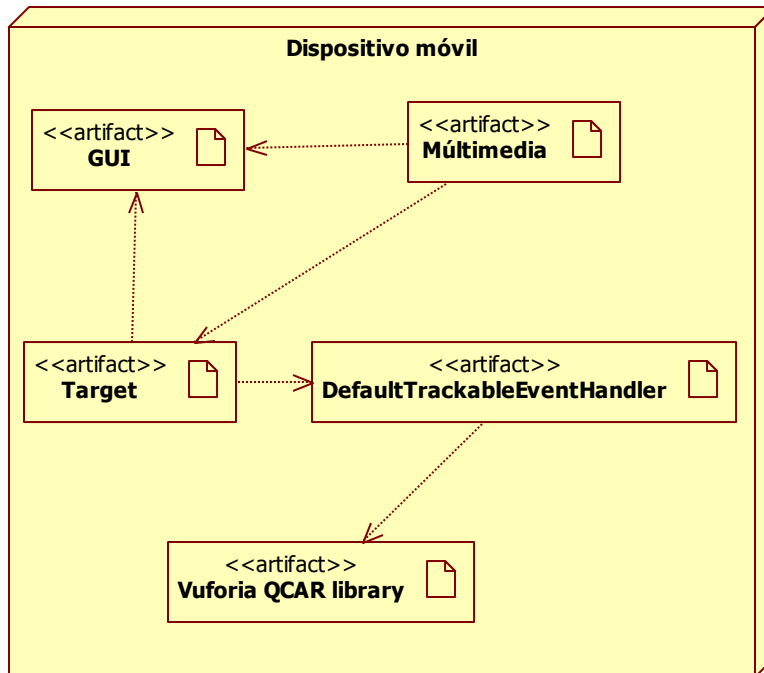


Figura 45. Diagrama de despliegue del sistema.

#### 4.5.6. Funciones y variables del IDE Unity3D utilizadas para el desarrollo del prototipo

Como se ha descrito en secciones anteriores Vuforia es el SDK de RA utilizado, adicionalmente se ha escogido como entorno de desarrollo Unity3d debido a su gran versatilidad, su integración con Vuforia SDK, su lenguaje de programación en C Sharp y su capacidad multiplataforma, por lo tanto es necesario explicar de manera general algunas de las funciones y variables más importantes empleadas en el desarrollo de la aplicación con Unity3d, estas son:

**Corrutinas:** funciones que son ejecutadas después que un evento ha ocurrido y durante un tiempo establecido antes de regresar al ciclo normal de ejecución. En el caso de la aplicación son utilizadas para realizar secuencias de sonidos y para mostrar los refuerzos positivos cuando una acción es realizada correctamente.

**OnMouseDown():** invocada cuando es realizado un toque (touch) sobre algún elemento en pantalla.

**OnGUI():** es una función utilizada para dibujar en pantalla diferentes elementos tales como: textos, contenedores, CheckBox, cuadros de selección, botones, etiquetas, etc.

**OnCollisionEnter():** es una función empleada cuando dos objetos 3D colisionan. Esta función esta encarga de detectar este tipo de eventos.

**OnTrackingFound():** es una función dentro del script DefaultTrackableEventHandler proporcionado por Vuforia y es utilizado para controlar los elementos en pantalla cada vez que un target es detectado por la cámara del dispositivo.

**OnTrackingLost():** es una función dentro del script DefaultTrackableEventHandler proporcionado por Vuforia y es utilizado para controlar los elementos en pantalla cada vez que un target no es detectado por la cámara del dispositivo.

**Random.Range(min, max):** es implementada para generar un número aleatorio dentro de un rango establecido, es utilizado para generar posiciones aleatorias de varios elementos en pantalla, para establecer por cual speaker va a emitirse el sonido en la habilidad lateralización y localización de una fuente sonora, para reproducir sonidos al azar y para controlar el volumen de los mismos en la habilidad Identificar diferencias entre sonidos.

**GUI.matrix:** es una instancia utilizada para redimensionar los elementos GUI a diversas resoluciones de pantalla teniendo en cuenta cada dispositivo.

**Input.XXX:** es utilizada para acceder a los elementos del dispositivo tales como botones o periféricos (acelerómetro o giroscopio), por ejemplo:

- **Input.GetKeyDown (KeyCode.Menu):** obtiene una referencia al botón menú del dispositivo.
- **Input.acceleration:** obtiene una referencia al acelerómetro del dispositivo.

**mTrackableBehaviour.TrackableName:** es una instancia utilizada para obtener el nombre (en formato string) de cualquier target empleado dentro de la aplicación. Es utilizada dentro de un switch-case cuando es o no detectado un target y así controlar la información presentada en pantalla.

**AudioSource:** es un componente utilizado para controlar las características de los sonidos utilizados tales como volumen (0 no es emitido ningún sonido y 1 el sonido es reproducido con el valor máximo del volumen), mute, prioridad (0 prioridad alta, 128 prioridad baja), la variable *Loop* si es asignada al valor booleano true el sonido es reproducido indefinidamente, la opción *Play On Awake* es utilizada cuando un sonido debe reproducirse en el instante en que una escena es cargada, la variable *Audio Clip* es utilizada para especificar que sonido va a ser reproducido.

**Pan 2D:** es una variable perteneciente al componente AudioSource la cual toma tres valores: -1 (el audio es emitido por el speaker izquierdo del dispositivo), 0 (emitido por ambos speakers del dispositivo) y 1 (el audio es emitido por el speaker derecho del dispositivo), ver Figura 46.



**Figura 46.** Componente AudioSource y variable Pan 2D en el inspector de Unity3d.

# CAPÍTULO 5

## Prototipo y experimentación

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe el caso de estudio desarrollado en la empresa Fisiocenter Ltda., en él da a conocer las técnicas de recolección de información empleadas, presenta un contexto general del escenario en el cual es ejecutado, la descripción del acondicionamiento del caso de estudio, los resultados obtenidos y su respectivo análisis.

### 5.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

#### 5.2.1. Técnicas de recolección de información

Las técnicas de recolección de información hacen parte fundamental de una metodología de investigación, para el presente trabajo de grado se tienen en cuenta dos métodos de investigación: la investigación cuantitativa y la investigación cualitativa [65]. Cada una de las cuales está estructurada según el método y/o instrumentos utilizados para recoger la información.

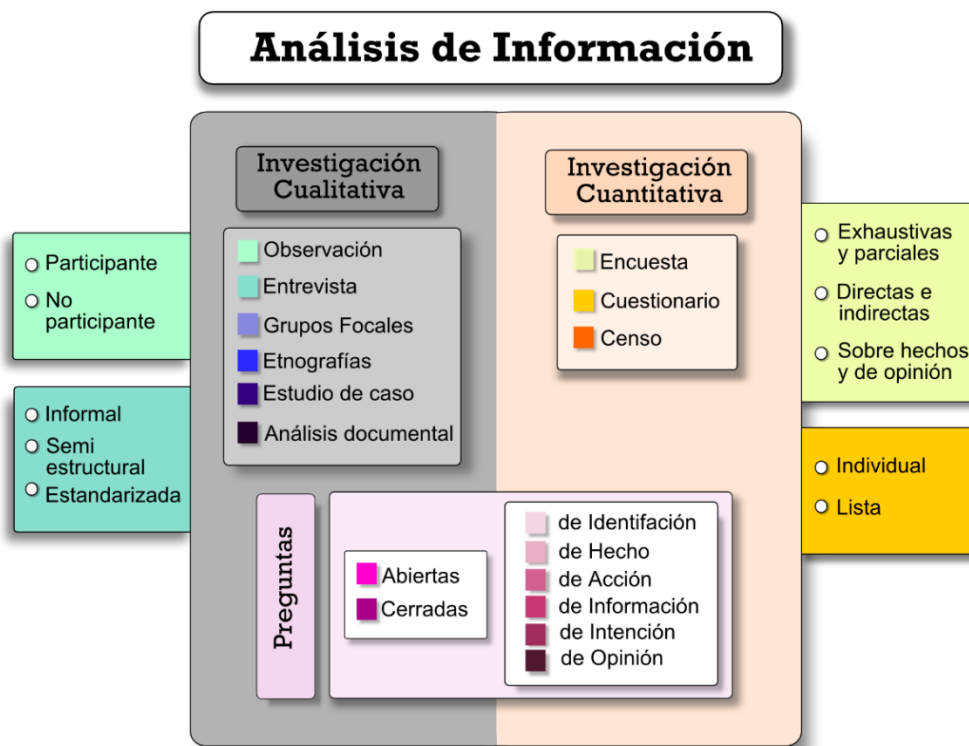


Figura 47. Técnicas de recolección de información.

El análisis de la información de los datos de una investigación puede llevarse a cabo a través de dos lineamientos: la investigación cualitativa y la investigación cuantitativa, dependiendo de los objetivos planteados en el trabajo de investigación, el contexto o área de interés del proyecto, el tiempo y los recursos disponibles, además del tipo de resultados esperados por ejemplo si el deseo es que sean precisos, estadísticos, cuantificables, calificativos o descriptivos [66].

Los datos tratados en una investigación cualitativa [66] son de origen descriptivo, es decir, por medio de los datos capturados puede obtenerse información a temas de importancia relacionados a lo que las personas de un grupo o población objetivo piensan, sienten, experimentan y realizan. Por otro lado, los datos tratados en una investigación cuantitativa [66] permiten ser cuantificados, es decir, transformar preguntas textuales a valores numéricos, conocer la cantidad de veces que puede repetirse un fenómeno, evento o un experimento, proporcionando de esta forma una escala para la toma de decisiones.

Para que un análisis de la información sea certero, es recomendable que sea desarrollado bajo la premisa de la conjugación de investigaciones cualitativas y cuantitativas, dado que podría ofrecer resultados verdaderamente más fiables para la toma de decisiones. Puesto que cada una por sí sola no proporciona una veracidad absoluta, debido a que poseen debilidades o limitaciones como por ejemplo: la dificultad para abstraer datos mensurables en el caso de los métodos cualitativos, aspecto que si poseen los métodos cuantitativos, sin embargo, a través de este último método no es posible extraer al máximo toda la información requerida, que si puede lograrse en el método cualitativo. En este sentido, podría considerarse una integración entre ambos métodos con el propósito de mitigar los limitantes en cada uno de ellos y fortalecer la investigación [67].

La investigación cualitativa y la investigación cuantitativa, están conformadas por un conjunto de herramientas o instrumentos para la recolección de información, algunos de estos contienen a su vez una subdivisión que aplica según el tipo y propósito de la investigación. Para este caso en particular es empleada la observación, entrevista, encuesta y cuestionario, no obstante, es realizada a continuación una descripción de cada una de las herramientas empleadas para las técnicas de recolección de información de acuerdo a un compendio elaborado en este trabajo, ver Figura 47.

**Encuestas:** este método consiste en obtener información de los participantes del experimento, proporcionada por ellos mismos, sobre opiniones, experiencias, actitudes o sugerencias [65]. En este método el instrumento utilizado es un cuestionario de forma impresa y/o electrónica con un conjunto de preguntas, las cuales son contestadas directamente por los participantes de la investigación. Cabe aclarar que el cuestionario es un instrumento estandarizado que es utilizada para capturar datos durante una investigación cuantitativa [68] siempre y cuando las preguntas sean cerradas.

#### **Tipos de encuestas [69]**

- **Encuestas exhaustivas y parciales:** es denominada exhaustiva cuando abarca todas las muestras del conjunto estudiado. Cuando una encuesta no es exhaustiva, es denominada parcial.
- **Encuestas directas e indirectas:** una encuesta es directa cuando la unidad estadística es observada a través de la investigación propuesta registrándose en el cuestionario. Será indirecta cuando los datos son deducidos de investigaciones

anteriores o no cumplen con el objetivo principal de la encuesta, pretendiéndose averiguar algo distinto.

- **Encuestas sobre hechos y encuestas de opinión:** las encuestas de opinión tienen como objetivo determinar lo que piensa una persona o un conjunto de ellas respecto a un tema determinado o una circunstancia en particular. Las encuestas sobre hechos analizan acontecimientos ya ocurridos, es decir, hechos materiales.

### **Tipos de cuestionarios**

- **Cuestionario individual:** es el que contesta la persona encuestada sin intervención de terceros.
- **Cuestionario-lista:** es realizado a través de una entrevista oral y cara a cara por uno de los especialistas de la investigación a la persona encuestada.

### **Tipos de preguntas**

- **Preguntas cerradas:** que consiste en proporcionar al sujeto encuestado una serie de opciones para que escoja una como respuesta (preguntas dicotómicas<sup>14</sup>). Tienen la ventaja de que pueden ser procesadas rápidamente y su codificación es sumamente fácil.
- **Preguntas abiertas:** consisten en dejar que la persona encuestada pueda expresarse libremente según sea el caso, este tipo de preguntas dificultan la codificación de la información para su análisis. Es recomendado establecer categorías a las preguntas para establecer similitud y así facilitar su análisis.

### **Clasificación de las preguntas según su contenido**

- **Preguntas de identificación:** son consideradas variables como edad, sexo, profesión, nacionalidad, etcétera.
- **Preguntas de hecho:** referidas a hechos específicos. Por ejemplo: ¿terminó sus estudios profesionales?
- **Preguntas de acción:** referidas a actividades que los encuestados pueden realizar en su vida cotidiana. Por ejemplo: ¿ha participado en eventos sociales?
- **Preguntas de información:** para conocer los conocimientos del encuestado. Por ejemplo: ¿sabe qué es Realidad Aumentada?
- **Preguntas de intención:** para conocer la intención del encuestado frente a un tema en particular. Por ejemplo: ¿Utilizará la aplicación de realidad aumentada desarrollada en una sesión de terapia?
- **Preguntas de opinión:** para conocer la opinión del encuestado frente a un tema determinado. Por ejemplo: ¿qué piensas del uso de dispositivos móviles en terapia?

---

<sup>14</sup> Son aquellas en las que la persona entrevistada tiene que contestar a una de dos respuestas (habitualmente sí o no).

**Censo:** encuesta diferenciada por la proporción de la población encuestada [70].

**Observación:** es la técnica que provee un gran aporte a los datos cualitativos, por esta razón es considerada el instrumento por excelencia y es empleada en todas las ramas de la ciencia [69]. Este instrumento es usado para obtener una descripción detallada del tema a trabajar en el caso de estudio

**Tipos de observación [66]:**

- **Observación participante:** este tipo de observación involucra al investigador como observador, en donde inicia familiarizándose con el lugar y posteriormente pasa a ser un participante activo. Con el propósito de ser parte del grupo, además de analizar lo que ve, con ello el investigador logra experimentar y probablemente, entender mejor cualquier impacto del proyecto.
- **Observación no participante:** esta observación limita al observador, debido a que lo ubica como un observador y no como un intruso con el objetivo de que el investigador pueda incrementar su precisión y objetividad.

**Entrevistas:** es un diálogo verbal establecido entre el (los) investigador (es) y los participantes del experimento, con el fin de obtener respuestas a los interrogantes planteados sobre un problema propuesto.

**Tipos de entrevistas [66]:**

- **Entrevista informal:** el investigador elabora preguntas espontáneamente manteniendo el hilo principal de una conversación. Las ventajas de este tipo de encuestas radican en la flexibilidad que posea el investigador para detectar las diferencias individuales entre participantes y la sensibilidad para rescatar información nueva. Sus desventajas radican en la dificultad para sistematizar las respuestas, debido a la carencia de una clasificación en las preguntas por lo que su análisis es difícil y lento.
- **Entrevistas semi-estructuradas:** este tipo de entrevistas introducen una guía para la ejecución de las mismas. En este caso el orden de las preguntas no está especificado y el investigador puede hacer énfasis en las preguntas para adquirir mayor información. La fortaleza de este tipo de entrevistas radica en el hecho de que el investigador puede entrevistar múltiples personas de una forma sistemática sin delimitar el tema de interés. Su desventaja radica en el hecho de que al no seguir un orden en las preguntas las respuestas sean interpretadas de forma diferente para cada persona, lo que dificultaría la comprensión de los resultados.
- **Entrevista estandarizada:** consiste en realizar a la persona entrevistada preguntas abiertas y ordenadas previamente. Todos los participantes están sujetos a las mismas condiciones, es decir, van a recibir las preguntas en el mismo orden y con el mismo contenido semántico. Es muy utilizado cuando existe poco tiempo para la recolección de datos y el análisis del mismo, también cuando existen múltiples entrevistadores y mantener constante el volumen de las preguntas es lo deseado. La ventaja de este tipo de entrevistas es que permiten comparar la información de las respuestas debido a la similitud de las mismas. Su desventaja radica en que el entrevistador no controla los temas de interés a tratar.



**Grupos focales:** consiste en la realización de una entrevista grupal semi-estructurada, cuyo eje de discusión está centrado en la temática planteada por el investigador. El propósito principal de este método es generar controversias, debates, experiencias y reacciones de todo tipo en los participantes. A diferencia de una entrevista convencional esta última es centrada en las preguntas y respuestas entrelazadas entre el investigador y el entrevistado. Mientras que un grupo focal fomenta la interacción de todo el grupo frente al tema planteado por el entrevistador. Teniendo en cuenta lo anterior, es recomendable que un grupo focal no exceda el número de participantes por encima de los doce (12) [71].

**Etnografías:** [72] define la metodología etnográfica como el método de investigación que trata de conocer el modo de vida de grupo social determinado, pudiendo ser éste una familia, un grupo académico, una comunidad religiosa o incluso un recinto escolar. Este método es comúnmente utilizado en el campo educativo para analizar las prácticas docentes, las cuales son descritas directamente por las personas involucradas con el fin de aproximarse más a una situación social.

**Estudio de caso:** Este herramienta de investigación requiere de un proceso de indagación caracterizado por el examen sistemático y en profundidad de casos de entidades sociales o entidades educativas únicas, además cuenta con distintas categorías, estas son: crónico, descriptivo, pedagógico, y para contrastar una teoría según el objetivo de la investigación y los tipos del estudio de caso: factual, interpretativo y evaluativo [73].

**Análisis documental:** consiste en realizar búsquedas, descripciones y representaciones de documentos, con el propósito de representar un documento junto a su contenido de una forma alternativa a la original, para posibilitar su recuperación e identificación posterior [74].

### 5.2.2. Técnicas de recolección de información para el caso de estudio

- **Observación primera fase:** para la primera fase del trabajo de grado es realizado un trabajo de campo en donde es usada esta técnica, a través de ella son obtenidos los primeros contactos con la entidad. Como resultado, es adquirida una mejor comprensión del contexto en el que es desarrollado el caso de estudio, detectar carencias en las sesiones de terapia, además permite la recolección de información a partir de apreciaciones propias y de los terapeutas. En esta primera fase es empleada una observación no participante.
- **Encuesta segunda fase:** la segunda fase consta de un cuestionario directamente a los participantes de la investigación en este caso son los fonoaudiólogos de Fisiocenter, con el objetivo de capturar las expectativas de los terapeutas frente al uso de herramientas tecnológicas.
- **Observación tercera fase:** para la tercera fase del trabajo de grado comprendida por las pruebas de aplicación en el contexto del caso de estudio, es empleada una observación no participante inicialmente, posterior a ello es realizada una observación participante a través de la cual es obtenida información de la dinámica de grupo en la sesión de terapia y del fenómeno a estudiar.

- **Encuesta cuarta fase:** la segunda fase realiza un cuestionario directamente a los participantes de la investigación en este caso son los fonoaudiólogos de Fisiocenter, a través de un cuestionario individual con el objetivo de conocer sus opiniones y experiencias al usar una herramienta de RA en el proceso terapéutico.
- **Entrevista:** en la fase quinta es llevada a cabo una entrevista informal sobre las apreciaciones de los terapeutas durante la sesión de terapia con la aplicación de RA.

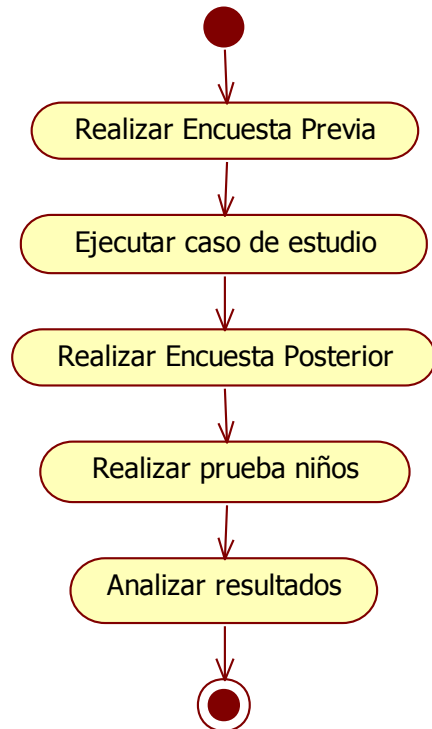
### 5.3. CASO DE ESTUDIO

---

Este apartado presenta el caso de estudio con el fin de analizar el potencial tecnológico que brinda el uso de técnicas de RA para soportar el tratamiento en TPAC, así como el grado de usabilidad y aceptación en las sesiones de terapia. A continuación, es descrito el plan de pruebas realizado con sus posteriores resultados.

#### 5.3.1. Plan de pruebas

Para desarrollar esta fase del presente trabajo de grado es realizada una encuesta previa y una encuesta posterior al experimento, aplicada a un grupo de fonoaudiólogos y audiólogos, con el fin de analizar las expectativas y experiencias antes y después de utilizar la aplicación de RA desarrollada con fines de soportar los tratamientos en TPAC. Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a trabajar con la fonoaudióloga especialista Lady Johana Gómez de la empresa Fisiocenter Ltda., quien estuvo a cargo de supervisar que todo fuera realizado correctamente, la Figura 48 muestra a través de un diagrama de actividad la manera como es desarrollado el presente caso de estudio.



**Figura 48.** Actividades realizadas en el caso de estudio.

La Figura 48 muestra un diagrama con las diferentes actividades que componen el presente caso de estudio, por consiguiente, a continuación es presentada la descripción de lo realizado en cada una de las actividades.

- **Realizar encuesta previa:** esta encuesta es llevada a cabo antes que los fonoaudiólogos y los especialistas tuvieran acceso al uso de la aplicación tecnológica, la cual permitió conocer características generales como su experiencia en el tratamiento de alteraciones auditivas y el tipo de herramientas o ayudas que generalmente utilizan en una sesión de terapia.
- **Ejecutar caso de estudio:** en esta actividad tanto los fonoaudiólogos como los especialistas conocieron y utilizaron la aplicación desarrollada.
- **Realizar encuesta posterior:** esta encuesta es llevada a cabo después que los fonoaudiólogos y los especialistas tuvieran acceso al uso de la aplicación tecnológica, la cual permitió conocer las experiencias y opiniones concernientes al uso de tecnologías de RA.
- **Realizar prueba niños:** en esta actividad están en contacto los pacientes con la aplicación tecnológica desarrollada y es aplicada por los especialistas encargados de la sesión de terapia.
- **Análisis de resultados:** esta última fase del caso de estudio, está basada en el análisis de los resultados obtenidos a partir de las encuestas y el trabajo de campo.

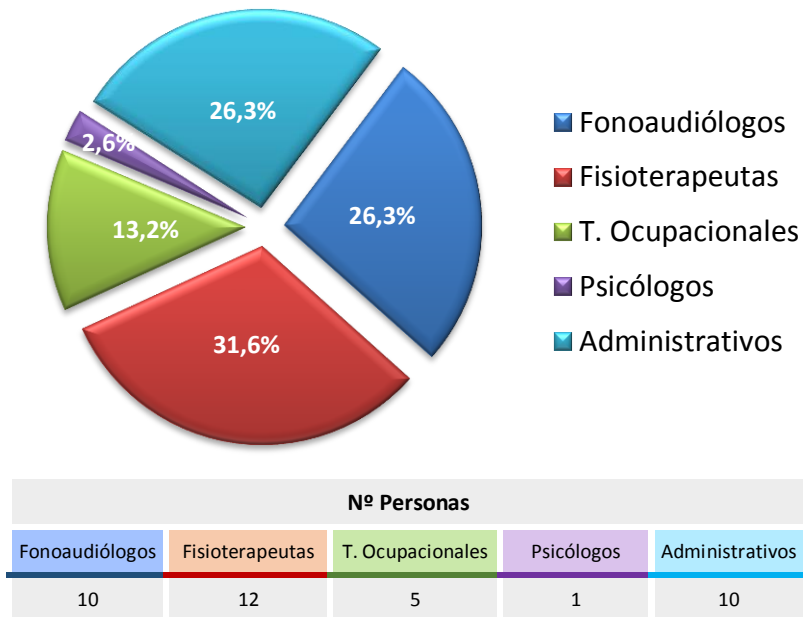
### 5.3.2. Resultados obtenidos en la encuesta previa

Con el objetivo de garantizar que los resultados son confiables y verídicos, son encuestados los fonoaudiólogos de la institución Fisiocenter quienes poseen estudios que van desde lo puramente profesional hasta diplomados y especializaciones realizadas sobre sus campos de acción. También es necesario considerar que los años de experiencia que ellos poseen oscilan desde 1 año hasta los 8 años.

- **Localización:** la encuesta previa es llevada a cabo en el interior de las instalaciones de la institución Fisiocenter.
- **Población encuestada:** el público que participó de este experimento en esta fase inicial fueron nueve (9) fonoaudiólogos de la institución Fisiocenter que constituye el 100% del espacio muestral, más una (1) fonoaudióloga externa.
- **Características generales de la encuesta:** conocer las herramientas o ayudas tecnológicas utilizadas por los fonoaudiólogos en las sesiones de terapia tradicionales, así como sus apreciaciones sobre el uso de utilizar estímulos auditivos y visuales.

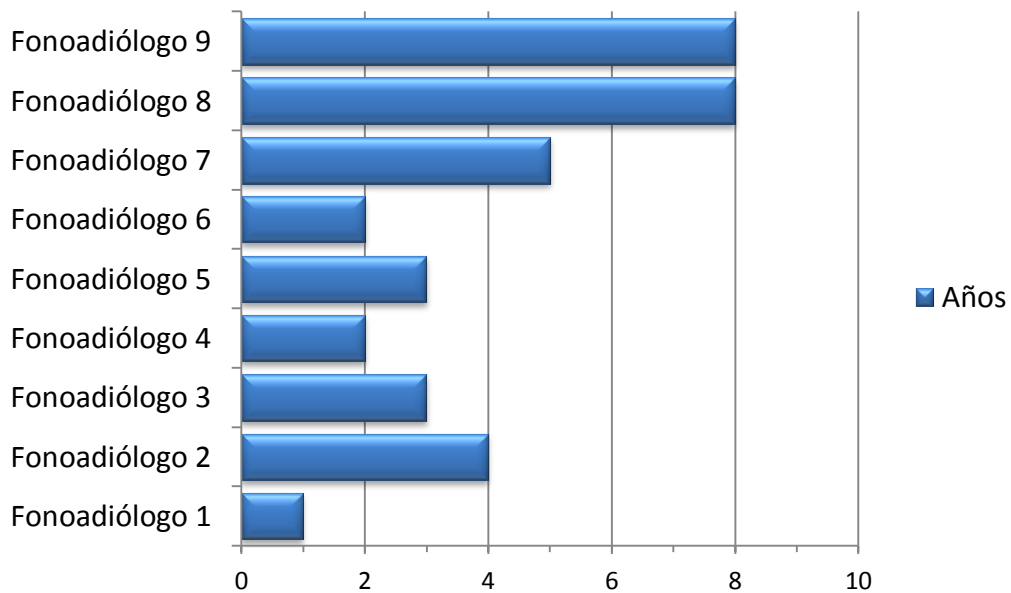
Las gráficas de la Figura 49, Figura 50 y Figura 51 muestran la información acerca del personal que conforma Fisiocenter, los estudios de postgrado y experiencias laborales de los fonoaudiólogos que hacen parte de la investigación. Posteriormente, son mostrados los resultados correspondientes a las respuestas proporcionadas por los fonoaudiólogos en las encuestas realizadas.

## Nº de Personas



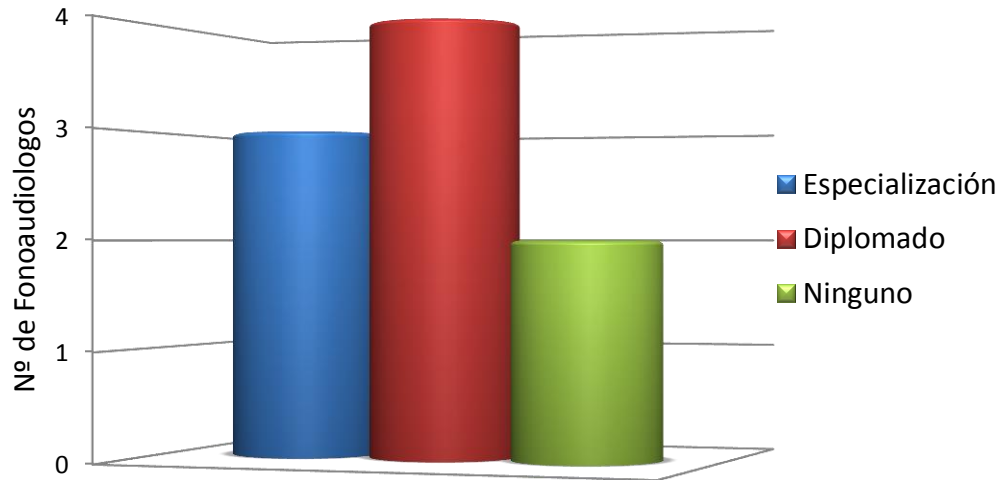
**Figura 49.** Personal que conforma la empresa Fisiocenter.

## Experiencia Laboral



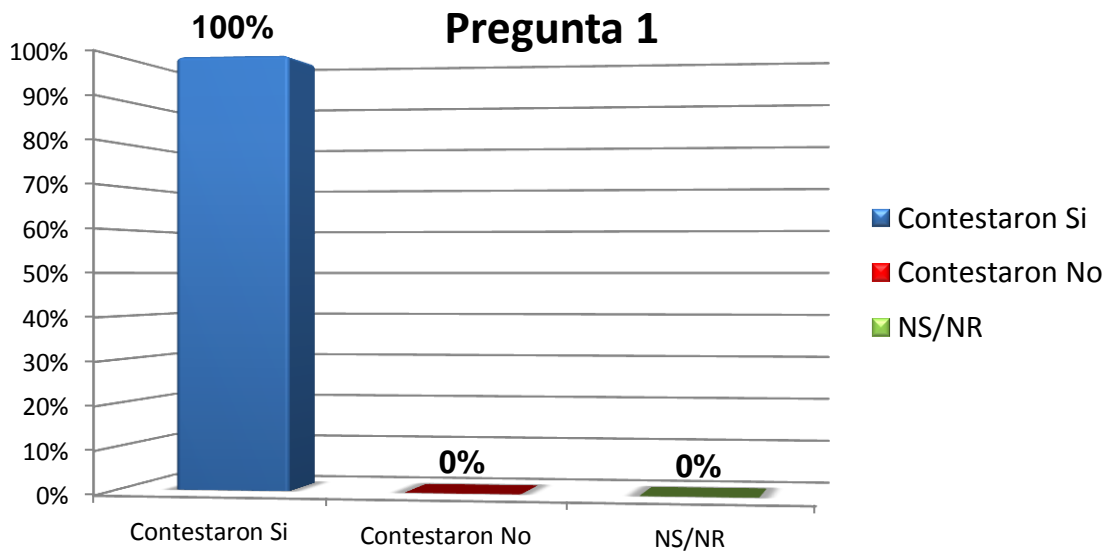
**Figura 50.** Experiencia laboral de los Fonoaudiólogos participantes.

## Estudios de posgrado



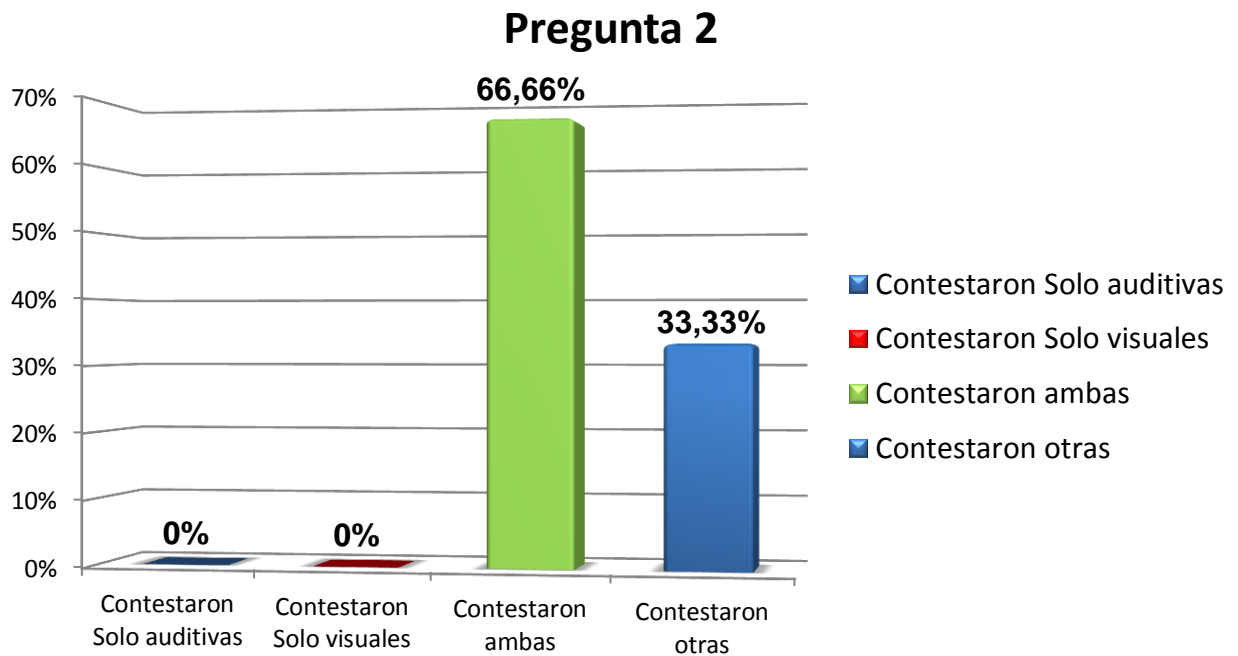
**Figura 51.** Estudios de posgrado de los Fonoaudiólogos participantes.

**Pregunta 1:** ¿considera usted importante la necesidad de utilizar elementos auditivos y visuales en una sesión de terapia?



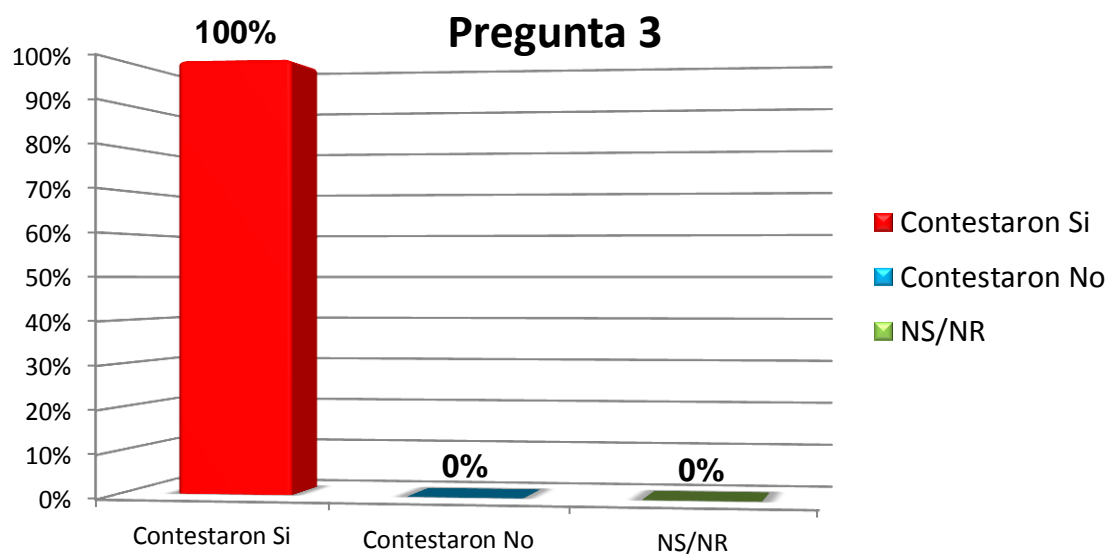
**Figura 52.** Resultados para pregunta 1 - Encuesta previa.

**Pregunta 2:** ¿Qué tipo de ayudas utiliza normalmente en una sesión de terapia?



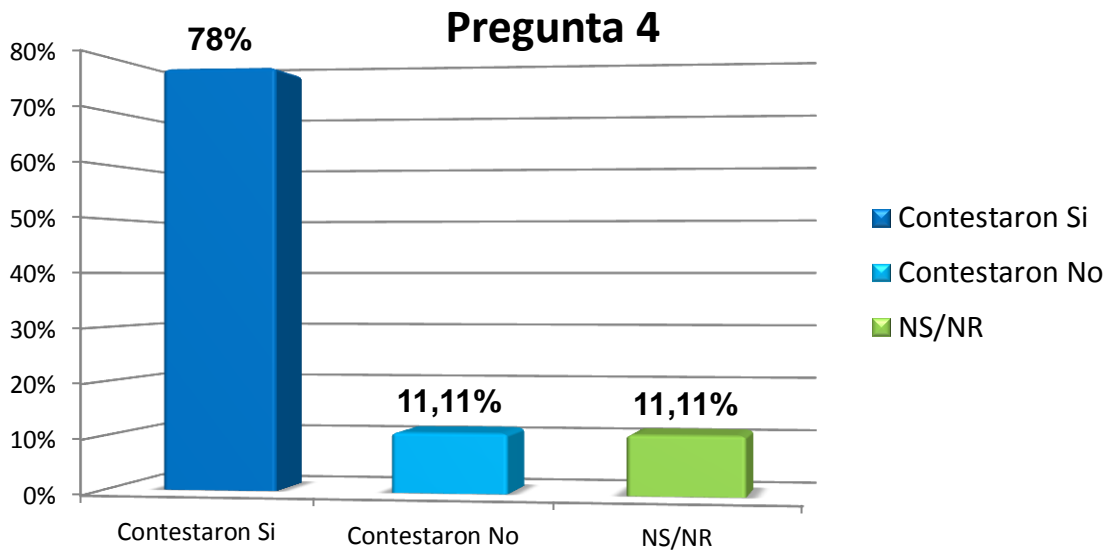
**Figura 53.** Resultados para pregunta 2 - Encuesta previa.

**Pregunta 3:** ¿las ayudas son utilizadas simultáneamente?



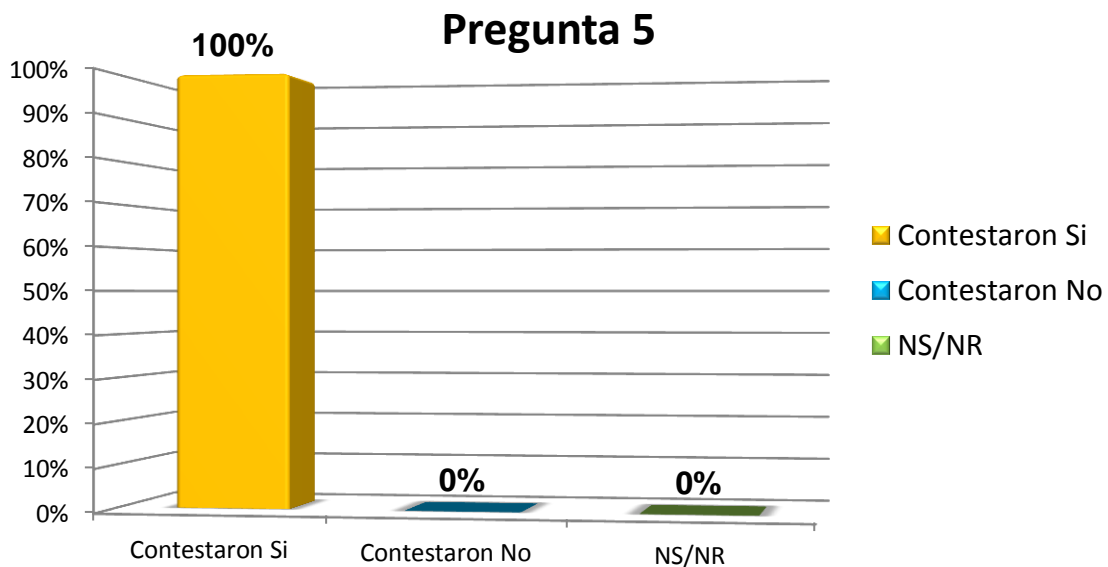
**Figura 54.** Resultados para pregunta 3 - Encuesta previa.

**Pregunta 4:** ¿cree usted que combinar elementos auditivos y visuales al mismo tiempo mejora la forma de tratar las alteraciones auditivas en un paciente?



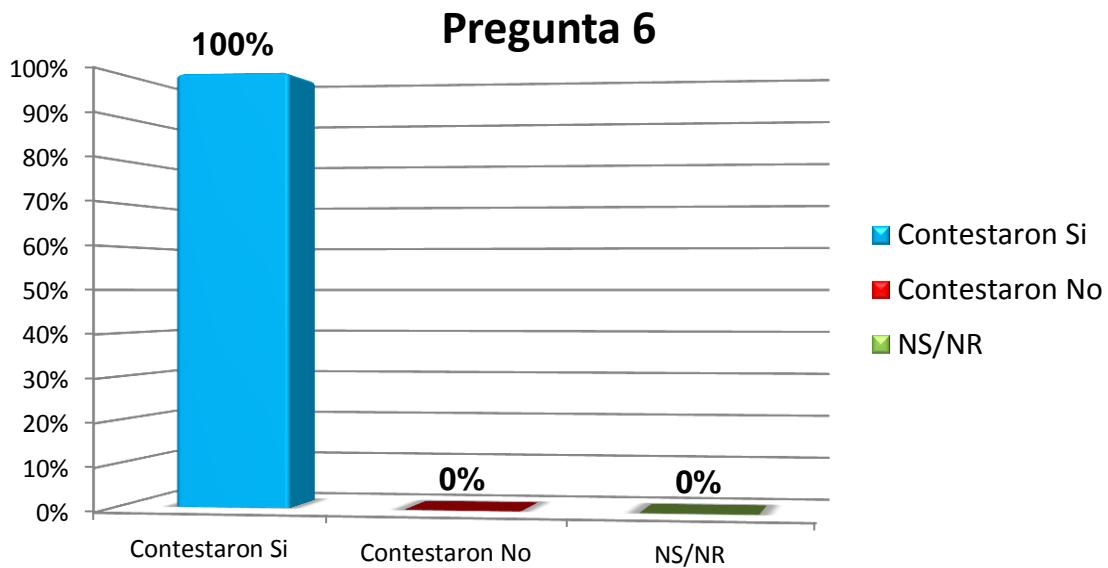
**Figura 55.** Resultados para pregunta 4 - Encuesta previa.

**Pregunta 5:** ¿considera que el uso de tecnología podría mejorar o complementar las herramientas tradicionales?



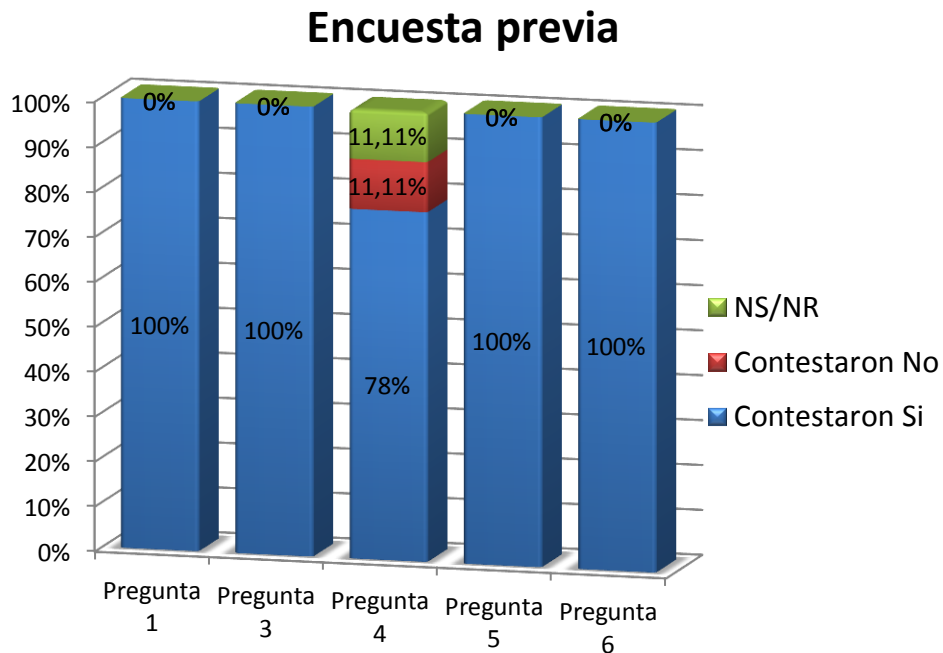
**Figura 56.** Resultados para pregunta 5 - Encuesta previa.

**Pregunta 6:** ¿cree usted que usar un dispositivo móvil como un celular o una Tablet con aplicaciones interactivas ayudarían a mejorar la participación de un paciente en una sesión de terapia?



**Figura 57.** Resultados para pregunta 6 - Encuesta previa.

El resumen de los resultados obtenidos en la encuesta previa es mostrado en la Figura 58



**Figura 58.** Resultados de encuesta previa.

**La pregunta número uno (1):** ¿considera usted importante la necesidad de utilizar elementos auditivos y visuales en una sesión de terapia?, arroja que el 100% de los



fonoaudiólogos encuestados emplea estímulos auditivos y visuales con el fin de lograr no solamente tratar las alteraciones auditivas, sino ayudar a que el paciente asocie los sonidos escuchados a elementos u objetos que cotidianamente encuentra en un entorno social, ver Figura 52.

**La pregunta número dos (2):** ¿Qué tipo de ayudas utiliza normalmente en una sesión de terapia?, es muy importante porque permite conocer cuáles son las ayudas o herramientas normalmente empleadas en una sesión de terapia por parte de los fonoaudiólogos y cómo son aplicadas a un paciente. Estas ayudas comprenden desde audiómetros usados para la valoración auditiva hasta juguetes con sonidos, grabadoras, equipos de sonido, láminas, voz e incluso dispositivos móviles como celulares para realizar tratamiento. Además de lo estrictamente técnico empleado en una sesión de terapia, esta pregunta permite dar a conocer la posibilidad de explorar nuevas alternativas tecnológicas que propicien a complementar la dinámica de los tratamientos tradicionales, logrando mayor participación de los pacientes. El resultado arrojado por las encuestas realizadas a los fonoaudiólogos muestra que el 66.67% emplea las ayudas auditivas y visuales de forma simultánea para el tratamiento, mientras que el 33.33% utiliza otras herramientas adicionales a las auditivas y visuales como por ejemplo ayudas táctiles para reforzar otras debilidades presentes en el paciente, ver Figura 53.

**La pregunta número tres (3):** ¿las ayudas son utilizadas simultáneamente?, está sumamente ligada a la pregunta número dos, ya que permite observar que tipo de debilidades físicas y cognitivas posee el paciente, estas pueden consistir en bajos niveles académicos o comportamientos atípicos para la edad como falta de atención y participación. Los resultados arrojan que el 100% de los fonoaudiólogos estimulan el campo auditivo, el visual y otros para fortalecer carencias físicas y cognitivas en los pacientes, ver Figura 54.

**La pregunta número cuatro (4):** ¿cree usted que combinar elementos auditivos y visuales al mismo tiempo mejora la forma de tratar las alteraciones auditivas en un paciente?, arroja que el 77.78% de los fonoaudiólogos encuestados considera necesario realizar una integración sensorial para que el paciente adquiera nuevas habilidades no solo físicas, sino también sociales y cognitivas. Mientras que el 11.11% considera que solo es necesario considerar las alteraciones auditivas puesto que si logran adquirir destrezas en este campo podrían desempeñarse bien en otros. El otro porcentaje considerado contesto que no sabía la respuesta a esta afirmación, ver Figura 55.

**La pregunta número cinco (5):** ¿considera que el uso de tecnología podría mejorar o complementar las herramientas tradicionales?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados considera importante utilizar otro tipo de tecnologías, debido a que las herramientas tradicionales como láminas, grabadores entre otras, son limitadas y planas y no logran capturar la participación en su totalidad de los pacientes durante la sesión, por lo que tecnologías interactivas ayudarían a fortalecer este aspecto, ver Figura 56.

**La pregunta número (6):** ¿cree usted que usar un dispositivo móvil como un celular o una Tablet con aplicaciones interactivas ayudarían a mejorar la participación de un paciente en una sesión de terapia?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados considera que si mejoraría la participación de los pacientes, debido a que ellos son atraídos por este tipo de tecnologías, no solo por el campo auditivo, sino también por el campo visual, por tal motivo las sesiones de terapia son enriquecidas en gran medida siempre y cuando no pierdan los objetivos de la terapia, ver Figura 57.

### 5.3.3. Adaptación realizada al PEHEPAC para su uso en RA

- **Interfaz Gráfica de Usuario (GUI):** como puede observarse en la Figura 59 la GUI está conformada con un conjunto de imágenes de animales y un conjunto de botones, los cuales al ser presionados activan la cámara del dispositivo y permiten iniciar los procesos para soportar cada una de las seis habilidades a través de la detección de diversos targets. Dentro de esta interfaz, cuando es presionado el botón *atrás* del dispositivo, es mostrado un cuadro de dialogo el cual notifica al usuario si desea o no salir de la aplicación, ver Figura 60.



Figura 59. Interfaz gráfica de usuario

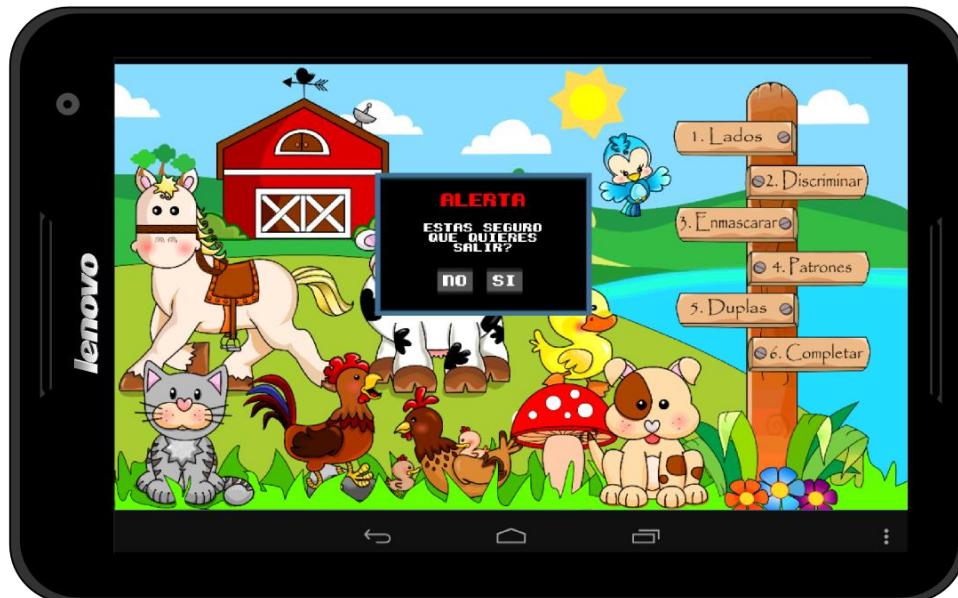


Figura 60. Ventana de confirmación al presionar el botón atrás del dispositivo.

Por otro lado, cuando es presionado el botón *menú* del dispositivo muestra una ventana con información relacionada con la aplicación, ver Figura 61.



Figura 61. Información de la aplicación de RA desarrollada.

- **Adaptación de la habilidad para lateralización y localización de una fuente sonora:** en esta habilidad cuando el paciente detecta con el dispositivo móvil el target adecuado, es presentado un objeto 3D correspondiente al mismo, ver Figura 62.

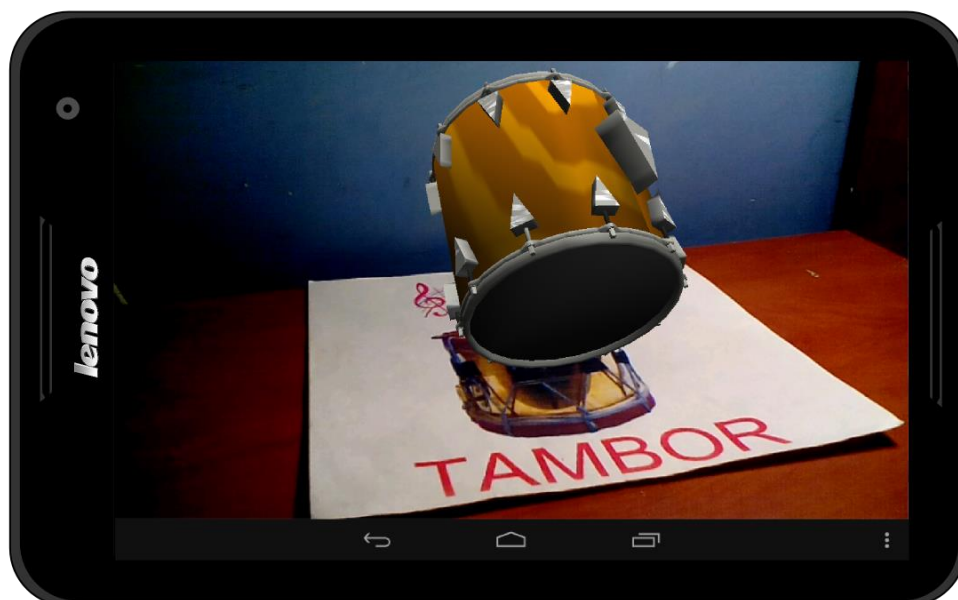


Figura 62. Objeto 3D aumentado para la habilidad de lateralizar.

Cuando el paciente toca el objeto 3D sobre la pantalla del dispositivo es emitido un sonido por alguno de los dos parlantes del dispositivo (si es estereofónico, en caso contrario por medio de algún auricular), posteriormente es mostrada una imagen con la instrucción que debe realizar el paciente para realizar la actividad respectiva, ver Figura 63.



**Figura 63.** Instrucción presentada al paciente para que realice la actividad.

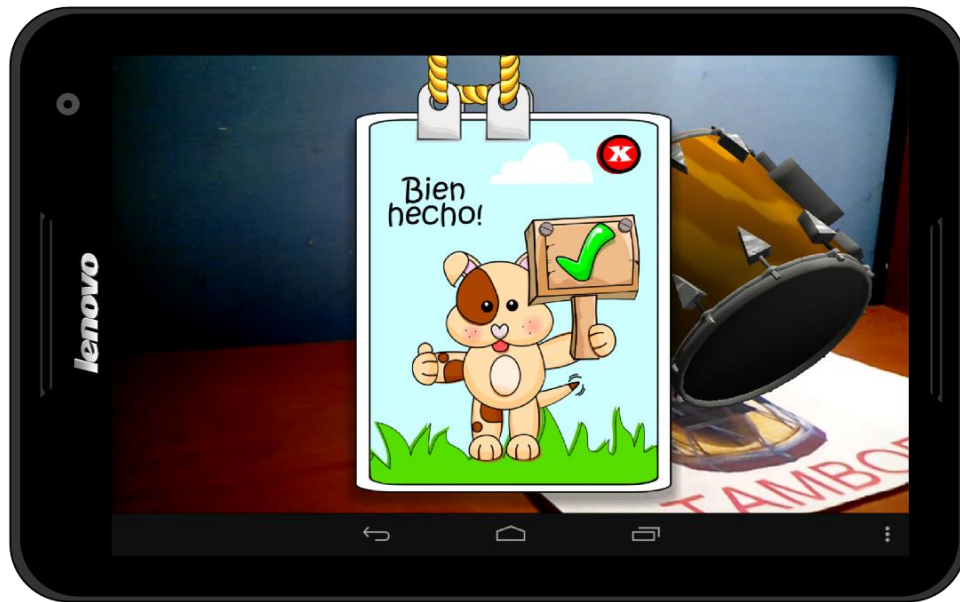
Después de algunos segundos la instrucción desaparece y en la pantalla del dispositivo aparecen dos opciones donde el paciente debe escoger una para completar la actividad, ver Figura 64.



**Figura 64.** Opciones presentadas para completar la actividad.



Finalmente cuando el paciente realiza la actividad es mostrado un refuerzo positivo que consiste en una imagen y un sonido de aprobación, ver Figura 65.



**Figura 65.** Refuerzo positivo al completar la actividad.

- **Adaptación de la habilidad discriminación auditiva (identificar un sonido entre varios):** en esta habilidad se han utilizado dos targets cada uno con cuatro modelos 3D de animales y un icono de sonido, el cual al ser presionado emite un sonido de forma aleatoria correspondiente a uno de los ocho modelos utilizados.

Cuando el sonido termina de emitirse, aparece una instrucción la cual le sugiere al paciente que realice la actividad correspondiente, seguido a esto el paciente debe tocar el modelo 3D del animal correspondiente al sonido emitido,

Cuando el paciente realiza la actividad es emitido un sonido de aprobación a la vez que muestra un refuerzo positivo o un refuerzo negativo si no realiza correctamente la actividad.

Dentro de cada habilidad el terapeuta cuenta con una ayuda para identificar a que targets debe apuntar con la cámara del dispositivo en caso que el paciente no sepa que hacer. Para ello, debe presionar el botón *menú* del dispositivo, con lo cual es presentada una instrucción informándole que tipo de target debe enfocar,

- **Adaptación de la habilidad aspectos temporales de la audición:** esta habilidad presenta objetos 3D con una forma y característica definida (corto - largo). En este caso, si el paciente toca sobre la pantalla del dispositivo al modelo, es emitido un sonido con la característica correspondiente al mismo, por ejemplo, si toca el modelo corto es emitido un sonido de corta duración. Por el contrario, si toca al modelo largo es reproducido un sonido de larga duración. Adicionalmente en la pantalla del dispositivo es presentado un botón el cual permite girar el objeto para una mejor visualización.

Finalmente para determinar si el paciente entiende el significado de un sonido corto o un sonido largo, es introducido un tercer target con dos modelos 3D y un icono de sonido, el cual al ser presionado emite de forma aleatoria un sonido con alguna de las características mencionadas previamente

Después que el sonido emitido deja de emitirse, aparece una instrucción que le indica al paciente como realizar la actividad respectiva.

Una vez realizada la actividad correctamente es mostrado en pantalla un refuerzo positivo que consta de un sonido y una imagen. Por su parte si la actividad no fue realizada correctamente es mostrado un mensaje con la instrucción que le indica que debe repetir la actividad.

- **Adaptación de la habilidad desempeño auditivo con señales acústicas competitivas y/o rivales:** esta habilidad presenta un modelo 3D el cual al ser tocado en la pantalla del dispositivo ejecuta dos sonidos de forma simultánea. Uno de ellos corresponde a un sonido de lluvia el cual realiza la función de ruido enmascarante, el segundo consiste de un silbato que es emitido de forma aleatoria  $n$  veces y el cual realiza la función de sonido enmascarado. En este caso cabe resaltar que los dos sonidos son emitidos por cada uno de los parlantes del dispositivo (en caso de ser estereofónico, caso contrario puede verificarse mediante el uso de audífonos) de forma independiente.

Una vez que terminan de emitirse los dos sonidos aparece una instrucción en la pantalla del dispositivo la cual le sugiere al paciente que realice la actividad correctamente. Cuando la instrucción desaparece surgen en pantalla dos opciones con la cantidad de veces que es emitido el sonido enmascarado, en este caso el paciente debe seleccionar la opción correcta. Finalmente cuando el paciente realiza la actividad correctamente es desplegado un refuerzo positivo, en caso contrario aparece un mensaje indicándole al paciente que realice la actividad nuevamente.

Para realizar un control sobre los parlantes que van a reproducir el sonido enmascarado el terapeuta cuenta con un menú de selección.

- **Adaptación de la habilidad reconocimiento de patrones auditivo:** esta habilidad presenta un modelo 3D, el cual al ser tocado sobre la pantalla del dispositivo emite una secuencia aleatoria de tres sonidos.

Una vez termina de emitirse la secuencia de sonidos, es mostrada una instrucción al paciente la cual consiste en que seleccione la secuencia en el orden correcto como fue emitida. Finalizada la instrucción son mostradas en la pantalla del dispositivo imágenes correspondientes a los sonidos emitidos. Cuando el paciente selecciona una secuencia es emitido un refuerzo positivo según como haya realizado la actividad. Finalmente, si el terapeuta no sabe a qué imagen apuntar, debe presionar el botón menú del dispositivo el cual le muestra una ayuda con los pasos que debe seguir.

- **Adaptación de la habilidad desempeño auditivo con señales acústicas degradadas:** esta habilidad consiste en presentarle al paciente un conjunto de imágenes las cuales muestran unas palabras en 3D, algunas de las palabras presentadas contienen letras faltantes, por tal motivo el paciente debe buscar aquellas letras que hacen falta y unir las con la palabra incompleta para completar la actividad

Cuando el paciente complete las palabras correctamente es desplegado un refuerzo positivo, en caso contrario le indica que lo intente de nuevo. En caso que el terapeuta no conozca cómo dar inicio a la actividad respectiva, al presionar el botón menú del dispositivo es mostrada una ayuda, la cual le indica las instrucciones que debe realizar y las imágenes debe enfocar con la cámara.

Para mayor información sobre la adaptación ver [ANEXO H](#).

### 5.3.4. Herramientas hardware y software utilizadas para el desarrollo de la adaptación del PEHEPAC

#### Hardware utilizado

Como hardware utilizado están los siguientes:

- Tablet Lenovo A8-50, 8", 1 Gb de RAM, memoria interna de 16 Gb, cámara frontal 2 Mp, cámara posterior 5Mp, sistema operativo Android 4.2.2, procesador MTK 8121 Quad Core 1.3 GHz.

#### Software utilizado

Como software utilizado, ver Figura 67 y Tabla 10, están los siguientes:

- **Blender:** es un framework de código abierto para modelar y animar objetos en 3D. Es utilizado dentro del proyecto con el objetivo de realizar el rigging<sup>15</sup>, también es utilizado para texturizar<sup>16</sup> algunos objetos que no cuentan con una imagen característica y finalmente para crear el modelo en 3D de un gusano que es utilizado en la habilidad Identificar diferencias entre sonidos, son utilizadas figuras geométricas como esferas y conos las cuales están unidas para dar la forma al objeto. Con la herramienta Painting de Blender es posible texturizar el modelo, ver Figura 66.

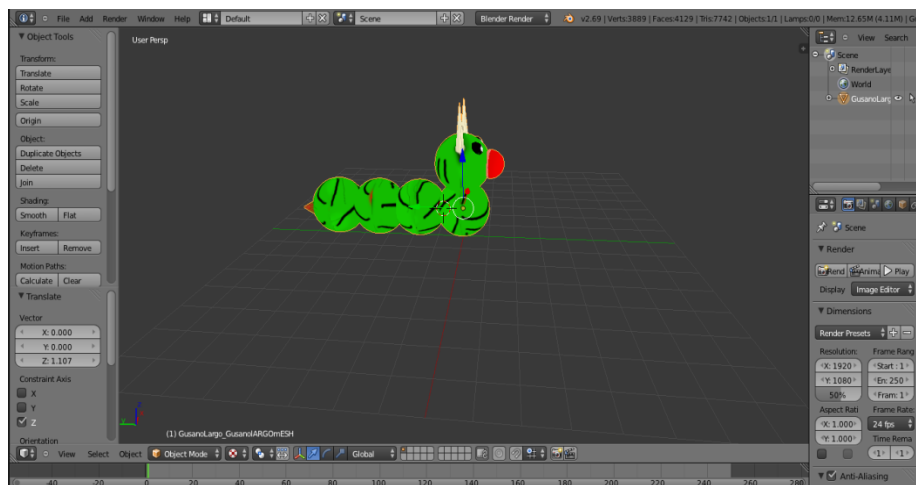



Figura 66. Modelo 3D de un gusano creado y texturizado con Blender.

<sup>15</sup> Crear esqueleto a objetos 3D para que puedan ser animados.

<sup>16</sup> Proporcionarle una imagen al modelo.

- **Inkscape:** es una herramienta de código abierto utilizada para crear imágenes. Dentro del proyecto es utilizada para crear los iconos y los componentes gráficos de la interfaz de usuario.
- **Music Editor Free:** es una herramienta utilizada para editar archivos de audio. Utilizado para cambiar la duración de los sonidos y filtrar el ruido de fondo presente en ellos.
- **Unity3d:** es un entorno de desarrollo multiplataforma el cual cuenta con varios lenguajes de programación como C Sharp, JavaScript y Boo; gracias a su interfaz gráfica es posible desarrollar aplicaciones de forma ágil y rápida para la plataforma Android, razón por la cual es escogido para el desarrollo del prototipo de RA que busca realizar una adaptación al protocolo PEHEPAC usado por la empresa Fisiocenter Ltda.
- **Modelos 3D y audios:** Algunos de los modelos 3D y audios utilizados en el proyecto fueron descargados desde los siguientes sitios web:

Nombre	Elemento	Dirección web
	Modelos 3D	<a href="http://tf3dm.com/3d-models/tf">http://tf3dm.com/3d-models/tf</a>
	Modelos 3D	<a href="http://archive3d.net/">http://archive3d.net/</a>
	Modelos 3D	<a href="http://es.3dmodelfree.com/">http://es.3dmodelfree.com/</a>
	Modelos 3D	<a href="https://www.assetstore.unity3d.com/en#!/content/16687">https://www.assetstore.unity3d.com/en#!/content/16687</a>
	Audios	<a href="http://www.sonidosmp3gratis.com">www.sonidosmp3gratis.com</a>

**Tabla 10.** Ubicación de recurso multimedia utilizados en proyecto.





**Figura 67.** Herramientas software utilizadas.

### 5.3.5. Evidencia de la ejecución del caso de estudio Fisiocenter.

En la Figura 68 es presentado el material fotográfico que permite evidenciar la experiencia con los fonoaudiólogos y los pacientes en la institución Fisiocenter. Para las pruebas con los pacientes es necesario aclarar que en ningún momento los investigadores realizaron intervención sobre ellos, debido a que es utilizada observación no participante, dado que fueron los fonoaudiólogos quienes utilizaron la herramienta y proporcionaron las experiencias acerca de la prueba de la aplicación.



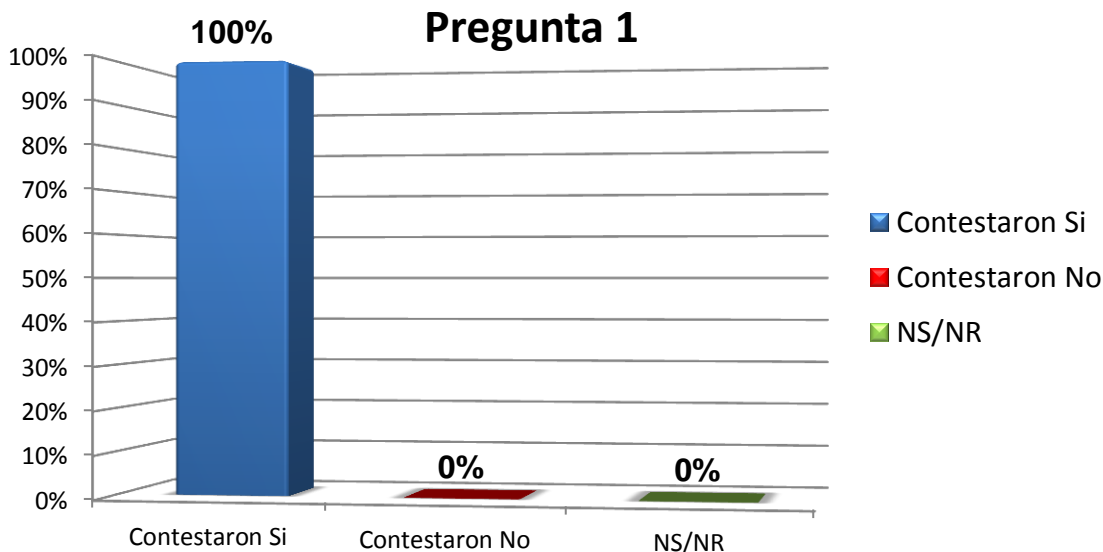
**Figura 68.** Evidencia de caso de estudio

### 5.3.6. Resultados obtenidos en la encuesta posterior

- **Localización:** la encuesta posterior es llevada a cabo en el interior de las instalaciones de la institución Fisiocenter.
- **Población encuestada:** el público que participó de este experimento en esta fase inicial fueron ocho (8) fonoaudiólogos de la institución Fisiocenter.
- **Características generales de la encuesta:** conocer el impacto, las experiencias y el grado de aceptación que tuvieron los fonoaudiólogos utilizando la aplicación de RA desarrollada.

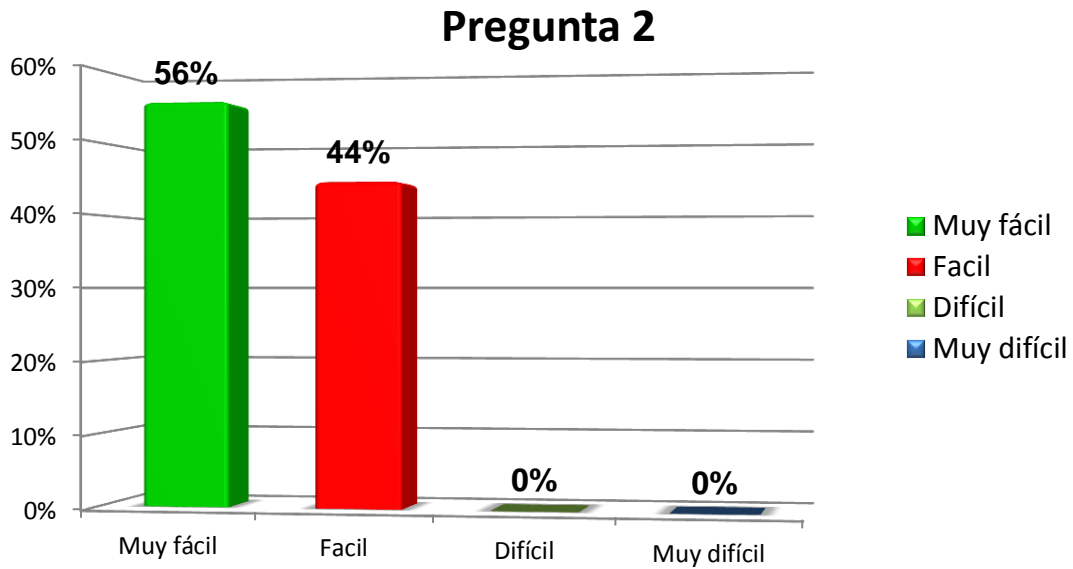
En las Figuras 69 a 80 es mostrada la información acerca de las respuestas obtenidas al realizar la encuesta posterior a los fonoaudiólogos una vez conocieron y utilizaron la aplicación de RA desarrollada.

**Pregunta 1:** ¿cree que la aplicación desarrollada es apropiada para ser utilizada en una sesión de terapia?



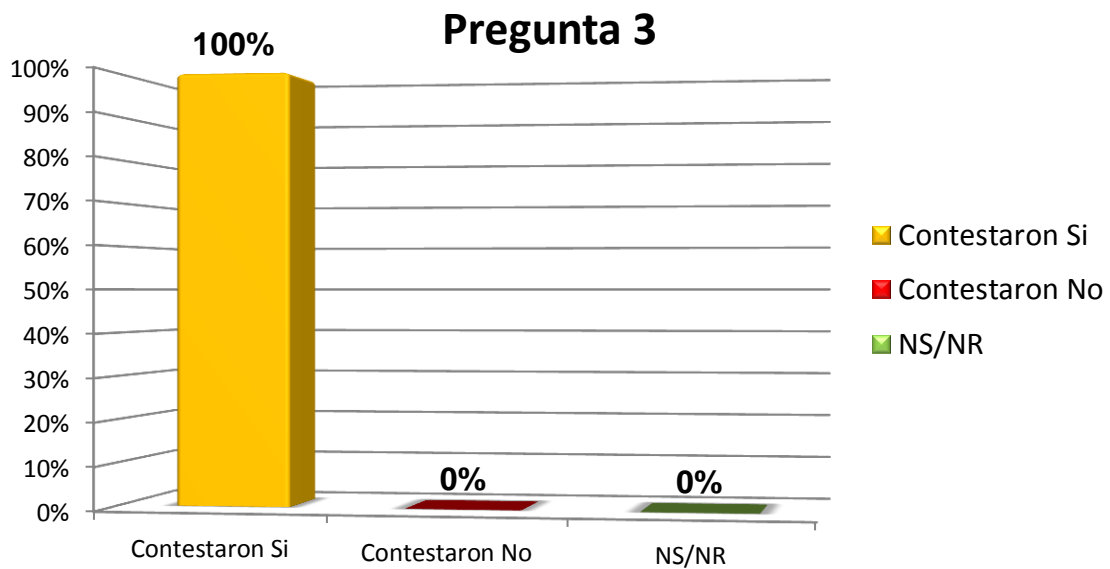
**Figura 69.** Resultados para pregunta 1 - Encuesta posterior.

**Pregunta 2:** ¿utilizar la aplicación desarrollada le pareció?



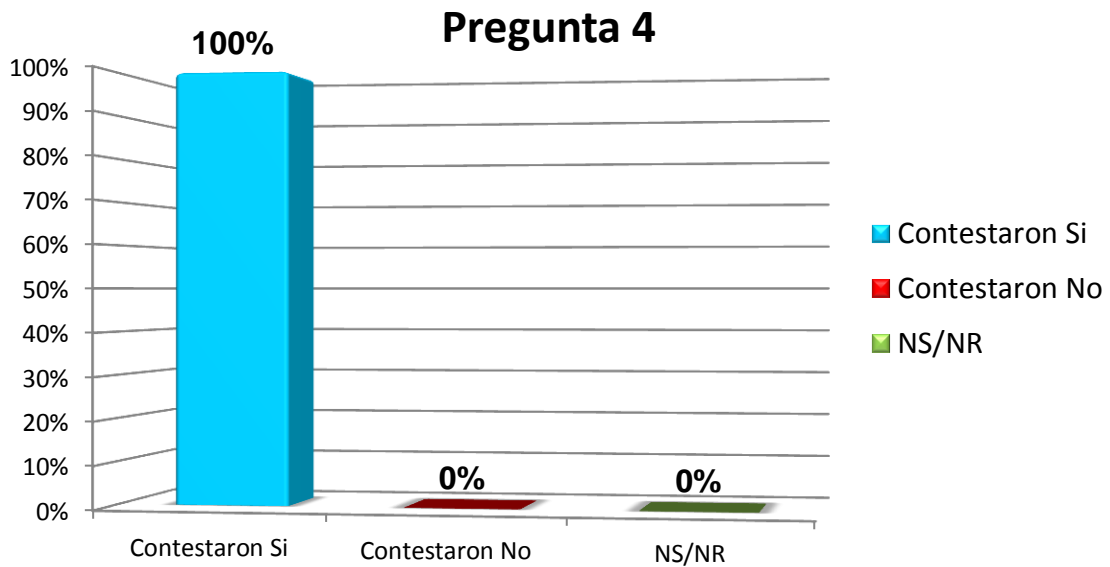
**Figura 70.** Resultados para pregunta 2 - Encuesta posterior.

**Pregunta 3:** ¿considera usted que esta experiencia con la Tablet es agradable?



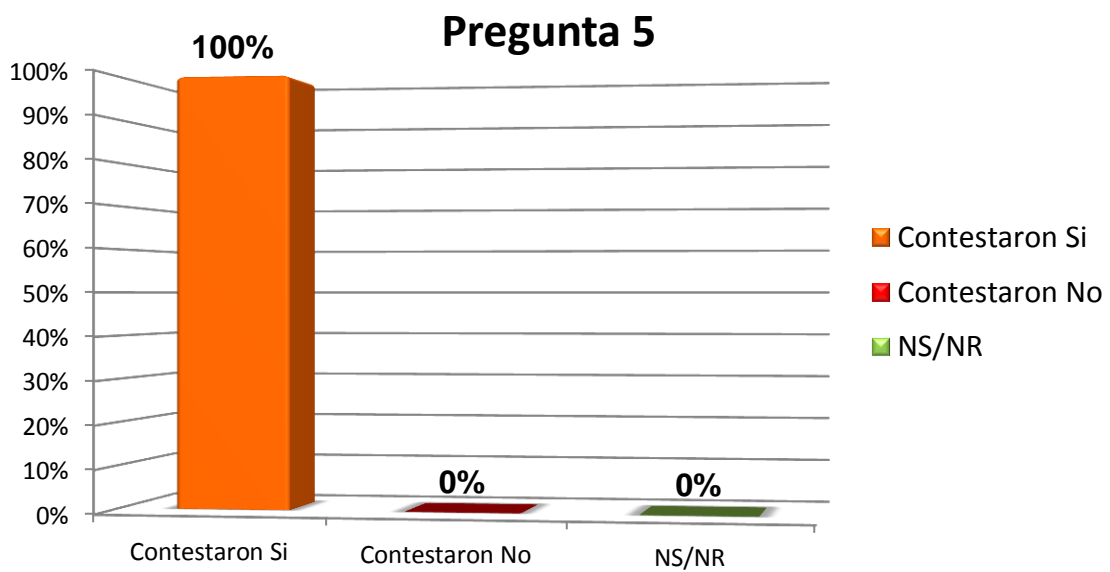
**Figura 71.** Resultados para pregunta 3 - Encuesta posterior.

**Pregunta 4:** ¿considera usted que esta experiencia con la Tablet es útil para el paciente?



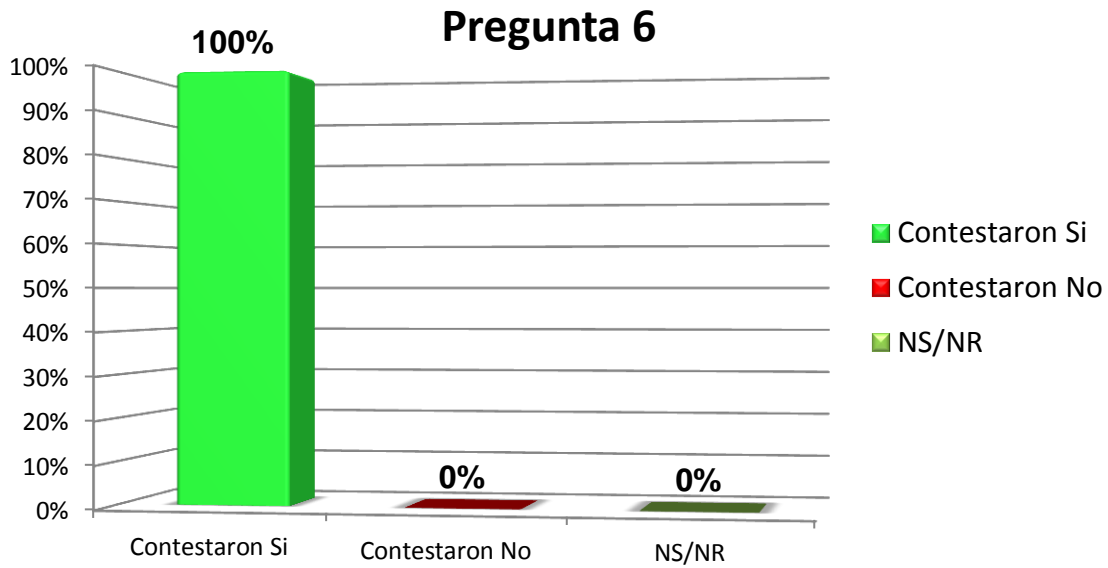
**Figura 72.** Resultados para pregunta 4 - Encuesta posterior.

**Pregunta 5:** ¿considera usted que la aplicación desarrollada tiene un impacto positivo en los pacientes que la utilizan?



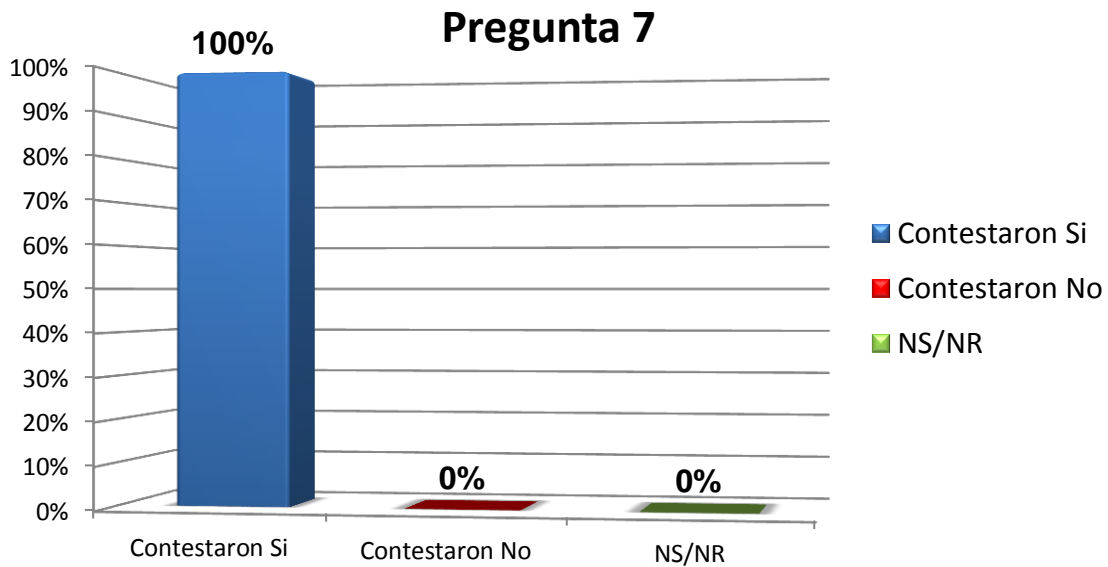
**Figura 73.** Resultados para pregunta 5 - Encuesta posterior.

**Pregunta 6:** ¿es fácil y comprensible la información presentada en la pantalla del dispositivo?



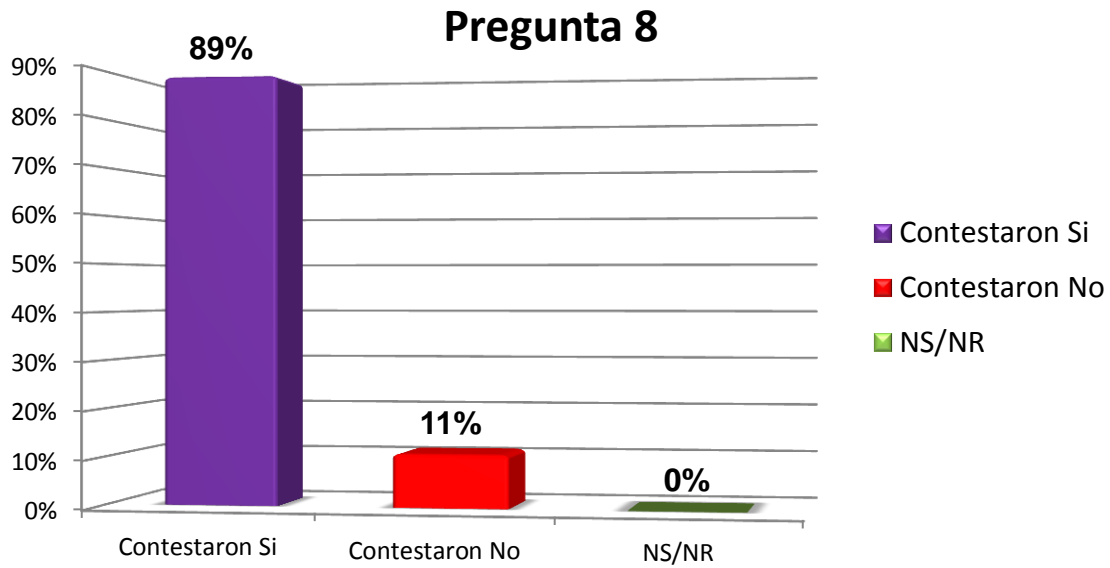
**Figura 74.** Resultados para pregunta 6 - Encuesta posterior.

**Pregunta 7:** ¿considera usted que aplicando este tipo de experiencias harían más agradables las sesiones de terapia?



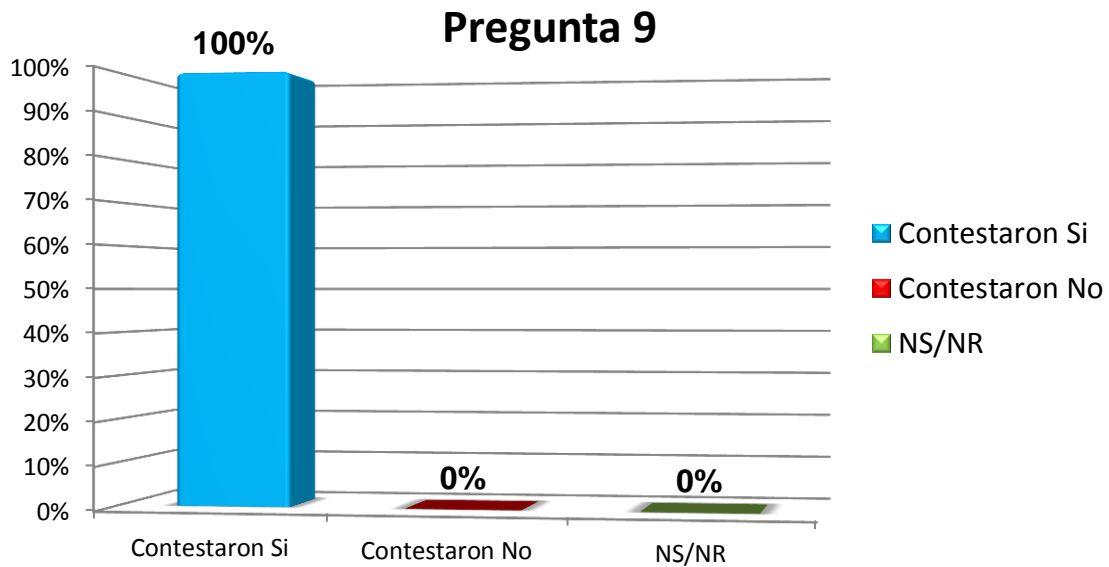
**Figura 75.** Resultados para pregunta 7 - Encuesta posterior.

**Pregunta 8:** ¿considera que el uso de la aplicación aumentaría la interacción de los pacientes?



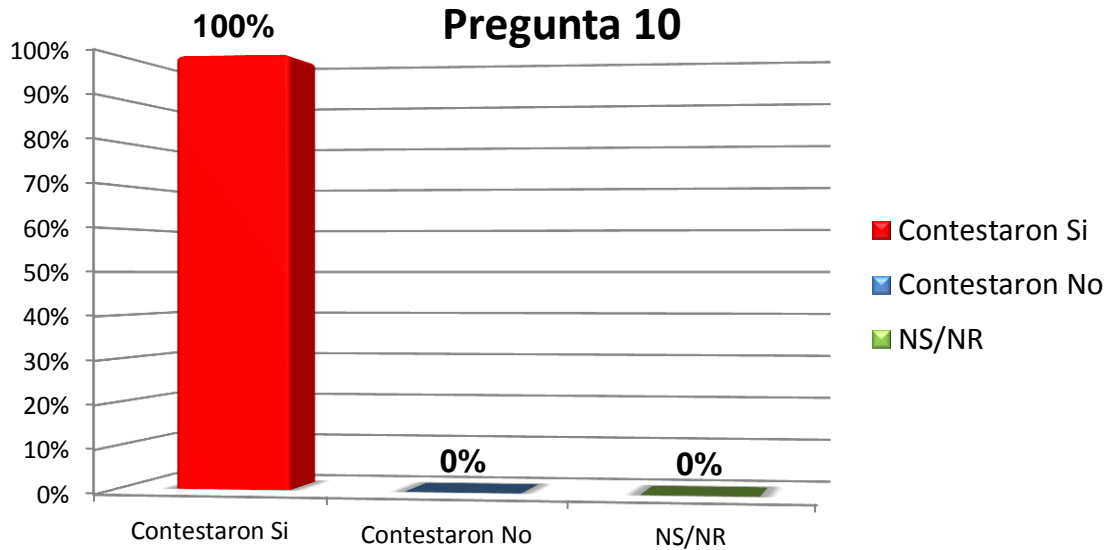
**Figura 76.** Resultados para pregunta 8 - Encuesta posterior.

**Pregunta 9:** ¿considera que la aplicación de este tipo de tecnologías impacta positivamente en al tratamiento de alteraciones auditivas?



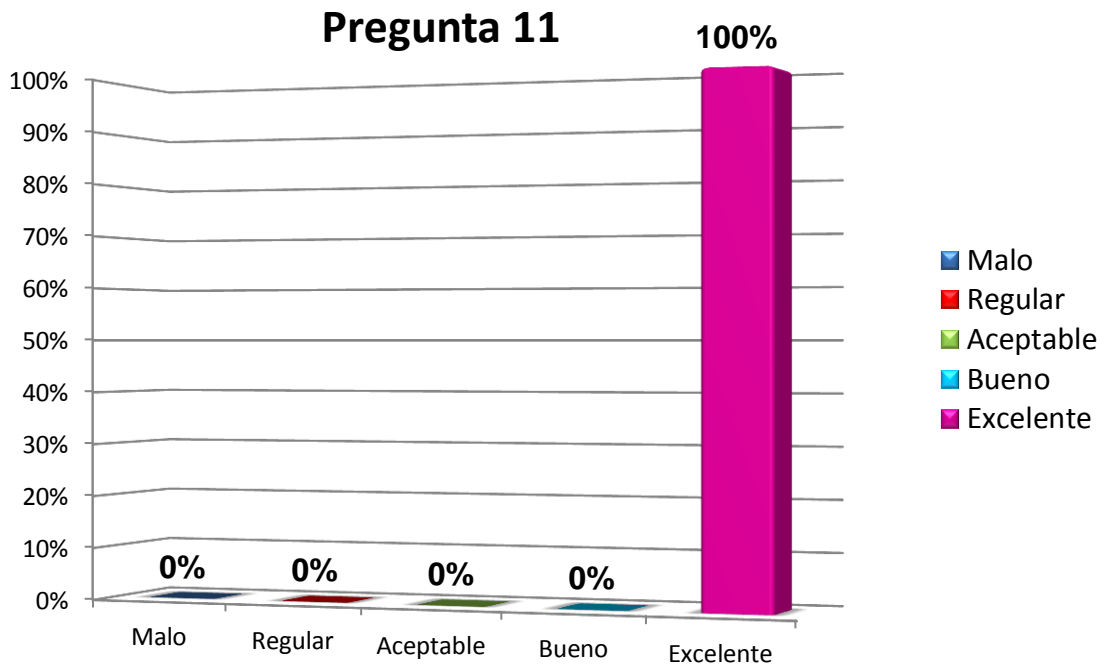
**Figura 77.** Resultados para pregunta 9 - Encuesta posterior.

**Pregunta 10:** ¿recomendaría el uso de este tipo de tecnologías para el tratamiento de alteraciones auditivas?



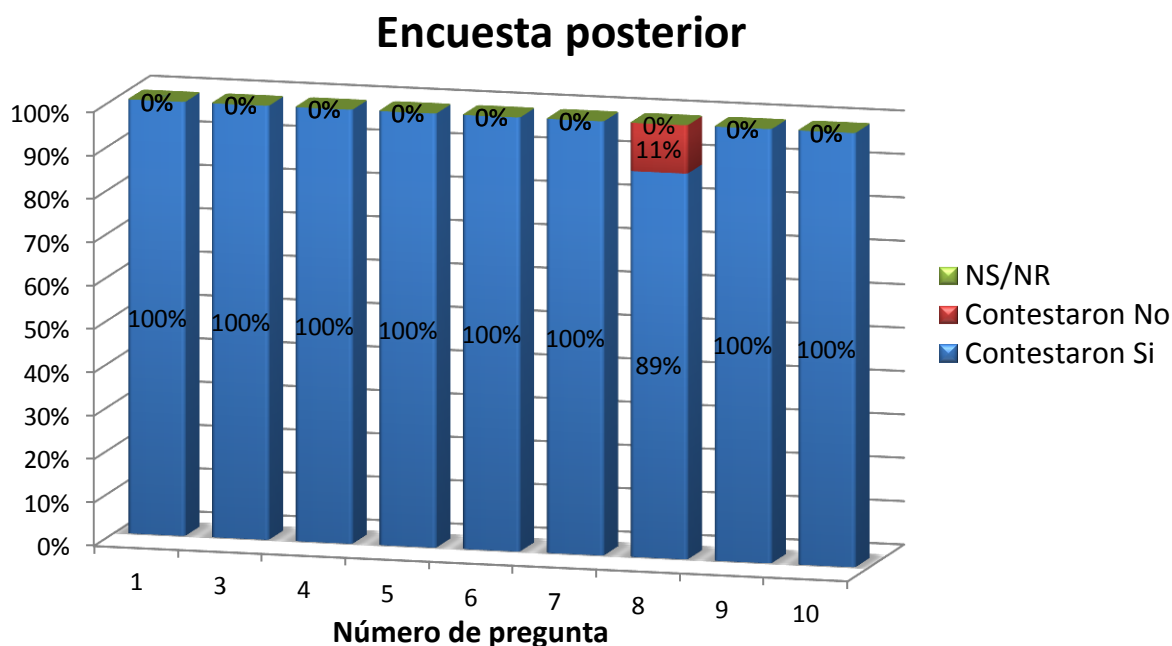
**Figura 78.** Resultados para pregunta 10 - Encuesta posterior.

**Pregunta 11:** ¿en su opinión utilizar la aplicación desarrollada le pareció?



**Figura 79.** Resultados para pregunta 11 - Encuesta posterior.

El resumen de los resultados obtenidos está en la Figura 80.



**Figura 80.** Resultados de encuesta posterior

**La pregunta número uno (1):** ¿cree que la aplicación desarrollada es apropiada para ser utilizada en una sesión de terapia?, arroja que al 100% de los fonoaudiólogos encuestados les parecería apropiado usar este tipo de tecnologías en las sesiones de terapia puesto que captura la motivación y la participación de los pacientes que la utilicen. Además podría ser utilizada por terapeutas enfocados en otras áreas no solo la fonoaudiología o la audiolgía, sino también la terapia ocupacional y áreas relacionadas con el aprendizaje, ver Figura 69.

**La pregunta número dos (2):** ¿utilizar la aplicación desarrollada le pareció?, arroja que al 55.56% de los fonoaudiólogos encuestados les pareció muy fácil utilizar la aplicación, mientras que al 44.44% les pareció fácil utilizar la aplicación. En este sentido, ningún fonoaudiólogo consideró difícil manejar la herramienta suministrada, por el contrario, mostraron su grado de aceptación y aprobación. Esta pregunta es importante porque permite evaluar la usabilidad de la aplicación en un entorno real teniendo en cuenta las consideraciones de los especialistas al respecto, ver Figura 70.

**La pregunta número tres (3):** ¿considera usted que esta experiencia con la Tablet es agradable?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados están de acuerdo con esta afirmación Ya que consideran que la información de la aplicación está bien detallada, está acorde a gustos de los pacientes, es interactiva y muestra los modelos 3D de forma clara y en grandes proporciones, ver Figura 71.

**La pregunta número cuatro (4):** ¿considera usted que esta experiencia con la Tablet es útil para el paciente?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados están de acuerdo con esta afirmación, debido a que el hecho de mostrar contenido en 3D y usar dispositivos móviles captura en gran medida la atención de los pacientes motivándolos a participar aún más en la sesión, ver Figura 72.



**La pregunta número cinco (5):** ¿considera usted que la aplicación desarrollada tiene un impacto positivo en los pacientes que la utilizan?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados están de acuerdo con esta afirmación, debido a que estimula en gran medida el campo auditivo, pero de igual forma el visual, además considerando que los pacientes son niños sienten más interés en interactuar con los modelos 3D mostrados en la aplicación, ver Figura 73.

**La pregunta número seis (6):** ¿es fácil y comprensible la información presentada en la pantalla del dispositivo?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados están de acuerdo con esta afirmación, ya que fueron utilizadas imágenes grandes y bien claras para mostrar las instrucciones que deben seguir los pacientes para realizar las actividades, así mismo las ayudas diseñadas para cada fonoaudiólogo son claras y bien estructuradas, ver Figura 74.

**La pregunta número siete (7):** ¿considera usted que aplicando este tipo de experiencias harían más agradables las sesiones de terapia?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados están de acuerdo con que harían más agradables las sesiones de terapia, porque la motivación de los pacientes aumenta dado que están más interesados en realizar las actividades, sin mencionar que dispositivos electrónicos capturan mucho su atención, ver Figura 75.

**La pregunta número ocho (8):** ¿considera que el uso de la aplicación aumentaría la interacción de los pacientes?, arroja que el 88,89% está de acuerdo con que la implementación de estas tecnologías aumentaría en gran medida la interacción de los pacientes, facilitándoles que las sesiones de terapia sean más didácticas y llamativas. Mientras que el 11,11% no están de acuerdo ya que el niño enfocaría su atención solo en la aplicación y no realizaría las actividades como el terapeuta las ha establecido, ver Figura 76.

**La pregunta número nueve (9):** ¿considera que la aplicación de este tipo de tecnologías impacta positivamente en el tratamiento de alteraciones auditivas?, arroja que el 100% están de acuerdo, ya que le da la posibilidad al paciente de observar como son en realidad los elementos que ellos normalmente utilizan en una sesión como por ejemplo un perro o un gato los cuales están impresos en láminas, ver Figura 77.

**La pregunta número diez (10):** ¿recomendaría el uso de este tipo de tecnologías para el tratamiento de alteraciones auditivas?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos consideran que estas tecnologías son muy útiles para ayudar al tratamiento de alteraciones auditivas, pero de igual forma podría utilizarse para tratar otro tipo de patologías tales como cognitivas o de aprendizaje, ya depende del enfoque y el uso que le brinde el terapeuta, ver Figura 78.

**La pregunta número once (11):** ¿en su opinión utilizar la aplicación desarrollada le pareció?, arroja que el 100% de los fonoaudiólogos encuestados consideran excelente el uso de este tipo de tecnologías, no solo para tratar alteraciones auditivas como el TPAC si no cualquier debilidad de un paciente teniendo en cuenta como sea utilizada la aplicación y el propósito que le quiera dar. Esta pregunta difiere de la pregunta número dos en el sentido que pretende conocer el grado de aceptación y aprobación que tuvieron los fonoaudiólogos al utilizar la aplicación de RA desarrollada, por lo tanto es considerada una de las más importantes, ver Figura 79.

## 5.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

---

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los fonoaudiólogos de la institución Fisiocenter es realizado el siguiente análisis:

La encuesta previa, realizada antes que los fonoaudiólogos conocieran la solución planteada, permite conocer cuáles son las herramientas o ayudas visuales y auditivas normalmente utilizadas por ellos en las sesiones de terapia, estas comprenden desde láminas, grabadoras, equipos de sonido, juguetes táctiles con sonidos, la voz hasta dispositivos móviles como celulares. Esta encuesta, además, permite conocer la forma en que estos estímulos auditivos y visuales son aplicados a los pacientes, observándose que son combinados pero de formas separadas, es decir, la parte auditiva por un lado y la parte visual por el otro, en donde la gran mayoría no realiza una integración sensorial plena, lo que corrobora las observaciones iniciales del trabajo de campo realizado en las fases iniciales del desarrollo del presente trabajo. Por otra parte, de los resultados obtenidos puede apreciarse que al utilizar dispositivos móviles con tecnologías como RA, es posible generar una integración sensorial adecuada en la que es incluido como valor agregado un componente de interacción que puede ayudar a mejorar la participación y la motivación de los pacientes en las sesiones.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la encuesta posterior, realizada después que los fonoaudiólogos conocieran la solución planteada, permiten conocer que el uso de este tipo de tecnologías genera un impacto positivo no solo para los pacientes que la utilizan, sino también para los terapeutas, ya que su comportamiento fue de agrado y aceptación, además que sus respuestas reflejan la necesidad de fortalecer en mayor medida los métodos tradicionales de realizar las sesiones de terapia, no solamente en pacientes con trastornos en el PAC, sino en pacientes con otros tipos de patologías presentes.

En cuanto al prototipo de RA diseñado, los fonoaudiólogos consideran que el grado de usabilidad y aceptabilidad que puede tener es alto, debido principalmente a que el sistema es fácil de utilizar y además les permite tratar diferentes tipos de alteración auditiva, no necesariamente los TPAC e inclusive puede ser utilizado por otro tipo de terapeutas enfocados en otros campos, ya depende del uso que ellos quieran darle al prototipo.

## 5.5. OPINIONES DE LOS PARTICIPANTES

---

**Resultado de una entrevista informal:** “la aplicación es muy buena porque capta la atención de los niños ya que al utilizar modelos 3D, sonidos y colores llamativos hace que haya una mayor fijación visual, es muy buena dado que también sirve para el lenguaje, puesto que al escuchar y ver a los animales motiva a los niños a hablar. Como recomendación la aplicación debe ser utilizada por niños que puedan seguir órdenes.”

Dentro de las sugerencias recibidas por parte de los fonoaudiólogos respecto al uso del prototipo desarrollado están las siguientes:

- Fonoaudiólogo 1: “Aumentar la cantidad de estímulos para dirigirse a diferentes tipos de población, los cuales pueden ser sonidos de la casa, la ciudad, el campo etc. Excelente herramienta de trabajo”.
- Fonoaudiólogo 2: “Recomendar el uso de diademas o audífonos personales.”

- Fonoaudiólogo 3: “Incrementar categorías semánticas (medios de transporte, mas animales, sonidos del cuerpo humano, sonidos de la casa.), en cuanto al aprendizaje para lectura y escritura global, presentación de las palabras, grafemas de las palabras para armar con el respectivo sonido. De la misma forma para habilidades matemáticas.”
- Fonoaudiólogo 4: “Que tenga música, más animación, que diga el nombre de cada elemento mostrado y considerar el uso de imágenes reales.”
- Fonoaudiólogo 5: “Está muy bien encaminado a la parte auditiva, pero sería de gran ayuda incluir el nombre de los objetos que aparecen, por ejemplo: nombre de los animales, instrumentos y elementos de diferentes categorías. A medida que uno pase fases se vayan complejizando estos, si se comienza por fácil, pase a medio, alto y así ir aumentando el grado de dificultad”

# CAPÍTULO 6

## Aportes, conclusiones y trabajo futuro

### 6.1. INTRODUCCIÓN

---

Este capítulo comprende las contribuciones, trabajos futuros y conclusiones generados a partir del presente trabajo. Los aportes son citados en dos secciones: aportes intelectuales y aportes físicos. Las conclusiones resumen los puntos más importantes abordados por el presente trabajo en cada uno de los capítulos, para ello son retomadas algunas de las presentadas en el Capítulo 2. Finalmente, partiendo de los resultados de la investigación, son planteados trabajos futuros.

### 6.2. APORTES

---

#### 6.2.1. Aportes intelectuales

- Construcción de una base teórica relacionada con RA en el contexto de dispositivos Android y aplicaciones ubicuas.
- Recopilación de las herramientas y/o tecnologías empleadas para RA en el contexto de dispositivos móviles Android.
- Definición de criterios de selección para escoger un SDK de acuerdo a la naturaleza y propósitos del presente trabajo.
- Análisis comparativo de los SDKs disponibles en el mercado para RA, teniendo en cuenta aspectos característicos y criterios de selección en el contexto del presente trabajo.
- Estudio, análisis y evaluación de los SDKs seleccionados como los más relevantes (Vuforia, Metaio, Wikitude) para el desarrollo de aplicaciones móviles de RA.
- Ante la falta de información oficial acerca de las herramientas, se hizo una recopilación de las funciones y variables bases para la elaboración de cualquier aplicación de RA en Unity3d, además de frameworks complementarios para su desarrollo.
- Integración del uso de técnicas de RA, utilizando dispositivos Android, aplicadas para el tratamiento de la salud auditiva.
- Un precedente de cómo utilizar la RA como un componente innovador para soportar tratamientos en el procesamiento auditivo central.
- Definición del concepto de “estado” para las aplicaciones de RA a través del cual es posible el entendimiento de su comportamiento/funcionamiento.

## 6.2.2. Aportes físicos

- Un piloto, que hace uso de técnicas de RA para el tratamiento de trastornos del procesamiento auditivo central en un caso de estudio real en la empresa Fisiocenter Ltda.
- Reporte de resultados de la experiencia del piloto implementado en el caso de estudio.
- Archivo digital con los targets que representan los objetos usados en la adaptación del PEHEPAC y RA.
- Conjunto de animales, instrumentos 3D, sonidos onomatopéyicos y sonidos enmascarantes.
- Artículo de divulgación de los resultados del proyecto.
- Documentación final que incluye la base inicial de conocimiento generada, el marco teórico referente a la tecnología de RA, además de una recopilación de las técnicas empleadas en RA.

## 6.3. CONCLUSIONES

---

### 6.3.1. Conclusiones sobre el estado del arte

La recopilación bibliográfica permite tener la base de los conceptos fundamentales sobre RA, tipos de tecnologías para RA, dispositivos de uso actual y SDKs de desarrollo para Android, en diferentes contextos como el educativo, diseño y/o museos.

Existen también algunos proyectos vinculados a salud sin embargo no tratan específicamente con TPAC o con dificultades auditivas, esto es debido a que el enfoque o la orientación de los proyectos en RA ha sido enriquecer la experiencia visual y no la auditiva, por tanto, este trabajo es pionero en la Universidad del Cauca y en la región.

### 6.3.2. Conclusiones sobre las pruebas de batería, reconocimiento y tracking

En esta sección, la primera parte comprende los resultados generales obtenidos en las pruebas de consumo de batería y en las pruebas realizadas en la fase de reconocimiento y tracking de la aplicación. Y posteriormente son realizadas las conclusiones particulares para cada prueba realizada.

#### *Pruebas en general*

- Comparando el tiempo de conversación o el tiempo de trabajo, con el tiempo promedio de una aplicación de RA, estimados para cada uno de los dispositivos móviles usados en las pruebas, puede concluirse que las aplicaciones de RA contribuyen a un consumo de batería mayor al generado por el servicio de llamada o el uso normal del dispositivo. Esto es ocasionado en gran parte a que la aplicación realiza un procesamiento continuo de la escena capturada para lo cual debe mantener la cámara abierta. Ver Anexo E, sección E.1

- Para targets pequeños, la detección de los puntos de reconocimiento resulta una labor compleja y factores como el fondo sobre el cual está el target perjudican en mayor o menor medida dicha detección, dependiendo de su color. Por ejemplo, si el color del target es oscuro (negro) sobre un fondo de bajo contraste (azul oscuro) dificulta el reconocimiento del target, mientras que un target de color claro (blanco) sobre un fondo de alto contraste (fondo oscuro) permite una normal detección. Ver Anexo E.
- Las aplicaciones de RA definen un concepto llamado Estado que significa, la información relacionada con la experiencia previa de detección y su implementación depende de cada SDK. El estado de las aplicaciones de RA permiten que diversos factores como la luz, la distancia de reconocimiento y el ángulo de incidencia influyan en mayor o menor medida sobre la aplicación, es decir cuando el dispositivo se ha dejado fijo sobre un target sin perder su detección entonces la aplicación guarda el *estado*, bajo esta condición las distancias máximas de reconocimiento son más extensas, distancias mínimas de reconocimiento más cortas, menor sensibilidad a la luz del entorno y un rango de ángulos de incidencia más amplio, caso contrario a cuando es empleada la aplicación sin estado. Ver Anexo E.
- Existe una estrecha relación entre la incidencia de la luz y la distancia de reconocimiento máxima. En entornos con buena iluminación el dispositivo puede ubicarse a mayores distancias para reconocer el target, caso contrario a que estuviera en un lugar con poca iluminación. También la distancia mínima necesaria para el reconocimiento es ampliada si el entorno no cuenta con buena iluminación, mientras que en entornos con buena iluminación a distancias más cortas puede realizarse la captura del target. Ver Anexo E, sección E.2.3.
- Los porcentajes de oclusión que soportan los SDK están relacionados directamente con los puntos de reconocimiento que tenga la imagen del target y la ubicación de los mismos, por tal razón es necesario que dicha imagen cuente con buena densidad de puntos de reconocimiento o una buena calificación como lo hace Vuforia con su Target Manager. Ver Anexo E, sección E.2.4.
- El ángulo de incidencia entre el dispositivo y el target en un entorno de buena o baja iluminación está influenciado por la distancia (radio) en la que este el dispositivo, a distancias cortas es ampliado el ángulo de apertura para la detección del target, sin embargo cuando el dispositivo está a distancias más grandes el ángulo de apertura disminuye. Ver Anexo E, sección E.2.5.
- Existe una relación directa entre la distancia y el nivel de iluminación del entorno donde sea desplegada la aplicación, si la distancia entre el target y el dispositivo es grande entonces es necesario un mayor nivel de iluminación sobre el target para poder ser detectado y viceversa. Sin embargo algunos SDK son más o menos sensibles a esta relación. Ver Anexo E, sección E.2.3
- Las aplicaciones de RA realizadas con el SDK de Vuforia permiten escalar el objeto 3D proporcional a la distancia entre el target y el dispositivo móvil, es decir, el objeto 3D aumenta su tamaño o lo disminuye a medida que es acercado o alejado del target respectivamente, dando una sensación de realismo al simular la proximidad del objeto. Sin embargo los botones virtuales conservan su tamaño. De otro lado, Wikitude y Metaio no escalan los objetos 3D. En cuanto a los botones virtuales son escalados por Wikitude, distinto de Metaio que mantiene el tamaño de los mismos.

- En base en la experimentación realizada es observado que el tiempo de renderizado (procesamiento de la escena) depende del SDK seleccionado. Esta variable constituye un aspecto importante en la experiencia del usuario debido a que representa el tiempo de respuesta entre la captura del entorno y el aumento de la realidad. El SDK que emplea el menor tiempo en este proceso es Vuforia, seguido de Wikitude y Metaio, notándose considerablemente en los últimos dos SDKs, situación que es agudizada al aumentar la distancia.
- La detección de los puntos de reconocimiento sobre el target se dificulta al aumentar la distancia, bajo condiciones como: distancia máxima de reconocimiento, cada SDK funciona de forma diferente, Vuforia oculta paulatinamente los objetos 3D y los botones virtuales de la escena, a medida que es aproximado a dicho límite. Por su parte, Wikitude y Metaio, al llegar a la distancia máxima de reconocimiento del target, ocultan todos los elementos de la escena.
- Los tres SDKs seleccionados manejan el concepto de estado, sin embargo en Vuforia el tiempo de almacenamiento del mismo es mayor al de los otros dos.
- Independientemente del color oscuro o claro de la obstrucción los SDKs pierden puntos de reconocimiento con ella, sin embargo la posición de la obstrucción sobre el target es muy importante debido a que la distribución aleatoria de los puntos de reconocimiento en el target genera porcentajes de oclusión variables. Otro aspecto a tener en cuenta es que a porcentuales de oclusión superiores al 75% genera distorsión de los objetos 3D.

*Pruebas de distancia para el reconocimiento del target o marcador (Ver Anexo E, sección E.2.3)*

- Mientras más grande es un target la distancia mínima para la detección del mismo es mayor.
- A medida que los niveles de iluminancia disminuyen la distancia mínima para la detección aumenta y la distancia máxima disminuye.
- Con estado la distancia mínima disminuye y la distancia máxima aumenta con respecto a las medidas sin estado.
- Metaio posee menores valores de distancia mínima sin estado que Wikitude y Vuforia.
- Vuforia alcanza distancias máximas más altas que Metaio y Wikitude independientemente del tamaño del target, los niveles de iluminancia y los estados considerados.

*Pruebas de desempeño frente a oclusión del target (Ver Anexo E, sección E.2.4)*

- Los cambios en los niveles de iluminación y los porcentajes de oclusión sobre el target afectan la distancia de reconocimiento, tanto el decremento en los niveles de iluminación como aumento en los porcentajes de oclusión disminuyen la distancia para la detección o no del target con la obstrucción.

- Independientemente de la distancia de reconocimiento, la iluminancia y del tamaño del target, Metaio soporta solamente oclusiones menores al 5%.
- Los targets pequeños soportan menos oclusión que targets más grandes debido a que a mayor tamaño del target, mayor es el porcentaje de oclusión soportado.
- Vuforia soporta mayor porcentaje de oclusión que Wikitude y Metaio.

#### *Pruebas Ángulo de detección del target o marcador (Ver Anexo E, sección E.2.5)*

- El rango entre el ángulo de detección mínimo y máximo aumenta al aumentar los niveles de iluminancia.
- El rango entre el ángulo de detección mínimo y máximo disminuye al aumentar la distancia entre el dispositivo móvil y el target.
- El rango entre el ángulo de detección mínimo y máximo es ampliado al aumentar el tamaño del target.
- El rango entre el ángulo de detección mínimo y máximo es ampliado al realizar las pruebas con estado.
- Sin estado y a cualquier distancia (óptima para la detección), Metaio presenta el más amplio ángulo de apertura para la detección del target.
- Con estado y a cortas distancias, Wikitude presenta el más amplio ángulo de apertura para la detección del target.
- Con estado y a largas distancias, Vuforia presenta el más amplio rango de ángulos para la detección del target.
- Sin estado, a largas distancias y un decremento en la iluminancia, Vuforia es el más afectado, presentando el más estrecho rango de ángulos para la detección del target.

#### *Pruebas Incidencia de la iluminación (Ver Anexo E, sección E.2.6)*

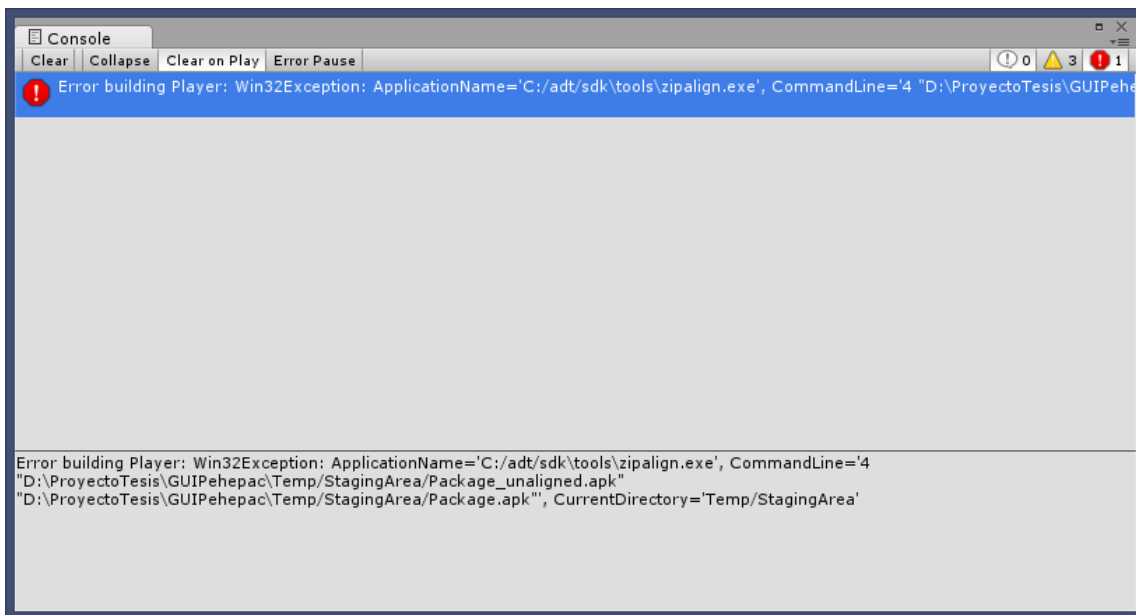
- Vuforia es el más sensible ante los cambios de iluminancia, a medida que la distancia aumenta, Vuforia requiere de mayores niveles de iluminación para detectar el target.
- Metaio presenta valores de iluminancia mínima que varían entre los 3 lx. Debido a que el luxómetro no maneja números decimales para escalas pequeñas, no pudo establecerse entre que valores está exactamente el mínimo entonces es asumido como un valor constante.
- Metaio y Wikitude son más estables ya que no presentan variaciones considerables en los niveles de iluminación, además estos niveles son menores a los necesitados por Vuforia.
- Metaio presenta niveles de iluminancia mínima más bajos que los que necesita Wikitude y Vuforia.



- Con estado los niveles de iluminancia mínima disminuyen para los tres SDKs.
- El target pequeño requiere de niveles mayores de iluminancia que los demás tamaños de target.
- En Vuforia y Wikitude el target grande requiere de niveles menores de iluminancia que los demás tamaños de target.

### 6.3.3. Conclusiones sobre la construcción de un prototipo de RA

- Uno de los errores presentados durante el desarrollo del prototipo ocurrió al compilar el proyecto en unity3d para obtener el archivo apk que necesita el dispositivo Android para instalar la aplicación. La version del SDK de Android tenia el API 20 y debido a los nuevos cambios en esta version, unity3d no podia identificar donde estaba un archivo particular, lo que ocasionó un error, ver **Figura 81**.

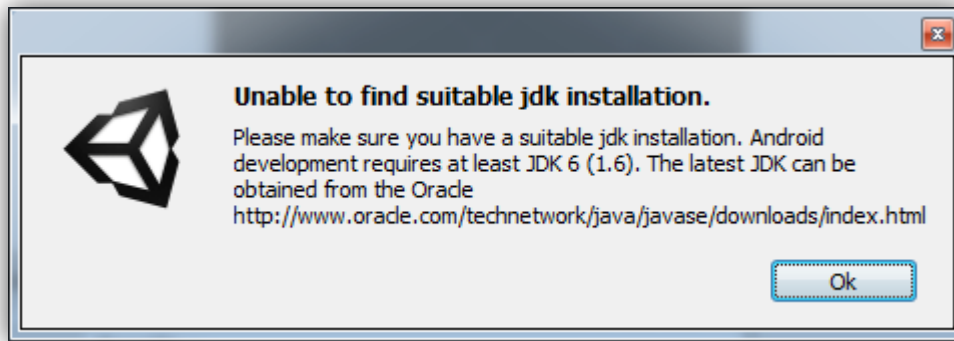


**Figura 81.** Error de compilación del proyecto en unity3d.

Para solucionar este problema es necesario ir a la ruta donde está el SDK de Android y en la carpeta del API debe buscarse el archivo zipalign.exe y copiarlo en la carpeta tools del SDK, por ejemplo:

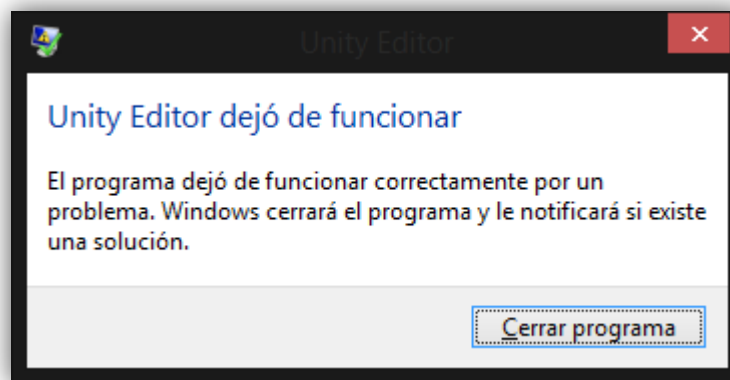
Copiar el archivo zipalign.exe de la capeta C:\ADT-Bundle\sdk\build-tools\android-4.4W y pegarlo en la carpeta: C:\adt\sdk\tools.

- Otro inconveniente presentado al momento de compilar el proyecto de unity3d a la plataforma Android es el mostrado en la Figura 82. Cuya solución consiste en instalar la versión de treinta y dos bits (32) del jdk de java y configurar sus variables de entorno.



**Figura 82.** Error de compilación ocasionado por el jdk de java.

- Finalmente el último inconveniente presentado es el cierre inesperado del entorno de desarrollo unity3d, el cual no mostraba ningún tipo de error en la consola de errores, lo que dificultaba conocer su solución, ver Figura 83.



**Figura 83.** Error presentado por unity3d.

Este tipo de problema es ocasionado por algunos modelos 3D que al ser modificados de alguna manera desencadenan este evento. Para solucionar este problema es necesario eliminar la carpeta donde está ubicado el modelo y re importarlo para corregir el error.

#### **6.3.4. Conclusiones sobre la implantación en el caso de estudio**

Antes de realizar las conclusiones sobre la experiencia, es importante aclarar que las pruebas del prototipo son desarrolladas con tres (3) niños en las instalaciones de Fisiocenter, cabe aclarar que los terapeutas fueron quienes las realizaron sin la intervención de los investigadores, solo es realizada observación no participante.

Durante la prueba con uno de los niños, el terapeuta encontró algunas falencias en la habilidad de discriminación, ya que el niño no relacionaba correctamente el animal cuyo sonido acababa de emitirse, después de algunos intentos el niño adquirió cierta destreza y logró completar exitosamente la actividad.

Un segundo niño no deseaba realizar las actividades que el terapeuta le indicaba, debido a la patología propia que presenta, pero cuando observó la aplicación de RA su comportamiento cambio totalmente mostrándose muy interesado y participativo, lo cual facilitó el trabajo de la fonoaudióloga durante la sesión de terapia.

Finalmente, un tercer niño desempeñó exitosamente las instrucciones que fueron indicadas manejando la Tablet. Este nivel de agilidad el niño lo tenía porque tiene contacto comúnmente con dispositivos móviles, especialmente con Tablets.

A partir del trabajo de campo realizado y la puesta a prueba de la aplicación con los niños y los terapeutas de la institución es posible concluir que:

- El uso de técnicas de RA en dispositivos móviles aplicadas en el caso de estudio, permitió mejorar la participación y la motivación de los pacientes en las sesiones de terapia, debido a que mostraron un alto grado de interés en utilizar este tipo de tecnologías.
- Dado que las herramientas utilizadas en las sesiones de terapia en su mayoría no realizan una integración sensorial lo suficientemente plena, es presentada una propuesta a los fonoaudiólogos que consiste en una aplicación Android que hace uso de técnicas de RA, cuyos resultados arrojaron que este tipo de tecnologías generan un impacto positivo en los procesos de tratamiento, ya que realizan una integración sensorial más acorde a las necesidades que los pacientes requieren.
- Las sugerencias y comentarios recibidos durante la implementación de este tipo de tecnologías fueron positivos, porque según los fonoaudiólogos encuestados, además de que la aplicación desarrollada es utilizada para mejorar el tratamiento de alteraciones auditivas, no necesariamente los TPAC, puede aplicarse también a reforzar problemas presentes en otro tipo de población como es el caso de pacientes con problemas de aprendizaje, ya depende del especialista encargado el uso que le desee dar a la aplicación.
- Finalmente el grado de aceptación y usabilidad que arrojó el uso de este tipo de tecnologías en el caso de estudio fue alto, inclusive los resultados obtenidos permiten concluir que los fonoaudiólogos que participaron recomiendan el uso de la tecnología para mejorar el tratamiento de las alteraciones auditivas además del PAC.

## 6.4. TRABAJOS FUTUROS

---

- Dentro del proceso de soporte de la habilidad denominada lateralización y localización del sonido, podría enriquecerse la experiencia a través del manejo, desde la aplicación de RA, de dispositivos periféricos con más de 2 canales.
- Es sugerido el uso de otros dispositivos de RA, alternativos a los dispositivos móviles Android como por ejemplo las Google Glass o la RA espacial, que permitan determinar las ventajas o desventajas de su uso en la experiencia del paciente y su impacto en tratamientos para problemas auditivos.
- Desarrollo de investigación bajo otras tecnologías de RA, diferentes a los patrones de disparo de software de RA tratados en este trabajo, como por ejemplo la Geolocalización, la interacción con Internet, detección de objetos reales o reconocimiento de rostros.
- Usar técnicas de gamificación para incluir niveles de dificultad y puntajes en cada habilidad, además de más modelos de objetos y animales en 3D, que proporcionen más sonidos y animación en los elementos aumentados para enriquecer la experiencia del usuario.
- Complementar el trabajo con otras habilidades relacionadas con el lenguaje o el habla que también son tratadas por fonoaudiólogos.
- Analizar los criterios de selección tratados en este trabajo para escoger un SDK, bajo otros sistemas operativos u otros ambientes de aplicación.
- Considerar otros retos de investigación como la innovación tecnológica en pacientes ciegos y sordos.
- Implementar dentro de la aplicación la Tabla de Propiedades Psicométricas especificadas en el ANEXO C, ya que permitiría evaluar a través de puntajes las habilidades específicas del PAC.
- Implementar un sistema en red que pueda sincronizarse con la aplicación de RA para llevar un registro y control de las actividades realizadas por el paciente en cada habilidad evaluada, así como un historial que muestre las dificultades y destrezas adquiridas en cada habilidad, con el objetivo de permitir comparar estos valores para otros pacientes con alteraciones similares.
- Permitir el reconocimiento de targets almacenados en bases de datos alojadas en internet, para enriquecer las temáticas tratadas en cada habilidad con mayor contenido y explorar de esta forma nuevos campos semánticos.

## 7. REFERENCIAS

- [1] M. R. Turró, "Evolución y tendencias en la interacción persona-ordenador," *El profesional de la información*, vol. 14, no. 6, pp. 414–422, 2005
- [2] J. Abascal and R. Moriyón, "Tendencias en interacción Persona-Computador", *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 6, no. 16, 2002.
- [3] D. W. F. Van Krevelen and R. Poelman, "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations," *International Journal of Virtual Reality*, vol. 9, no. 2, p. 1, 2010
- [4] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377, Enero. 2011.
- [5] Escuela Colombiana de Rehabilitación, "¿Que es Fonoaudiología?". Disponible en: <http://www.ecr.edu.co/nuestros-programas/carreras-profesionales/fonoaudiologia>. Consultado: Mayo 23, 2013.
- [6] "Fonoaudiología", Disponible en: <http://areasdelafonoaudiologia.blogspot.com/2011/04/audiologia.html>, Consultado: Mayo 23, 2013.
- [7] O. Cañete S, "Desorden del procesamiento auditivo central (DPAC)". *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 66(3), 263-273. Diciembre 2006, Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-48162006000300014&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-48162006000300014](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48162006000300014&lng=es&tlng=es.10.4067/S0718-48162006000300014). Consultado: Septiembre 27, 2014.
- [8] K. A. Aziz, N. A. A. Aziz, A. M. Yusof, and A. Paul, "Potential for Providing Augmented Reality Elements in Special Education via Cloud Computing", *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 333-339, 2012.
- [9] J. De la Torre Cantero, N. Martin-Dorta, J. L. Saorín Pérez, C. Carbonel Carrera, y M. Contero González, "Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional", *RED. Revista de Educación a Distancia*. Número, vol. 37, 2013.
- [10] Gartner Group, "Interpreting Technology Hype", *Methodologies*. Disponible: <http://www.infoq.com/news/2012/08/Gartner-Hype-Cycle-2012>. Consultado: Mayo 19, 2013.
- [11] D. M. Folleco y E. A. Concha, "Procesamiento de la gramática de contexto de una aplicación móvil basada en voz para clientes android usando ontologías de dominio", *Universidad del Cauca, Trabajo de Grado, Área Ingeniería Telemática, Popayán, Marzo de 2012*.
- [12] S. Cheesman de Rueda, S. Anckermann, "Conceptos básicos de investigación", *Universidad de San Carlos de Guatemala, Enero 2014*
- [13] C. E. Serrano, *Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería*, Popayán, Universidad del Cauca, 2 ed, 2008.
- [14] C. E. Serrano, "Modelo para la Investigación Documental", *Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería*, Popayán, Universidad del Cauca, 2 ed, pp. 12-20, 2008.
- [15] C. E. Serrano, "Modelo para la Construcción de Soluciones", *Modelo Integral para el Profesional en Ingeniería*, Popayán, Universidad del Cauca, 2 ed, pp. 43 - 58, 2008.
- [16] ASALFA, "Normas de organización y funcionamiento del Área de fonoaudiología de los establecimientos Asistenciales". Disponible en: ASociación Argentina de Logopedia Foniatria y Audiología (ASALFA).
- [17] Fundación Valle del Lili, "Fonoaudiología", Disponible en: [http://www.valledellili.org/sitiop/index.php?option=com\\_content&view=article&id=505&Itemid=22](http://www.valledellili.org/sitiop/index.php?option=com_content&view=article&id=505&Itemid=22), Consultado: Mayo 23, 2013.
- [18] A.M. Pineda, J.L. Parra, G.A. León, J.C. Oliveros, A. S. Guerrero and L.J. Gómez, "Protocolo de Evaluación de Habilidades Especificas del Procesamiento Auditivo Central (PEHEPAC)", *Guía para la aplicación, Corporación Universitaria Iberoamericana, Trabajo de postgrado*.
- [19] J. Katz, N.A Stecker and D. Henderson, D. "Introduction to central auditory processing". In J. Katz, N.A. Stecker & D. Henderson (Eds.), *Central auditory processing: A Transdisciplinary view* St. Louis: Mosby Year Book Inc.,pp. 3-8, 1992.

- [20] Programa Infantil de Phonak, "Intervención en los Trastornos del Procesamiento", Artículos, Disponible en: [http://www.phonak-pip.es/trastornos\\_auditivos.asp?idc=5](http://www.phonak-pip.es/trastornos_auditivos.asp?idc=5). Consultado: Mayo 23, 2013.
- [21] B. Jutras, M. Loubert, J.-L. Dupuis, C. Marcoux, V. Dumont, and M. Baril, "Aplicación de modelos en el trastorno del procesamiento auditivo central," *CLAVE*, vol. 3, no.5, pp. 1-2, Septiembre-Octubre, 2012. Disponible en: [http://www.oiresclave.org/index.php?option=com\\_acymailing&ctrl=archive&task=view&mailid=72&key=e84fda10e7d5d4318c290620a9f65138](http://www.oiresclave.org/index.php?option=com_acymailing&ctrl=archive&task=view&mailid=72&key=e84fda10e7d5d4318c290620a9f65138), Consultado: Enero 14, 2014.
- [22] I. Sutherland. "A head-mounted three dimensional display". In Proc.FJCC 1968, pages 757–764. Thompson Books, 1968.
- [23] H. Salmi, A. Kaasinen, and V. Kallunki, "Towards an Open Learning Environment via Augmented Reality (AR): Visualising the Invisible in Science Centres and Schools for Teacher Education", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 45, pp. 284-295, 2012.
- [24] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [25] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [26] R. Garrido and A. García-Alonso, "Técnicas de interacción para sistemas de realidad aumentada," in *Proceedings of 2nd Annual Meeting, JOREVIR*, 2008
- [27] G. E. Jaramillo, "Corrección del error en el proceso de registro en los sistemas de realidad aumentada utilizando técnicas heurísticas", Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2011.
- [28] M. J. Miller, "Emerging Technologies at Gartner: Augmented Reality, Robots, and Fluid User Interfaces," PCMAG, October 2010
- [29] Sembassy, "Gartner Hype Cycle 2012", Yearly: 2011. Disponible en: <http://sembassy.com/2011/10/gartner-hype-cycle-2012/>. Consultado: Mayo 19, 2013.
- [30] ABI Research, "Augmented Reality Eyewear Is Interface of Future, But Google's Project Glass Won't Take Us There Yet", Research News, Agosto 2012. Disponible en: <http://www.abiresearch.com/press/augmented-reality-eyewear-is-interface-of-future-b>. Consultado: Mayo 19, 2013.
- [31] Juniper Research Ltd, "Press Release: Augmented Reality Mobile Apps to Generate Nearly \$300mn in Revenues Next Year, Juniper Report Finds", Press Release, Noviembre 2012. Disponible en: <http://www.juniperresearch.com/viewpressrelease.php?pr=348>. Consultado: Mayo 19, 2013.
- [32] Metaio, "According to Gartner Inc., Augmented Reality is..." Disponible en: <http://womby.info/post/8780227354/according-to-gartner-inc-augmented-reality-is>, Consultado: Mayo 19, 2013.
- [33] R. A. Morán, "Servicios de Recomendación Contextual para Instituciones de Educación Superior Mediante Realidad Aumentada Utilizando Smartphones y Ontologías Organizacionales", Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, México, Diciembre 17 de 2012
- [34] T. Domhan, K. TIT07INA, y G. der DualenHochschule, "Augmented Reality on Android Smartphones", *Studiengangs Informations techni. Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart*, 2010
- [35] P. Renukdas, R. Ghundiya, H. Gadgil, y V. Pathare, "Markerless Augmented Reality Android App For Interior Decoration", *International Journal of Engineering*, vol. 2, n.º 4, 2013.
- [36] A. Serrano Mamolar, "Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de realidad aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas", Universidad Politécnica de Valencia, tesis de maestría, Valencia, Septiembre de 2012.
- [37] "Indra", Disponible en: <http://www.indracompany.com/>, Consultado: Abril 21, 2013.
- [38] Plan Avanza2, "Proyecto SAVIA", Disponible en: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España, Disponible en: [http://www.tecnologiasaccesibles.com/es/savia\\_index.htm](http://www.tecnologiasaccesibles.com/es/savia_index.htm). Consultado: Abril 21, 2013.

- [39] Indra, "Indra lidera un proyecto de I+D+I que aplica la realidad virtual y aumentada a la formación de personas con autismo", Comunicado de prensa, Madrid, Nov de 2011. Disponible en: [http://www.tecnologiasaccesibles.com/downloads/NP-Indra\\_Savia.pdf](http://www.tecnologiasaccesibles.com/downloads/NP-Indra_Savia.pdf), Consultado: Abril 21, 2013.
- [40] F. Zenker Castro, M. Suárez Suárez, S. Marro Cosialls, and J. J. Barajas de Prat, "La evaluación del procesamiento auditivo central: el test de dígitos dicóticos," *Revista de logopedia, foniatría y audiolología*, vol. 27, no. 2, pp. 74–85, 2007.
- [41] Espacio Logopédico, "Ayudas Informáticas para alumnos con deficiencias auditivas. Tecnologías de ayuda para el aprovechamiento de restos auditivos", Disponible en: [http://www.espaciologopedico.com/articulos/articulos2.php?Id\\_articulo=387](http://www.espaciologopedico.com/articulos/articulos2.php?Id_articulo=387) Consultado: Junio 17, 2013.
- [42] G. E. Jaramillo, J. E. Quiroz, C. A. Cartagena, C. A. Vivares, and J. W. Branch, "Mobile Augmented Reality Applications in Daily Environments," *Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia), Revista EIA*, no. 14, pp. 125–134, Dec. 2010, Disponible en: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Consultado: Marzo 28, 2013.
- [43] O. A. Sotelo and C. C. Palacios, "Integración de actividades de aprendizaje contextual en la plataforma .LRN a través de dispositivos móviles Android con soporte NFC", *Universidad del Cauca*, Trabajo de Grado, Área Ingeniería Telemática, Popayán, Septiembre de 2011.
- [44] V. A. Aguirre, "Evaluación de Tecnologías Ubicuas Para Divulgación de Avifauna Turística. Caso de Estudio Sala Ornitología Museo Natural Universidad del Cauca", *Universidad del Cauca*, Trabajo de Grado, Área Ingeniería Telemática, Popayán, Mayo de 2014.
- [45] J. F. Cadavieco, M. Á. P. Sevillano, and M. F. M. F. Amador, "Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles," *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación*, no. 41, pp. 197–210, Jul. 2012. Disponible en: EBSCOhost, Consultado: Abril 14, 2013.
- [46] G.Reitmayr, D.Schmalstieg, "Location based Applications for Mobile Augmented Reality", *Vienna University of Technology*, 2003
- [47] A.Feldman, E.M. Tapia,S. Sadi,P. Maes, C. Schmandt, "ReachMedia: On-the-move interaction with everyday objects", *iswc*, pp.52–59, Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2005
- [48] J-Y.Lee, S-H.Lee, H-M.Park, S-K. Lee; J-S Choi; J-S Kwon, "Design and implementation of a wearable AR annotation system using gaze interaction," *Consumer Electronics (ICCE), Digest of Technical Papers International Conference on*, vol., no.,pp.185,186, Enero, 2010
- [49] Google, Disponible en: <http://www.google.com/mobile/skymap/>, Consultado: Abril 14, 2013.
- [50] C. Koch, M. Neges, M. König, and M. Abramovici, "Performance Study on Natural Marker Detection for Augmented Reality Supported Facility Maintenance," in *Australasian Journal of Construction Economics and Building-Conference Series*, 2014, vol. 2, pp. 23–34.
- [51] Unity Technologies, "UNITY: Game Development Tool", Disponible en: <http://unity3d.com/>, Consultado: Octubre 23,2013.
- [52] J. F. Cadavieco, M. de F. Goulão, and A. F. Costales, "Using Augmented Reality and m-Learning to Optimize Students Performance in Higher Education," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 46, pp. 2970–2977, 2012
- [53] L. Pitt, P. Berthon, y K. Robson, "Deciding When to Use Tablets for Business Applications.", *University of Minnesota , MIS Quarterly Executive*, vol. 10, No. 3, Sep 2011. Disponible: EBSCO. Consultado: Marzo 29, 2014.
- [54] El androide libre, "Ventajas y desventajas de cada material en el peso final de tu Smartphone". Disponible: <http://www.elandroidelibre.com/2013/11/smartphones-y-tablets-a-dieta-cada-vez-mas-ligeros.html>. Consultado: Marzo 29, 2014.
- [55] Spain Movil, "Google Nexus S vs Ascend G510 vs Galaxy Note 8.0". Disponible: <http://www.spainmovil.es/compara/2102-2521-2528.html>. Consultado: Marzo 29, 2014.
- [56] Compumax, "Tablet Blue S9". Disponible: <http://www.compumax.com.co/>. Consultado: Marzo 29, 2014.



- [57] GSMArena.com, "Samsung Galaxy Tab 3 7.0 SM-T210 WiFi". Disponible: [http://www.gsmarena.com/samsung\\_galaxy\\_tab\\_3\\_7\\_0\\_sm\\_t210\\_wifi-5423.php](http://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_tab_3_7_0_sm_t210_wifi-5423.php). Consultado: Abril 04, 2014.
- [58] Institute for computer graphics and vision, "Augmented Reality SDKs". Disponible en: <http://www.icg.tugraz.at/Members/gerhard/augmented-reality-sdks>. Consultado: Febrero 19 2013.
- [59] YVision. Disponible en: <http://www.yvision.com/about-us/> Consultado: Febrero 02, 2014.
- [60] "Vuforia", Disponible en: <https://developer.vuforia.com/resources/dev-guide/vuforia-architecture>, Consultado: Enero 15, 2014.
- [61] H. Duan, "3D Relics: A Standalone Augmented Reality Mobile Application," Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, trabajo de grado, Finlandia, Mayo de 2013.
- [62] Wikitude, "Wikitude Platform and Technology Ecosystem", Disponible en: <http://www.wikitude.com/about/wikitude-technology/>, Consultado: Enero 27, 2014.
- [63] S.A. Suárez Codena, "Aplicación de realidad aumentada para Android: Look Places", Universidad Carlos III de Madrid, Proyecto fin de carrera, Julio de 2013, Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17888>, Consultado: Enero 25, 2014.
- [64] A. Rendón Gallón, "Fase de gestación", Especialización en telemática, Arquitecturas de sistemas telemáticos, Mayo de 2012.
- [65] R. H. Sampieri, C. F. Collado, P. B. Lucio, and M. de la L. C. Pérez, "Metodología de la Investigación". McGraw-Hill México, 1998. Disponible en: [http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021552/021552\\_Cap3.pdf](http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021552/021552_Cap3.pdf). Consultado: Octubre 06, 2014
- [66] EFAD, Escuela de estudios y Formación en abordaje de ADicciones y situaciones críticas asociadas, "Introducción a la metodología cualitativa y cuantitativa", Métodos de recolección de datos, Santiago de Chile, 2006.
- [67] Y. Domínguez, "El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa". Revista Cubana De Salud Pública. Disponible en: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Consultado: Octubre 6, 2014.
- [68] J. Meneses and D. Rodríguez, "El cuestionario y la entrevista.". Disponible en: [http://femrecerca.cat/sites/default/files/meneses/files/pid\\_00174026.pdf](http://femrecerca.cat/sites/default/files/meneses/files/pid_00174026.pdf). Consultado: Octubre 06, 2014
- [69] M. La Torre, M.O. Odar, J. V. Rojas, R. L. Milagros, S. P. Chavesta, "Métodos y Técnicas de Recolección de Datos", tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mongrovejo, Perú, 2007. Disponible en: <http://intranet.usat.edu.pe/campusvirtual/INV/28/40176/investigacion1469.pdf>. Consultado: Octubre 06, 2014.
- [70] M. Torres, K. Paz, and F. G. Salazar, "Métodos de recolección de datos para una investigación," Rev. Electrónica Ingeniería Boletín, vol. 3, pp. 12–20, 2006. Disponible en: <http://www.uovirtual.com.mx/moodle/lecturas/semti1/9.pdf>. Consultado: Octubre 07, 2014
- [71] J. Escobar and F. I. Bonilla-Jimenez, "Grupos focales: Una guía conceptual y metodológica," *Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología*, pp. 51–67, 2009. Disponible en: [http://elbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/cuadernos\\_hispanoamericanos\\_psicologia/volumen9\\_numero1/articulo\\_5.pdf](http://elbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/cuadernos_hispanoamericanos_psicologia/volumen9_numero1/articulo_5.pdf). Consultado: Octubre 06, 2014.
- [72] J. Murillo and C. Martínez, *Investigación etnográfica*. Madrid, 2010. Disponible en: [http://uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso\\_10/I\\_Etnografica\\_Trabajo.pdf](http://uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Curso_10/I_Etnografica_Trabajo.pdf). Consultado: Octubre 06, 2014
- [73] I. Barrio, J. González, L. Padín, P. Peral, I. Sánchez, E. Tarín, "El estudio de casos", *Metodos de investigación educativa*, Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: [https://www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Est\\_Casos\\_doc.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Est_Casos_doc.pdf). Consultado: Octubre 07, 2014.
- [74] M. E. Dulzaides, A. M. Molina, "Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proces", Abril, 2004. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es). Consultado: Octubre 07, 2014.