



Disertación

Maestría en Ingeniería Informática

Computación Móvil

## ***PERSONAL 3D AUDIO***

**Claudia Elizabeth Arcos Obando**

Leiria, Septiembre de 2017





Disertación

Maestría en Ingeniería Informática

Computación Móvil

## ***PERSONAL 3D AUDIO***

**Claudia Elizabeth Arcos Obando**

Disertación de Maestría realizada bajo la orientación del Profesor Nuno Fonseca, PhD. de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y el Profesor Walter Fuertes, PhD. de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

*Leiria, Septiembre de 2017*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Dedicatoria

---

*A los que protegen e iluminan mi camino, ángeles del cielo Yesennia Cristina Arcos Obando y Claudio Guillermo Arcos Román.*

*A los mejores maestros de mi vida Gloria Esperanza Obando Changuán y Claudio Guillermo Arcos Mafla.*

*A la amiga inseparable de mis alegrías y tristezas Diana Alexandra Arcos Obando.*

*Al dulce amor de mi vida Paúl Alejandro Álvarez Corral.*

*Ustedes la mayor inspiración para lograr mis anhelos.*

***Claudia***

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Agradecimientos

---

Querido Dios, tu amor y tu bondad es infinita, gracias de todo corazón por jamás soltarme tu mano y permitirme llegar a esta instancia del camino.

Una imperecedera gratitud aquellos principales promotores de mis sueños, quienes confían en mí, brindándome dedicación, consejos, ánimo, paciencia y sobre todo un amor único e inigualable. Mis amados padres Gloria Obando, Claudio Arcos y hermanas Yesennia, Diana.

A ti, Alejandro Álvarez por la gran calidad humana que me ha demostrado tu valioso amor, amistad y apoyo incondicional, compartiendo desvelos, tristezas y alegrías por cada triunfo en mi vida.

A los Orientadores de mi tesis Profesor Nuno Fonseca y Profesor Walter Fuertes porque ha sido un gran privilegio contar con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, los cuales han contribuido para que pueda terminar mis estudios con éxito.

Al personal del Instituto Politécnico de Leiria y de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, especialmente al Coordinador de la Maestría en Computación Móvil Profesor Carlos Grilo por facilitar el desarrollo de este proyecto y colaborar hasta el momento de su culminación.

Son tantas las personas que han formado parte de mi vida profesional y me encantaría agradecer a cada una de ellas porque sin ustedes no hubiese logrado culminar este anhelo lleno de esfuerzo, sacrificio y perseverancia.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Resumen

---

El sistema de medición de la función de transferencia relacionada con la cabeza (HRTF) se caracteriza por cómo el oído recibe un sonido desde un punto en el espacio. De esta manera se generan bases de datos que permiten que las convoluciones con sonido se reproduzcan en un formato 3D. Estos Audios 3D son percibidos por las personas de forma diferente, debido a su única forma y tamaño de la cabeza, torso y orejas. Por lo tanto, se propone personalizar la experiencia de audio a través del estudio y la calibración de varios grupos de datos de HRTF. Esto permitirá adaptar tales audios a las preferencias auditivas de cada persona, con una experiencia audiovisual en entornos simulados. Para lograr este propósito se ha utilizado el Método de Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos (OOHDM) con la implementación de una aplicación móvil en Unity 3D Game Engine con Audio 3D, que se ha obtenido de un entorno matemático denominado MATLAB. Con el fin de validar los resultados obtenidos, se ha creado un mapa de ruta de prueba y proceso de revisión. Para cada evaluación, se diseñó una prueba de clasificación computarizada (CTT) que consideró los indicadores de percepción auditiva (azimut y elevación) extraídos del conjunto de datos HTRF. Los resultados demuestran que los estudiantes de sexto y noveno nivel de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE perciben mejor el Audio 3D con HRTF Personalizado.

*Palabras claves: Audio 3D, HRTF, Personal 3D Audio, Aplicación Real 3D Audio, OOHDM.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Abstract

---

The head-related transfer function measurement system (HRTF) is characterized by how the ear receives a sound from a point in space. In this way databases are generated that allow the convolutions with sound to be reproduced in a 3D format. These 3D Audios are perceived by people differently due to their unique shape and size of head, torso and ears. It is therefore proposed to customize the audio experience through the study and calibration of several HRTF data sets. This will allow adapting such audios to the hearing preferences of each person, with an audiovisual experience in simulated environments. To achieve this purpose the Object-Oriented Hypermedia Design Method (OOHDM) has been implemented with the implementation of a mobile application in Unity 3D Game Engine with Audio 3D, which has been obtained from a mathematical environment called MATLAB. In order to validate the results obtained, a test route map and review process has been created. For each evaluation, a computerized classification test (CTT) was designed that considered the auditory perception indicators (azimuth and elevation) extracted from the HTRF data set. The results show that sixth and ninth grade students at the University of the Armed Forces ESPE perceive better the 3D Audio with Personalized HRTF.

*Keywords: 3D Audio, HRTF, Personal 3D Audio, Real 3D Audio Application, OOHDM.*

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de Figuras

---

Figura 1: Primera Idea de Audio 3D .....	3
Figura 2: Metodología OOHDM.....	6
Figura 3: Equipos Transductores .....	9
Figura 4: Audio Binaural Humano.....	10
Figura 5: Teoría Duplex por Rayleigh .....	11
Figura 6: Estructura del Pabellón Auricular.....	11
Figura 7: Sonido Estéreo Envolvente.....	12
Figura 8: Audio Binaural con audífonos .....	13
Figura 9: Cabeza de Maniquí Dummy .....	14
Figura 10: Síntesis de Audio Binaural .....	16
Figura 11: Video Juegos con audio 3D .....	17
Figura 12: Terapias Binaurales .....	18
Figura 13: ARGUS – Aplicación Binaural .....	18
Figura 14: SDK Android.....	22
Figura 15: Plataformas disponibles en Unity 3D.....	22
Figura 16: Plataformas disponibles en Unity 3D.....	25
Figura 17: Diseño Navegacional de la Aplicación.....	30
Figura 18: Arquitectura R3DA.....	32
Figura 19: Ventana de Selección de Plataforma del Proyecto .....	33
Figura 20: Interfaz de Usuario Unity .....	34
Figura 21: Configuración del Canvas.....	35
Figura 22: Ventana Escenas Unity.....	36
Figura 23: Escena Menú Principal.....	36
Figura 24: Construcción de Escena Menú Principal.....	37
Figura 25: Canvas Menú Principal.....	37
Figura 26: Selección de Prueba.....	38
Figura 27: Escena auxiliar de carga.....	38
Figura 28: Test Azimut.....	39
Figura 29: Indicador de Ángulo Azimut.....	39
Figura 30: Almacenamiento de Resultados.....	40
Figura 31: Archivo de resultados Test Azimut.....	40

Figura 32: Test Elevation.....	41
Figura 33: Indicador de Ángulo Elevation. ....	41
Figura 34: Almacenamiento de Resultados. ....	42
Figura 35: Archivo de resultados Test Elevation.....	42
Figura 36: Señal de audio. ....	43
Figura 37: Roger Pressman.....	44
Figura 38: Prueba de Seguridad.....	47
Figura 39: Ruta de Pruebas.....	49
Figura 40: El CTT de la Prueba Uno. ....	50
Figura 41: Resultados de la Prueba UNO.....	51
Figura 42: Confusión de Errores.....	52
Figura 43: El CTT De La Prueba Dos ....	53
Figura 44: Error Promedio.....	54
Figura 45: El CTT DE LA Prueba Tres.....	55
Figura 46: Mejor HRTF para Cada Persona ....	56
Figura 47: El CTT de la Prueba Cuatro. ....	56
Figura 48: Error Promedio con HRTF Personalizado ....	57
Figura 49: Comparación de la Prueba Dos y Cuatro ....	58

# Lista de Tablas

---

Tabla 1: Contenido del Archivo de Audio HRTF de un Sujeto.....	15
Tabla 2: Etapas de la Metodología OOHD.....	19
Tabla 3: Características del Sistema Operativo Android .....	21
Tabla 4: Detalle de Actores.....	25
Tabla 5: Detalle de Casos de Uso .....	26
Tabla 6: Nodo Menú Principal.....	30
Tabla 7: Nodo Prueba de Azimut.....	31
Tabla 8: Nodo Prueba de Elevación.....	31
Tabla 9: Elevación Prueba de Contenido .....	44
Tabla 10: Prueba de Interfaz de Usuario.....	45
Tabla 11: Prueba de Navegación.....	46
Tabla 12: Resultados del Mejor Audio de la Prueba Uno.....	50
Tabla 13: Resultados de Errores de Confusión .....	51
Tabla 14: Error Promedio de Confusión con HRTFs No Individualizas .....	53
Tabla 15: Mejor Conjunto de Datos de HRTF para Un Estudiante .....	55
Tabla 16: Error Promedio HRTFs Individualizas .....	57
Tabla 17: Error Promedio de la Prueba Dos y Cuatro .....	58

*oi intencionalmente deixada em branco*

# Lista de siglas

---

**APP:** Aplicación

**CIPIC:** Center for Image Processing and Integrated Computing

**CTT:** Computerized Classification Test

**CU:** Caso de Uso

**ERS:** Especificación de Requisitos de Software

**HRIR:** Head-Related Impulse Response

**HRTF:** Head Related Transfer Function

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**ILD:** Diferencias Interaurales de Nivel

**IRCAM:** Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique

**ITD:** Diferencias Interaurales de Tiempo

**OOHDM:** Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos

**R3DA:** Real 3D Audio

**RA:** Realidad Aumentada

**RF:** Requisito Funcional

**RV:** Realidad Virtual

**SDK:** Software Development Kit

**SO:** Sistema Operativo

**UML:** Lenguaje de Modelado Unificado

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

---

<b>_TOC494389981</b>	
<b>PERSONAL 3D AUDIO</b>	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>XVII</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Hipótesis	3
1.4. Antecedentes	3
1.5. Justificación e Importancia	4
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo General	5
1.6.2. Objetivos Específicos	5
1.7. Alcance	6
1.8. Metodología	6
1.9. Herramientas	7
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
2.1. Audio 3D	9
2.2.1. Funcionamiento de Audio 3D	10
2.2.2. Audio Estéreo y 3D	12
2.2.3. HRTF (Head Related Transfer Function)	13
2.2.4. HRTFs No Individualizadas	14
2.2.5. HRTFs Individualizadas	15
2.2.6. Procesamiento de Señal de Audio 3D	16
2.2.7. Áreas de Aplicación de Audio 3D	16
2.3. Ingeniería de Software	19
2.3.1. Metodología OOHDM	19
2.3.2. OOHDM en el Desarrollo de la Aplicación	20
2.4. Aplicaciones Móviles	21

2.4.2.	Software	21
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA APLICACIÓN</b>	<b>23</b>
3.1.	<b>Especificación de Requisitos de Software</b>	<b>23</b>
3.1.1.	Descripción General	23
3.1.2.	Interfaces	24
3.1.3.	Características de Usuario	24
3.1.4.	Requisitos	25
3.1.5.	Diseño Conceptual	29
3.1.6.	Arquitectura del Sistema	31
<b>4.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA APP</b>	<b>33</b>
4.1.	<b>Implementación</b>	<b>33</b>
4.1.1.	Unity 3D Game Engine	33
4.1.2.	Configuración de la Plataforma	33
4.1.3.	Interfaz de Usuario	34
4.1.4.	Creación de Escenas	36
	<b>Escena Menú Principal</b>	<b>36</b>
	<b>Escena Test Azimut</b>	<b>39</b>
	<b>Escena Test Elevation</b>	<b>40</b>
4.1.5.	MATLAB	42
4.2.	<b>Pruebas</b>	<b>43</b>
4.2.1	Prueba de Contenido	44
4.2.2	Prueba de la Interfaz del Usuario	45
4.2.3	Prueba de Navegación	46
4.2.4	Prueba de Componentes	46
	Prueba de Configuración	46
	Prueba de Desempeño	46
	Prueba de Seguridad	47
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>49</b>
5.1.	<b>Prueba Uno</b>	<b>49</b>
5.2.	<b>Prueba Dos</b>	<b>52</b>
5.3.	<b>Prueba Tres</b>	<b>54</b>
5.4.	<b>Prueba Cuatro</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO</b>	<b>60</b>

<b>6.1.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>6.2.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>61</b>
<b>6.3.</b>	<b>Trabajo Futuro</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>62</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>69</b>
	<b>ANEXO I</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO II</b>	<b>70</b>







# 1. Generalidades

---

El presente capítulo detalla la introducción, planteamiento del problema, hipótesis, antecedentes, justificación e importancia, objetivos, alcance, metodología y herramientas de software utilizadas en el proyecto.

## 1.1. Introducción

El ser humano se encuentra cada vez inmerso en un mundo tecnológico en el que, dentro de poco, sin moverse de la casa, será algo cotidiano estar unos instantes en la playa escuchando sus canciones preferidas, asistir a una clase desde su sillón como también disfrutar en otro sitio del mundo una partida de videojuego.

La tecnología causante de este escenario es la Realidad Virtual y Aumentada que se ha centrado principalmente en transmitir información tridimensional al sentido de la vista (Montan, 2002). Estudios indican que para lograr un alto nivel de realismo es necesario que las interfaces visual y auditiva se presenten de la forma más aproximada posible a como las encontraría el usuario en un escenario real (Giorgi & Moreno, 2005), ya que no es lo mismo ver la imagen de una explosión a tener que escucharla.

El ser humano cierra sus ojos cuando lo desea, mientras sus oídos siempre están atentos a ubicar una fuente sonora en el espacio (izquierda, derecha, frontal, posterior), lo cual se denomina audición binaural. La solución que más se acerca a la similitud de la audición real es la medición de HRTF (Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza) que contiene características de percepción auditiva (azimut, elevación, distancia) desde un punto en el espacio hasta un punto en el oído del individuo. Dado que esta medición es costosa en tiempo y recursos, existen proyectos que han obtenido estas medidas en forma de base de datos HRTF genéricas de libre distribución. Esto se aplica una convolución con una señal acústica cualquiera y se obtiene el Audio (Audio 3D).

Las aplicaciones que utilizan HRTF genéricas medidas mediante la cabeza de un maniquí, no necesariamente funcionan para todas las personas, debido a los distintos tamaños y formas de cabeza, torso y orejas que introducen cambios importantes en las HRTF (Asumu Elá, 2016). Éstas están propensas a provocar errores de localización de audio en personas muy diferentes al maniquí. Así que es un desafío integrar audio espacial a los entornos inmersivos. Es por este motivo que surge la necesidad de realizar este proyecto para encontrar la manera de adaptar y calibrar los conjuntos de datos binaurales existentes a las preferencias de cada persona, creando la mejor experiencia en Audio 3D.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

En el campo de los gráficos se ha realizado continuos avances tecnológicos, pero a un complemento importante como es el audio, se lo ha dejado atrás. Recientemente se está experimentando un creciente interés en el Audio 3D en entornos virtuales y aumentados que, a través de auriculares, el ser humano experimenta escenarios más reales en diversas áreas como el cine, videojuegos, simuladores, demostradores de conducción, la música mediante iPods, reproductores MP3, teléfonos inteligentes, entre otros.

Para implementar el Audio Binaural, los científicos crearon una serie de grabaciones con micrófonos en miniatura, colocados dentro de las orejas humanas (Torres, 2009) (Vásquez, 2013) o de un maniquí “Dummy Head” (Moncibays, 2011), creando un conjunto de datos de respuestas de fuentes de sonido de diversas posiciones del espacio y así el software sólo necesita aplicar el filtro en función de esa posición del conjunto de datos para crear el efecto 3D.

El problema radica en que cada persona tiene una huella acústica diferente por sus orejas, torso, cabeza de tamaño y forma variadas (Vélez, 2012). Por lo cual, si utilizo una grabación de datos de alguien con oídos ligeramente diferentes a los míos, el Audio Binaural no sonará real y pudiera sonar perfectamente real en una persona con oídos más similares.

### 1.3. Hipótesis

La aplicación de Audio 3D basada en el conjunto de datos HRTFs individualizadas aumenta la localización auditiva en las personas, en comparación con la utilización del conjunto de datos HRTFs no individualizadas.

### 1.4. Antecedentes

“La primera idea y puesta en marcha de una demostración pública con Audio Binaural, se remonta al siglo XIX” con la creación del Audio 3D (Audio Binaural) del inventor francés Clément Ader (Lange, 1881). El utilizador de este invento se colocaba las dos bocinas de teléfono, las cuales recibían señales de audio de cuarenta micrófonos, veinte de la parte derecha y otros veinte de la parte izquierda. Una en cada oreja para escuchar de una manera muy realista las obras de teatro y conciertos. Fue de gran éxito que se extendió a países como Bélgica, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos y Austria. (Ver Figura 1).



**Figura 1: Primera Idea de Audio 3D**

**Fuente:** (Lange, 1881)

Después de este éxito se realizaron estudios de Audio 3D, como el Memorandum Técnico de la NASA titulado “Sonido 3D para Realidad Virtual y Multimedia” (Begault, 1994), como también se presentan proyectos con diferentes técnicas para obtener Audio Binaural encontrado en (Naef, Staadt, & Gross, 2002) con la utilización de la técnica volumen-panning; (Valbom & Marcos, 2005) con multicanal 4.1; (Lentz, 2006) con cancelación dinámica de crosstalk; (Nishino, Mase, Kajita, Takeda, & Itakura, 1996) con

binaural mediante el uso de base de datos HRTF. Para aplicar esta técnica se han realizado varias mediciones de HRTF, como el conjunto de datos de MIT KEMAR (Gardner & Martin, 1995), CIPIC (Algazi, Duda, Thompson, & Avendano, 2001) y la que se utiliza en este trabajo la base de datos de IRCAM (Warusfel, 2003).

Los proyectos ya no sólo se preocupan por integrar Audio 3D, sino que también en que cada persona perciba el audio de manera realista, dificultándole distinguir lo virtual de lo real. Es por esta razón que Zotkin, Hwang, Duraiswami (N., J., R., & L. S., 2003) personalizan el conjunto de datos HRTF a través de la técnica de foto-antropometría, obtenida en forma manual mediante un programa propietario. (Nishino, Inoue, Takeda, & F., 2007) sintetizan las HRTF de una persona, usando una matriz de regresión lineal múltiple que relaciona la antropometría con los pesos de los componentes principales (Principal Component Analysis). (Dellepiane, Pietroni, Tsingos, Asselot, & Scopigno, 2008) calculan las HRTF utilizando una colección genérica de modelos tridimensionales de cabezas de personas y deforman los modelos hasta hacerlos coincidir con el retrato de una persona.

Hoy en día, existe mayor interés en el Audio 3D, debido al aumento de aplicaciones interactivas con Realidad Virtual y Aumentada (Ruminski, 2015) (Lindquist, Lange, & Kang, 2016) que exigen cada vez más, un alto nivel de realismo, producido por la combinación de audio y visión. Es el caso del proyecto del famoso juego Counter Strike Global Offensive que añadió una nueva opción de audio, la cual permite activar HRTF (Per Robin, 2017).

## **1.5. Justificación e Importancia**

Los humanos son capaces de escuchar el Audio 3D con dos oídos. El cerebro puede detectar la dirección del sonido, dependiendo de la posición de la fuente a través de varios indicadores auditivos como la diferencia de amplitud (ILD), tiempo de llegada entre las orejas (ITD) y los diversos pliegues del pabellón auricular (oído externo). Esta audición es esencial para percibir el mundo real (Vélez, 2012), ya que el oído es uno de los sentidos que recibe información tridimensional (González Rosas, 2003).

Ante este concepto, surge nuevamente la importancia del Audio Binaural (Asumu Elá, 2016) porque en la actualidad la mayoría de la gente escucha música mediante audífonos con sus iPods, reproductores de MP3, teléfonos inteligentes y sobre todo lograr mayor inmersión en un auge de aplicaciones con tecnología de Realidad Virtual y Aumentada. Es importante esta inmersión porque ayudan a la comprensión espacial, a mejorar el rendimiento de tareas y reducen el desorden de información (Bowman & MacMhan, 2007).

Es fundamental recordar que el HRTF es único en cada persona, por lo cual, este proyecto surge con la necesidad de ajustar el conjunto de datos a las preferencias de cada usuario a través del estudio de la técnica binaural con HRTF, que es la que más se acerca a la audición humana.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Desarrollar una aplicación móvil binaural que permita ajustar el mejor conjunto de datos de audio (HRTF) a las preferencias de cada estudiante del noveno nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y así obtener una experiencia sonora real espacial mediante audífonos.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- Revisar y documentar los conceptos teóricos acerca de aplicativos de software con filtros HRTF y Audio 3D (Binaural) para dispositivos móviles.
- Realizar el análisis, diseño, desarrollo e implementación del software utilizando la metodología OOHDM con UML.
- Crear un método de prueba para detectar rápido y fácilmente el mejor conjunto de datos HRTF para una persona en particular.
- Construir la aplicación utilizando una herramienta de modelado tridimensional.

- Evaluar y validar los resultados estadísticamente.

## 1.7. Alcance

La aplicación que se desarrollará se denomina “Real 3D Audio” con su abreviatura R3DA. Consiste en un menú de acceso con 2 opciones: inicio de pruebas y configuración:

- Inicio de Pruebas. - Esta opción indica las pruebas de audio (Azimut, Elevación), las cuales permiten almacenar el nombre y apellido con los resultados del individuo que ejecutó dicha prueba.
- Configuración. - Permite aumentar o disminuir el volumen del sonido, como también salir de la aplicación.

“Real 3D Audio” almacenará los resultados de las pruebas; se la diseñará y construirá para correr en plataforma Android desde la versión 4.1 (Jelly Bean).

## 1.8. Metodología

Para el desarrollo de esta aplicación se utilizó la Metodología de **Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos (OOHDM)** (Ver Figura 2), creada por (Schwabe & Barbosa, 1996) y a continuación se describen sus fases:



**Figura 2: Metodología OOHDM**

**Fuente:** (Pinto Moreno, 2011)

- **Obtención de Requisitos.** - Mediante el diagrama de casos de uso para obtener los requerimientos y acciones del sistema en forma clara y concisa.
- **Diseño Conceptual.** - Se construyó un modelo orientado a objetos para capturar el dominio semántico de la aplicación tomando en cuenta el papel de los usuarios y las tareas que desarrollan.
- **Diseño Navegacional.** - Se diseñará un esquema de clases de navegación específica, que refleja una vista elegida como son: nodos, enlaces; estructuras de acceso: menús, índices, guías de ruta.
- **Diseño de Interfaz Abstracta.** - Se definieron objetos de interfaz que va a observar el usuario; el camino en el que aparecerán los diferentes objetos de navegación; el objeto de interfaz que actuará en la navegación y la forma de sincronización de los objetos multimedia.
- **Implementación.** - Los objetos fueron llevados a un lenguaje de programación mediante herramientas, mecanismos y así obtener la aplicación ejecutable.

## 1.9. Herramientas

Las herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema fueron con una licencia de 30 días de prueba y en algunos casos de software libre, como son:

- Unity3D 2017 como motor gráfico.
- Adobe Photoshop y Animate CC para la edición y creación de elementos de interfaz.
- Visual Studio 2015 Express como editor del lenguaje C#.
- Matlab, herramienta de software matemático para el procesamiento de la señal de audio.
- Audacity para renderización de audio mp3.



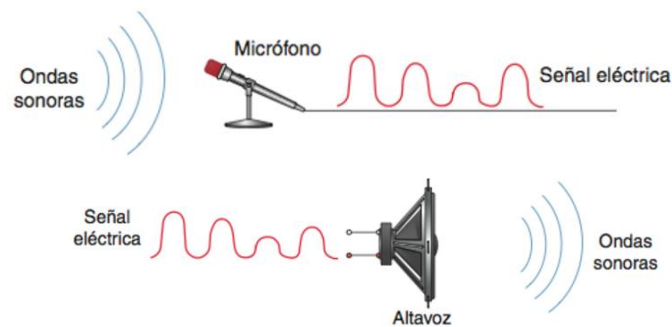
## 2. Marco Teórico

---

Este capítulo describe el marco teórico referencial que fundamenta el desarrollo de la aplicación de pruebas “Real 3D Audio”.

### 2.1. Audio 3D

En concordancia con (Pérez Vega, 2003), el audio es una señal eléctrica que se transmite en forma de ondas sonoras. Esta señal se genera al grabar sonido a través de equipos transductores como los micrófonos y fonocaptores (Ver Figura 3). Así como también reproducirla por medio de altavoces.



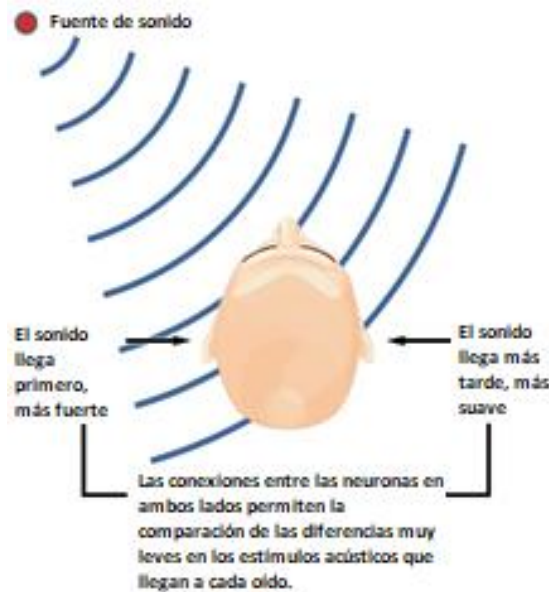
**Figura 3: Equipos Transductores**

**Fuente:** (Música y Tecnología)

Los primeros métodos de grabación y reproducción de audio fue el monofónico, el cual el sonido se graba y reproduce usando un solo canal (altavoz) (Asumu Elá, 2016). En 1931 fue presentado el sistema estereofónico que añade cierto carácter espacial al sonido y se reproduce con dos o más canales colocados alrededor del oyente. Éste no consigue simular fielmente la audición binaural humana, por lo que nace el Audio 3D. También conocido como audio tridimensional, espacial o binaural porque simula la audición del ser humano para percibir el audio por dos oídos y localizar una fuente sonora en el espacio.

### 2.1.1. Funcionamiento de Audio 3D

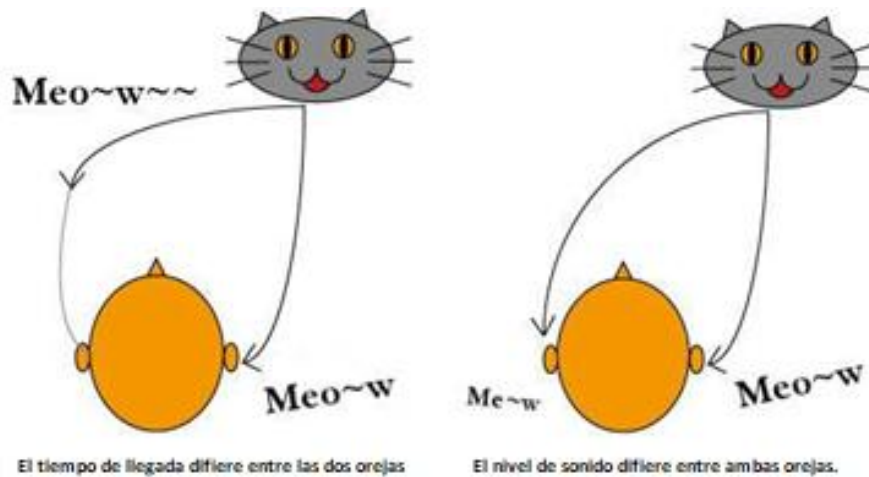
Para comprender el funcionamiento del Audio 3D es importante conocer cómo el ser humano es capaz de localizar los sonidos usando sus dos oídos, como en la Figura 4 muestra la fuente de sonido al lado izquierdo del oyente, la cual genera una onda sonora que se propaga más fuerte y rápido a la oreja izquierda antes de la derecha.



**Figura 4: Audio Binaural Humano**

**Fuente:** (Michelle, 2016)

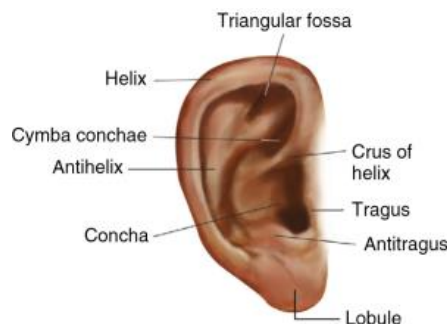
Al percibir el sonido que llega a la oreja derecha es más silencioso y retardado con respecto al de la oreja izquierda; (Rayleigh, 1896) desarrolló una teoría denominada Dúplex que establece dos indicadores fundamentales para determinar la localización de una fuente sonora, las Diferencias Interaurales de Tiempo (ITD) y las Diferencias Interaurales de Nivel (ILD) (Ver Figura 5).



**Figura 5: Teoría Duplex por Rayleigh**

Más tarde se observa que para estimar completamente la localización de una fuente sonora, no sólo se considera ITD e ILD (posición horizontal), sino también la refracción y un proceso de filtrado de la onda a través de la cabeza (Ver Figura 4), causado por la interacción acústica con el torso, la cabeza y en particular, el pabellón auricular (oído externo).

Los diversos pliegues del pabellón auricular (pinna) (Ver Figura 6) modifican el contenido de frecuencia de las señales, refuerzan algunas frecuencias y atenúan otras, de manera que depende de la dirección del sonido incidente. Así, una oreja actúa como un control de tono complicado que depende de la dirección (Blauert, 1982).



**Figura 6: Estructura del Pabellón Auricular**

**Fuente:** (Centro Auditivo Cuenca SL, 2017)

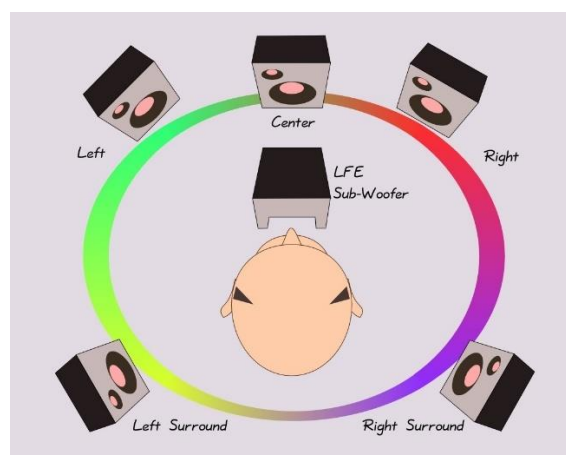
Ante este escenario el Audio 3D funciona de una manera semejante a la audición binaural humana, colocando audios alrededor del oyente a través de altavoces o audífonos.

Para obtener audios con características espaciales, existen varias técnicas de procesado de señal y reproducción sonora, como estéreo con cancelación cross-talk, ‘panning’, multicanal (ambisonics, WFS, multicanal 7.1, etc), binaurales, entre otras (Rodríguez, 2011).

Este proyecto utilizó la Técnica Binaural mediante el uso de conjunto de datos HRTFs porque a diferencia de las otras técnicas, el audio no se desplazará a ubicaciones entre los altavoces, creando imágenes fantasmas de audio dónde no hay altavoz y se pierda la sensación de realidad. Además, la reproducción de Audio Espacial no requiere mayor inversión porque se necesita sólo de un dispositivo móvil y audífonos.

### 2.1.2. Audio Estéreo y 3D

El sistema de audio estéreo fue presentado como una mejora al sistema de reproducción monofónico en 1933 por Alan Blumlein (Blumlein, 1933). Sin embargo, la reproducción en dos canales impedía imitar fielmente la escucha espacial humana, lo que llevó al desarrollo de sistemas de reproducción que utilizan más canales denominado sonido estéreo envolvente (Ver Figura 7). Éste ayudó a mejorar la percepción auditiva, pero aparecieron más limitaciones, como las posiciones del audio restringido por la cantidad de altavoces, creando fuentes fantasmas en un punto intermedio entre ellos, en dónde no existe el altavoz; incluso también es una desventaja el costo y tamaño de altavoces (Rodríguez, 2011).



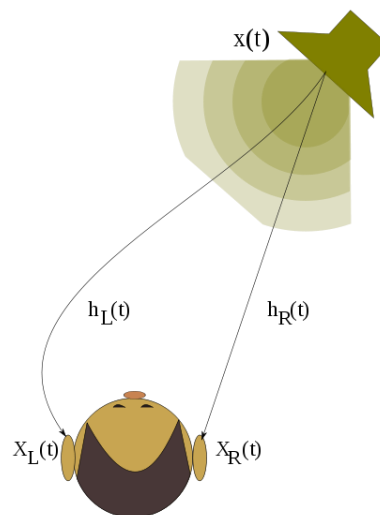
**Figura 7: Sonido Estéreo Envolvente**

**Fuente:** (Centro Auditivo Cuenca SL, 2017)

Paralelamente al desarrollo del sonido estéreo multicanal, una serie de investigaciones han revelado propiedades de la escucha humana que permiten una simulación bastante aproximada a través de técnicas de procesamiento de la señal de audio, denominados sistemas de Audio Binaural. Estos sistemas permiten reproducir sonido con características espaciales tridimensionales mediante simples audífonos, consiguiendo una experiencia más inmersiva (León, 2013), superando al sonido estéreo multicanal, porque éste puede simular infinitas posiciones de localización de audio en el espacio.

### 2.1.3. HRTF (Head Related Transfer Function)

La Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza (HRTF) es una respuesta que se caracteriza por cómo el oído recibe un sonido desde un punto en el espacio (Cheng, 1999) (Ver Figura 8). Ésta aumenta o atenúa frecuencias de HRIR (Respuesta de Impulso Relacionada con la Cabeza), es decir modifica un impulso para cada dirección de la fuente, dependiendo de la difracción por el torso, la cabeza y el oído externo (IRCAM, 2003). Por lo tanto, las HRTFs contienen información de indicadores de percepción de audio como son azimut (ángulo de la fuente horizontal), elevación (ángulo de la fuente vertical) y distancia (Wallach, 1939).



**Figura 8: Audio Binaural con audífonos**  
**Fuente:** (Centro Auditivo Cuenca SL, 2017)

Para obtener estos datos de HRTF, los científicos han realizado grabaciones binaurales que consisten en medir HRTFs a través de la inserción de micrófonos en miniatura en los conductos auditivos de un sujeto humano o un maniquí (Ver Figura 9) (Deng, Potula, & Grewai, 2013).



**Figura 9: Cabeza de Maniquí Dummy**

**Fuente:** (Alarcón, 2015)

Dado que el proceso de medida de un conjunto de datos HRTF es costoso en tiempo y recursos (Rodríguez, 2011). MIT KEMAR (Gardner & Martin, 1995), CIPIC (Algazi, Avendano, & Duda, 2001) e IRCAM (IRCAM, 2003) han publicado bases de datos de HRTF de libre distribución.

#### **2.1.4. HRTFs No Individualizadas**

Son aquellas HRTFs genéricas medidas a un grupo de individuos promedio o a maniqués con proporciones anatómicamente promediadas. Se han realizado estas mediciones para evitar el alto costo en tecnología de equipamiento, localización especial y cantidad de tiempo para grabar. Así que para el presente trabajo se tomó la base de datos de IRCAM (IRCAM, 2003) porque estas mediciones fueron realizadas a 51 sujetos en una cámara anecoica con sistemas de rotación tanto para el oyente como para el altavoz que cubre la mayor cantidad de posiciones deseadas y son confiables ya que emplean un sistema de head-tracking computarizado para asegurar la correcta posición.

IRCAM realizó 187 mediciones, las cuales contienen 10 ángulos de elevación que van desde -45 a +90 grados en incrementos de 15 grados con variables indicadas en la Tabla 1. Los ángulos azimutales varían según el ángulo de elevación de 24 muestras para una elevación de 0 ° a una sola muestra para elevaciones de 90°.

**Tabla 1: Contenido del Archivo de Audio HRTF de un Sujeto**

Name	Example
<subject_ID>	from 1000 to 1999
<status>	R for raw data
<radius>	radius in centimeters (4 digits)
<azimuth>	azimuth in degrees (3 digits, from 000 to 180 for source on your left, and from 180 to 359 for source on your right)
<elevation>	elevation in degrees, modulo 360 (3 digits, from 315 to 345 for source below your head, 0 for source in front of your head, and from 015 to 090 for source above your head)

El empleo de HRTFs no individualizadas tiene su ventaja en simular Audio 3D a menor costo porque sólo requiere síntesis binaural de la señal acústica a través de un programa, en este caso Matlab y la utilización de audífonos. Sin embargo, al utilizar esta base de datos no se logra la percepción real de audición en todas las personas, debido a las diferentes formas y tamaño del torso, cabeza y orejas, ocasionando alta tasa de error de confusión (delante/atrás) y bajo rendimiento de localización de audio (Keyrouz, 2007).

### 2.1.5. HRTFs Individualizadas

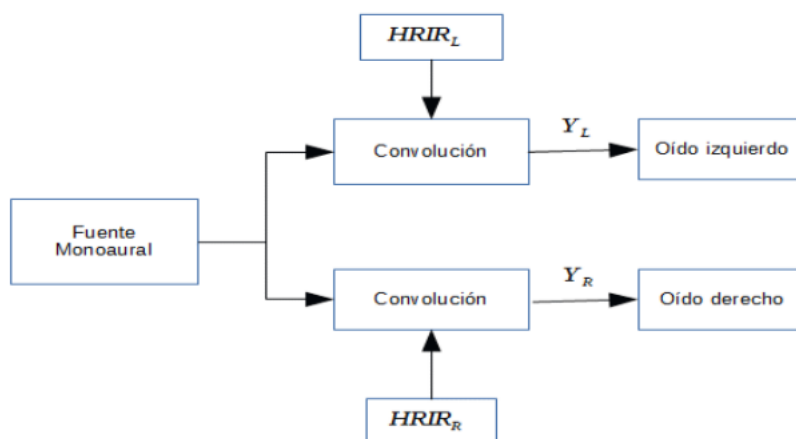
Son HRTFs únicas de cada persona que para obtener sus mediciones llevaría cantidad de tiempo y recursos en equipo e instalaciones especializadas, las cuales se vuelven limitadas para la mayoría de usuarios. Entonces es necesario encontrar un método más rápido y práctico para obtener HRTFs de cada individuo.

En trabajos como (Lyons, Gandy, & Starner, 2000) proponen investigaciones futuras de implementación de modelos individuales de HRTF como muestra Middlebrooks (J. C., 1999) las mediciones antropométricas que pueden ser utilizadas para predecir un factor de escala de frecuencia para mejorar el rendimiento de localización no individual. Zotkin (D.

Y. N. Zotkin, 2003) utilizó medidas antropométricas estimadas a partir de las fotos de los oyentes para seleccionar una mejor HRTF no individual de una base de datos. Xu (S. Xu, 2008) utiliza una técnica basada en la agrupación para mejorar el rendimiento no individual HRTF y este proyecto que se enfoca a encontrar la manera de personalizar el Audio Binaural.

### 2.1.6. Procesamiento de Señal de Audio 3D

Una de las herramientas del procesamiento de señales de audio más empleadas son los filtros (León, 2013), los cuales se emplean para eliminar el contenido frecuencial de una señal o para dividir el espectro de la señal en rangos constantes. La elección de la base de datos de IRCAM (IRCAM, 2003) implica filtros que permiten obtener el efecto 3D del audio y consiste en lo siguiente: 1. Se dispone de una fuente de sonido monoaural, 2. Se selecciona de la base de datos de HRTF, la posición en la que se quiere situar dicha fuente respecto al oyente, 3. En este caso en Matlab se realiza la convolución entre la señal de entrada (fuente monoaural) con la HRIR correspondiente a cada oído (Ver Figura 10) y de esta manera se obtiene un Audio 3D.



**Figura 10: Síntesis de Audio Binaural**

**Fuente:** (Ela-Messe, 2016)

### 2.1.7. Áreas de Aplicación de Audio 3D

El Audio 3D es utilizado en varias áreas como:

**Entretenimiento.** - Es el área que más ha aprovechado esta tecnología, esta implementada en juegos de video, realidad virtual, películas, entre otros. Un claro ejemplo está en el famoso juego Counter Strike Global Offensive que añadió una nueva opción de audio que permite activar HRTF (Per Robin, 2017) en el procesamiento de sonidos dentro del juego, el objetivo es mejorar el sonido direccional y brindar una mejor experiencia de juego, es muy recomendable usar audífonos que soporten esta tecnología.

Otra noticia muy importante para el mundo de los video juegos es la inclusión de los auriculares para PlayStation 4 con cancelación de ruido que ofrece sonido 7.1 y es ideal para usarlos junto a las gafas de realidad virtual de Sony, las PlayStation VR. De igual manera se anunció la salida de actualizaciones con mejoras de audio para incorporar sonido 3D en juegos como Uncharted 4. (Ver Figura 11).



**Figura 11: Video Juegos con audio 3D**

**Fuente:** (MERISTATION MAGAZINE, 2015)

**Medicina.** - Con ayuda de las terapias binaurales esta tecnología es de gran aporte a las personas con Parkinson ya que los terapeutas aseguran que los pacientes mejoran sus síntomas y logran un mayor bienestar.

Un estudio reciente, llevado a cabo por *Jakub Kraus* (Kraus, 2015), afirma que las ondas gama producidas por los sonidos binaurales, producen un estado alterado en la persona. Es

decir, que estos ritmos, escuchados de forma adecuada, pueden provocar un beneficio en la retención de información por parte del cerebro.

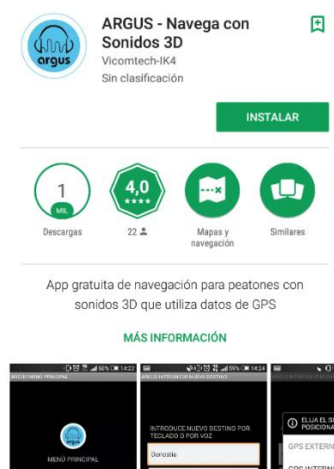
Otro ejemplo es el uso de tonos binaurales para el tratamiento de la Ansiedad y la depresión, el beneficio de esta técnica es la capacidad de hacer que el oyente se sienta relajado y tranquilo, una sensación de paz en su mente (Ver Figura 12).



**Figura 12: Terapias Binaurales**

**Fuente:** (Giorgio, 2017)

**Innovación.** - Es un área que pone esta tecnología al servicio de todas las personas que la necesitan. Vicomtech, centro vasco de investigación aplicada, ha desarrollado un sistema llamado ARGUS (Ver Figura 13), que permite a las personas invidentes moverse de forma autónoma mediante un GPS basado en sonidos 3D (Vicomtech, 2014).



**Figura 13: ARGUS – Aplicación Binaural**

**Fuente:** (Vicomtech-IK4 , 2014)

## 2.2. Ingeniería de Software

Es “la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento del software” (IEEE, 1993), es decir integra herramientas, métodos, el proceso; sustentados por la gestión de calidad para la producción del software.

En el presente trabajo se utilizó el método Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos como metodología de Ingeniería de Software.

### 2.2.1. Metodología OOHDM

Es una metodología que simplifica tareas y hace más eficaz el desarrollo de aplicaciones hipermedia. Se creó pensando en aplicaciones Web, está orientada a objetos y define adecuadas tareas para el importante proceso de análisis, diseño estructural de la navegación e interfaz, antes de su implementación. Indica los resultados que se deben obtener en cada fase del desarrollo. A corto plazo puede resultar costosa, pero a mediano y largo plazo reduce notablemente el tiempo de desarrollo al permitir la reusabilidad de diseño. Disminuye el coste de evoluciones y mantenimiento. (Mantilla Yáñez & Santos Castillo, 2007). A continuación, en la Tabla 2 se observan las etapas de la metodología OOHDM:

**Tabla 2: Etapas de la Metodología OOHDM**

<b>Etapas</b>	<b>Productos</b>	<b>Formalismos</b>	<b>Mecanismos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Obtención de Requerimientos</b>	Casos de Uso (actores, escenarios).	Plantillas del formato del documento, Diagramas de Interacción de Usuario (UIDS).	Técnicas de Observación, entrevistas.	Se crea un documento que describe actividades y requerimientos de los usuarios.
<b>Diseño Conceptual</b>	Clases, subsistemas, relaciones, atributos.	Modelos Orientados a Objetos.	Clasificación, agregación, generalización.	Se modela la semántica del dominio de la aplicación.

CONTINÚA ->

<b>Diseño Navegacional</b>	Nodos, enlaces, estructuras de acceso, contextos navegacionales, transformaciones de navegación.	Vistas Orientadas a Objetos, Cartas de navegación orientadas a objetos, clases de contexto.	Clasificación, agregación, generalización y especialización	Se tiene en cuenta el perfil del usuario y las tareas. Se enfatiza en los aspectos cognitivos. Se crea la estructura de navegación de la aplicación.
<b>Diseño Interfaz Abstracta</b>	Objetos de la interfaz abstracta, respuestas a eventos externos, transformaciones de la interfaz.	Vistas abstractas de datos (ADV), diagramas de configuración, cartas de navegación de los ADVs.	Mapeado entre la navegación y los objetos visibles.	Se modelizan los objetos visibles. Se describe la interfaz para los objetos de navegación. Se define el aspecto de los objetos de la interfaz.
<b>Implementación</b>	Aplicación en funcionamiento.	Los soportados por el entorno.	Los que provoca el entorno.	Se realiza la puesta en producción del sistema.

**Fuente:** (Schwabe & Rossi, 1998)

## 2.2.2. OOHDH en el Desarrollo de la Aplicación

Si bien es cierto, esta metodología se creó para sitios Web, también se adapta perfectamente para el desarrollo de aplicaciones móviles. Debido a no existir una metodología establecida para el desarrollo de software orientada al audio, la autora ha elegido OOHDH porque otorga gran importancia a su funcionalidad, interfaz y navegabilidad para que los usuarios comprendan fácilmente por dónde llegar al lugar deseado.

Según (Silva & Mercerat, 2002) la clave del éxito de una aplicación hipermedia se encuentra en una estructura de navegación robusta, es por este motivo que se utiliza OOHDH porque en ella se identifica los tres diferentes niveles de diseños de manera independiente de la implementación.

## 2.3. Aplicaciones Móviles

### 2.3.1. Software

Para el funcionamiento de la aplicación “Real 3D Audio” se necesita Sistema Operativo Android (Ver Tabla 3) desde la versión 4.1 y para su desarrollo se requiere un Android SDK (Software Development Kit) integrado en Unity Game Engine.

**Tabla 3: Características del Sistema Operativo Android**

---

Android	<ul style="list-style-type: none"><li>• Desarrollado por la compañía Android Inc., el cual fue adquirido por Google en el 2005.</li><li>• Basado en el Kernel de Linux.</li><li>• Es modificable y actualizable, por lo que se puede personalizar a su gusto.</li><li>• Acepta cualquier aplicación.</li><li>• Utiliza cualquier operador.</li><li>• Utiliza baterías reemplazables.</li><li>• Capacidad multitarea.</li><li>• Se desarrolla de forma abierta, por lo que se puede acceder al código fuente, como también observar las incidencias y reportar problemas nuevos.</li><li>• La oferta de teléfonos con Android es amplia y variada tanto en marcas como en precios.</li><li>• Es el más utilizado en el mundo (HTC, LG, Motorola, Samsung, Sony).</li></ul>
---------	---

---



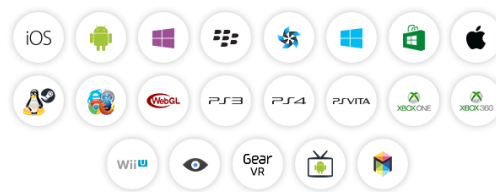
- **Android SDK** es un conjunto de herramientas de desarrollo de software que permite al programador crear aplicaciones para el Sistema Operativo Android (Ver Figura 14). Crea aplicaciones en lenguaje Java y permite usar las librerías del sistema (APIs), públicas como las privadas. Es importante porque brinda herramientas que evitan perder tiempo y esfuerzo en funciones elementales del desarrollo del software, sin descuidar la calidad del resultado final.



**Figura 14: SDK Android.**

- **Unity Game Engine** es una plataforma de desarrollo flexible y poderosa para crear juegos y experiencias interactivos 3D y 2D multiplataforma (Ver Figura 15). Es un ecosistema completo para todo aquel que busque desarrollar un negocio a partir de la creación de contenido de alta gama y conectarse con sus jugadores y clientes más fieles y entusiastas.

COMPILE UNA VEZ, **DESPLIEGUE EN CUALQUIER LUGAR**



**Figura 15: Plataformas disponibles en Unity 3D.**

**Fuente:** (Unity Game Engine , 2017)

Existen en el mercado otras herramientas como UDK de Epic Games o CryEngine de Crytek. Sin embargo, una de las ventajas que se obtiene con Unity 3D es que no depende de Windows para poder realizar el desarrollo, ya que dispone la versión para Windows y Mac, accesible al público en diferentes versiones, gratuita y profesional, cada cual con sus ventajas y limitaciones.

Se utilizará esta herramienta porque incorpora una gran cantidad de utilidades y características a la hora de crear y manejar contenidos gráficos.

## 3. Análisis y Diseño de la Aplicación

---

Este capítulo presenta la Especificación de Requisitos de Software (ERS) y la aplicación de la metodología OOHDm en el diseño conceptual de la aplicación “Real 3D Audio”.

### 3.1. Especificación de Requisitos de Software

La Especificación de Requisitos de Software (ERS) se ha desarrollado siguiendo las directrices de la Ingeniería de Software para la implementación de una aplicación de pruebas de Audio 3D, utilizando el conjunto de datos de HRTFs generales y personalizados. Se utilizó la IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specification y la ANSI/IEEE std. 830, 1998.

El presente apartado tiene como propósito formalizar de manera clara y precisa los requerimientos, los cuales servirán como base para el funcionamiento de la aplicación.

#### 3.1.1. Descripción General

En este apartado se describe la perspectiva del producto:

- Este software formará parte del realismo de la percepción auditiva en entornos inmersivos.
- El software se desarrollará para la plataforma Android que correrá desde la versión 4.1 (Jelly Bean).
- La aplicación tendrá una interfaz gráfica amigable, llamativa y de fácil acceso para realizar de la mejor manera las pruebas y personalizar el audio 3D.
- Requerimientos mínimos de Hardware.
- El sistema informático almacenará información.

### 3.1.2. Interfaces

Las interfaces de la aplicación son de:

- **Usuario:** El usuario necesitará del SO Android para instalar el .apk y acceder a su interfaz.
- **Hardware:** Para acceder a la aplicación se necesitará de un dispositivo móvil como un smartphone o Tablet y la utilización de audífonos para realizar las pruebas.
- **Comunicaciones:** No necesita de Internet para acceder al sistema.
- **Externas:** Para acceder a la aplicación, se deberá habilitar en administración del dispositivo la opción que permita la instalación de aplicaciones provenientes de fuentes desconocidas y después instalar el .apk de “Real 3D Audio”.

### 3.1.3. Características de Usuario

Los usuarios de esta aplicación deben estar familiarizados con el manejo de aplicaciones en dispositivos móviles. Es por ello que el software será gráfico, con una interfaz sencilla e intuitiva y con un complemento que es el audio, de esta manera no exigirá gran tiempo para su aprendizaje. Entre las suposiciones y dependencias se pueden mencionar:

- El software se implementaría con el lenguaje C# en la plataforma Unity y el archivo ejecutable a entregar correrá en cualquier dispositivo con SO Android desde la versión 4.0.
- El sistema dependería de la utilización de audífonos para encontrar el mejor conjunto de datos HRTFs para cada persona.
- Agregaría nuevas funcionalidades a las ya definidas anteriormente.
- Cambiaría en la forma de evaluar el audio 3D.

### 3.1.4. Requisitos

En este apartado se presentan los requisitos: funcionales, no funcionales, de rendimiento y futuros que deberán ser satisfechos por el sistema informático. Todos los requisitos aquí expuestos son esenciales para su desarrollo. Las funciones que deberá realizar la aplicación son las siguientes:

#### Requisitos Funcionales

Para los requisitos funcionales se ha diseñado la Especificación de Casos de Uso con el lenguaje de programación unificado UML.

- **Especificación de Casos de Uso**

En el siguiente diagrama se indica la relación que existe entre los actores y las opciones (Ver Tabla 4) de la aplicación RS (Ver Figura 16).

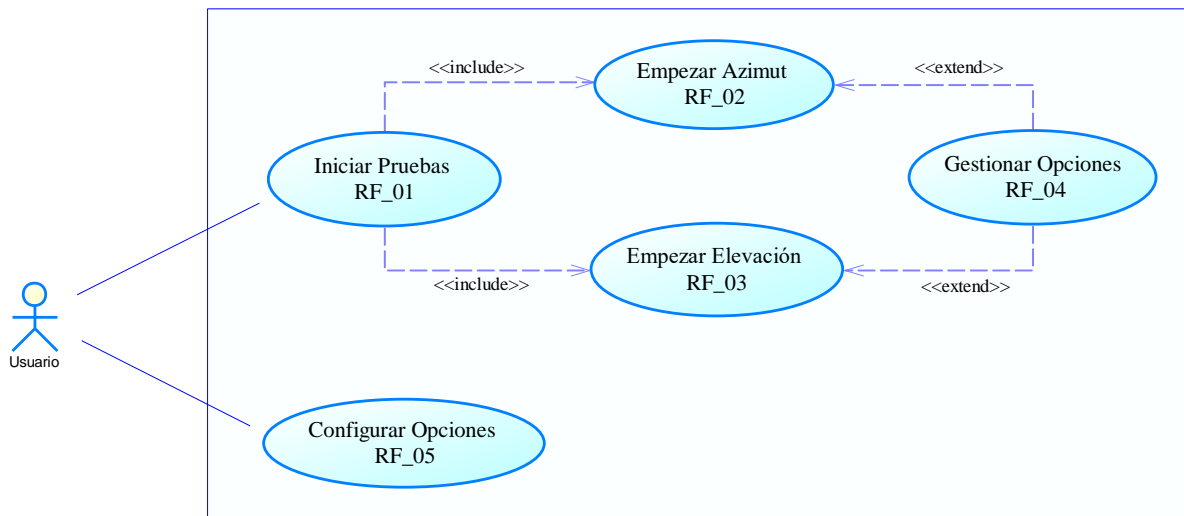


Figura 16: Plataformas disponibles en Unity 3D.

Tabla 4: Detalle de Actores

<b>Actor:</b>	Usuario: Joven
<b>Descripción:</b>	Persona que va interactuar con la aplicación, permitiendo acceder a las opciones de pruebas de audio que ofrece el sistema.

La Tabla 5 indica código, descripción, precondition, secuencia normal, excepción y post condición de cada caso de uso de la aplicación.

**Tabla 5: Detalle de Casos de Uso**

<b>DETALLE DE CASOS DE USO</b>	
<b>Código</b>	RF_01
<b>Caso de Uso:</b>	<b>Iniciar Pruebas</b>
<b>Descripción:</b>	Indica las opciones de prueba de audio Azimut y Elevación.
<b>Precondición</b>	No aplica
<b>Secuencia Normal</b>	Acción
<b>1</b>	El actor selecciona la opción de prueba Azimut.
<b>2</b>	El sistema presenta una descripción de la prueba.
<b>3</b>	El actor continúa a la ejecución de la prueba.
<b>4</b>	La aplicación muestra las opciones de Iniciar (CU RF_02) y Configurar (CU RF_03).
<b>Post Condición</b>	El actor puede regresar al menú principal o empezar la prueba.
<b>Excepción</b>	Acciones
<b>1, 4</b>	Si el actor selecciona la prueba Elevación, la aplicación muestra las opciones de Iniciar (CU RF_04) y Configurar (CU RF_03).
<b>3</b>	Si el actor no continúa con la ejecución de la prueba, regresa al paso 1 de la Secuencia Normal.
<b>Código</b>	RF_02
<b>Caso de Uso:</b>	<b>Empezar Prueba Azimut</b>
<b>Descripción:</b>	Permite al actor escuchar e identificar la posición del audio 3D en forma horizontal.
<b>Precondición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caso de uso Iniciar Pruebas (CU RF_01).</li> <li>- El actor debe colocarse audífonos.</li> <li>- El número de audios 3D que se presenta, depende si es la prueba 1, 2, 3 o 4 (VER ANEXO).</li> </ul>
<b>Secuencia Normal</b>	Acción.
<b>1</b>	El actor inicia la prueba
<b>2</b>	La aplicación reproduce un audio 3D en forma aleatoria.
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En form horizontal, el actor selecciona la posición de dónde percibe el audio.</li> </ul>

**CONTINÚA ->**

<b>4</b>	Confirma el actor la posición de audio seleccionado.
<b>5</b>	Se repite el número de veces la Secuencia Normal 2 y 3, dependiendo de la prueba que se realice (ANEXO I).
<b>6</b>	Escribe el actor, su nombre y apellido.
<b>7</b>	El actor guarda la prueba con sus datos.
<b>Post Condición</b>	El actor debe continuar con la prueba Elevación.
<b>Excepciones</b>	Acciones
<b>2</b>	El Caso de Uso Gestionar Opciones (CU RF_03)
<b>Código</b>	RF_03
<b>Caso de Uso:</b>	<b>Gestionar Opciones</b>
<b>Descripción:</b>	Presenta al actor las opciones de sonido, menú principal y salir.
<b>Precondición</b>	Caso de uso Empezar Azimut (CU RF_02) o Caso de Uso Empezar Elevación (CU RF_04).
<b>Secuencia Normal</b>	Acción
<b>1</b>	La app presenta opciones como: sonido, menú principal y salir.
<b>2</b>	El actor puede bajar o desactivar el sonido, ir a CU RF_01 y CU RF_05, como también cerrar la aplicación.
<b>3</b>	El sistema responderá de acuerdo con la selección dada por el actor. Si el sistema captura bajar el sonido, este disminuye. Si se desactiva se elimina el audio. Si el sistema captura menú principal, se presentará Iniciar Pruebas (CU RF_01) y Configurar Opciones (CU RF_05). Si el sistema captura Salir, finaliza la aplicación.
<b>Post Condición</b>	No aplica
<b>Excepciones</b>	Acción
	No aplica
<b>Código</b>	RF_04
<b>Caso de Uso:</b>	<b>Empezar Prueba Elevación</b>
<b>Descripción:</b>	Permite al actor escuchar e identificar la posición vertical del audio 3D.
<b>Precondición</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caso de uso Iniciar Pruebas (CU RF_01).</li> <li>- El actor debe colocarse audífonos.</li> <li>- El número de audios 3D que se presenta, depende si es la prueba 1, 2, 3 o 4 (ANEXO I).</li> </ul>
<b>Secuencia Normal</b>	Acción.
<b>1</b>	El actor inicia la prueba <b>CONTINÚA -&gt;</b>

2	La aplicación reproduce un audio 3D en forma aleatoria.
3	El actor selecciona la posición en forma vertical de dónde percibe el audio.
4	Confirma el actor la posición de audio seleccionado.
5	Se repite el número de veces la Secuencia Normal 2 y 3, dependiendo de la prueba que se realice (ANEXO I)
5	Escribe el actor, su nombre y apellido.
7	El actor guarda la prueba con sus datos.
<b>Post Condición</b>	El actor puede regresar al menú principal o elegir la opción salir.
<b>Excepciones</b>	Acción
<b>Post Condición</b>	El actor debe regresar al menú principal si no ha realizado la prueba Azimut (CU RF_02).
<b>Código</b>	RF_05
<b>Caso de Uso:</b>	<b>Configurar Opciones</b>
<b>Descripción:</b>	Presenta al actor las opciones de sonido y salir
<b>Precondición</b>	No aplica.
<b>Secuencia Normal</b>	Acción.
1	La app presenta opciones de sonido y salir.
2	El actor puede bajar o desactivar el sonido, como también cerrar la aplicación.
3	El sistema responderá de acuerdo con la selección dada por el actor. Si el sistema captura bajar el sonido, este disminuye. Si se desactiva se elimina el audio en toda la aplicación. Si el sistema captura Salir, finaliza la aplicación.
<b>Post Condición</b>	No aplica
<b>Excepciones</b>	Acción
	No aplica.

### Requisitos No Funcionales:

- **Fiabilidad.** - Las escenas de la aplicación presentarán las validaciones correspondientes de acuerdo con la función que debe realizar cada opción.
- **Usabilidad.** - El entorno de la aplicación será amigable, atractiva y de fácil manipulación para que el usuario realice de la mejor manera las pruebas de audio 3D.

- **Mantenibilidad.** - La aplicación al ser construida por escenas, presentará facilidad de modificar o aumentar su funcionalidad como el incremento de otras pruebas de audio 3D.
- **Portabilidad.** - La aplicación “Real 3D Audio” funcionará en cualquier dispositivo móvil que disponga de Sistema Operativo Android a partir de la versión 4.1 (Jelly Bean).

### **Requisitos de Rendimiento**

- Para una mejor renderización de audio e imágenes de la aplicación, se necesitará el SO Android igual o mayor a la versión 4.1 (Jelly Bean).
- Para un mejor rendimiento de la aplicación de pruebas se utilizarán audios .wav con un tamaño menor a 1MB.
- Se utilizarán formato mp3 para la ambientación y carga rápida de las escenas y el formato .wav para mejores resultados en las pruebas de la aplicación.
- Para la construcción de toda la interfaz gráfica se utilizará imágenes en sprites (mapa de bits), de esta forma se reduce el tiempo de procesamiento para las imágenes y las escenas se cargarán con rapidez.
- Al ingresar a otra escena de la aplicación, se deshabilitará los procesos de la anterior, para un funcionamiento fluido

### **3.1.5. Diseño Conceptual**

En este apartado se utiliza la segunda etapa de la metodología OOHD, en donde se modela la semántica del dominio de la aplicación como son Diseño Navegacional, Diseño de Interfaz Abstracta y Arquitectura del Sistema (Ver Figura 17).

### Diseño Navegacional

- Escenas de:
- Menú Principal
- Prueba de Azimut (Test Azimut)
- Prueba de Elevación (Test Elevación)

### Contextos Navegacionales

- Iniciar la aplicación

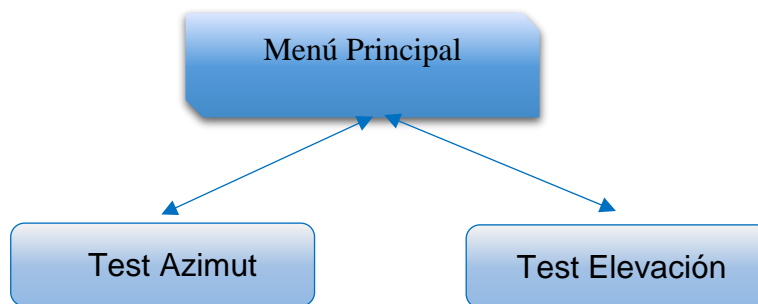


Figura 17: Diseño Navegacional de la Aplicación

### Diseño de Interfaz Abstracta

Los modelos abstractos especifican la organización y el comportamiento de la interfaz, por lo que en las Tablas 6, 7, 8 se muestran las ADVs (Vista de Datos Abstracta).

### Vista de Datos Abstracta

Tabla 6: Nodo Menú Principal

---

#### ADV Nodo Menú Principal

##### ADV Nodo Iniciar Pruebas (Start)

<Sonido>

<Salir>

**Tabla 7: Nodo Prueba de Azimut**

---

<b>ADV Nodo Prueba de Azimut (Test Azimut)</b>
<b>Concepto de Azimut</b> <Iniciar> <Regresar Menú> <Guardad Resultados>

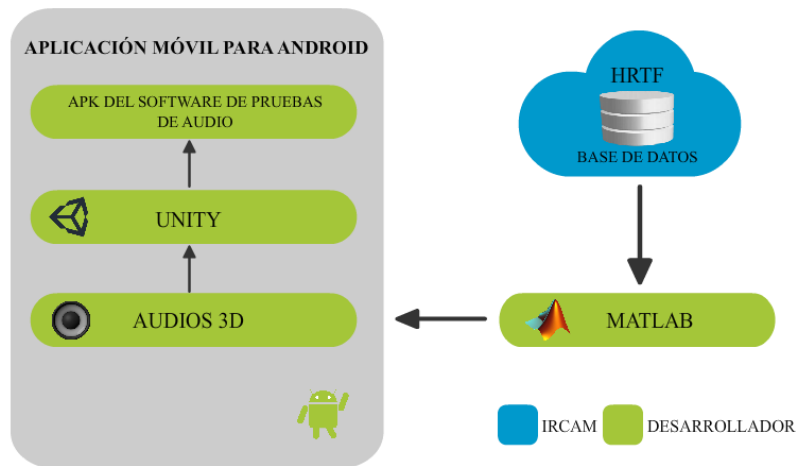
**Tabla 8: Nodo Prueba de Elevación**

---

<b>ADV Nodo Prueba de Elevación (Test Elevation)</b>
<b>Concepto de Elevación</b> <Iniciar> <Regresar Menú> <Guardad Resultados>

### **3.1.6. Arquitectura del Sistema**

Se ha realizado este diseño con el objetivo de tener una visión global del sistema a construir (Ver Figura 18). Se indica la plataforma donde se ejecuta la aplicación, se genera un APK, que se instala en el dispositivo móvil con sistemas basados en Android 4.0 o superior. La aplicación se desarrolló en el motor gráfico Unity 3D utilizando lenguaje de programación C #, consumiendo los archivos de audio enviados por MATLAB. Estos audios contienen información del conjunto de datos IRCAM HRTF que se utilizó en la aplicación. Los audios se reproducen aleatoriamente para realizar las diferentes pruebas Azimut y Elevación.



**Figura 18: Arquitectura R3DA.**

## 4. Implementación y Pruebas de la APP

---

El siguiente capítulo detalla cómo se desarrolló la aplicación “Real 3D Audio”, las herramientas de software que se utilizó, y las diferentes pruebas implementadas para la calidad del software y la demostración de la hipótesis.

Para la implementación del presente proyecto se utilizó herramientas de programación (Unity 3D, Visual Studio), gráficas (Adobe Animation CC 2015, Photoshop CC 2015) y Matemáticas (Matlab).

### 4.1. Implementación

#### 4.1.1. Unity 3D Game Engine

Para utilizar Unity 3D se debe configurar la plataforma a la cual va a desarrollar, como en este caso es Android.

#### 4.1.2. Configuración de la Plataforma

Para configurar la plataforma en Unity se debe ingresar a File / Build Settings de la barra de menú de Unity y seleccionar la plataforma que se desea. En este caso se trabajará con Android (Ver Figura 19).

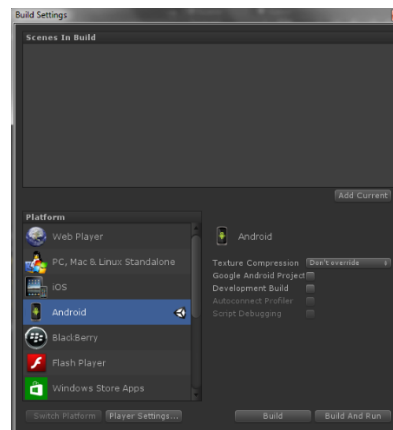


Figura 19: Ventana de Selección de Plataforma del Proyecto

### 4.1.3. Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario de Unity 3D, está compuesta por cinco áreas (a, b, c, d, e) que se observan en la Figura 20:

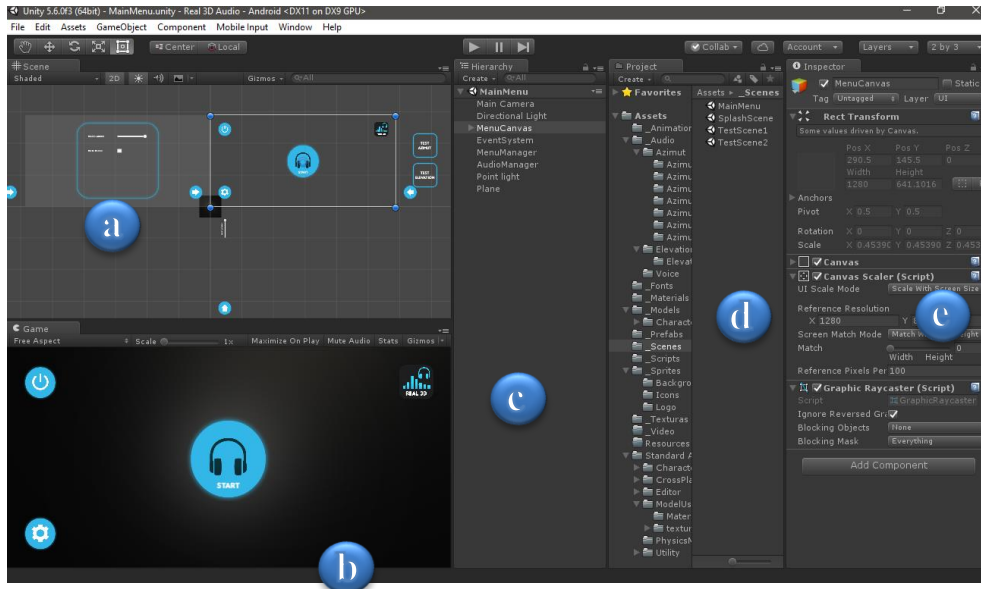


Figura 20: Interfaz de Usuario Unity

- a) **Vista de Escena (Scena View).** - Área de construcción de Unity donde se construye visualmente cada escena del juego, es decir dónde se posiciona todos los GameObjects como la cámara, texturas, botones, partículas, etc. Las escenas son las siguientes:
- Menú Principal
  - TestAzimut
  - TestElevation
- b) **Vista de Juego (Game View).** - Es la vista de juego donde se obtiene una previsualización del mismo. En cualquier momento se puede reproducir el juego y probarlo en esta vista.

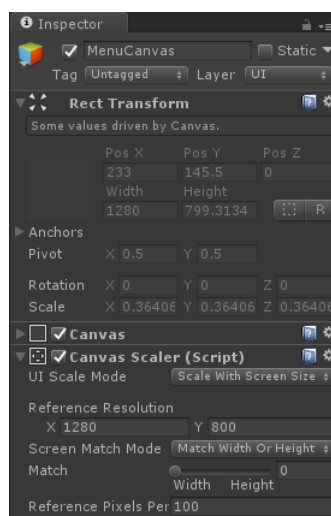
c) **Vista de Jerarquías (Hierarchy View).** - Aquí se muestra una lista de todos los objetos que hay actualmente en la escena. Por ejemplo, de la escena Menú Principal se encuentra los objetos:

- Main Camera
- Menu Canvas
- Audio Manager

d) **Vista de Proyecto (Project View).** - Muestra una lista con todos los recursos (Assets) disponibles para ser utilizados en el proyecto. En la carpeta Assets se crea subcarpetas: \_Animations, \_Audio, \_Scenes, \_Fonts, \_Images, \_Materials, \_Models, \_Prefabs, \_Scripts, \_Textures, Resources.

En esta vista se puede importar varios objetos como paquetes de Unity, texturas, scripts, archivos de audio, imágenes o prefabs. Por ejemplo, dentro de la carpeta \_Audio se encuentran los archivos mp3 que fueron generados desde MATLAB e importados a Unity.

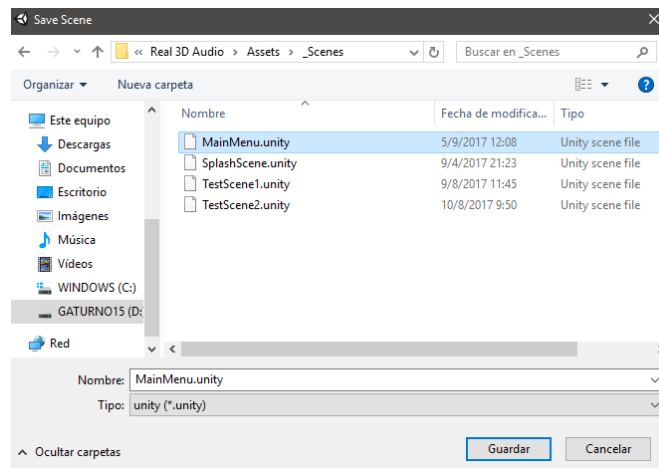
e) **Vista de Inspector (Inspector View).** - Indica una lista con todas las propiedades del objeto seleccionado que se encuentra en escena, caso contrario no mostrará nada. En la Figura 21 se observa las propiedades (position, rotation, scale, sprite, color, material) del Canvas.



**Figura 21: Configuración del Canvas.**

#### 4.1.4. Creación de Escenas

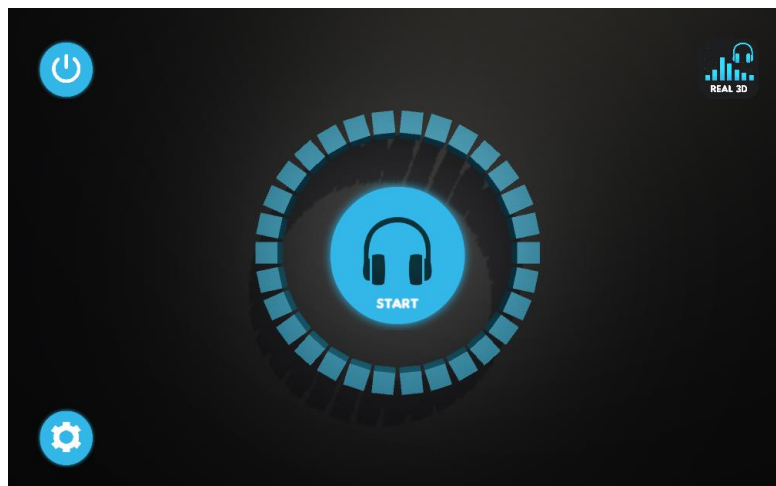
Parar crear las escenas que forman la aplicación R3DA, se lo realiza mediante la opción File / Save Scene (Ver Figura 22), en la que dentro de la carpeta \_Scenes se guarda con el nombre de la escena que se va crear:



**Figura 22: Ventana Escenas Unity.**

#### Escena Menú Principal

Es la escena inicial que contiene el menú de navegación a las diferentes escenas de la aplicación R3DA, como también a la configuración de la misma, volumen del audio y salir (Ver Figura 23).



**Figura 23: Escena Menú Principal.**

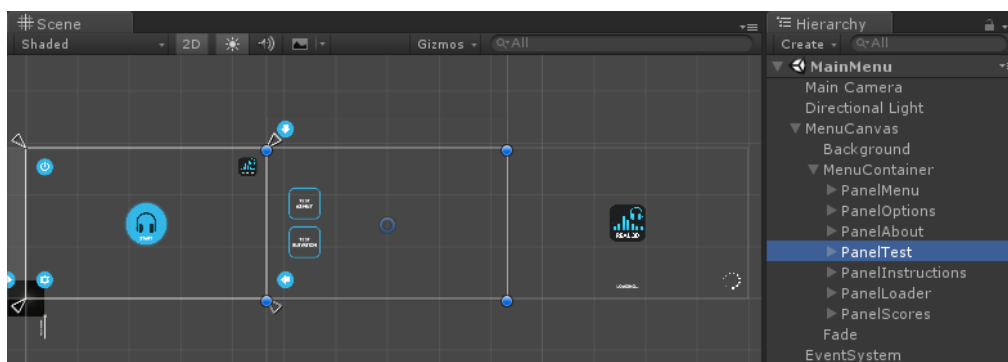
Esta escena se construyó mediante el uso de Canvas y paneles que conforman toda la escena del Menú principal, en una sola escena se tiene las diferentes opciones visuales y de configuración, de esta manera la navegación dentro de la misma es guiada por un script de programación. (Ver Figura 24).



**Figura 24: Construcción de Escena Menú Principal.**

El **Canvas** es el área donde todos los elementos UI son posicionados, es un Game Object con un componente Canvas en él, y todos los elementos UI deben ser hijos de dicho Canvas, utiliza el objeto EventSystem para el sistema de mensajes.

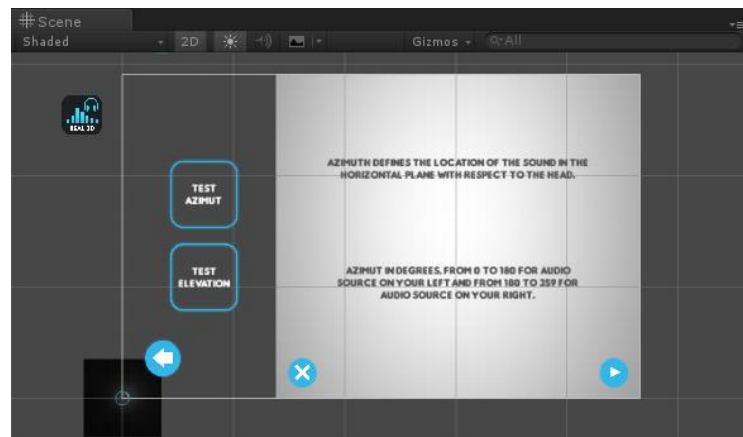
Para crear un nuevo elemento UI, como una Image (imagen) se deberá ir al menú **GameObject > UI > Image**, automáticamente creará un Canvas a menos que ya se tenga uno en la escena. El elemento UI es creado como un hijo de este Canvas. (Ver Figura 25).



**Figura 25: Canvas Menú Principal.**

El área de Canvas es visualizado como un rectángulo en la Vista de Escena, de esta manera permitirá posicionar los elementos UI sin necesidad de recurrir a la Vista de Juego todo el tiempo.

La Escenas presentará un panel de selección de Prueba, Test Azimut y Test Elevation. (Ver Figura 26).



**Figura 26: Selección de Prueba.**

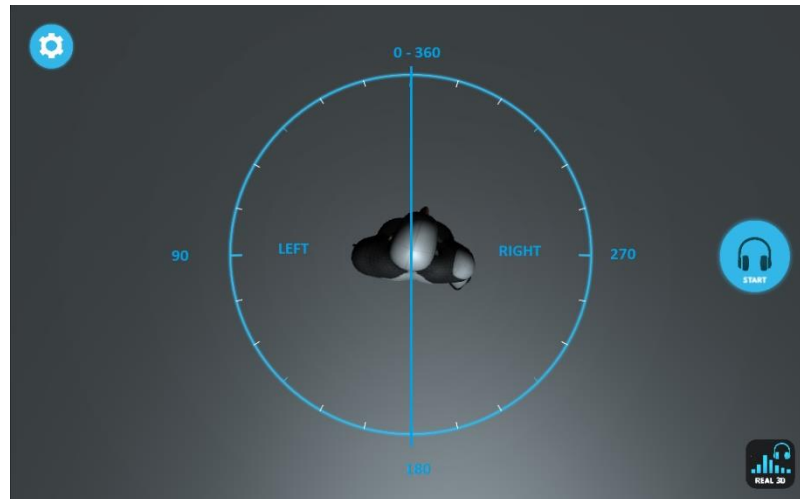
Al seleccionar una de las dos Pruebas, Test Azimut o Test Elevation el sistema presentará un panel y dará las indicaciones en formato audio que se debe colocar los audífonos para tener una mejor experiencia al realizar la evaluación. (Ver Figura 27)




**Figura 27: Escena auxiliar de carga.**

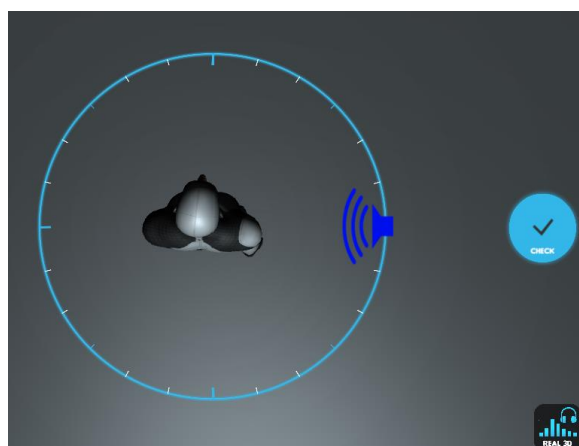
### Escena Test Azimut

Es la escena correspondiente al Test Azimut donde se evaluará la localización del audio en el plano horizontal con respecto a la cabeza de la persona, donde de 0 a 180 grados corresponde al lado izquierdo de la cabeza y de 181 a 359 grados corresponde al lado derecho de la cabeza. (Ver Figura 28).




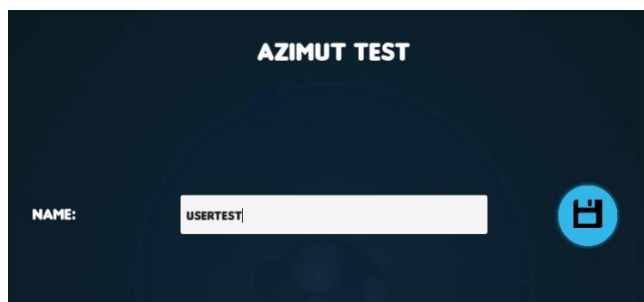
**Figura 28: Test Azimut.**

Al inicio de la escena, el sistema reproducirá un audio de las instrucciones a seguir para rendir la evaluación, se debe pulsar en el botón “Start”  para iniciar la prueba, donde 30 audios aleatorios serán reproducidos y un indicador de ángulo aparecerá para ser posicionado horizontalmente donde se percibe la ubicación del audio. (Ver Figura 29).



**Figura 29: Indicador de Ángulo Azimut.**

Se debe confirmar la respuesta haciendo click en el botón “Check” . Al finalizar la evaluación el sistema presentará una ventana donde se debe ingresar el nombre para almacenar los resultados de la evaluación en un archivo plano de texto. (Ver Figura 30).



**Figura 30: Almacenamiento de Resultados.**

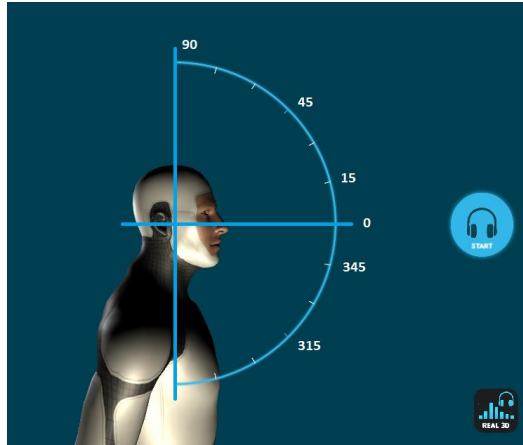
Este archivo será almacenado en una ruta dentro de la memoria interna o externa del dispositivo móvil con el nombre especificado más el nombre de la evaluación seleccionada, en este caso Azimut, archivo que será analizado posteriormente. (Ver Figura 31).




**Figura 31: Archivo de resultados Test Azimut.**

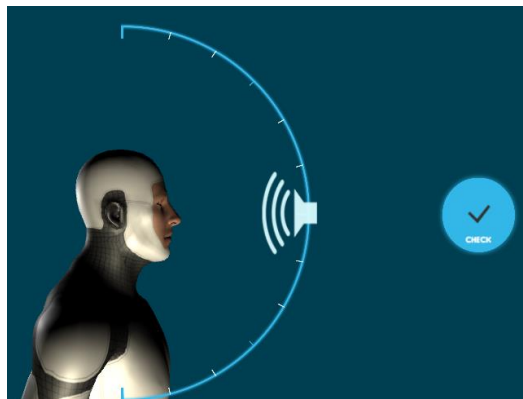
### **Escena Test Elevation**

Es la escena correspondiente al Test Elevation, se evaluará la localización del audio en el plano vertical con respecto a la cabeza de la persona, en el cual 315 a 345 grados corresponde al audio debajo la cabeza, 0 grados corresponde al audio en frente de la cabeza y de 15 a 90 grados corresponde al audio por encima de la cabeza. (Ver Figura 32).




**Figura 32: Test Elevation.**

Se debe hacer click en el botón “Start”  para iniciar la prueba, donde 20 audios aleatorios serán reproducidos y un indicador de ángulo aparecerá para ser posicionado verticalmente donde se perciba la ubicación del audio. (Ver Figura 33).



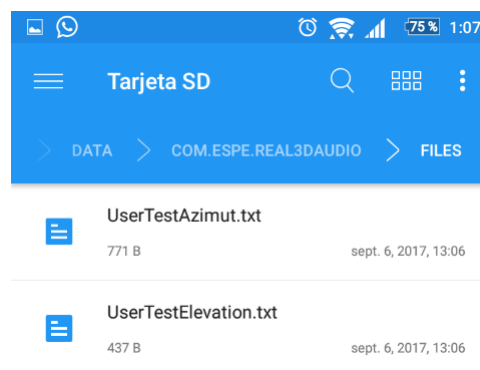
**Figura 33: Indicador de Ángulo Elevation.**

Se debe confirmar la respuesta haciendo click en el botón “Check”  Al finalizar la evaluación el sistema presentará una ventana donde se debe ingresar el nombre para almacenar los resultados de la evaluación en un archivo plano de texto. (Ver Figura 34).



**Figura 34: Almacenamiento de Resultados.**

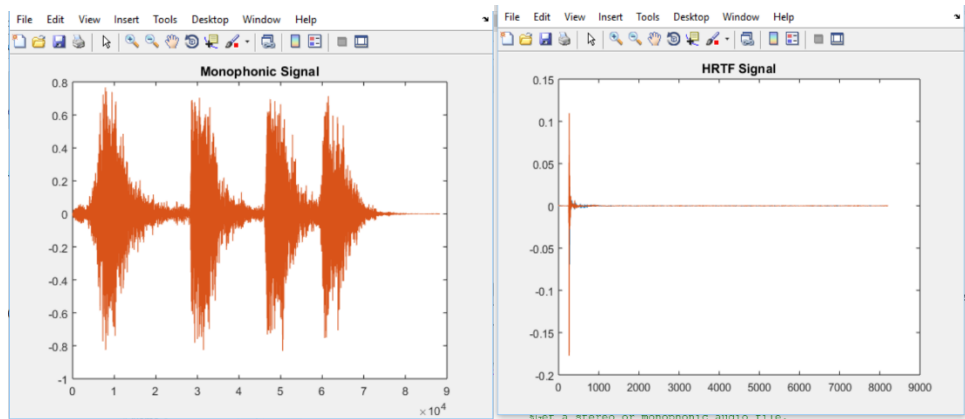
Este archivo será almacenado en una ruta dentro de la memoria interna o externa del dispositivo móvil con el nombre especificado más el nombre de la evaluación seleccionada, en este caso Elevation, archivo que será analizado posteriormente. (Ver Figura 35).



**Figura 35: Archivo de resultados Test Elevation.**

#### **4.1.5. MATLAB**

Matlab como un entorno de programación se realizó la convolución entre dos señales de audio en formato .wav (Ver Figura 36). La primera señal es un audio monofónico y la segunda señal es el conjunto de datos HRTF.



**Figura 36: Señal de audio.**

El pseudocódigo que se implementó para el procesamiento de audio 3D es el siguiente:

```

Iniciar Proceso threeDPersonalAudio
  Si audioMonoWAV Existe
    Leer file_name_open
    Leer path_name_open
  Sino
    Escribir 'Archivo no encontrado'

  Leer audioMonoWAV

  Si audioHRTF Existe
    Leer file_name_HRTF
    Leer path_name_HRTF
  Sino
    Escribir 'Archivo no encontrado'

  Leer audioHRTF de IRCAM

  Obtener audioHRTF_izq
  Obtener audioHRTF_der

  Convolutionar audioHRTF_izq con audioMonoWAV
  Convolutionar audioHRTF_der con audioMonoWAV

  Obtener audioWAV_HRTF
  Guardar audioWAV_HRTF
Fin Proceso

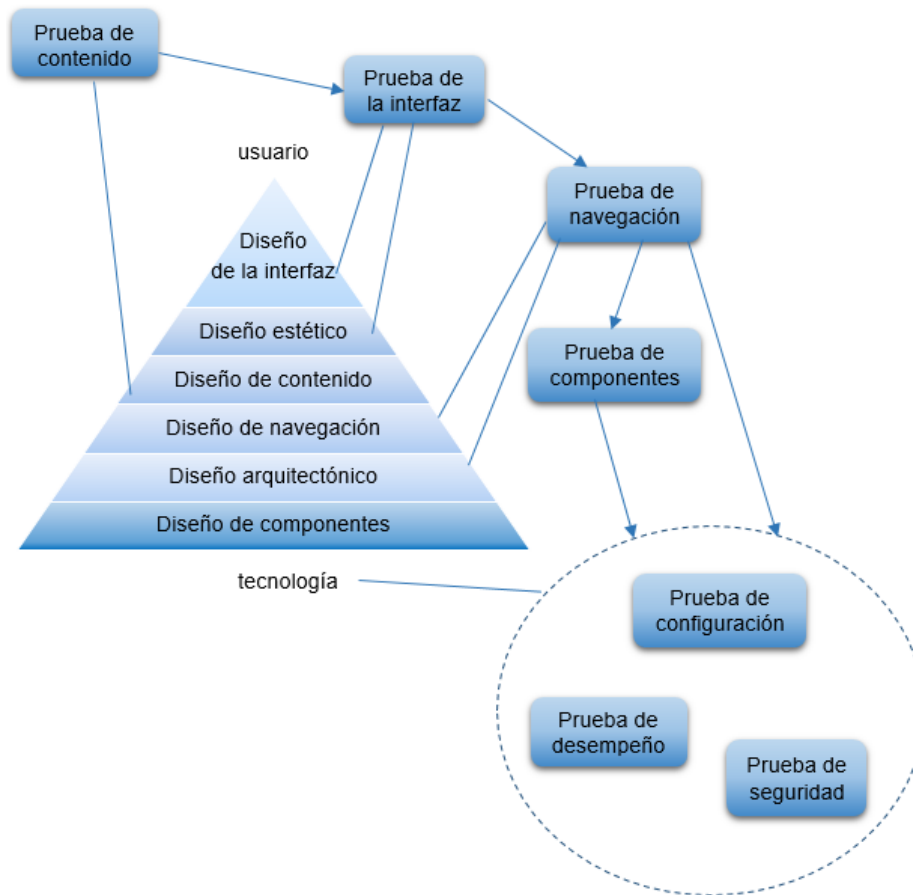
```

De esta manera se obtendrá los archivos de audio con el conjunto de datos HRTF para ser importados a Unity 3D.

## 4.2. Pruebas

Como parte fundamental en el desarrollo es necesario realizar un control de calidad que garantice la relación entre casos de uso y la aplicación, a pesar de que la metodología

OOHDM no propone realizar pruebas como un paso posterior, si sugiere realizar las pruebas como parte del desarrollo. Por esta razón se ha tomado el proceso de pruebas propuestas por Roger Pressman en su libro Ingeniería del Software. (Ver Figura 37).



**Figura 37: Roger Pressman**

### 4.2.1 Prueba de Contenido

Mediante la técnica de la observación y la lectura se ha realizado esta prueba, por lo que en la Tabla 9 se indica los errores encontrados con su solución:

**Tabla 9: Elevación Prueba de Contenido**

	<b>Error</b>	<b>Solución</b>
<b>Sintáctico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mala escritura: Asimut en la escena de selección de Test.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modificar por la palabra Azimut.</li> </ul>
<b>Semántico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El tema musical de la aplicación tiene protección contra derechos de autor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usar archivos de audio sin copyright.</li> </ul>
<b>Estructura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	

## 4.2.2 Prueba de la Interfaz del Usuario

En esta prueba validamos que los componentes que forman la interfaz cumplan con las normas de estética, diseño y contenido, encontrando lo siguiente que se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10: Prueba de Interfaz de Usuario**

	<b>Error</b>	<b>Solución</b>
<b>Escenas Dinámicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El valor del ángulo seleccionado en la escena de Test se almacena con un valor entero, a pesar de que este se declaró como tipo de dato flotante.</li> <li>Las escenas “Test Azimut / Test Elevation” se demoran en cargar debido al gran tamaño de los archivos de audio con el conjunto de datos HRTF.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar la clase “Math.Round” con dos decimales, de la siguiente manera: System.Math.Round(Val,2);</li> <li>Renderizar todos los archivos de audio .wav para que no pesen más de 1 mb.</li> </ul>
<b>Despliegue</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se visualiza bien los componentes de la interface en todos los dispositivos móviles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Usar el componente CANVAS para garantizar la visualización de los compones con varias resoluciones de pantalla.</li> </ul>
<b>Interactividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	
<b>Legibilidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	
<b>Estética</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N/A</li> </ul>	

### 4.2.3 Prueba de Navegación

Se comparó el desarrollo de navegación en la aplicación y los casos de uso para garantizar que existan los vínculos en los componentes que forman la aplicación. En la Tabla 11 se han identificado los siguientes errores:

**Tabla 11: Prueba de Navegación**

	<b>Error</b>	<b>Solución</b>
<b>CU RF_02</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Al ingresar a la escena “Test Azimut” se observa la escena de prueba correspondiente al Test Elevation.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Modificar el código en el script para llamar a la escena correcta.</li></ul>
<b>CU RF_01</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>La carga a las escenas de Test toma aproximadamente 10 segundos dependiendo la cantidad de audios que se utilice y del dispositivo móvil.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Agregar una pantalla auxiliar de carga a la siguiente escena para optimizar la carga de todos los audios.</li></ul>

### 4.2.4 Prueba de Componentes

#### **Prueba de Configuración**

Se ha verificado la instalación de la aplicación en cualquier dispositivo móvil con Sistema Operativo Android 4.1 JellyBean o superior.

#### **Prueba de Desempeño**

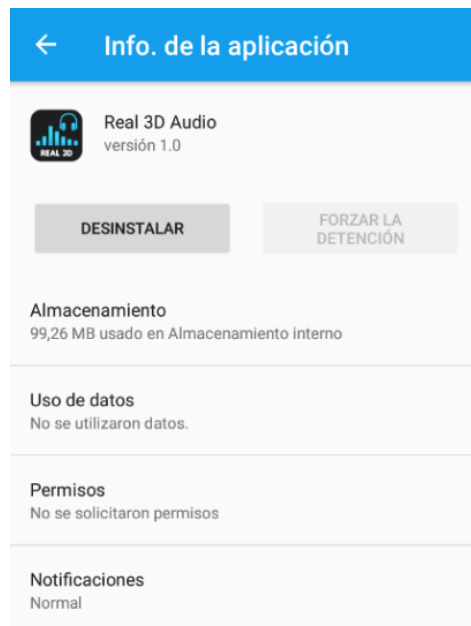
Las pruebas fueron realizadas en dispositivos móviles de baja gama tanto como de gama alta y se ha comprobado lo siguiente:

- El nivel de FPS (Frames per Second) se mantiene inferior a los 30fps (nivel recomendado para cualquier aplicación móvil).
- La renderización y carga de los archivos de audio fue en un tiempo menor a 10 segundos.

- La velocidad de bits para los archivos de audio con el conjunto de datos HRTF supera los 1400kbps. (Recomendado para una buena calidad del audio).

### Prueba de Seguridad

La aplicación no requiere de permisos especiales dentro del dispositivo ni de acceso al uso de datos o notificaciones del sistema. (Ver Figura 38).



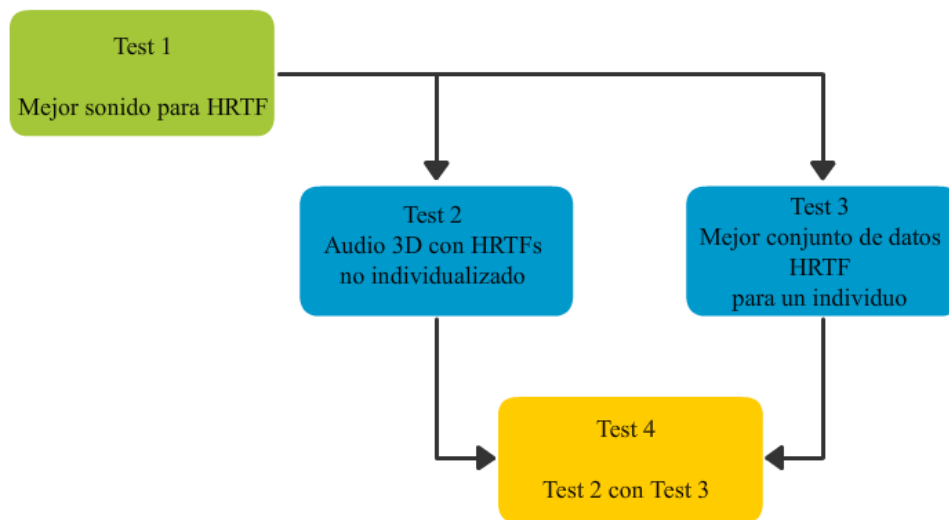
**Figura 38: Prueba de Seguridad.**



## 5. Resultados y Discusión

---

Para demostrar la hipótesis del proyecto Personal 3D Audio se ha creado una Hoja de Ruta de Pruebas (Road Map of Test) (Ver Figura 39). Cada caso de evaluación se diseñó con la Prueba de Clasificación Computarizada (Computerized Classification Test), la cual toma en cuenta los indicadores de percepción auditiva (Azimut y Elevación) que brinda el conjunto de datos HRTFs.



**Figura 39: Ruta de Pruebas.**

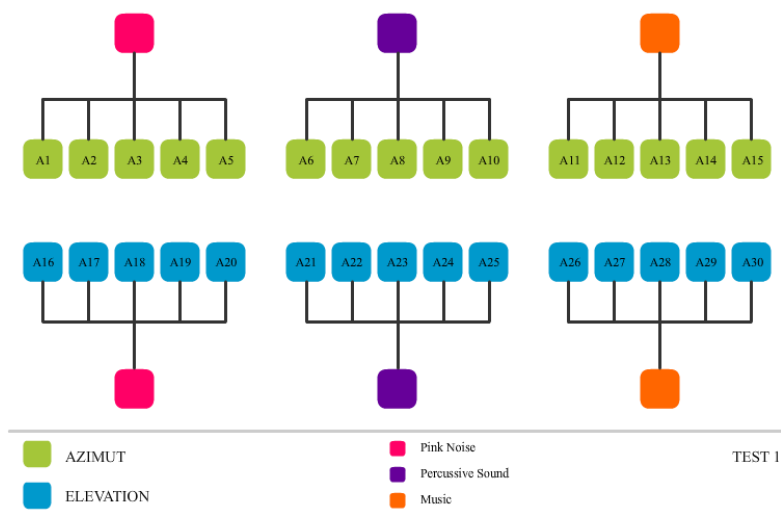
### 5.1. Prueba Uno

El objetivo de la Prueba de Clasificación Computarizada (CTT) que se indica en la Figura 40 es presentar una evaluación aleatoria de 15 audios de Azimut y 15 audios de Evaluación, clasificados por tres categorías (Ruido Rosa, Sonido Percusivo y Música). De esta manera encontrar el mejor audio para las siguientes pruebas de Audio 3D. (Ver Figura 40).

Ruido Rosa: Su nivel sonoro está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia, también es un ruido cuya señal está conformada por valores aleatorios, pero esta vez con menos amplitud para las altas frecuencias.

Sonido Percusivo: Se distingue por la variedad de timbres que es capaz de producir y por su facilidad de adaptación con otros instrumentos musicales. Puede obtenerse una gran variedad de sonidos según las baquetas o mazos que se usan para golpear algunos de los instrumentos de percusión.

Música: Es un conjunto de sonidos y silencios, organizados de manera lógica, que se rige por una serie de leyes como la armonía, el ritmo y la melodía, haciendo uso de la sensibilidad que caracteriza al ser humano con respecto a la emoción y percepción de elementos artísticos.



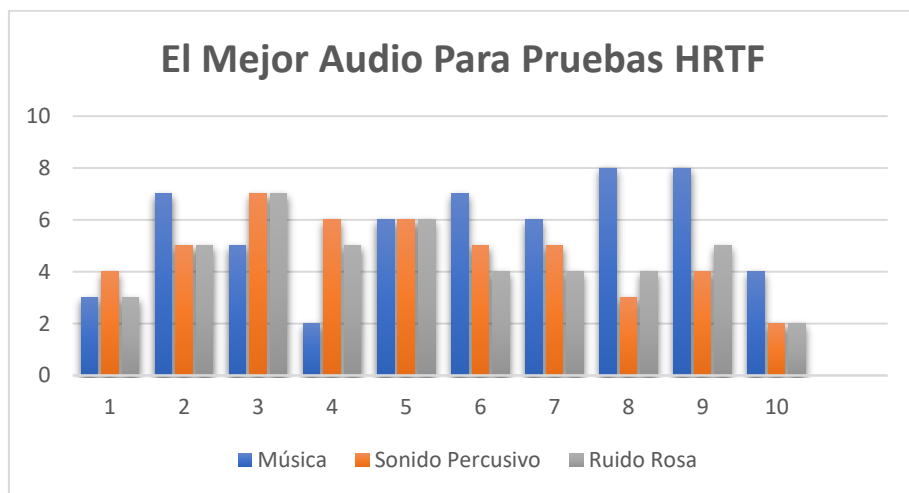
**Figura 40: El CTT de la Prueba Uno.**

Se aplicó esta prueba en una muestra de 10 estudiantes de noveno nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y se obtuvo los siguientes resultados:

En la Tabla 12 y Figura 41 se muestra que las personas al escuchar el Audio 3D de Música localizaron el mayor número de ángulos correctos y aproximaciones de 15° y 30° a los mismos, en comparación al Sonido Percusivo y Ruido Rosa.

**Tabla 12: Resultados del Mejor Audio de la Prueba Uno**

Azimut y Elevación			
Personas	Ángulos Correctos y Aproximaciones de 15° y 30°		
	Música	Sonido Percusivo	Ruido Rosa
1	3	4	3
2	7	5	5
3	5	7	7
4	2	6	5
5	6	6	6
6	7	5	4
7	6	5	4
8	8	3	4
9	8	4	5
10	4	2	2
<b>Total</b>	56	47	45



**Figura 41: Resultados de la Prueba UNO**

En los resultados de la Prueba Uno con HRTFs no individualizados también se observa que existen más errores de confusión (delante/atrás) con el audio Ruido Rosa. (Ver Tabla 13 y Figura 42)

**Tabla 13: Resultados de Errores de Confusión**

Persona	Confusión de Errores (Delante/Atrás)		
	Música	Sonido Percusivo	Ruido Rosa
1	2	3	3
2	1	1	5
3	2	1	0
4	3	2	2
5	3	3	1
6	1	3	3
7	1	2	2
8	1	3	1
9	1	3	2
10	2	1	5
<b>Total</b>	17	22	24

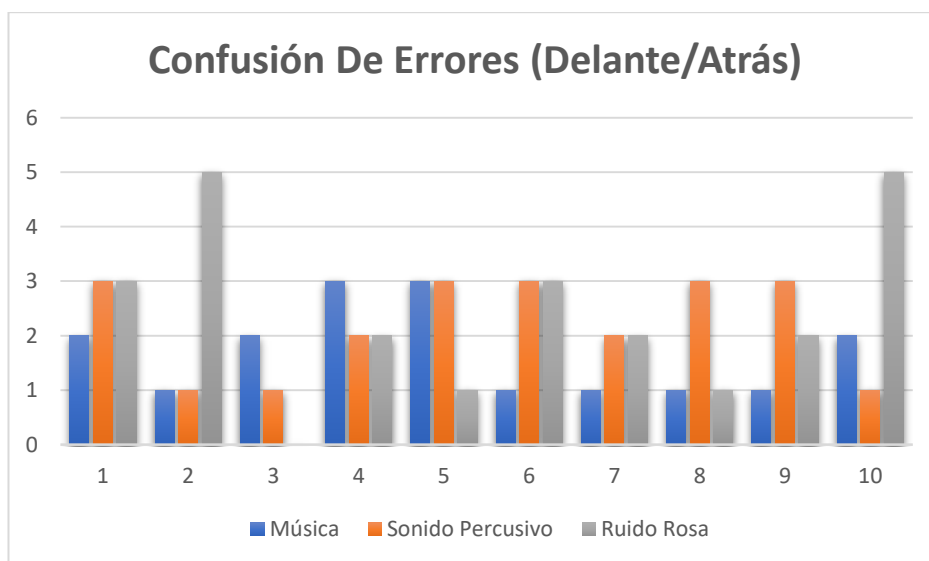
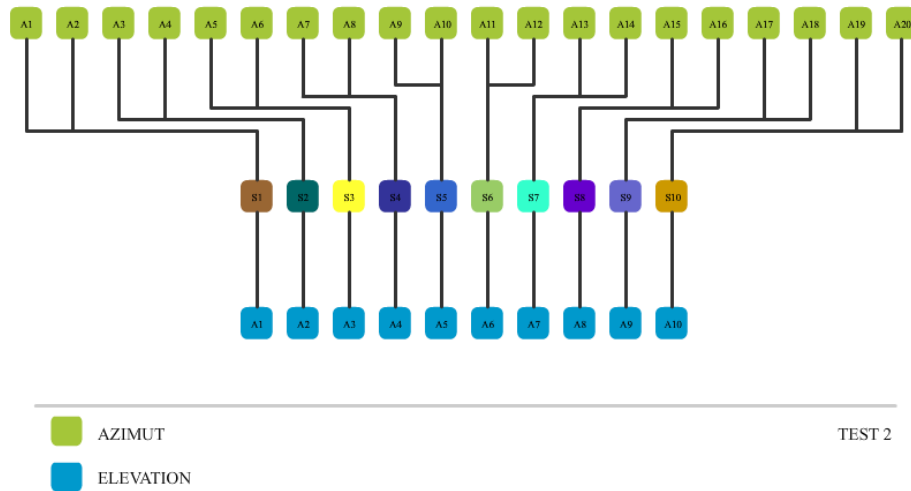


Figura 42: Confusión de Errores

## 5.2. Prueba Dos

El modelo CTT de la Prueba Dos (Ver Figura 43) presenta localizaciones diferentes de 20 audios aleatorios de Azimut y 10 audios aleatorios de Elevación, obtenidos de 10 sujetos del conjunto de datos HRTF de IRCAM. A través de esta prueba se conoció el error promedio con HRTFs no individualizadas.



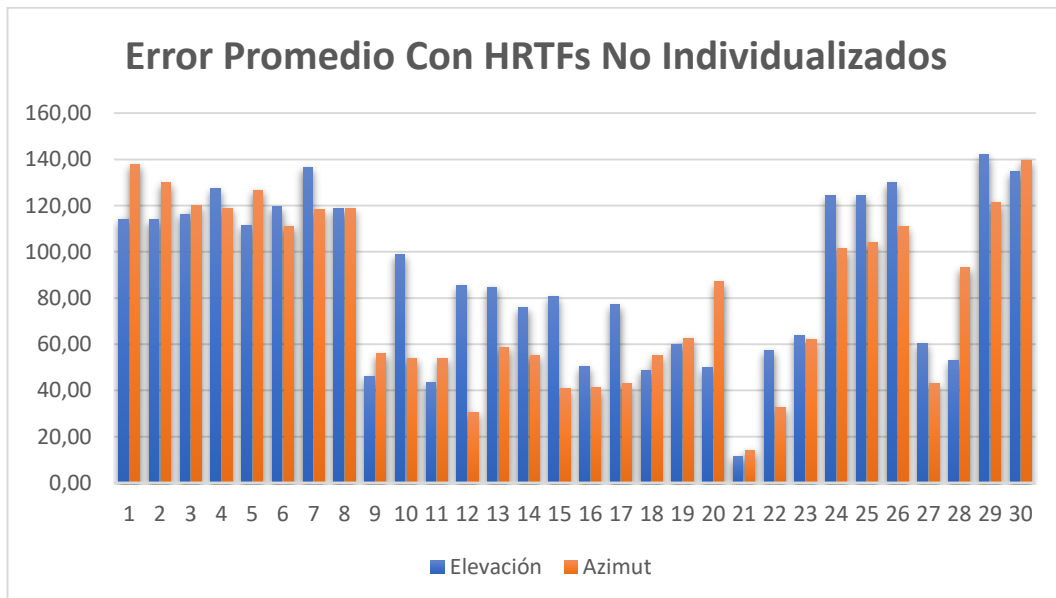
**Figura 43: El CTT De La Prueba Dos**

Esta prueba se aplicó a una muestra de 30 personas del sexto nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y sus resultados se indican en la Tabla 14 y Figura 44, las cuales presentan que el error promedio de Elevación es mayor al error promedio de Azimut, utilizando HRTFs no individualizadas.

**Tabla 14: Error Promedio de Confusión con HRTFs No Individualizas**

Persona	Azimut	Elevación
1	137.80	114.16
2	129.79	113.93
3	119.83	116.23
4	118.86	127.30
5	126.64	111.38
6	111.08	119.48
7	118.27	136.66
8	118.71	118.57
9	55.78	45.82
10	53.89	98.65
11	53.91	43.51
12	30.56	85.33
13	58.64	84.63
14	55.15	75.92
15	41.02	80.44

<b>16</b>	41.16	50.34
<b>17</b>	42.84	77.08
<b>18</b>	55.28	48.77
<b>19</b>	62.31	59.93
<b>20</b>	86.94	49.79
<b>21</b>	14.05	11.33
<b>22</b>	32.39	57.40
<b>23</b>	62.23	63.60
<b>24</b>	101.30	124.20
<b>25</b>	103.86	124.25
<b>26</b>	110.79	129.88
<b>27</b>	42.98	60.47
<b>28</b>	93.19	52.77
<b>29</b>	121.23	141.93
<b>30</b>	139.55	134.60
<b>Error Promedio</b>	81.33	88.61



**Figura 44: Error Promedio**

### 5.3. Prueba Tres

La Figura 45 indica el modelo de evaluación para encontrar el mejor conjunto de datos HRTF para un individuo. Esta prueba contiene tres posiciones (localización) de Azimut y

dos posiciones de Elevación, las mismas posiciones tomadas de diez sujetos diferentes de base de datos HRTF.

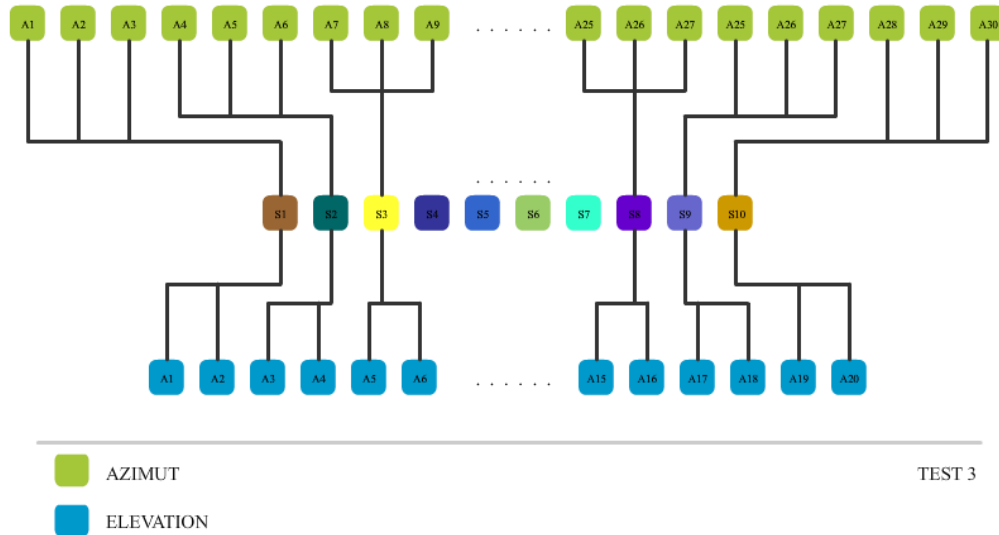
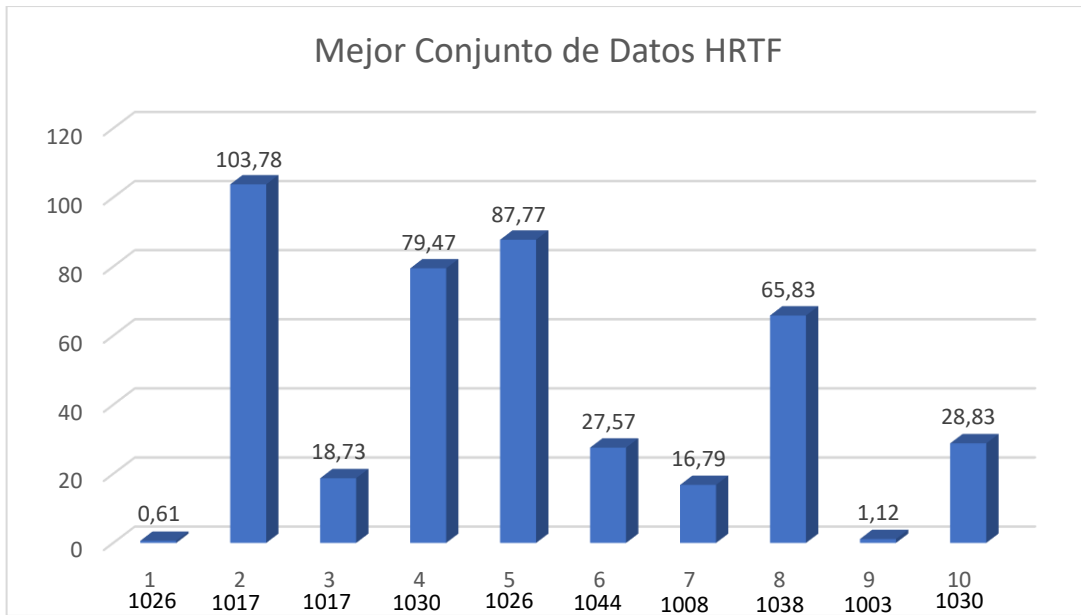


Figura 45: El CTT DE LA Prueba Tres.

Se aplica esta prueba a una muestra de 10 estudiantes del sexto nivel de la carrera de la Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y los resultados se encuentran en La Tabla 15 y Figura 46, observando que entre los conjuntos de datos HRTF de diferentes sujetos (1003, 1008, 1013, 1007, 1026, 1030, 1038, 1044, 1047, 1059) tomados de IRCAM se identificó el mejor conjunto de datos HRTF para una persona; como por ejemplo para la persona 6, la mejor base de datos HRTF es del sujeto 1044.

Tabla 15: Mejor Conjunto de Datos de HRTF para Un Estudiante

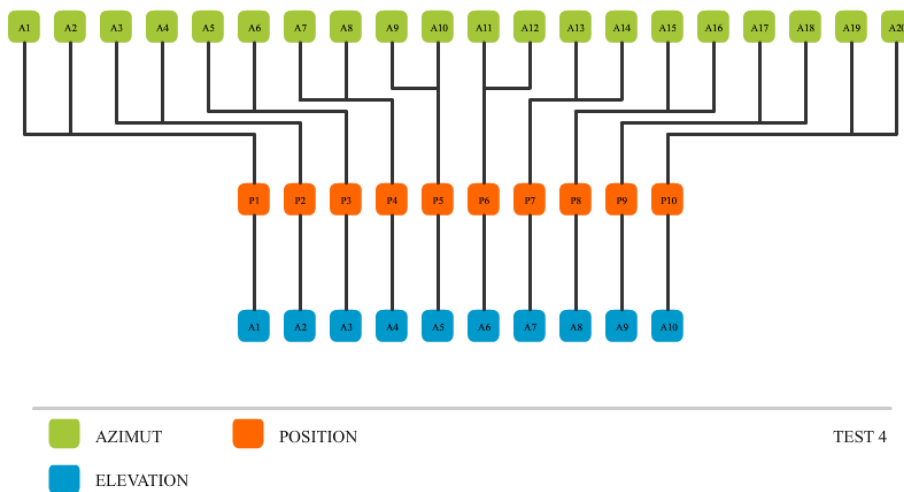
Persona	Azimut y Elevación									
	Error Más Bajo									
	1003	1008	1013	1017	1026	1030	1038	1044	1047	1059
1	0.83	0.83	0.66	0.62	0.61	0.73	0.62	0.72	1.34	0.72
2	146.21	144.22	145.99	103.78	120.15	137.12	149.65	111.79	127.34	158.24
3	74.65	26.84	79.51	18.73	64.42	94.28	40.21	28.57	83.53	22.38
4	142.02	132.15	137.4667	114.33	143.93	79.47	134.20	157.74	114.76	136.35
5	129.45	124.72	152.74	116.93	87.77	134.57	158.64	145.84	143.11	127.19
6	49.87	112.51	30.99	48.21	69.67	50.54	86.54	27.57	82.62	82.57
7	82.62	16.79	62.4	67.74	105.98	74.14	44.14	69.56	75.93	90.13
8	91.63	95.39	144.01	82.12	165.42	115.25	65.83	140.41	124.72	80.04
9	1.12	64.88	70.94	83.04	17.03	79.12	81.20	84.20	30.38	88.19
10	31.86	51.70	92.93	43.50	44.46	28.83	44.83	55.17	35.12	71.14



**Figura 46: Mejor HRTF para Cada Persona**

## 5.4. Prueba Cuatro

La finalidad de esta prueba es obtener el error promedio utilizando HRTFs individualizados. Por lo tanto, se construye en forma similar a la Prueba Dos con la diferencia de obtener los audios de Azimut y Elevación, sólo del mejor conjunto de datos HRTF obtenido de la Prueba Tres, cómo se indica en la Figura 47.

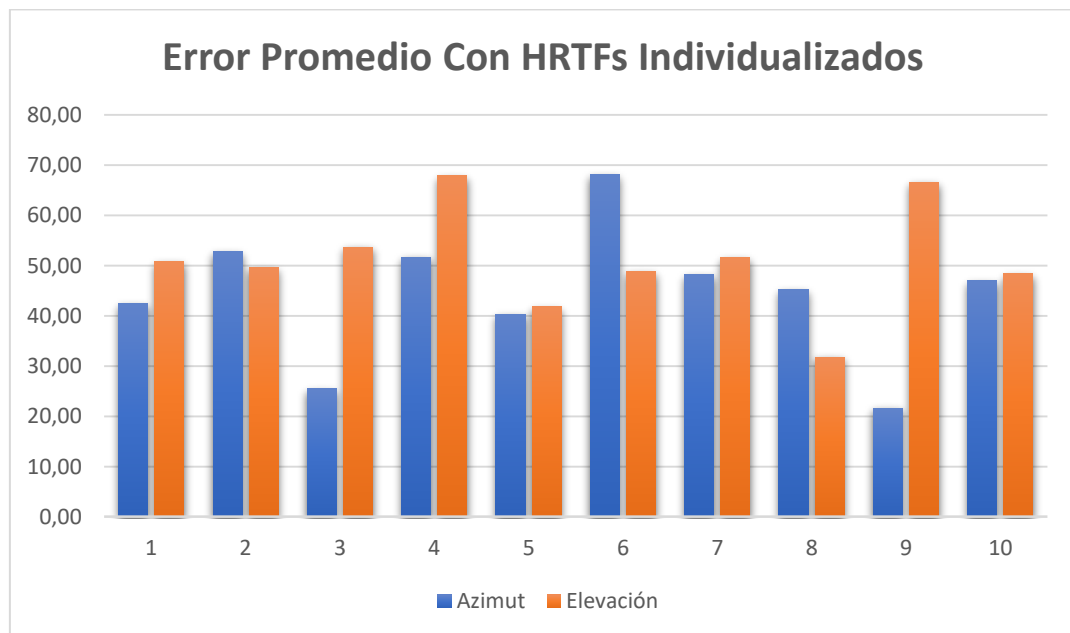


**Figura 47: El CTT de la Prueba Cuatro.**

Para la Prueba Cuatro se tomó una muestra de 10 estudiantes de noveno nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, obteniendo los resultados en la Tabla 16 y Figura 48, los cuales muestran que el error promedio de Azimut es menor al error promedio de Elevación

**Tabla 16: Error Promedio HRTFs Individualizas**

Persona	Azimut	Elevación
1	42.39	50.73
2	52.78	49.54
3	25.47	53.68
4	51.69	67.86
5	40.26	41.79
6	68.08	48.78
7	48.20	51.56
8	45.21	31.80
9	21.63	66.63
10	46.96	48.42
<b>Error Promedio</b>	44.27	51.08



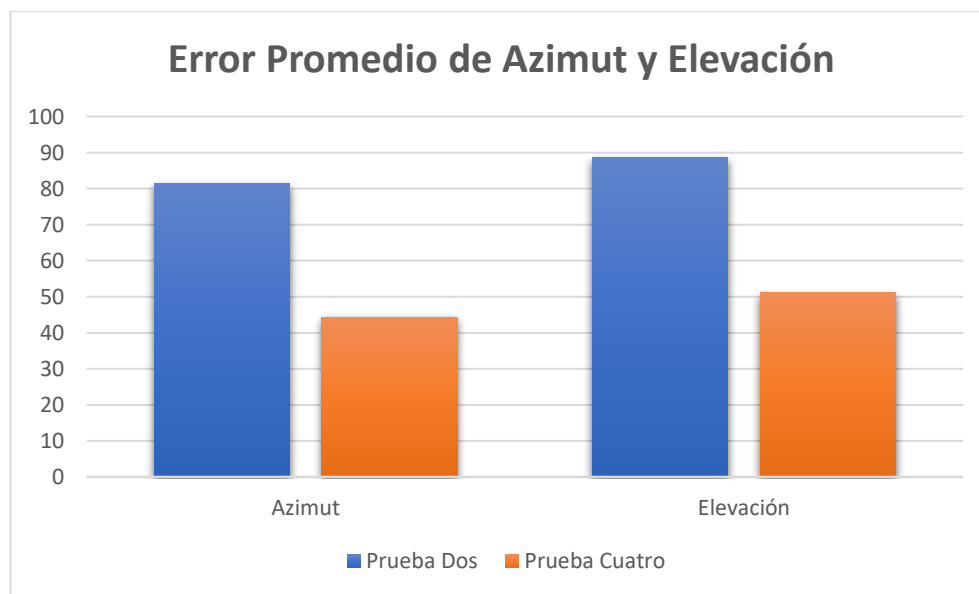
**Figura 48: Error Promedio con HRTF Personalizado**

Después de obtener los resultados de estas pruebas se concluye que al utilizar HRTFs No Individualizados se presentan problemas de confusión (delante/atrás) y que las personas perciben mejor el Audio 3D con audio de Música en comparación con Sonido Percusivo y Ruido Rosa.

Se ha logrado comprobar la hipótesis al observar la Tabla 17 y Figura 49, las cuales indican que existen mayor cantidad de errores de localización de audio con HRTFs No Individualizados al comparar con HRTFs Individualizados, aumentando la percepción auditiva en los estudiantes de sexto y noveno nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

**Tabla 17: Error Promedio de la Prueba Dos y Cuatro**

Error Promedio		
	Azimut	Elevación
<b>Prueba Dos</b>	81.33	88.61
<b>Prueba Cuatro</b>	44.27	51.08



**Figura 49: Comparación de la Prueba Dos y Cuatro**



# 6. Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro

---

## 6.1. Conclusiones

Este proyecto se enfocó en encontrar una solución al problema que presentan las aplicaciones con HRTF No Individualizados y percibir mejor el Audio 3D, para ello mediante la metodología OOHDM, se desarrolló una aplicación de pruebas de audio.

La metodología OOHDM con UML, aunque haya sido creada para sitios web, se la utilizó porque brinda gran importancia al diseño de navegación y en este caso al audio, el cual es requerido en una aplicación móvil para que sea interactiva, funcional y atractiva.

Esta aplicación se la creó en la herramienta Unity porque permite reutilizar el código, tiene librerías para renderizado de imágenes, manejo de física básica, colisiones entre objetos, facilitando el desarrollo de juegos y experiencias interactivas 3D y 2D multiplataforma.

El Audio 3D que se lo integró en Unity se lo obtuvo en la herramienta matemática Matlab, la cual se la utilizó porque es una buena alternativa para trabajar con señales de audio y también IRCAM proporciona el conjunto de datos de HRTF en formatos con los que trabaja Matlab .wav y .mat.

La nitidez de las imágenes que existe en la aplicación se las diseñó en Adobe Photoshop CC para obtener imágenes con mayor detalle y un buen manejo de pixelación.

Las técnicas heurísticas de Inteligencia Artificial, RoadMap y CTT ayudaron a construir las pruebas para encontrar el mejor conjunto de datos HRTF para cada persona.

Los resultados de las pruebas comprueban la hipótesis de percibir mejor el Audio 3D con HRTF Individualizado porque el error promedio de localización de audio es menor que al utilizar HRTF No Individualizado.

## **6.2. Recomendaciones**

Usar las pruebas que indica Pressman para aplicaciones Web, ya que la metodología OOHDM no presenta una Fase de Pruebas, importante para el control de calidad del software.

Configurar el SDK de Android en Unity antes de iniciar el proyecto, para que permita compilar directamente en el dispositivo sin tener que crear el .apk localmente, de esta forma se ahorra tiempo al realizar las pruebas de la aplicación.

Utilizar en el motor de videojuegos Unity una programación óptima y renderizar todos los archivos multimedia (imágenes, texturas, video, audio, etc.) para que no afecte en el rendimiento de la aplicación, ya que los dispositivos móviles cuentan con un limitado hardware.

Utilizar la herramienta Matlab con la base de datos de HRTF de IRCAM porque es una buena combinación para realizar convoluciones y obtener Audio 3D.

Utilizar las herramientas de este proyecto porque ahorran tiempo, dinero y facilitan la creación de aplicaciones.

Utilizar y colocarse correctamente los audífonos para realizar las pruebas de Audio 3D.

## **6.3. Trabajo Futuro**

Los resultados de las pruebas demostraron las confusiones de error que se producen al utilizar las HRTFs generalizadas y se observó la disminución de estas confusiones con el uso de HRTFs personalizadas. Es por esta razón que se plantea como trabajo futuro, enfocarse a la Prueba Tres y la Prueba Cuatro de la Hoja de Ruta (RoadMap) (ANEXO I) con CTT para automatizar totalmente esas pruebas, es decir que el usuario realice la Prueba Tres y al concluir se cargue automáticamente la Prueba Cuatro con audios que contengan características del mejor conjunto de datos HRTF que obtuvo en la Prueba Tres. De esta manera a largo plazo se generaría un Plugin para agregar a cualquier aplicación móvil que desee integrar verdadera inmersión a través del Audio 3D.

## Bibliografía

---

- Alarcón, E. (2015). *Dummy Head*. Obtenido de Ingeniería en Sonido:  
<http://www.ingenieriaensonido.cl/blog/?id=oa19d7r8>
- Algazi, V., Avendano, C., & Duda, R. (2001). *Estimation of a spherical-head model from anthropometry*. *Journal of the Audio Engineering Society*,. Obtenido de  
<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=10188>
- Algazi, V., Duda, R., Thompson, D., & Avendano, C. (2001). *The cipic hrtf database*. Obtenido de In Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics:  
<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/969552/>
- Asumu Elá, J. (Septiembre de 2016). *APLICACIÓN AURALIZACIÓN PARA TABLETA*.
- Begault, D. (1994). *NASA*. Obtenido de 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia:  
<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20010044352>
- Blauert, J. (1982). "Binaural localization: Multiple images and applications in room and electroacoustics," in *Localization of Sound: Theory and Applications*,.
- Blumlein, A. (1933). *Improvements in and relating to Sound-transmission, Sound-recording and Sound-reproducing systems*. Obtenido de This is reprinted in J. Audio Eng. Soc, 6, 91-98.
- Bowman, D., & MacMhan, P. (2007). *Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough*. Obtenido de <http://www.cs.rug.nl/~roe/courses/OriInf/Bowman-Virtual-Reality.pdf>
- Centro Auditivo Cuenca SL. (2017). *Centros Auditivos, audífonos en Valencia*. Obtenido de <https://www.centroauditivo-valencia.es/>
- Cheng, C. I. (1999). *Introduction to head-related transfer functions (HRTFs): Representations of HRTFs in time, frequency, and space*. Obtenido de In Audio Engineering Society Convention 107. Audio Engineering Society.
- D. Y. N. Zotkin, J. H. (2003). *Hrtf personalization*. Obtenido de Proc. IEEE Workshop . Applications of Signal.

- Dellepiane, M., Pietroni, N., Tsingos, N., Asselot, M., & Scopigno, R. (October de 2008). *Reconstructing head models from photographs for individualized 3D-audio processing*. Obtenido de In Computer Graphics Forum (Vol. 27, No. 7, pp. 1719-1727). Blackwell Publishing Ltd.
- Deng, X., Potula, S., & Grewai, H. (2013). *Finite element analysis of occupant head injuries: Parametric effects of the side curtain airbag deployment interaction with a dummy head in a side impact crash*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457513001085>
- Desai, P., Ajmera, K., & Mehta, K. (2014). *A review paper on oculus rift-a virtual reality headset*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1408.1173>
- Ela-Messe, J. D. (2016). *APLICACIÓN AURALIZACION PARA TABLETA*.
- Escobar, P., & Semino, M. (2010). *Los instrumentos audiovisuales como herramientas indispensables para el método de pedagogía identitaria y de inmersión intercultural*. Obtenido de <http://repositorio.furg.br/handle/1/2489>
- Faria, R., Thomaz, L., Soares, L., & Santos, B. (2005). *AUDIENCE – Audio Immersion Experiences in the*. Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/4782203/fariarra\\_audienceinca-verna\\_sbcm2005.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1505292069&Signature=fBYoxFNPJc60dO%2BnfObpNnRfTgE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAUDIENCE\\_](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/4782203/fariarra_audienceinca-verna_sbcm2005.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1505292069&Signature=fBYoxFNPJc60dO%2BnfObpNnRfTgE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAUDIENCE_)
- Frauenberger, C., & Noisternig, M. (Julio de 2003). *3D AUDIO INTERFACES FOR THE BLIND*.
- Gardner, W., & Martin, K. (1995). *HRTF measurements of a KEMAR*. Obtenido de The Journal of the Acoustical Society of America, 97(6), 3907-3908.: <http://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.412407>
- Gardner, W., & Martin, K. (1995). *HRTF measurements of a KEMAR. The Journal of the Acoustical Society of America*. Obtenido de <http://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.412407>
- Giorgi, H., & Moreno, J. (2005). *Implementación en tiempo real de modelos de sonido binaural dentro de un sistema tridimensional integrado de imagen y audio*

- (*Bachelor's thesis*). Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7573/tesis103.pdf?sequence=1>
- Giorgio, R. (2017). *Binaural Beats Therapy*. Obtenido de Salud y bienestar: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ihunda.android.binauralbeat&hl=es\\_419](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ihunda.android.binauralbeat&hl=es_419)
- González Rosas, B. (2003). *Lo esencial es invisible para los ojos*. Obtenido de Revista Proceso, October, 26, 68.
- Hancock, T. (s.f.). *Understanding Surround and Binaural Sound*. Obtenido de Free Software Magazine.
- IEEE. (1993).
- IRCAM. (2003). *LISTEN HRTF DATABASE*. Obtenido de <http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/index.html>
- J. C., M. (1999). *Virtual localization improved by scaling nonindividualized*. Obtenido de Journal of Acoustical Society of Amer-.
- Keyrouz, F. D. (2007). *Binaural source localization and spatial audio reproduction for telepresence applications*.
- Kraus, B. J. (2015). *The effect of binaural beats on working memory capacity* . Obtenido de [http://psych.fss.muni.cz/files/jakub\\_kraus\\_-\\_soutezni\\_text.pdf](http://psych.fss.muni.cz/files/jakub_kraus_-_soutezni_text.pdf)
- Lange, A. (1881). *Histoire de la Television.2002*. Obtenido de Le premier medium electrique de diffusion culturelle :Le Theatrophone de Clement Ader (1881): <http://histv2.free.fr/theatrophone/theatrophone.htm>
- Lentz, T. (2006). *Dynamic crosstalk cancellation for binaural synthesis in virtual reality environments*. Obtenido de Journal of the Audio Engineering Society, 54(4), 283-294.: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=13677>
- León, J. (2013). *DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE PROCESAMIENTO PARA OBTENER*. Obtenido de <http://200.24.220.94/handle/33000/2758>
- Lindquist, M., Lange, E., & Kang, J. (2016). Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204615002595>

- Lyons, K., Gandy, M., & Starner, T. (2000). *Guided by voices: An audio augmented reality system*. Obtenido de Georgia Institute of Technology: <https://aragorn.library.gatech.edu/handle/1853/50672>
- Mantilla Yáñez, D. A., & Santos Castillo, A. C. (03 de 2007). Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1359/1/CD-0793.pdf>
- MERISTATION MAGAZINE, S. L. (2015). *God of War 3: Remasterizado, Análisis Review para PS4*.
- Michelle, K. (June de 2016). *3D Audio with Stereo Headphones*.
- Moncisbays, Y. (Abril de 2011). *Evolución Histórica y Nuevas Perspectivas con los*. Obtenido de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67186/1/000150433.pdf>
- Montan, N. (Diciembre de 2002). *AAR*. Obtenido de An Audio Augmented Reality System: <https://people.kth.se/~maguire/DEGREE-PROJECT-REPORTS/030409-Nils-Montan.pdf>
- Música y Tecnología. (s.f.). Obtenido de [https://www.blinklearning.com/Cursos/c806350\\_c41624690\\_\\_1\\_\\_Musica\\_y\\_Tecnologia.php](https://www.blinklearning.com/Cursos/c806350_c41624690__1__Musica_y_Tecnologia.php)
- N., Z., J., H., R., D., & L. S., D. (2003). WASPAA 2003. 157–160.
- Naef, M., Staadt, O., & Gross, M. (November de 2002). *Spatialized audio rendering for immersive virtual environments*. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology (pp. 65-72)*. ACM. Obtenido de <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=585752>
- Nishino, N., Inoue, K., Takeda, F., & F., I. (2007). *Estimation of HRTFs on the horizontal plane using physical features*. Obtenido de Applied Acoustics, 68(8), 897-908.: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X07000060>
- Nishino, T., Mase, S., Kajita, S., Takeda, K., & Itakura, F. (1996). *Interpolating HRTF for auditory virtual reality*. Obtenido de Journal of the Acoustical Society of America, 100(4), 2602-2602.: <http://www.pa.info.mie-u.ac.jp/~nishino/research/jm1996.pdf>

- Per Robin, E. (2017). *A Comparison Of Two Commercially Available Alternatives For Spatializing Audio Over Headphones In A Game Setting*. Obtenido de <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1108216&dswid=7296>
- Pérez Vega, C. (2003). *SONIDO Y AUDICION* . Obtenido de UNIVERSIDAD DE CANTABRIA : <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Sonido%20y%20Audicion.pdf>
- Pinto Moreno, I. A. (2011). *pintojairo*. Obtenido de <https://pintojairo.wordpress.com/about/>
- Pueo, B., & Tur, V. (2009). *Sonido espacial para una inmersión audiovisual de alto realismo*. Obtenido de <https://www.icono14.net/ojs/index.php/icono14/article/view/330>
- Rayleigh, J. (1896). *The theory of sound*.
- Rodríguez, R. (Septiembre de 2011). “*TÉCNICAS DE SONIDO BINAURAL*.”
- Ruminski, D. (2015). *An experimental study of spatial sound usefulness in searching*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-015-0274-4>
- S. Xu, Z. L. (2008). *Individualized head-related transfer functions based on*. Obtenido de Journal of Acoustical Society of America, vol. 124, pp. 2708{2810,.
- Schwabe, D., & Rossi, G. (1998). *Developing Hypermedia Applications using OOHDM*.
- Schwabe, R., & Barbosa, S. (1996). *Systematic hypermedia application design with OOHDM. In Proceedings of the the seventh ACM conference on Hypertext*. Obtenido de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=234840>
- Silva, D., & Mercerat, B. (2002). *Construyendo aplicaciones web con una metodología de diseño*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/a6e6/e239c41ef454258d3ed615efa3343892ab76.pdf>
- Torres, J. (2009). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Obtenido de APLICACIÓN DE TÉCNICA DE GRABACIÓN Y MEZCLA BINAURAL PARA AUDIO COMERCIAL Y/O PUBLICITARIO*.
- Unity Game Engine . (2017). Obtenido de <https://unity3d.com/es>

- Valbom, L., & Marcos, A. (2005). *WAVE: Sound and music in an immersive environment*.  
Obtenido de *Computers & Graphics*, 29(6), 871-881:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0097849305001585>
- Vásquez, J. (2013). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS*.  
Obtenido de *APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE GRABACION BINAURAL PARA AUDIO*.
- Vélez, M. (2012). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*. Obtenido de *LO ESENCIAL ES INVISIBLE PARA LOS OJOS.:*  
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11692>
- Vicomtech. (2014). *ARGUS: a Personalised Guidance System to Improve Autonomy of People with Visual Impairment in the City*.
- Vicomtech-IK4 . (2014). *ARGUS - Navega con Sonidos 3D*. Obtenido de  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.vicomtech.argusfree&hl=es>
- Wallach, H. (1939). *On sound localization*. Obtenido de *J. Acoust. Soc. America*.
- Warusfel, O. (2003). *Listen HRTF database. online, IRCAM and AK*. Obtenido de  
<http://recherche.ircam.fr/equipes/salles/listen/index.html>
- Wave Arts*. (15 de Marzo de 1999). Obtenido de *3D Audio and Acoustic Environment Modeling*: <http://www.eletel.p.lodz.pl/programy/sv/publikacje/pdf/6.pdf>



# Anexos

---

## ANEXO I

### ROADMAP

**Test 1** – What is the best sound for HRTF testing?

Test 10 persons, with the same HRTF dataset, with 3 different sounds (pink noise, percussive sound, music). For each person, present 5 azimuth tests for each sound, and 5 elevation tests (each person do 30 tests –  $(5+5)*3$ ). The error is always evaluated as the: ---- average azimuth error, in degrees (the error between the correct angle, and the detected angle)

- average elevation error, in degree

- confusion errors (when the user chooses a position that mirrors the actual position – for instance, a sound comes from  $30^\circ$  az, but the user says it comes from  $150^\circ$  az (180-angle). After this test, you will know what is the best sound for testing HRTFs.

**Test 2** – What is the average error with non-individualized HRTFs

For 30 persons, do the following test:

Test 10 different HRTF datasets (10 subject datasets), each dataset with 2 examples of azimuth and 1 examples of elevation  $(2+1)*10=30$  tests per person.

After this test, you will have a baseline error – on average, the use of non-customized HRTFs gives an average error of x.

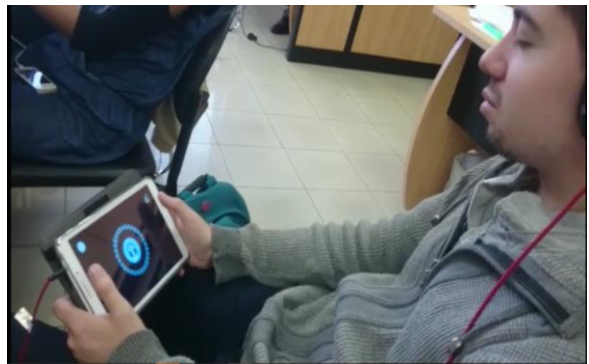
**Test 3** – Find the best HRTF dataset for an individual

For 10 persons, do the following test: for 3 azimuth positions and 2 elevation positions, test 10 HRTFs (the same position for each HRTF). For each person, decide what is the best HRTF (lowest angle error).

**Test 4** – For the same 10 persons, replicate task 2, but using only the HRTF dataset found in task 3 for that person (test 30 cases). What was the improved average degree error?

## ANEXO II

### Imágenes de Estudiantes utilizando la Aplicación “Real 3D Audio”



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*