



**Acta de Correcciones al Proyecto de Grado**  
**Ingeniería de Sistemas y Computación**

**Fecha:** 25 de enero de 2021

**Autores:** Juan Miguel Cardona Arroyo, Lina Marcela Valencia Castañeda

**Nombre del Proyecto de Grado:** Sistema Interactivo computacional para la exploración cultural de Tumaco

**Director:** Phd. Andres Adolfo Navarro Newball

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.

Firma de Director (a) del Proyecto de Grado

Profesor Andrés A. Navarro Newball, PhD.

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero Sistemas y computación.

---

**Dr. HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO**  
Decano de la Facultad de Ingeniería

---

**Dr. GERARDO MAURICIO SARRIA M**  
Director Carrera Ingeniería Sistemas y Computación

---

**Dr. ANDRÉS NAVARRO NEWBALL**  
Director(a) Trabajo

---

**Dr. Gerardo Mauricio Sarría M**  
Jurado 1

---

**Dr. Diego Luis Linares**  
Jurado 2

Pontificia Universidad Javeriana Cali  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Ingeniería de Sistemas y Computación  
Proyecto de Grado.

Sistema Interactivo computacional para la exploración cultural de Tumaco.

Juan Miguel Cardona Arroyo - Cod:6094923  
Lina Marcela Valencia Castañeda - Cod:0224391

Director: Phd. Andres Adolfo Navarro Newball



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

Santiago de Cali, 21 de noviembre de 2020.

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria M.

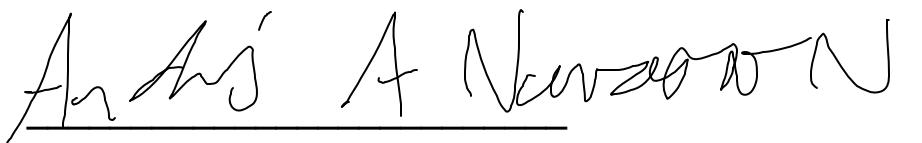
Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial saludo.

En mi condición de asesor del proyecto de grado titulado: “Sistema Interactivo computacional para la exploración cultural de Tumaco” elaborado por los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación Juan Miguel Cardona Arroyo (cod: 6094923) y Lina Marcela Valencia Castañeda (cod: 0224391), certifico que el trabajo realizado cumple con las exigencias académicas y metodológicas establecidas; así como con los requisitos de forma del trabajo, de citación y de bibliografía. Por lo anterior, confirmo que el proyecto de grado puede ser sustentado.

Atentamente.

A handwritten signature in black ink, reading "Andrés A. Navarro Newball". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

PhD. Andres Adolfo Navarro Newball

Santiago de Cali, 21 de noviembre de 2020.

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria M.

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial saludo.

Nos permitimos presentar a su consideración el proyecto de grado titulado “Sistema Interactivo de realidad mixta aplicado para la exploración cultural de Tumaco” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero de Sistemas y Computación.

Al firmar aquí, damos fe que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente.



---

Juan Miguel Cardona Arroyo  
Código: 6094923



---

Lina Marcela Valencia C.  
Código: 0224391

# Resumen

La Casa de la memoria de Tumaco es una iniciativa liderada por la Diócesis de Tumaco, que tiene como objetivo reconstruir la Memoria histórica y colectiva de la costa Pacífica nariñense a través del rescate de las tradiciones culturales que han sido y representan las fortalezas de la comunidad y su resiliencia durante los años del conflicto armado. Este trabajo busca cumplir el deseo de sostener la cultura y las tradiciones de la región Pacífica. La Casa de la Memoria en Tumaco de la mano con la Pontificia Universidad Javeriana de Cali han formulado proyectos que para permitir aportar a la interacción museográfica del museo.

La Casa de la Memoria en Tumaco tiene como público mayoritario, jóvenes de escuelas primaria y secundaria; por lo cual, el proyecto contempla trabajar con un componente de inmersión museográfica interactivo que permita a los usuarios tener interacción con elementos culturales de la memoria del Pacífico, con el fin de lograr un mayor impacto en el proceso de aprendizaje y conocimiento.

El proyecto consiste en elaborar un sistema de interacción computacional, con la finalidad de despertar el interés de los usuarios por la historia, la actividad cultural y la música en la región Tumaqueña. Para llevar a cabo la implementación del proyecto, se hace uso de la tecnología de realidad mixta aplicada a un instrumento musical típico en Tumaco. Este instrumento se conoce con el nombre de "Marimba" (un instrumento Musical que se compone de unas láminas de madera de chonta que emiten sonido musical). El instrumento musical se convertirá en el medio de interacción que tendrá el usuario con la aplicación, ya que permitirá que su manipulación interactúe con la información expuesta. El proyecto tendrá como componente de visión un visor de realidad virtual que tiene como medio de procesamiento y reconocimiento un dispositivo móvil, que va a superponer información sobre un marcador reconocido mediante rastreo a través de la cámara del dispositivo móvil.

**Palabras Clave:** Juegos serio, Interacción Humano-Computadora, Realidad mixta, Multimedia Interactiva, Edutainment, Museografía.

## Abstract

The Tumaco House of Memory is an initiative led by the Diocese of Tumaco. Its main objective is the reconstruction of historical memories and from the Nariñense Pacific Coast through recovery of the cultural traditions, which have been the evidence of the strengths and resilience of the community during the armed conflict years. This work seeks to fulfill the wish of maintaining some of the traditions from the Pacific region. The Tumaco House of Memory and the Javeriana University in Cali have formulated projects to enhance the museographic interaction at the museum.

The Tumaco House of Memory's audience consist of young from primary and secondary schools mainly. For this reason, the project contemplates working with an interactive immersion to expose the users to the cultural elements from the Pacific with the final purpose of getting a major impact on the learning process.

The project uses a computational interaction system with the purpose of raising interest from the users about the history, the cultural activity and the music from the region of Tumaco. To carry out the implementation, mixed reality is used, superimposing it over a traditional musical known as "Marimba" (instrument composed by Chonta wood sheets that emit musical sound). This musical instrument becomes the means of interaction with a mobile app. Through the musical instrument manipulation, the application will display information to the user.. The project will have a virtual reality visorto hold a mobile device as a means of processing and recognizing markers where information will be superimposed.

**Keywords:** Serious Game, Human-Computer Interaction (HCI), Mixed Reality, Interactive multimedia, Edutainment, Museography.

# Índice General

<b>Resumen</b>	<b>4</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Introducción</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>11</b>
<b>Descripción del Problema</b>	<b>11</b>
1.1. Planteamiento del Problema	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3. Justificación	13
<b>Capítulo 2</b>	<b>14</b>
<b>Investigación en la Literatura</b>	<b>14</b>
2.1. Marco Teórico	14
2.2. Museografía	16
2.3. Multimedia Interactiva	17
2.4. Juego Serios	18
2.4.1 La relación que tienen los juegos serios con la gamificación y edutainment	19
2.5. Interacción Humano Computador (HCI)	21
2.5.1 HCI en términos de usabilidad	21
2.6. Realidad Mixta.	22
2.6.1 Realidad Virtual	23
2.6.2 Realidad Aumentada	23
2.6.3 Virtualidad Aumentada	23
2.7. Visión por Computador basado en rastreo	24
2.7.1 Rastreo mediante seguimiento de marcadores	25
2.8. Trabajos Relacionados.	27
<b>Capítulo 3</b>	<b>31</b>
<b>Propuesta</b>	<b>31</b>
3.1 Modelo de Inmersión museográfica del museo de la casa de la memoria de Tumaco.	31
3.2 Propuesta de modelo inmersión museográfica	32
<b>Capítulo 4</b>	<b>36</b>

<b>Análisis, selección y diseño de la solución</b>	<b>33</b>
4.1. Perfil del público Objetivo.	33
4.2 Video Juego Musical	33
4.2.1 Mecánicas de juego	34
4.3 Enfoque Histórico	36
4.4 Metodología de Trabajo	38
4.4.1 Kanban	38
4.5 Requerimientos	39
4.5.1 Requerimientos Funcionales	40
4.5.2 Requerimientos No Funcionales	45
4.6 Diseño	47
4.6.1 Vistas de escenarios	48
4.6.2 Vistas Lógica	50
4.6.3 Vistas de procesos	53
4.6.4 Vistas Física	55
4.6.5 Vista de desarrollo	56
<b>Capítulo 5</b>	<b>57</b>
<b>Desarrollo de la solución</b>	<b>57</b>
5.1 Selección de las herramientas	57
5.1.1 Motor de videojuegos	58
5.1.2 Visores de realidad	59
5.1.2.1 Hololens	59
5.1.2.2 MHMD	60
5.1.3 SDK de realidad aumentada	62
5.1.3.1 Vuforia	62
5.2 Instrumento musical como dispositivo de entrada	64
5.2.1 Procesamiento de señales electrónicas	65
5.2.2 Envío de datos por bluetooth	68
5.3 Aplicativo Móvil	68
5.3.1 Implementación del módulo de video juego	69
5.3.1.1 Base de datos del video juego musical	70
5.3.1.2 Escena del video juego	71
5.3.2 Implementación del módulo Multimedia Interactiva	72
5.3.3 Base de datos del módulo de multimedia interactiva	73
5.3.4 Alojamiento del material multimedia	74
<b>Capítulo 6</b>	<b>75</b>
<b>Pruebas</b>	<b>75</b>
6.1 Plan de Evaluación	75

6.1.1 Objetivo	76
6.1.2 Vista general	76
6.1.3 Población de usuarios objetivo	76
6.1.4 Proceso de evaluación	77
6.1.5 Objetivo del proceso	77
6.1.6 Método	77
6.1.7 Ciclo de vida del proceso	77
6.1.8 Programa	77
6.1.9 Personal Responsable	77
6.2 Pruebas Unitarias	78
6.3 Pruebas de Usuario	78
<b>Capítulo 7</b>	<b>81</b>
<b>Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>81</b>
7.1 Conclusiones	81
7.2 Trabajos futuros	82
7.2.1 Habilitar la aplicación para todas las plataformas móviles	82
7.2.2 Aumento en en ángulo visión de la cámara	82
7.2.3 Laboratorio creativo de Música	82
7.2.4 Rastreo por la figura del instrumento musical	83
7.2.5 Modo cooperativo	83
7.2.6 Extender una arquitectura de digital twin que permite interacción con un marimbero profesional	83
<b>Bibliografía</b>	<b>84</b>
<b>Capítulo 8</b>	<b>88</b>
<b>Anexos</b>	<b>88</b>
Anexo 0: Repositorio del proyecto	88
Anexo 1: Ilustraciones utilizadas en el módulo de multimedia interactiva	88
Anexo 2: Marcador QR de rastreo	89
Anexo 3: Creación de la tabla de tareas de implementación	89
Anexo 4: Diseño PCB para el circuito de detección	90
Anexo 5: Tabla de diferencia de RV, RA, MR	91
Anexo 6: Código para detectar las señales eléctricas en el microcontrolador de Arduino	92
Anexo 7: Resultados de pruebas unitarias en el proceso de desarrollo.	93
Anexo 8: Resultados de encuesta a pruebas de usuario	99



# Introducción

La Casa de la Memoria nació tras un proceso de trabajar en la defensa de los derechos humanos en la Costa Pacífica Nariñense. Promovida por la Pastoral Social de Tumaco, se ha ido forjando como un espacio de formación para la paz, reconciliación y memoria histórica, convirtiéndose así en un referente educativo en temas de paz. La Casa de la Memoria de Tumaco está conformada por tres salas principales. La Sala de la Cultura, un lugar de reconstrucción de la memoria histórica de Tumaco que promueve su construcción conjunta con los pobladores de la región de Tumaco. La Sala del Santuario de las Víctimas, es un recinto que honra a todas aquellas personas que fueron víctimas de los sucesos ocurridos en la región de Tumaco, buscando así la dignidad que toda víctima del conflicto se merece. La Sala de Acciones por la Vida, es una sala que presenta la recopilación de todas las acciones por la vida realizadas por habitantes de Tumaco, con el fin de hacer una invitación a sus visitantes a la construcción de la paz por medio de acciones solidarias [1].

El objetivo que ha venido encaminando el museo, es incorporar medios interactivos e inmersivos basados en computación que puedan ayudar a contribuir a la exploración cultural dentro del mismo. Se busca modernizar la actividad que se realiza, con el fin de llevar a cabo una mejor exploración cultural y un mejor proceso de adquisición de conocimiento sobre las exposiciones que presenta el museo.

El trabajo que se llevará a cabo tendrá como base los objetivos anteriormente planteados por el museo. Mediante estos parámetros, se plantea una solución que logre hacer realidad esta meta. La solución que se plantea es la implementación de un prototipo de un sistema interactivo basado en computación que tenga el potencial de integrarse en una de las salas del museo y que ofrezca experiencias a sus visitantes, permitiendo la adquisición de conocimientos culturales de la región, por medio de un proceso interactivo.

Gracias al notorio aumento del uso de las tecnologías inmersivas (realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta) en entornos museográficos y de aprendizaje, se ha optado por integrar este tipo de tecnología emergentes de manera que se pueda aprovechar todo el potencial que aportan a la didáctica educativa que en definitiva es el trasfondo de este proyecto. Estas tecnologías permiten crear ambientes que dan a los usuarios la posibilidad de interactuar con entornos tridimensionales o sobrepuestos, aportando nuevas experiencias.

## **1.1. Planteamiento del Problema.**

El conflicto armado en Colombia ha desencadenado un sin número de consecuencias que afectan directamente las poblaciones más vulnerables en zonas críticas del país. El desarraigo cultural es uno de esos efectos colaterales, luego de los distintos episodios violentos vividos por estas comunidades, los desplazamientos y la falta de sentido de pertenencia de estas poblaciones.

Tumaco, también conocida como La Perla del Pacífico, es una zona que está constituida por una comunidad mayormente afrocolombiana. Tumaco vive un panorama de violencia muy marcado, tanto así, que el gobierno colombiano ha decretado en Tumaco un tratamiento especial en materia de crimen organizado con el que se pretende acabar con la inseguridad. Sin embargo, el problema de fondo es mucho más complejo de entender, ya que en la región se presentan desde bandas criminales disputando los territorios y los negocios hasta llegar al desempleo absoluto que afecta por lo menos 100.000 jóvenes que se rebuscan la vida como pueden, para subsistir entre la violencia y el miedo [2]. La Casa de la Memoria en Tumaco es una iniciativa de la Diócesis de Tumaco que busca rendir homenaje y reconstruir la memoria histórica y colectiva de la costa Pacífica Nariñense, a través de un espacio de construcción de paz y educación en el respeto de los derechos humanos. De esta forma, se busca otro enfoque en el que se puedan mitigar los problemas de violencia presentes en la región Tumaqueña.

La Casa de la Memoria cuenta con espacios de formación para la paz, reconciliación y memoria histórica. Está conformada por distintas salas, en donde cada una tiene un objetivo específico. Por ejemplo, El Santuario de las Víctimas funciona como un sitio de reflexión y de conciencia que busca honrar a todas aquellas personas de Tumaco que han sido víctimas de la violencia, creando así conciencia a los visitantes de los sucesos que ha vivido población además, buscando la dignidad en la vida de cada víctima. El museo también cuenta con una Sala de Acciones por la Vida que es un lugar que busca contagiar al visitante a dejar a un lado la indiferencia para que sea participe de la construcción de la paz en la región. También, existe un lugar que expone y reconstruye la memoria histórica de la Costa Pacífica, este espacio llamado Memorias de un Pueblo Hermoso, invita a una reconstrucción colectiva de la historia de la región[3].

El museo ha centrado gran parte de sus esfuerzos en captar la participación de los jóvenes, debido a que la juventud es la etapa de la vida en donde se empieza a sembrar la semilla del cambio. El trabajo se realizará con base a proyectos que hayan implementado estrategias llamativas con el propósito de exhibir su contenido hacia un público variado con el fin de que todos puedan disfrutar conjuntamente las obras exhibidas y las actividades. Actualmente la Casa de la Memoria cuenta con poca utilización de tecnologías.. De este modo, los procesos de enseñanza y proclamación de su mensaje referente a la paz no tienen el impacto esperado en los visitantes, en especial en el público joven.

## 1.2. Objetivos.

### 1.2.1 Objetivo General.

Diseñar e implementar un sistema interactivo computacional que permita la interacción, preservación y propagación del conocimiento de distintos elementos culturales de la región Tumaqueña hacia sus visitantes.

### 1.2.2 Objetivos Específicos.

- Investigar y analizar aspectos y prácticas culturales mayormente representativo en la región que de alguna manera se quiera preservar en la región Tumaqueña.
- Indagar sobre prácticas y soluciones creadas a partir de tecnologías interactivas aplicadas en instituciones culturales.
- Evaluar y definir herramientas tecnológicas viables para la implementación del sistema interactivo.
- Diseñar una arquitectura que permita implementar el sistemas interactivo con las herramientas seleccionadas.
- Definir y dividir tareas específicas que permitan abarcar mejor las soluciones para implementación del sistema interactivo e inmersivo.

- Implementar un sistema interactivo de acuerdo con la arquitectura propuesta..
- Evaluar la funcionalidad y usabilidad del sistema interactivo.

### **1.3. Justificación.**

La Casa de la Memoria en Tumaco ha querido impulsar la exploración de la cultura en sus salas, con el fin de captar un mayor número de visitantes, especialmente un público joven. Por lo anterior, la Casa de la Memoria se ha planteado el objetivo de explorar una solución que pueda cautivar a la comunidad de Tumaco para invitarlos a tener un mayor participación y sentido de pertenencia por la cultura de su región.

El objetivo del proyecto es poder crear un prototipo de un sistema interactivo de inmersión computacional que tiene el potencial de ser integrado en el museo. El sistema interactivo se complementa con el uso de tecnología de inmersión de realidad mixta, que va permitir al usuario interactuar con objetos virtuales que estarán sobrepuestos a un entorno real.

El proyecto tiene como propósito despertar el interés de la población por la cultura de Tumaco. Lo anterior por medio del aporte que se hace a la exploración cultural a través de un sistema interactivo que logre preservar y difundir el conocimiento a través de experiencias entretenidas para el visitante del museo.

## 2.1. Marco Teórico.

Para el diseño e implementación de un proyecto que consiste en la creación de un sistema interactivo computacional que busca ofrecer una mejor experiencia en cuanto a la acción de conocer y aprender prácticas sobre la cultura, se decide realizar una introducción e indagación sobre el campo el cual se va a destinar; este campo se conoce como museografía. Por otra parte, al tratarse de un sistema que involucra una comunicación entre un humano y un computador, se debe explicar la disciplina sobre la cual se fundamenta este proyecto, conocida Interacción Humano Computador, por sus siglas en inglés, "HCI". Además, se involucrarán elementos como el uso de la tecnología de realidad mixta y visión por computadora basada en rastreo (tracking). De igual manera, este proyecto aplica algunas prácticas que tienen como propósito exponer y enseñar mediante el uso de sistemas interactivos e implementación de juegos serios.

## 2.2. Museografía.

La museografía consiste en una serie de prácticas o aplicaciones que están al servicio del acondicionamiento del museo, a la conservación, restauración y la seguridad, en la que se observa la manera de exponer la información al público. En el estudio de la museografía se han categorizados algunos modelos de inmersión museográfico [3]:

1. **Inmersión Experiencial.** Se diseña con la finalidad de estimular la parte sensorial del visitante, por medio de la conexión emocional entre la persona y la sensaciones en un espacio expositivo. Esta inmersión se califica como provocativa y estimulante ( ver figura 2.0 imagen 1.).
2. **Inmersión Narrativa.** Es un modelo que ofrece una narrativa y una escenografía diseñada para proporcionar conexiones contextuales entre los objetos y el público. Véase la figura 2.0 imagen 2.

3. **Inmersión Teatralizada.** Haciendo uso de herramientas de pantalla envolvente, video en alta definición y sonido envolvente, esta hace parte de una combinación conjunta que ofrece una gran experiencia de inmersión a los visitantes, buscando que se tenga una buena conexión empática con la información que se expone. Véase *figura 2.0 imagen 3*.
4. **Inmersión Interactiva.** El desarrollo de nuevas tecnologías ha potenciado la posibilidad de diseñar entornos más inmersivos y participativos, permitiendo así que un espectador pasivo se convierta en un participante activo; de esta manera, es posible lograr grandes experiencias y formas de aprendizajes. Véase *figura 2.0 imagen 4*.
5. **Inmersión Virtual.** El crecimiento de las industrias de videojuegos, animación, simulación y el desarrollo de tecnologías de realidad virtual y aumentada han permitido trascender de un entorno meramente físico y temporal, permitiendo a los visitantes adentrarse en entornos simulados. Véase *la figura 2.0 imagen 5*.

Es importante entender que parte del primer análisis realizado en la sección 3.1 tiene en cuenta una observación preliminar sobre la museografía que se tiene actualmente en La Casa de la Memoria de Tumaco. Con base en este análisis se realiza la propuesta de integración de un modelo más atractivo.



a) Submerge del Museo ARTEHOUSE.



b) Exposición de automóviles de la Nation Motor Museum.



c) Recreación teatral película el circo del museo Chaplin's World



d) Concepto interactivo del gran museo del mundo maya de Mérida



e) Recreación virtual de la ciudad antigua de Roma "RomeReborn".

*Figura 2.0. Ejemplos de modelos aplicados en museos. a) Inmersión Experiencial[39]. b) Inmersión Narrativa[40]. c) Inmersión Teatral[41]. d) Inmersión Interactiva[42]. e) Inmersión Virtual[43].*

### 2.3. Multimedia interactiva.

El campo de la multimedia está relacionado con la integración controlada por computadora de texto, gráficos, dibujos, imágenes fijas y en movimiento (video), animación, audio y cualquier otro medio que se pueda almacenar, comunicar y manejar digitalmente [4]. La multimedia interactiva está centrada en la implicación de las percepciones sensoriales, es decir, los sentidos visuales, auditivos y táctil, sobre un material que es entregado mayormente por una computadora. Este material incluye medios visuales como: imágenes, diagramas con texto, componentes móviles o dinámicos y, medios auditivos como voces superpuestas, música y sonidos que ilustran algún componente. También, se involucra el uso de dispositivos de entrada y salida[5].

Los sistemas de multimedia interactiva se pueden observar aplicados en varios entornos tales como:

**Publicidad:** se utiliza principalmente para fines comerciales, Aquí, la finalidad no se limita a la presentación de imágenes, sino a poder realizar presentaciones que puedan lograr impacto en las personas. La interactividad puede verse aplicada ya sea por medio de la escritura de texto en pantalla, táctil o el uso de ratón (dispositivo informático). Véase *la figura 2.1*.



*Figura 2.1. Valla publicitaria interactiva.[44]*

**Video Juegos:** el Kinect es un ejemplo de un sistema multimedia interactivo aplicado en los videojuegos. Este dispositivo a través de sus cámaras y sensores utiliza los movimiento corporales del usuario para así poder manipular el juego. *Vease la figura 2.2*



*Figura 2.2. Vista del dispositivo Kinect[45].*

**Educación:** en el entorno educativo los sistemas de multimedia interactiva se han convertido en un componente que apoya el proceso pedagógico, se busca aportar aprendizaje y capacitación de una manera más didáctica que los medios convencionales educativos; logrando una mayor vivacidad en el aprendizaje y en la manera en cómo se presenta la información a través de diferentes medios[6]. Existen gran variedad de sistemas multimedia interactivos, desde simuladores virtuales, videojuegos educativos y pizarras interactivas.

Dentro del proyecto se ideó un diseño de un componente de multimedia interactivo que se describe en la sección 4.2.

### 2.4. Juegos Serios.

Los juegos serios son una rama de los videojuegos que tienen un propósito mas allá del entretenimiento. Los juegos serios se han creado como una herramienta que permite a los jugadores aprender interactuando con juegos de una manera novedosa, ya que permiten a los jugadores lograr adquirir habilidades y conocimientos de una manera divertida e interactiva[7]. Los juegos serios tienen algunas aplicaciones como: educación, capacitación, ingeniería, atención médica, aplicaciones militares, planificación urbana, producción, respuesta a crisis, etc.

Para que un video juego se pueda considerar como un juego serio, debería de cumplir con la mayoría de las siguientes características[8]:

- Lograr el aprendizaje de una habilidad o competencia.
- Ofrecer simulaciones de tareas reales que realiza un alumno.
- Tener sistemas de insignias o puntos.
- Incluir aspectos sociales, chat y acceso a recursos reales.
- Tener una trama o Historia.
- Incluir entrenadores (ya sea un jugador o herramienta guía), avatares( un personaje jugable que representa al usuario),NPC( Personajes no jugables).
- Brindar opciones de comentarios o feedbacks.
- Tener un sistema de decisiones, que permitan construir la historia.

Algunos ejemplos de videos juego serios son:

- Planeación Urbana y transporte ( Ejemplo. City Skylines y Simutrans).
- Aviación y conducción ( Ejemplo. Microsoft Flight Simulator y Euro Truck Simulator).
- Táctica Militar (Ejemplo. Close Combat: Marines).
- Ciencia( Ejemplo. NanoMission y Genomics Digital Lab).

### **2.4.1 La relación que tienen los juegos serios con la gamificación y edutainment.**

El concepto de Edutainment se relaciona con la manera de lograr que el aprendizaje se torne más divertido. Lo anterior implica poder realizar una pedagogía interactiva en la que se pueda demostrar que se puede aprender de una manera entretenida [9]. Por otro lado, la gamificación es la aplicación de mecánicas de juego (puntajes, ranking, niveles, recompensas) a ciertas situaciones, actividades o tareas particulares fuera del contexto jugabilístico, con la finalidad de poder lograr convertir algo que se caracterizaba por ser tedioso en algo más ameno [10]. Para Seymour Papert, el edutainment incorpora un aprendizaje de habilidades cognitivas de orden inferior (ejercicio y práctica). Véase *la figura 2.4* a través de juegos enfocados a lo educativo. En contraste, los juegos serios tienen el objetivo poder facilitar el aprendizaje de habilidades cognitivas de orden superior véase *la figura 2.4*

<b>Taxonomía de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl</b>	
crear	NIVEL DE COMPLEJIDAD ALTO
evaluar	
analizar	
aplicar	
comprender	
recordar	
	NIVEL DE COMPLEJIDAD BAJO

Figura 2.3 Taxonomio de Bloom reformada para la era digital.

La relación de la gamificación con los juegos serios consiste en aprovechar ciertas mecánicas de juego que pueden destinarse a procesos que hacen parte de algún aprendizaje cognitivo. Véase la figura 2.4.

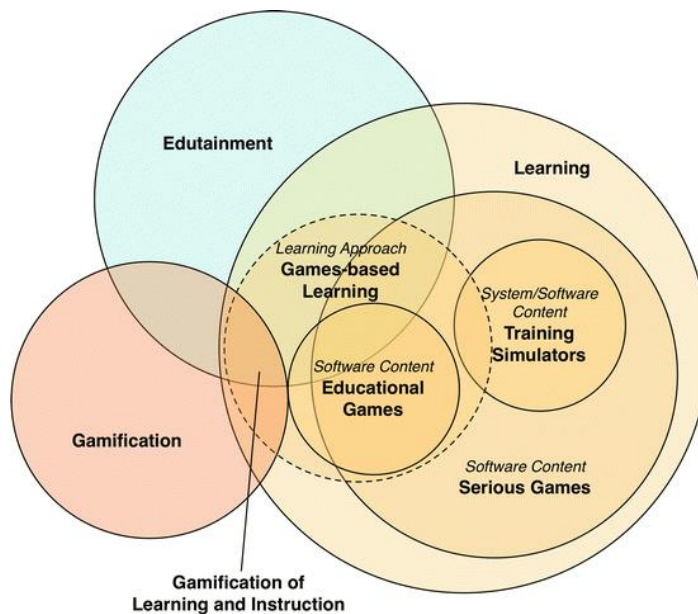


Figura 2.4 Relación entre edutainment, gamificación y Aprendizaje [11].

Dentro la sección 4.2 se detalla la integración y creación de un juego serio para el proyecto cuya finalidad es el aprendizaje y la motivación.

### 2.5 Interacción Humano-Computador(HCI).

La Interacción entre Humanos y Computadoras, (HCI) (Human-Computer Interaction) es un área de investigación multidisciplinaria enfocada en las modalidades de interacción entre humanos y computadoras. En otras palabras, la disciplina HCI investiga y trata todos los aspectos relacionados con el diseño y la implementación de las interfaces entre los humanos y las computadoras [12]. La Interacción entre Humanos y Computadoras busca brindar tecnologías y experiencias que permitan la comunicación asertiva entre el humano y la computadora [13].

Los objetivos de la disciplina de HCI son:

- Creación y aplicaciones de técnicas y procesos para el diseño interfaces con el fin de optimizar ciertos objetivos.
- La Implementación eficiente de interfaces.
- Creación y aplicación de técnicas de evaluación de interfaces.
- Desarrollar nuevas técnicas de interacción
- Desarrollar nuevos modelos y teorías de interacción.

#### 2.5.1 HCI en términos de usabilidad.

El término de usabilidad según la organización internacional de estándares (ISO) se define como: “medida en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por ciertos usuarios para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico. Aunque puede presentarse más conceptos de usabilidad es importante agregar atributos adicionales que son importante en la usabilidad: capacidad de aprendizaje , memorabilidad , corrección funcional, eficiencia , tolerancia a errores , flexibilidad y satisfacción [14]”.

Mediante la *figura 2.5*, se presentan una serie de descripciones que detallan un conjunto de criterios que permiten lograr un efecto usabilidad en el sistema que se esta implementando. Las pruebas que permitirán conocer el grado de usabilidad de esta propuesta se realizarán con base en este diagrama. Es válido aclarar que posiblemente ciertos criterios no se considerarán. Las pruebas en el sistema se detallan en la sección 6.1.

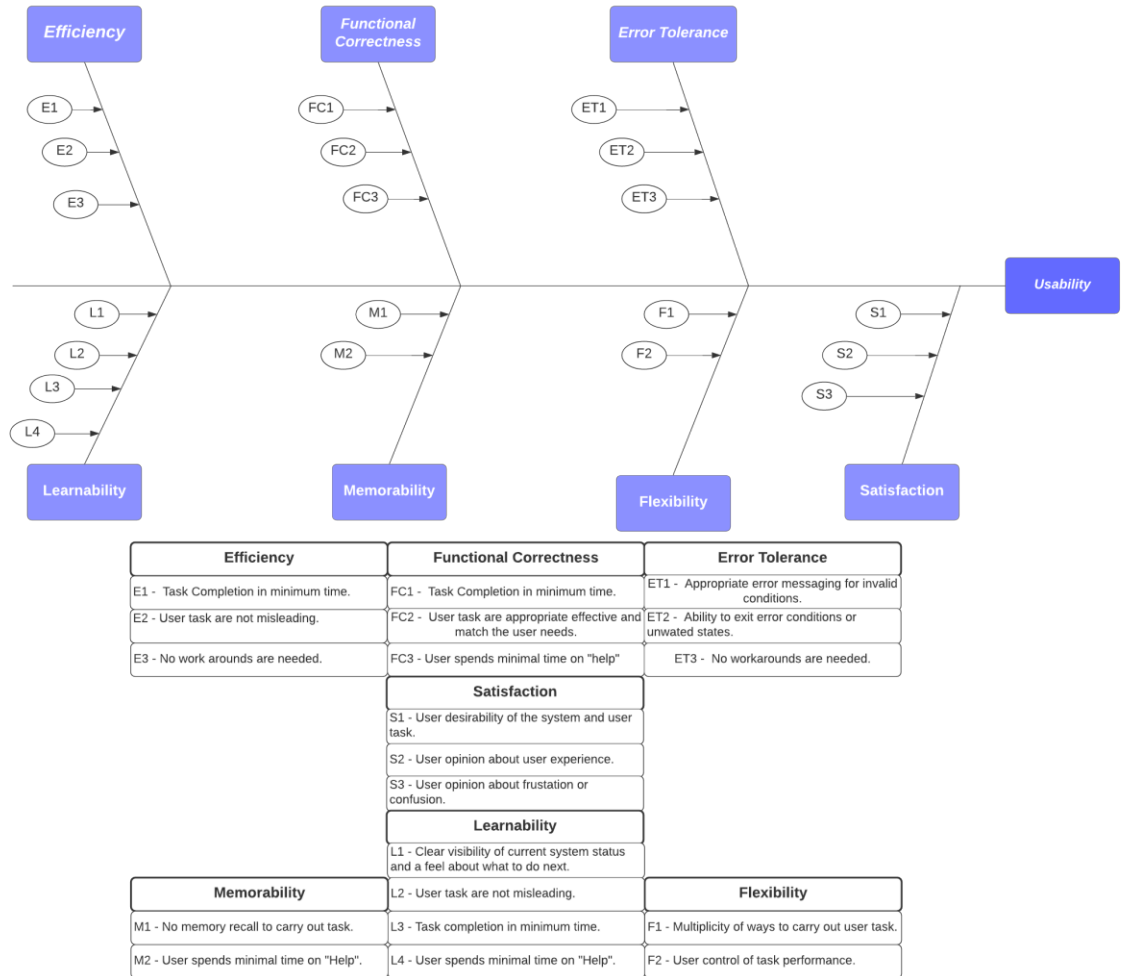


Figura 2.5 Diagrama de Ishikawa de Usabilidad [14].

## 2.6. Realidad Mixta.

La realidad mixta es una tecnología de inmersión que permite mezclar el mundo físico con el mundo digital. La realidad mixta permite que, en el entorno de visualización, los objetos físicos reales puedan coexistir e interactuar en tiempo real con los virtuales [15].

Actualmente, se encuentran tipos de tecnologías de inmersión como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la virtualidad aumentada (VA). Estas tecnologías ofrecen la posibilidad de tener: inmersión, interactividad y percepción múltiple. Sin embargo, se debe estudiar el concepto de cada una para luego poder entender sus diferencias.

### **2.6.1 Realidad Virtual.**

La realidad virtual (VR) es el uso de la tecnología informática para crear un entorno simulado. A diferencia de las interfaces de usuario tradicionales, la realidad virtual coloca al usuario dentro de una experiencia. En lugar de ver una pantalla frente a ellos, los usuarios están inmersos y son capaces de interactuar con mundos 3D. Al simular tantos sentidos como sea posible, como la visión, el oído, el tacto e incluso el olfato, la computadora se transforma en un guardián de este mundo artificial [16].

### **2.6.2 Realidad Aumentada.**

La realidad aumentada es la integración de la información digital con el entorno del usuario en tiempo real. la realidad aumentada utiliza el entorno existente y superpone información nueva sobre él. Estas entradas pueden incluir sonido, video, gráficos, superposiciones de GPS y más [17].

### **2.6.3 Virtualidad Aumentada.**

La virtualidad aumentada es una subcategoría de la realidad virtual ya que de igual manera se mantiene en un entorno mayormente virtual, sin embargo, en este entorno virtual se agregan elementos del mundo real con los cuales interactuar en tiempo real [18].

La *figura 2.6* muestra cómo se segmentan las tecnologías de inmersión. Se puede observar ambiente físico real (izquierda) y el ambiente virtual simulado (derecha), y un segmento intermedio que incorpora la realidad mixta y, dentro de ella, se subyacen dos tecnologías, la realidad aumentada (izquierda) y la virtualidad aumentada (derecha).



Figura 2.6 Continuidad Realidad-Virtual[46].

Se mencionó al principio que estas tecnologías ofrecen la posibilidad de tener inmersión, interactividad y percepción múltiple; sin embargo, estos conceptos se mencionan de manera muy general. En el anexo 2.7 se realiza una comparación entre las posibilidades anteriormente mencionadas y una posibilidad adicional que se cataloga como tecnologías claves. En este cuadro no se incluye la virtualidad aumentada debido a que es una subcategoría de la realidad virtual.

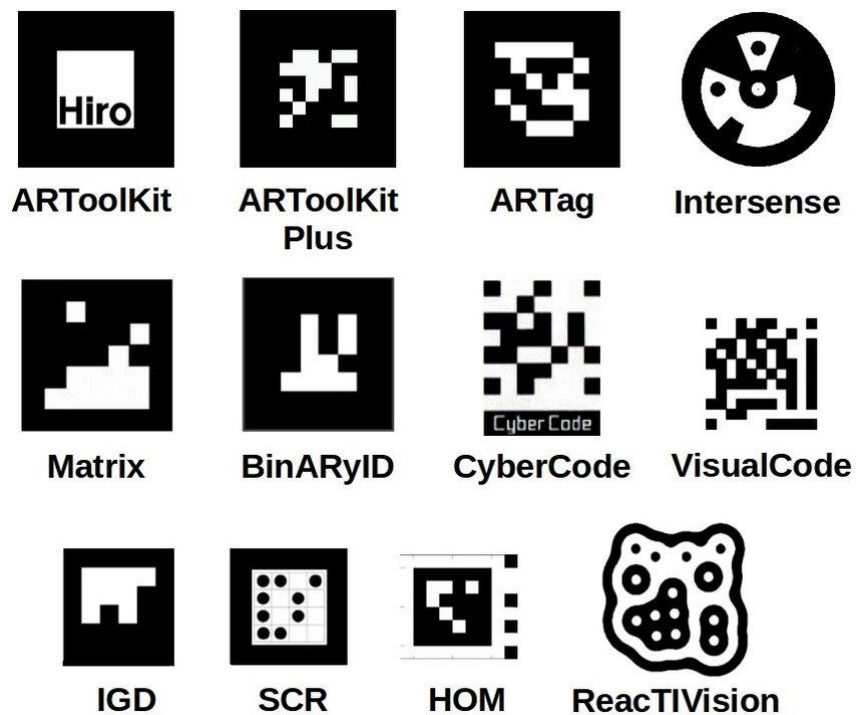
La sección de Selección de Herramientas (sección 5.1) explica el conjunto de herramientas tecnológicas claves seleccionadas para la implementación de la realidad mixta en el sistema interactivo.

## 2.7. Visión por Computador basado en rastreo.

El rastreo es una tecnología que se utiliza principalmente en los sistemas de realidad aumentada. La idea consiste en utilizar como dispositivo de captura la cámara. A través de ella se obtiene información del entorno físico, que luego se utiliza para ser procesado y mezclado con elementos virtuales. El rastreo se caracteriza por utilizar algoritmos de procesamiento de imágenes que aplican la detección de objetos físicos con el fin de poder calcular sus posiciones. Las ventajas de estos sistemas de rastreo es que cuando cierto objeto se encuentra alineado correctamente en la captura de la cámara, este sistema permite reconocer diferentes contenidos pictóricos planos, desde un marcador específico (cuando se realiza seguimiento por marcadores) a algo más natural (seguimiento sin marcadores)[22].

### 2.7.1 Rastreo mediante seguimiento de marcadores.

Para la realización de un tracking que requiera de menos capacidad computacional para un dispositivo móvil, se tienen unos marcadores de referencia (*ver figura 2.9*). Estos marcadores son comúnmente utilizados debido a su efectividad en reconocimiento y brindan superposiciones más precisas sobre el entorno físico, debido a que utilizan un algoritmo con baja demanda computacional [22].



*Figura 2.9 ejemplos de Marcadores de referencias[23].*

En la figura 2.10 se tiene el flujo de trabajo que muestra el proceso que lleva a cabo la detección de estos tipos de marcador. Ver anexo 8.1 para el marcador de referencia utilizado en el sistema.

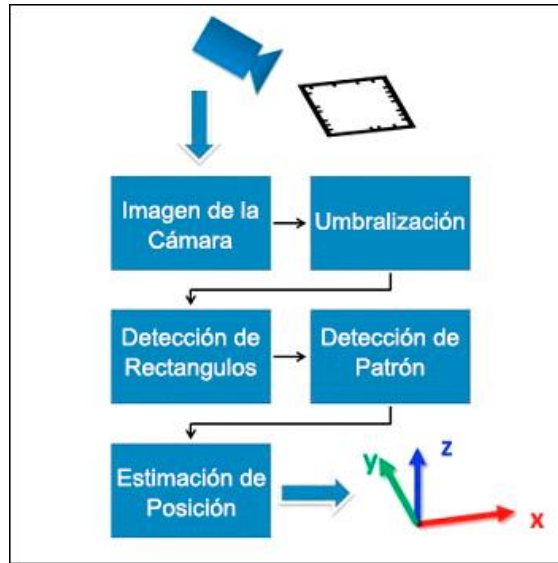


Figura 2.10 Flujo de procesamiento de AR[22].

El flujo que se expone en la figura 2.10 el algoritmo consiste en:

1. Se recibe como entrada una imagen de la cámara.
2. la imagen de la cámara pasa por un proceso de umbralización, en donde primero una imagen queda en una escala de grises y luego se realiza el proceso de convertir una imagen con valores de píxel de tipo binario, siguiendo la definición de umbralización:

Teniendo un constante  $T$  y un píxel con intensidad definido por  $I_{i,j}$ . Si se cumple que  $I_{i,j} < T$  el píxel se define como de color negro, pero si  $I_{i,j} > T$ , entonces el píxel se define de color blanco[24].

3. Luego en la imagen binaria, se hace una detección de rectángulos. Esto se realiza por medio de la búsqueda de bordes en la imagen que puedan tener un contorno cerrado y potencialmente paralelogramo.
4. Luego se mira el contenido del marcador y se analiza el patrón que se encuentra dentro de los bordes del marcador.
5. En el último paso se realiza una estimación de posición de la cámara y esta se realiza calculando la traslación y orientación de la cámara en el mundo real. Este cálculo sigue la siguiente fórmula matemática que contempla sus parámetros internos, la posición de los puntos de referencia 3D y sus proyecciones en la imagen.

$$s \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & t_1 \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & t_2 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = PA \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$(X_c, Y_c, Z_c)$	Coordenadas de la cámara.
$(X, Y, Z)$	Puntos de referencias en 3D.
$R$	Rotación.
$t$	Traslación
$A$	Matriz de posición
$P$	Parámetros internos de la cámara.
$(x_c, y_c)$	Coordenadas de proyección en la pantalla de la cámara.

Cabe notar que este proceso es iterativo para cada frame de la cámara.

En la *sección de 5.1.3* se realiza una selección sobre un conjunto herramientas de software que utilizan tecnología de rastreo para ser aplicada en el sistema interactivo.

## 2.8 Trabajos Relacionados.

El artículo **DT-Zheng: Digital Twin Method for Zheng Musical Instrument [ACM]** describe un sistema que tiene como objetivo construir alrededor de los Instrumentos musicales digitales-DMI un conjunto de experiencias interactivas, generación de sonido digital del instrumento y un entorno virtual inmersivo. En la construcción a nivel de hardware del instrumento, se busca una representación directa entre los sonidos reales y su equivalente en su transformación de elementos electrónicos, eliminando el entorno de ruido en la capacitancia de los dispositivos, ajuste del equilibrio acústico, ajuste de reverberación y efecto de retardo. Al finalizar este proceso de transformación resulta un sonido simulado similar a la realidad y se pueden generar distintos efectos [26]. El entorno de Realidad Virtual Musical VRMI usado en esta simulación es un estilo libre que le permite al usuario jugar en el periférico propuesto y observar VRMI. Este proyecto muestra que a través del entretenimiento educativo de VRMI, la tediosa práctica de un instrumento se convierte en algo divertido.

El artículo **A multimodal augmented reality DJ music system [IEEE]** parte de uno de los objetivos de la Interacción Humano-Computador HCI que es utilizar métodos de comunicación más intuitivos y naturales, otorgando particular importancia en la implementación de un sistema de entretenimiento de Realidad Aumentada Multimodal interactiva en tiempo real. El sistema se basa en un entorno musical de DJ compuesto por 4 módulos: reconocimiento de voz, módulo de seguimiento de la cabeza y motor gráfico, módulo de seguimiento de gesto y un módulo de síntesis de sonido. Utiliza una conexión Ethernet que garantiza la comunicación multimodal con éxito. En la interacción con el usuario, es posible visualizar en tiempo real, bailarines 3D sobre un tablero de interacción controlado por comandos de voz y gestos manuales [27]. Al concluir, los autores plantean un amplio panorama como oportunidades de mejora integrando nuevos dispositivos que permitan al usuario una interacción más cómoda usando gafas.

El artículo **Piano learning application with feedback provided by an AR virtual character [IEEE]** describe una aplicación móvil que usa Realidad Aumentada RA con el propósito de mejorar la experiencia a la hora de aprender a tocar un instrumento de teclado. La aplicación permite a los usuarios elegir entre las canciones preferidas que desean aprender y practicar mediante el uso de una notación simplificada que elimina la barrera que impone el uso de notación musical[28]. La propuesta se centra en usar el potencial de la RA para mostrar las instrucciones encima del instrumento que se está tocando sin puntuar ni proporcionar comentarios sobre el rendimiento del usuario. En la narrativa se puede concluir que este tipo de estrategias ayudan a reforzar el aprendizaje de instrumentos de teclado, la presentación de comentarios e instrucciones de uso en la interacción.

El artículo **Realization of keyboard instruments on mobile platform with mixed reality [IEEE]** expone la realización de un instrumento de teclado aprovechando la compatibilidad que permiten hoy día la interconectividad de estos dispositivos con tecnologías como Realidad Aumentada, Realidad Virtual RV y Realidad Mixta RM. Para este caso en particular se usa RM para proyectar sobre una plantilla de tamaño especificado el teclado de interacción [29]. De manera concluyente, los autores muestran la importancia de una buena capacidad de cobertura de cámara. Finalmente, evalúan la mejor percepción ante el ojo humano en relación al rendimiento de la aplicación.

El artículo **The application of interactive design in museum exhibition space [IEEE]** muestra desde una perspectiva de integración de características

psicológicas y fisiológicas de la audiencia, diseños interactivos que permitan una experiencia visual, auditiva, táctil y multisensorial [30]. Se establece un método de diseño de espacio en los museos, que permite el acercamiento a exhibiciones que no se pueden tocar, a través de muestras y modelos que permiten la interacción. El objetivo concluyente en este artículo es integrar estrategias a la exhibición, pero no desplazar las formas tradicionales, aportando diversidad y promoviendo el desarrollo de nuevos espacios que permitan imaginación en los recorridos.

El artículo **The use of Digital Media in a New Urban History exhibition** expone las medidas adoptadas por el museo moderno STAM de la ciudad de Gante en Bélgica. Este es un museo que aprovecha el uso de medios digitales para conectar diversas salas a través de medios como: pantallas, modelos 3D, mesas multitáctiles y fotografías enriquecidas digitalmente ubicadas en pisos y paredes. El uso de los medios digitales es la razón por la que tanto jóvenes como mayores, antiguos y nuevos visitantes han acogido positivamente estas medidas. En general todas las exhibiciones en STAM usan tecnología multimedia, ya sean en pinturas, documentos, artefactos y otros objetos que son exhibidos al público [31]. Se concluye que la aplicación de tecnologías en ambientes museográficos, ofrece buenos resultados a la hora de conectar al público con la historia y la cultura, sólo si se aplica de manera correcta.

En el artículo de **A digital look at physical museum exhibits** presenta la incorporación de realidad aumentada (RA) en la narrativa del museo, permitiendo así que el visitante pueda escoger cuatro formas de mirar digitalmente las exhibiciones: reconstrucción virtual de un objeto ; reubicación original de los objetos; resaltado visual de detalles interesantes y anotaciones; y recreación de apariciones mitológicas [32]. La conclusión del trabajo indica que los usuarios tenían más curiosidad por conocer más detalles de la exposición y además afirman que la RA es una herramienta adecuada en términos de enfoque descriptivo y orientado a objetos. El uso de medios inmersivos en exhibiciones despierta en el usuario mayor curiosidad..

En el artículo **Application of Intuitive Mixed Reality Interactive System to Museum Guide Activity** presenta una aplicación de un sistema interactivo intuitivo de realidad mixta a la actividad de guía en los museos. Este consiste en una aplicación de realidad mixta donde se disminuyen las técnicas de reconocimiento de gestos y se usa el teléfono inteligente y piezas de cartón (imagen) para generar el servicio de realidad mixta [33]. Se sugiere que los usuarios pueden realizar una interacción intuitiva con el objeto 3D.

El artículo **The Deployment of a Mixed Reality Experience for a Small-Scale Exhibition in the Wild** describe la importancia en las exposiciones donde los usuarios pueden explorar de forma virtual, sin cambiar el espacio físico [34]. Se presenta una exposición, donde a través de un Microsoft HoloLens, los autores crean una experiencia interactiva sobre una colección de elementos físicos históricos.

De acuerdo a los artículos anteriores, se reconoce la importancia de integrar tecnologías tales como: interacciones multimedia, interacción Humano-Computador, Realidad Aumentada, Realidad Mixta y Realidad Virtual; tomándolas como punto de partida en la elaboración de un sistema con un alcance real y viable en su implementación. Rescatando como línea transversal en todos los anteriores artículos, un componente interactivo que construya y despierte la creatividad e impulse el interés en apuestas innovadoras de este tipo.

Una visita al museo con recordación positiva en sus visitantes requiere como pieza fundamental una experiencia por parte del visitante que involucre la mayor cantidad posible de sus 5 sentidos (vista, olfato, oído, gusto y tacto) en el proceso de producción de significados [48]. Es por esta razón que se plantea como propuesta para mejorar la experiencia de los visitantes en la **Casa de la Memoria - Tumaco**, un prototipo funcional de un sistema Interactivo aplicado para la exploración cultural, que permita la integración de dispositivos tecnológicos y un instrumento musical como medio de interacción y transmisión de datos para poder ejecutar dicha interacción.

El propósito es brindar una herramienta de interacción entre el visitante y un instrumento musical tan conocido en la región del Pacífico de Colombia como lo es la marimba de chonta, que reúne un sin fin de historias familiares en los habitantes de la región Tumaqueña y ahora se transforma usando la tecnología para enseñar parte de su historia de forma didáctica e innovadora.

### 3.1 Modelo de Inmersión museográfica del museo de la casa de memoria en Tumaco.

Actualmente la casa de la memoria de Tumaco, dentro de sus instalaciones, cuenta con tres salas. La primera, es una sala dedicada a la cultura afrocolombiana e indígena del Pacífico Nariñense. La segunda sala presenta a las víctimas del conflicto armado en el Pacífico Nariñense y se muestran las historias de cada una de ellas, buscando hacer un homenaje a cada persona. La tercera invita a que las personas se unan a la causa de construcción de paz.[1] Ver *Figura 3.1*.



Sala de acción por la Paz.



Sala de la cultura



Sala de la memoria.

*Figura 3.1. Salas de la casa de la memoria en Tumaco.*

El modelo de inmersión museográfica que incorpora el museo es un modelonarrativo, que valiéndose de exposiciones y medios desplegados en pantallas no interactivas, expone información relevante al público..

### 3.2 Propuesta de modelo inmersión museográfica.

Se propone integrar un modelo de inmersión interactiva sobre unas de las exposiciones de la sala de la cultura. La *Figura 3.2* muestra la exposición objetivo de la aplicación en esta propuesta. En esta exposición se visualizan los elementos que hacen parte de la exhibición: un instrumento musical, información relevante adjunta en la pared que se complementa con un elemento de imagen no interactiva desplegado en un televisor.



*Figura 3.2 La exposición objetivo de aplicación de la propuesta.*

El sistema interactivo que se va integrar en la exposición ilustrada en la *Figura 3.2* tendrá la ventaja de convertir el instrumento musical en un medio de interacción humano-computador. Este instrumento musical permitirá al usuario interactuar en un entorno físico-virtual gracias a la implementación de un sistema de realidad mixta que permitirá ajustar y agregar de manera dinámica el despliegue de información.

Partiendo de la necesidad de implementar un modelo de inmersión museografía interactiva sobre una exposición especial de la Sala de la Cultura del museo, el proyecto se encamina en diseñar un sistema que permita interacción por medio de la integración con tecnologías de realidad mixta en donde se pueda involucrar la interacción a través del uso de un instrumento musical (físico) sobre un ambiente físico-virtual.

El sistema propuesto pretende cubrir dos estrategias de transmisión de conocimiento a los actores involucrados en la visita al museo. El enfoque histórico será el encargado de transmitir conocimiento de la memoria histórica y cultural de la región; y la estrategia que aborda el módulo de video juego permitirá a los usuarios tener un acercamiento con la música gracias a la dinámica de un juego que introduce al usuario en un ambiente musical, aún sin tener conocimiento previo de la interpretación de un instrumento.

#### **4.1. Perfil del público Objetivo.**

El sistema interactivo puede ser utilizado por cualquier persona; sin embargo, está dirigido a un público que se encuentra en edades comprendidas entre los 13 a 17 años, es decir, perteneciente a la educación media.

#### **4.2. Video Juego Musical.**

La música en el Pacífico Nariñense hace parte de la cotidianidad. Además cumplir con la función de acompañar el baile y animar la fiesta, es un sello artístico intrínseco que alimenta el diálogo y la convivencia en la comunidad [MinCultura, 2002]. Tradicionalmente, los jóvenes comienzan su primera etapa de acercamiento al arte de la música, realizan su proceso de aprendizaje por medio de imitación que consiste en igualar la tocada de la pieza musical de igual manera como la realiza su maestro [35]. Bajo esta dinámica de enseñanza musical, se plantea la creación de un video juego serio que tiene como objetivo específico el lograr que los usuarios puedan tocar e imitar piezas musicales a través de un medio de juego. Como característica adicional, el juego va despertar cierta competitividad a través de un sistema de puntajes que permitirá que los usuarios puedan perfeccionar el nivel de interpretación sobre una pieza musical con respecto a otros jugadores.

### 4.2.1 Mecánicas de juego.

Los videojuegos musicales, se enfocan en lograr una interacción entre el jugador y la música. Esto se logra creando un patrón para canciones que son tocadas a través de un instrumento musical. El instrumento de Marimba usado como medio de entrada tiene alrededor de 12 tablas, que van a ser utilizadas para interpretar una canción a través de la ejecución de patrones (*ver figura 4.0*) que simulan el modo cómo se tocaría una canción sobre el instrumento musical.

En la *figura 4.0* se observan dos elementos interactivos del juego, la nota musical que permanecerá en caída y desaparecerá cuando sea colisionada con el pulsador. Se tienen alrededor de 12 pulsadores. Cada uno representa una unidad de cada tabla del instrumento. Al accionar un tabla esta activa un pulsador correspondiente, y dependiendo del estado que se tiene de acuerdo a la *figura 4.0*, si el pulsador fue activado estando la nota musical dentro de contorno del pulsador será una nota bien tocada, pero si no se encuentra correctamente encuadrada con el pulsador al momento de haberlo activado, esta nota musical se calificará como mal ejecutada. Al final del juego se realiza un recopilatorio de notas musicales bien ejecutadas y de acuerdo con ello resultará un puntaje.

En la *Figura 4.1* se detalla el flujo que seguiría el usuario dentro de la aplicación móvil al momento de inicializar el video juego musical hasta cuando finalice de jugar y procede a registrar el puntaje obtenido de acuerdo a la nivel de exactitud en cómo se tocó cada nota musical que compone la canción. El puntaje que registra el usuario al final del juego se clasifica de acuerdo a otros puntajes registrados por otros jugadores que han jugado el video juego musical. Se debe decir que este sistema de puntaje no se guarda localmente en el dispositivo, sino que se consulta y se actualiza en un servidor expuesto en la red. *ver más detalles de la arquitecturas físicas 4.10 y despliegue 4.11.*

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

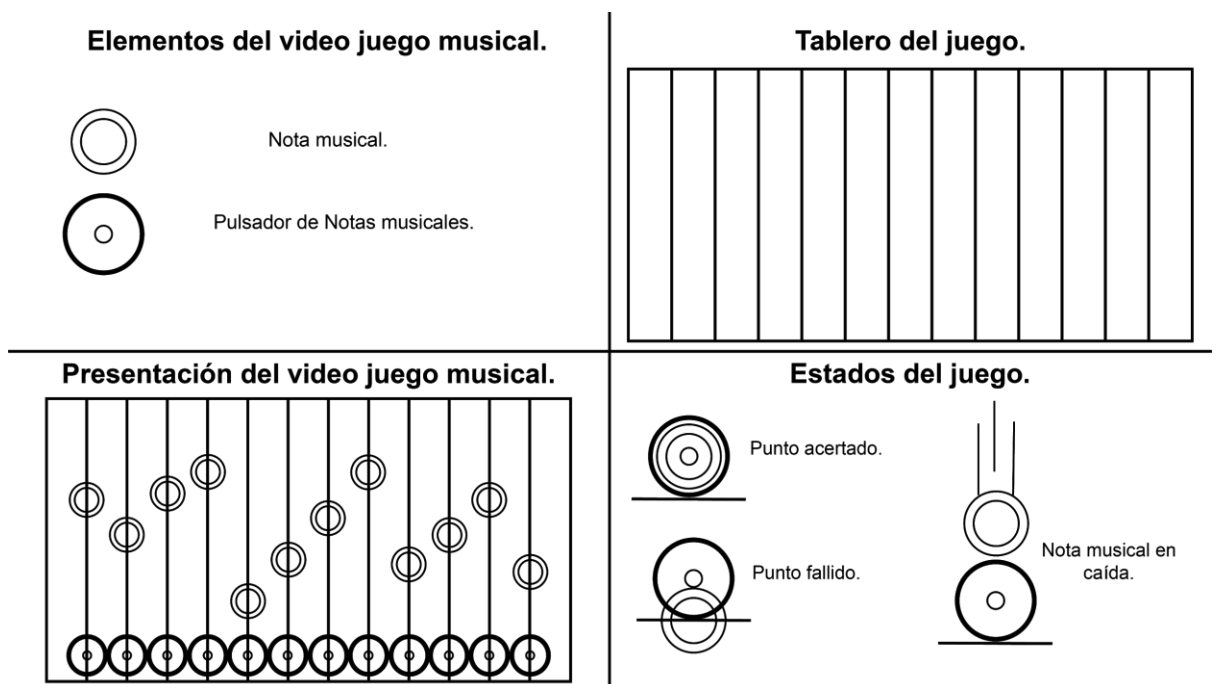


Figura 4.0 Mecánica del video juego musical.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

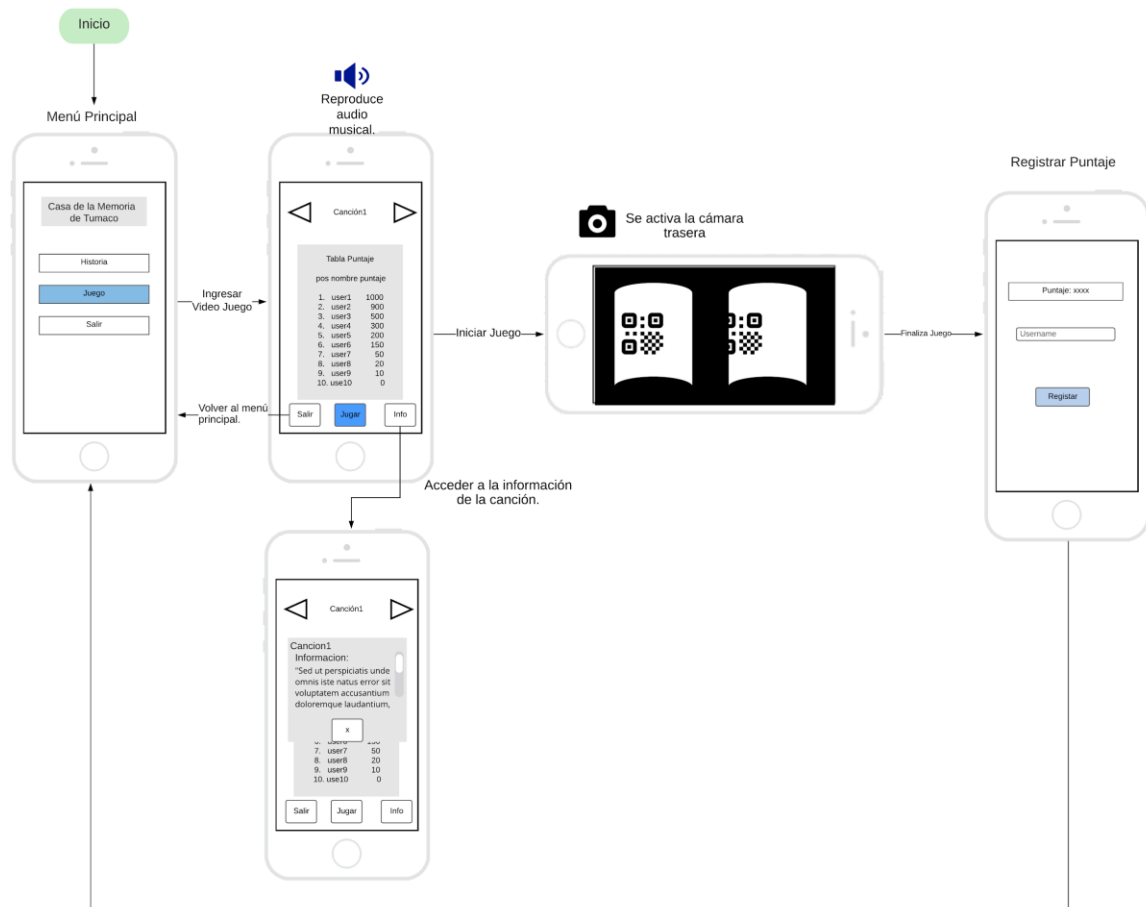


Figura 4.1 Interfaz y flujo del menú del video juego.

### 4.3 Enfoque Histórico.

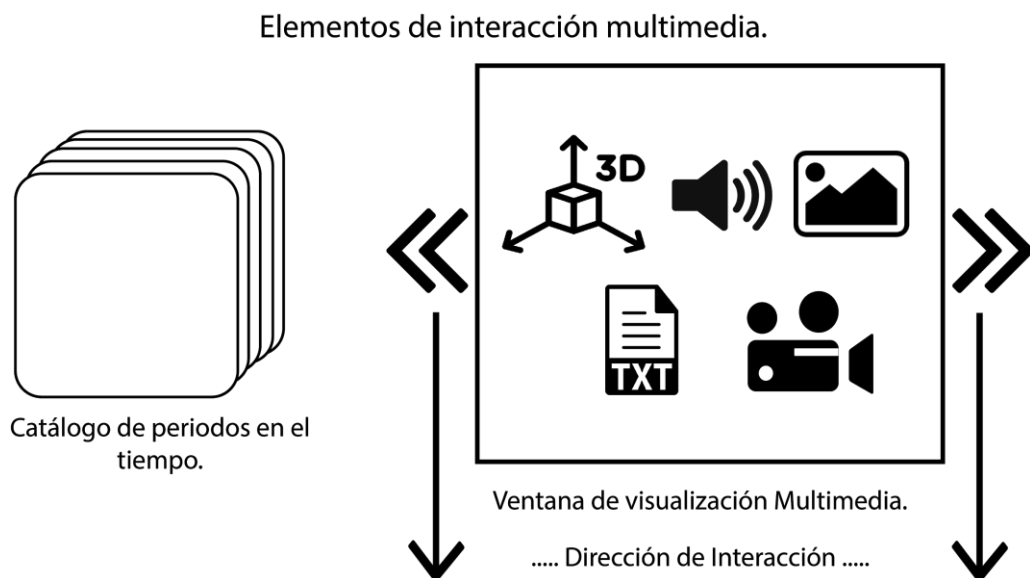
La construcción de cultura en un país es fundamental, es por esto que una labor importante es la preservación y esto incluye los retos sociales a los que se enfrentan las comunidades del Litoral Pacífico. El Ministerio de Cultura Colombiano en los últimos años ha venido uniendo esfuerzos especialmente en regiones apartadas donde por más de 50 años, los hechos de violencia han quebrantado el tejido social [49].

El traspaso de conocimiento generacional, tradicionalmente se hace a través de la oratoria en espacios cálidos hogareños, de padres a hijos... de abuelos a nietos. Basados en esta actividad, se crea una estrategia de interacción usando multimedia interactiva que permita visualizar la información bajo acciones en las teclas de la marimba como entrada al sistema.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

En la *Figura 4.2* se observan los elementos que comprende la interacción multimedia. Se encapsula una abstracción de la línea de tiempo de los acontecimientos que rodean la cultura Tumaqueña a través de los años. A su vez, cada acontecimiento permite ampliar el contenido en la interacción. La *Figura 4.2* indica la dirección en la cual el usuario puede interactuar en ambas abstracciones representadas de dos maneras distintas para los periodos de tiempo (años y contenido por año).

En la *Figura 4.3* se expone el flujo que seguirá el usuario en la interacción de la aplicación móvil desde que se acciona al ingresar en el módulo de historia hasta que finaliza la interacción. Esta interacción es posible gracias a la comunicación desde el módulo de la historia con la base de datos y el paso de información.



*Figura 4.2 Mecánica Multimedia la Historia.*

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

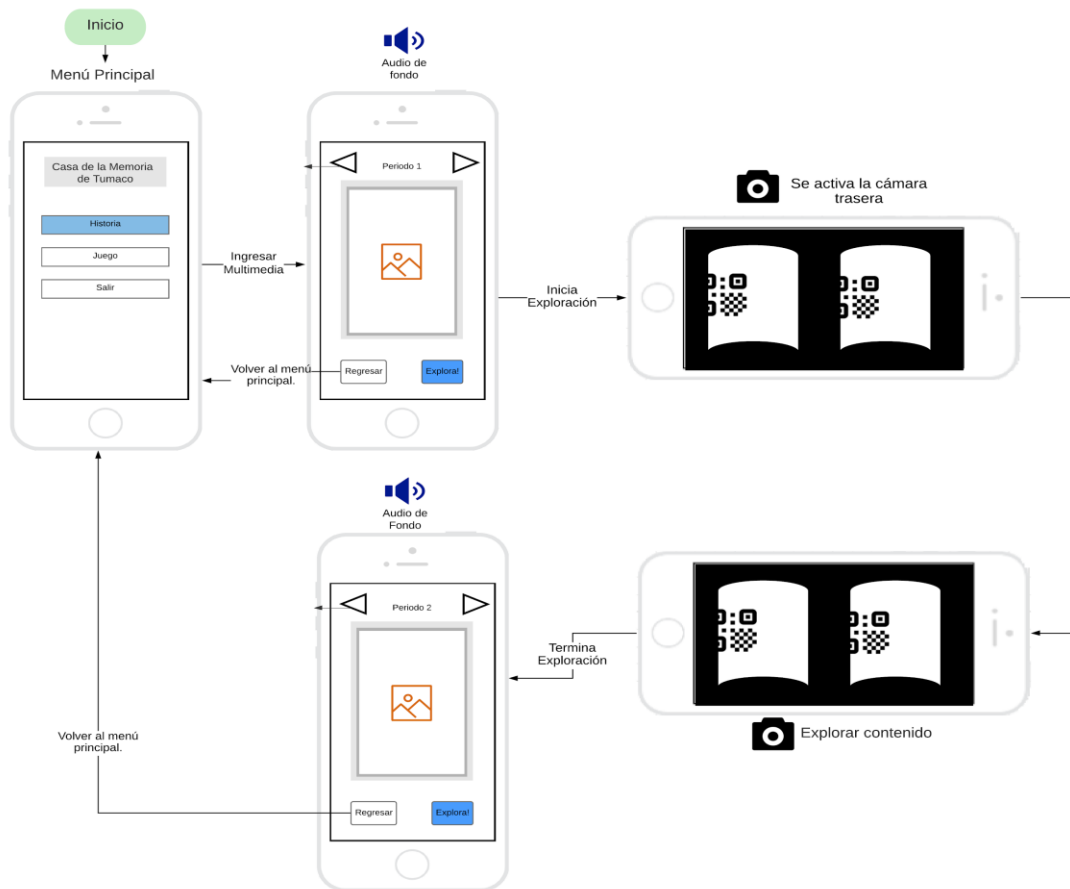


Figura 4.3 Interfaz y flujo del menú de la Historia.

## 4.4. Metodología de Trabajo.

### 4.4.1 Kanban.

“Kanban” es un término japonés que significa tarjeta con signos o señales visuales. Este sistema fue creado por la necesidad de llevar un sistema que pudiese dar planificación de manera sencilla y que permitiera controlar y administrar cada etapa de la cadena de producción de una manera óptima. Kanban fue aplicado en el año 2004 por David J. Anderson quien lo definió como un método que permite trabajar con conceptos de extracción, teoría de colas y flujo como se representa en la *Figura 4.4*, en donde se define cada flujo que tendrá el proyecto y se expone el estado en el que se encuentra cada tarea[36].

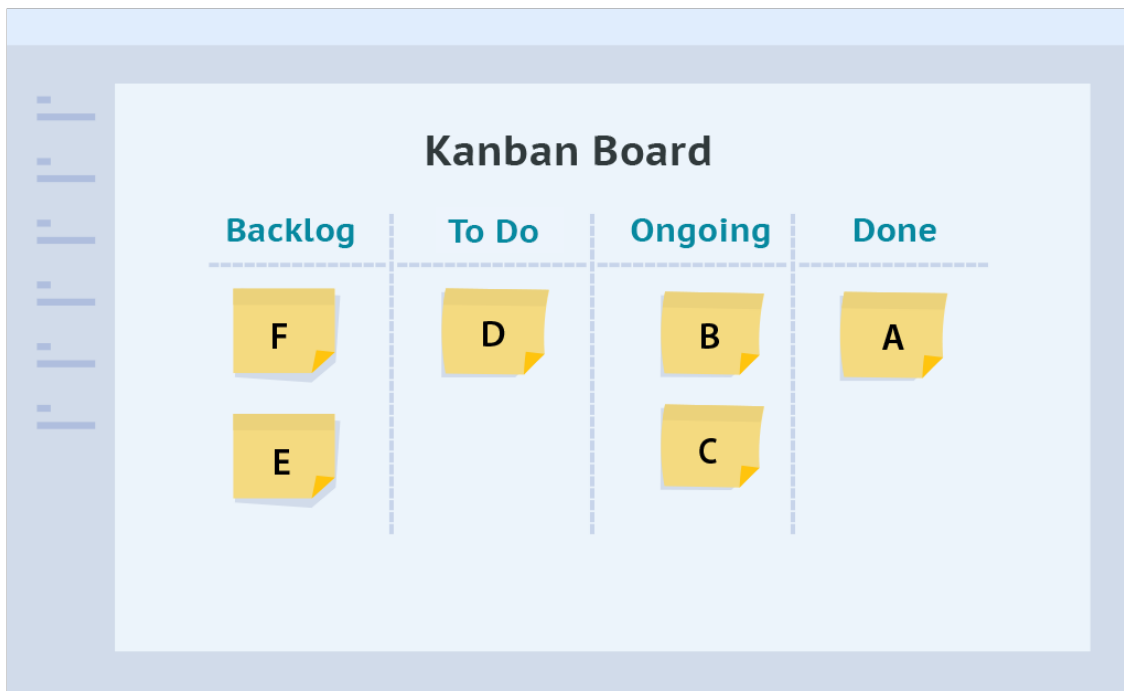


Figura 4.4 Ejemplo de un tablero de kanban[37].

Para el marco de trabajo del proyecto se optó por elegir una metodología ágil, que permitiera representar de la mejor manera las principales tareas para el desarrollo del proyecto y poder llevar un mejor control sobre las actividades (ver anexo 8.2). En este sentido, la metodología ágil de kanban ofrece un marco de trabajo que permite gestionar las tareas o actividades a través de un tablero digital en donde es posible definir fechas y asignar tareas concreta a los integrantes del grupo, permitiendo, de esta manera llevar a cabo la implementación del proyecto mediante tareas definidas por un límite de tiempo y de manera independiente, pero sin dejar a un lado la retroalimentación y revisión por parte del compañero.

### 4.5. Requerimientos.

Los requerimientos del sistema se subdividieron en dos tipos: Los requisitos funcionales, que son aquellos requisitos que describen las funcionalidades concretas que debe tener el sistema y los requisitos no funcionales que corresponden a los atributos de calidad que va cumplir el sistema como la eficiencia, seguridad, dependabilidad y usabilidad. Los requisitos van estar representados mediante la *tabla 4.3* que describe las propiedades de los requisitos.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-N /RNF(No funcional)- N
<b>Nombre</b>	<i>Nombre del requerimiento</i>
<b>Característica</b>	<i>Característica del requerimiento</i>
<b>Descripción</b>	<i>Descripción del requerimiento</i>
<b>Prioridad</b>	<i>(Baja/Media/Alta)</i>

Tabla 4.0 Cuadro de requerimientos.

### 4.5.1 Requerimientos Funcionales.

A continuación, se definen los requerimientos específicos que el sistema debe cumplir. Dichos requerimientos se documentan a continuación para entender de forma detallada las necesidades identificadas para el desarrollo del proyecto.

1. Se debe crear un sistema que permita realizar la detección de cada toque que realice el usuario en cada tabla de la marimba y que permita tener una conectividad a un dispositivo móvil para recibir la información de estas señales eléctricas, ver los siguientes requerimientos RF(Funcional) 1.0 - 1.3

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-1.0
<b>Nombre</b>	<i>Integración de Sensores al instrumento musical</i>
<b>Característica</b>	<i>Integrar, Detectar.</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe integrar sensores que permitan detectar el toque en las tablas de la Marimba.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-1.1
<b>Nombre</b>	<i>Integración de Microcontrolador</i>
<b>Característica</b>	<i>Integrar, Detectar.</i>
<b>Descripción</b>	<i>El microcontrolador debe procesar las señales capturadas por los sensores.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-1.2
<b>Nombre</b>	<i>Integración de Microcontrolador - Conexión Inalámbrica</i>
<b>Característica</b>	<i>Integrar, conexión Bluetooth.</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema deberá integrar un medio de transmisión inalámbrica(Bluetooth).</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-1.3
<b>Nombre</b>	<i>Enviar datos vía Bluetooth</i>
<b>Característica</b>	<i>Conectar, flujo de datos</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe transmitir las señales eléctricas procesadas por el microcontrolador hacia la aplicación la aplicación del dispositivo móvil</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

2. Se deben integrar un marcador AR que pueda ser detectado a través de la tecnología de rastreo de marcadores desde la cámara de un dispositivo móvil. Ver los siguientes requerimientos del RF(Funcional) 2.0 - 2.1.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-2.0
<b>Nombre</b>	<i>Marcadores AR</i>
<b>Característica</b>	<i>Conectar, reconocer</i>
<b>Descripción</b>	<i>Se debe integrar un marcador AR que pueda ser detectado óptimamente por la cámara del dispositivo móvil.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Bajo</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-2.1
<b>Nombre</b>	<i>Marcadores AR</i>
<b>Característica</b>	<i>Reconocer, flujo de datos</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema deberá desplegar modelos u objetos virtuales sobre el marcador.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Medio</i>

3. La aplicación móvil deberá permitir alojar, consultar y visualizar información. Ver los siguientes requerimientos RF(Funcional) 4.0 - 4.1.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional) 4.0
<b>Nombre</b>	<i>Creación de una base de datos</i>
<b>Característica</b>	<i>comunicación, consulta, guardar</i>
<b>Descripción</b>	<i>se creará un modelo de datos en donde las aplicaciones pueden consultar o guardar información específica.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>media</i>

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)-4.1
<b>Nombre</b>	<i>Alojamiento de archivos en la nube</i>
<b>Característica</b>	<i>comunicación, descargar</i>
<b>Descripción</b>	La aplicación móvil dispondrá de un servicio de alojamientos de archivos que permitirá guardar (imágenes, sonidos, videos).
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

4. Cuando se esté detectando un marcador con la cámara de realidad mixta, el usuario siempre visualizará los elementos virtuales superpuestos al marcador. Ver el requerimiento RNF (Funcional) 5.0.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 5.0
<b>Nombre</b>	<i>Información virtual superpuesta</i>
<b>Característica</b>	<i>Activarse, uso activo, actividad</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe superponer elementos virtuales al marcador siempre que la cámara de realidad mixta lo detecte.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

5. Se creará un video juego musical que permita interpretar piezas musicales previamente configuradas. Ver los siguientes requerimientos RF(Funcional) 6.0 - 6.3.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 6.0
<b>Nombre</b>	<i>Sistema de Catálogo de canciones</i>
<b>Característica</b>	<i>interacción, consulta,</i>
<b>Descripción</b>	<i>El video juego musical deberá permitir ver al usuario el catálogos de canciones que puede elegir para poder interpretarla</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 6.1
<b>Nombre</b>	<i>Sistema de Ranking</i>
<b>Característica</b>	<i>consulta</i>
<b>Descripción</b>	<i>El video juego musical deberá permitir la visualización de los puntajes ordenados de mayor a menor, que corresponde al puntaje otorgado por el nivel de interpretación exacta de la pieza musical</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 6.2
<b>Nombre</b>	<i>Lógica del juego</i>
<b>Característica</b>	<i>interacción</i>
<b>Descripción</b>	<i>La Lógica del juego se creará a partir de un patrón de juego que permita recrear una representación del ritmo de las piezas musicales</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 6.3
<b>Nombre</b>	<i>Interacción de Instrumento musical con el video juego.</i>
<b>Característica</b>	<i>interacción, comunicación</i>
<b>Descripción</b>	<i>Se debe permitir que a través de las tablas de la marimba se pueda interactuar con el video juego musical.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

6. Se creará un módulo de multimedia interactiva para presentar información relacionada al reconocimiento de la cultura.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

Ver los siguientes requerimientos RF(Funcional) 7.0 - 7.3.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 7.0
<b>Nombre</b>	<i>Visualización de Línea de Tiempo</i>
<b>Característica</b>	<i>interacción, consulta,</i>
<b>Descripción</b>	<i>Debe mostrar una representación de la línea de tiempo histórica interactiva.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 7.1
<b>Nombre</b>	<i>Contenido interactivo</i>
<b>Característica</b>	<i>consulta, visualización, interacción</i>
<b>Descripción</b>	<i>El módulo histórico deberá permitir desplazarse entre la información de forma dinámica.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

<b>Identificación de requerimiento</b>	RF(Funcional)- 7.3
<b>Nombre</b>	<i>Interacción de Instrumento musical.</i>
<b>Característica</b>	<i>interacción, comunicación</i>
<b>Descripción</b>	<i>debe Se debe permitir que a través de las tablas de la marimba se pueda interactuar con la información.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Alta</i>

### 4.5.2 Requerimientos No Funcionales.

Entendiendo requerimientos no funcionales como esas características que complementan y no son necesariamente funciones específicas del sistema, se contemplan para evaluación los siguientes:

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

1. El tiempo de reconocimiento del toque de una nota debe ser preciso. Ver los requerimientos RNF(No funcional) - 1.0.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RNF(No funcional)- 1.0
<b>Nombre</b>	<i>Tiempo de detección</i>
<b>Característica</b>	<i>Precisión, detección</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe reconocer el toque de una nota de forma precisa</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

2. El rango de vista de la aplicación debe abarcar los elementos interactivos (pantalla y marimba). Ver requerimiento RNF(No funcional) 3.0

<b>Identificación de requerimiento</b>	RNF(No funcional)- 3.0
<b>Nombre</b>	<i>Ángulo de apertura cámara</i>
<b>Característica</b>	<i>Apertura óptima</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe garantizar un rango de visión óptimo que potencialice la UI/UX.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Baja</i>

3. Se debe pausar la aplicación cuando detecte que no esté usando. Ver requerimiento RNF (No funcional) 4.0.

<b>Identificación de requerimiento</b>	RNF(No funcional)- 4.0
<b>Nombre</b>	<i>Pausa de interacción</i>
<b>Característica</b>	<i>Pausa, visor, tiempo de uso</i>
<b>Descripción</b>	<i>El sistema debe cambiar a estado 'reposo' cuando no se esté usando la aplicación.</i>
<b>Prioridad</b>	<i>Media</i>

## 4.6. Diseño.

El modelo de vistas 4+1 es un modelo basado en el uso de múltiples vistas concurrentes, permitiendo así que se pueda realizar una descripción completa del sistema desde varios puntos de vista tales como: usuarios finales, ingenieros de sistemas, directores de proyectos, etc. El siguiente modelo se compone de cinco vistas principales[38]. Ver figura 4.5.

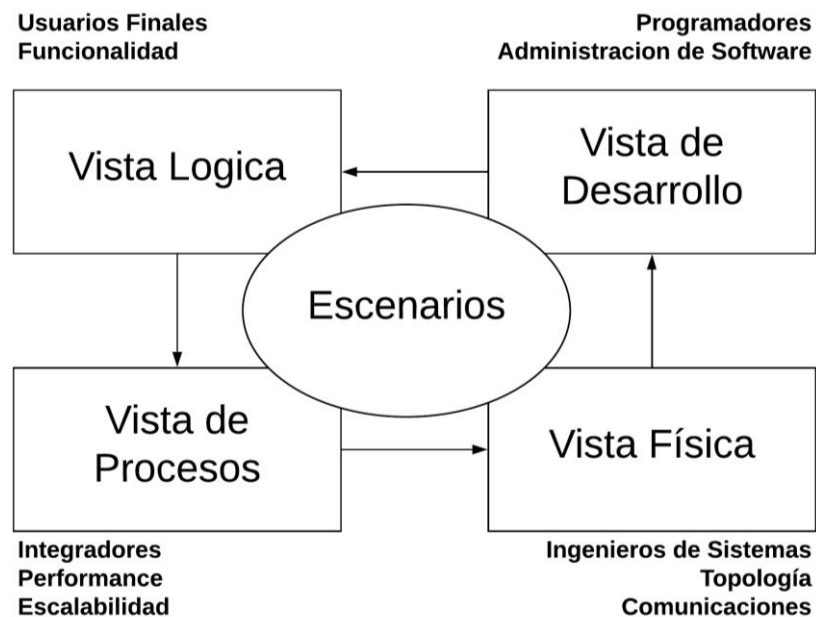


Figura 4.5 Ilustración del modelo de vistas de 4+1[38].

**Vista lógica:** la vista lógica permite describir el sistema en términos de su estructura y funcionalidades. La vista lógica se enfoca en describir de mejor manera los requisitos funcionales.

**Vista de procesos:** La vista de procesos se enfoca en la descripción de eventos que se comunican entre sí. En la arquitectura de procesos se pueden abordar problemas que pueden presentarse en el sistema tales como: la concurrencia, la distribución, la integridad del sistema, la tolerancia a fallas y cualquier otro problema que se especifique en los requisitos no funcionales.

**Vista física:** La vista física permite realizar un mapeo de elementos del software hacia elementos del hardware y, permite verificar desde un punto de vista topológico la conexiones físicas entre cada componente del sistema.

**Vista de desarrollo:** La vista desarrollo representa todos los componentes y módulos de software (biblioteca de programas o subsistemas). Esta vista

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

también se conoce como la vista de implementación desde la perspectiva de los programadores.

**Escenarios:** los escenarios describen una serie de interacciones entre objetos y procesos. Los escenarios se pueden entender como una abstracción de los requisitos más importantes.

### 4.6.1 Vistas de escenarios.

La *Figura 4.6* expone las acciones principales que se realizan desde el menú principal de la aplicación móvil y relaciona las acciones que requieren que el usuario haga uso del instrumento musical para poder interactuar.

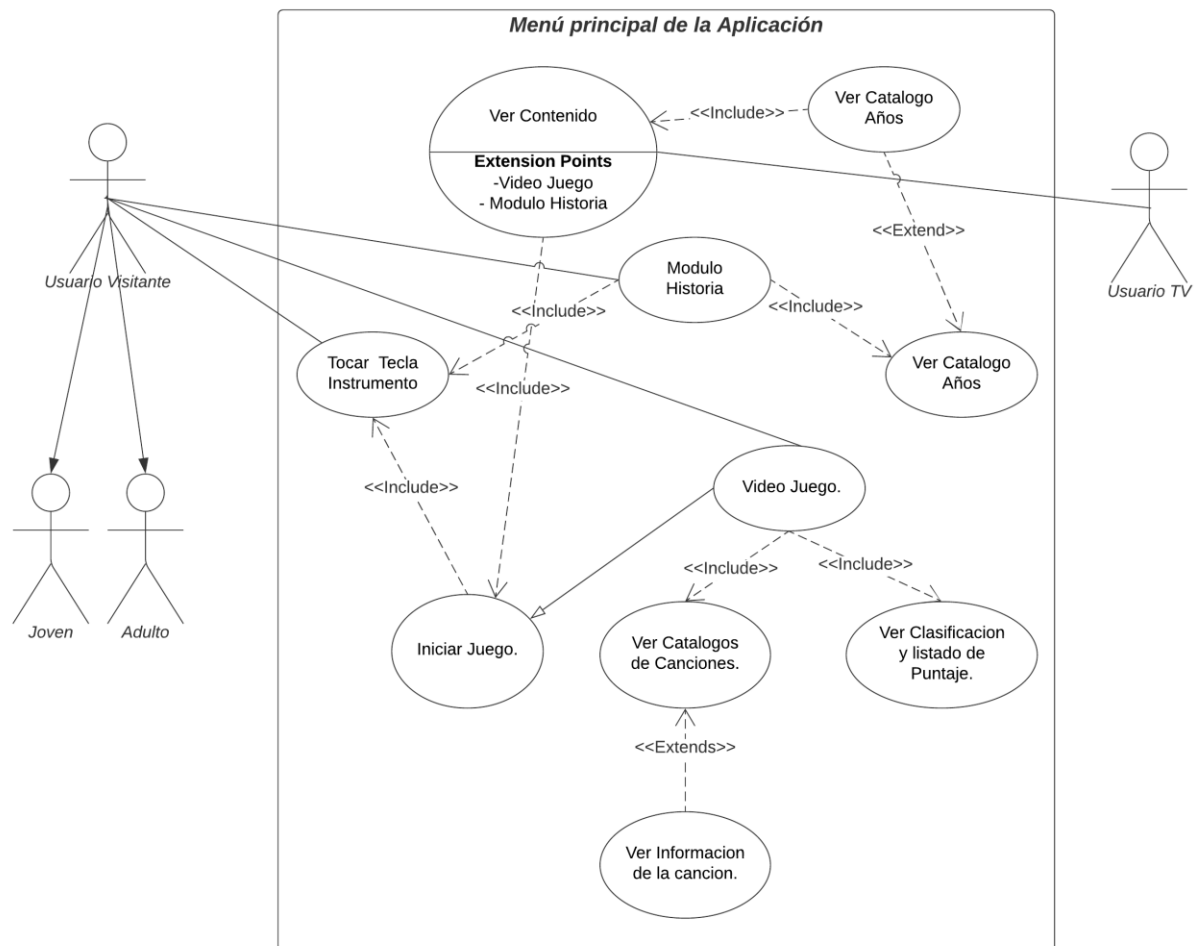
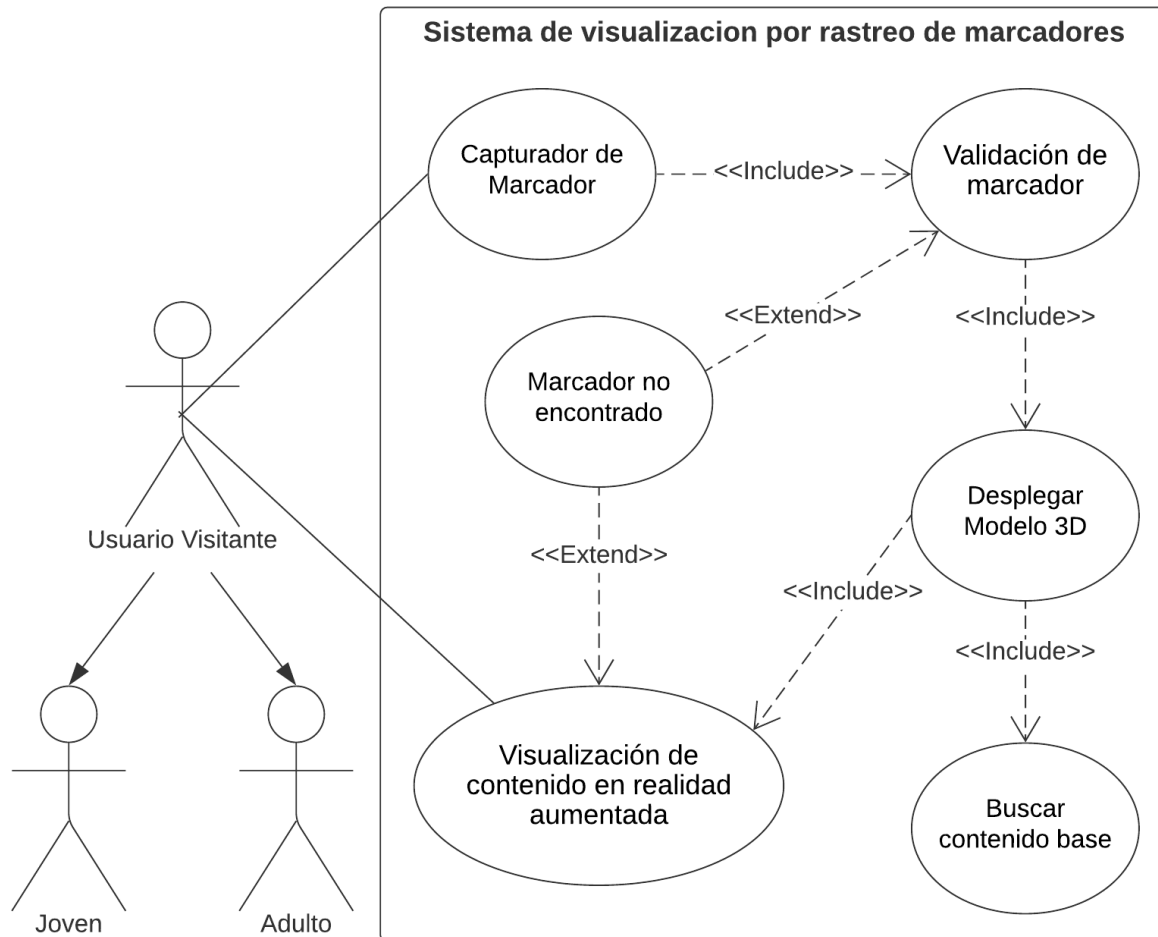


Figura 4.6. Diagrama de caso de uso Aplicación Móvil.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

La *Figura 4.7* muestra las acciones principales que realiza el sistema de rastreo, relacionado con las acciones que realiza el usuario tales como: realizar la captura del marcador y visualizar el contenido virtual sobre el marcador.



*Figura 4.7 Diagrama de caso de uso del sistema de rastreo de marcadores.*

### 4.6.2 Vista Lógica.

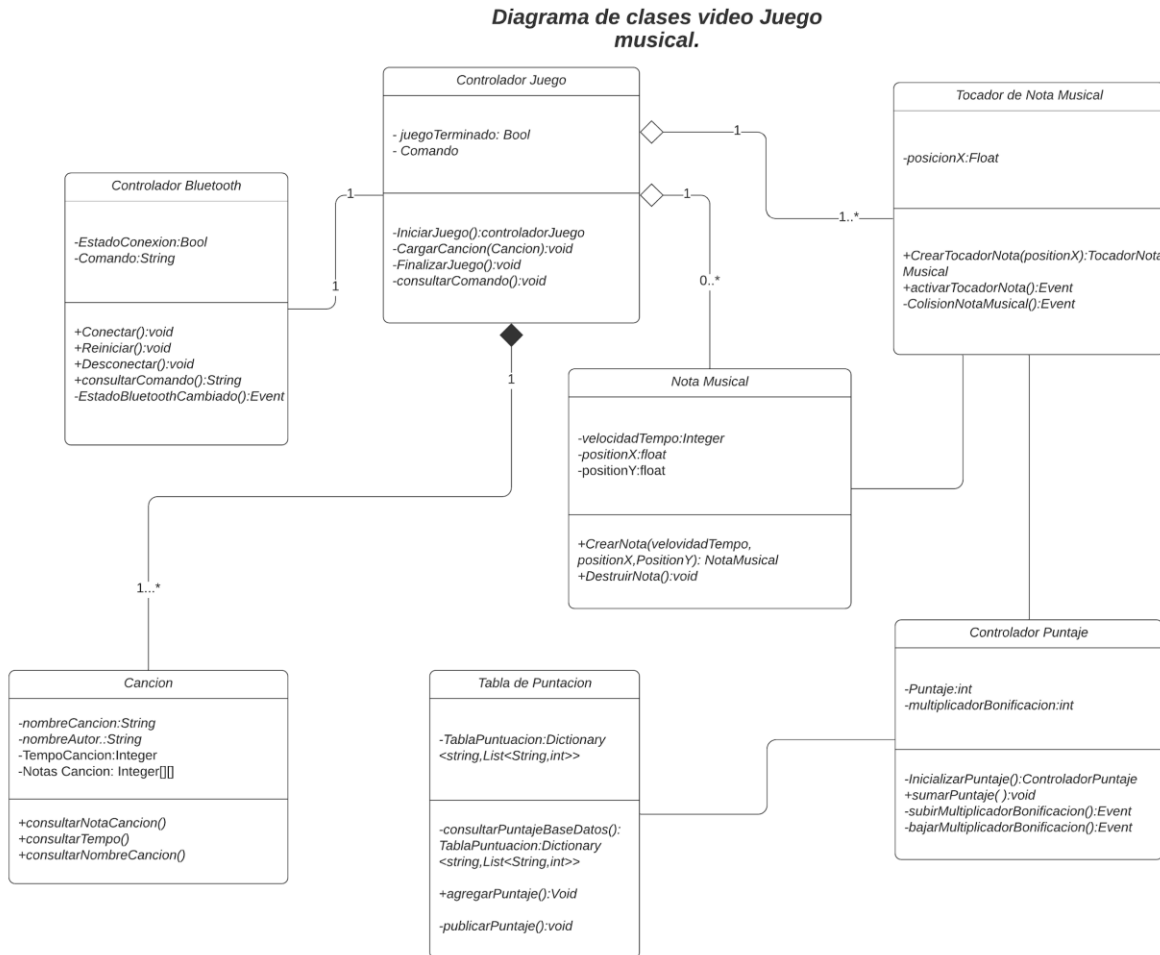


Figura 4.8. Diagrama de clase de video juego musical.

En la Figura 4.8 se muestran las siguientes clases.

**Controlador de juego.** Se encarga de establecer el inicio del juego, establecer los procesos de carga de los elementos del juego y determina la finalización del juego.

**Controlador de bluetooth.** Tiene como finalidad mantener y administrar la conexión por bluetooth y se encarga de compartir los comandos que llegan mediante el protocolo de comunicación.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

**Tocador de notas musical.** Representa un elemento de juego (ver *Figura 4.0*)

**Nota musical.** Representa un elemento de juego (ver *Figura 4.0*).

**Canción.** Describe las propiedades de una canción dentro del juego.

**Tabla de puntuación.** Se encarga de actualizar la clasificación de los puntajes y usuarios.

**Controlador puntaje.** Se encarga de calcular y manejar la puntuación del jugador durante el juego.

Diagrama de Clases Modulo Historia y Cultura

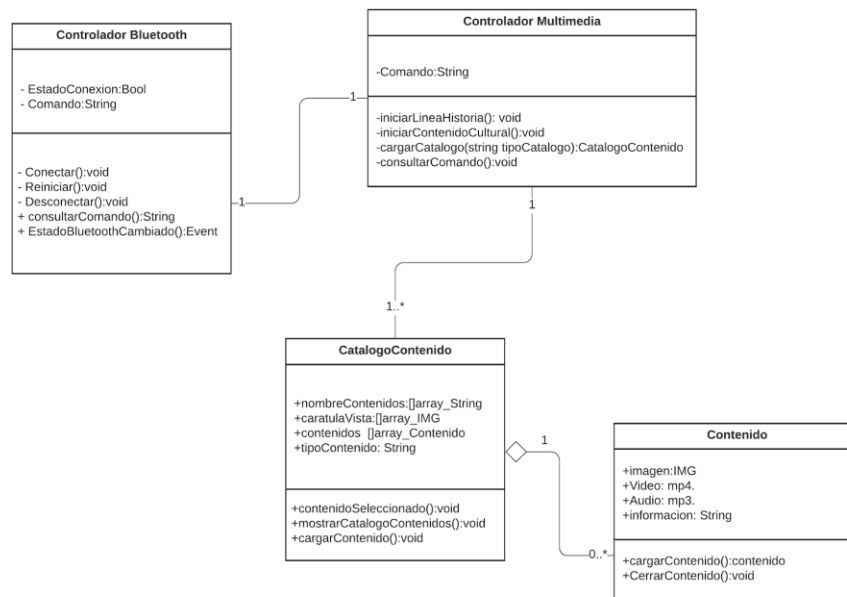


Figura 4.9. Diagrama de clase historia y cultura.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

---

En la *Figura 4.9.* se tienen las siguientes clases.

**Controlador de bluetooth.** Tiene como finalidad mantener y administrar la conexión por bluetooth y se encarga de compartir los comandos que llegan mediante el protocolo de comunicación

**Controlador Multimedia.** Administra la interfaz y controla la aplicación del módulo de multimedia interactiva

**Catálogo Contenido.** Se encarga de describir el listado de toda la información disponible a la que puede acceder el usuario.

**Contenido.** Describe las propiedades de un contenido individual consultado por el usuario.

### 4.6.3 Vista de procesos.

La *Figura 4.10* presenta una explicación al detalle de las actividades que se llevan a cabo sobre la *Figura 4.1*, en donde se exponen las tareas y funciones que tienen los actores involucrados sobre la ejecución de una serie de actividades.

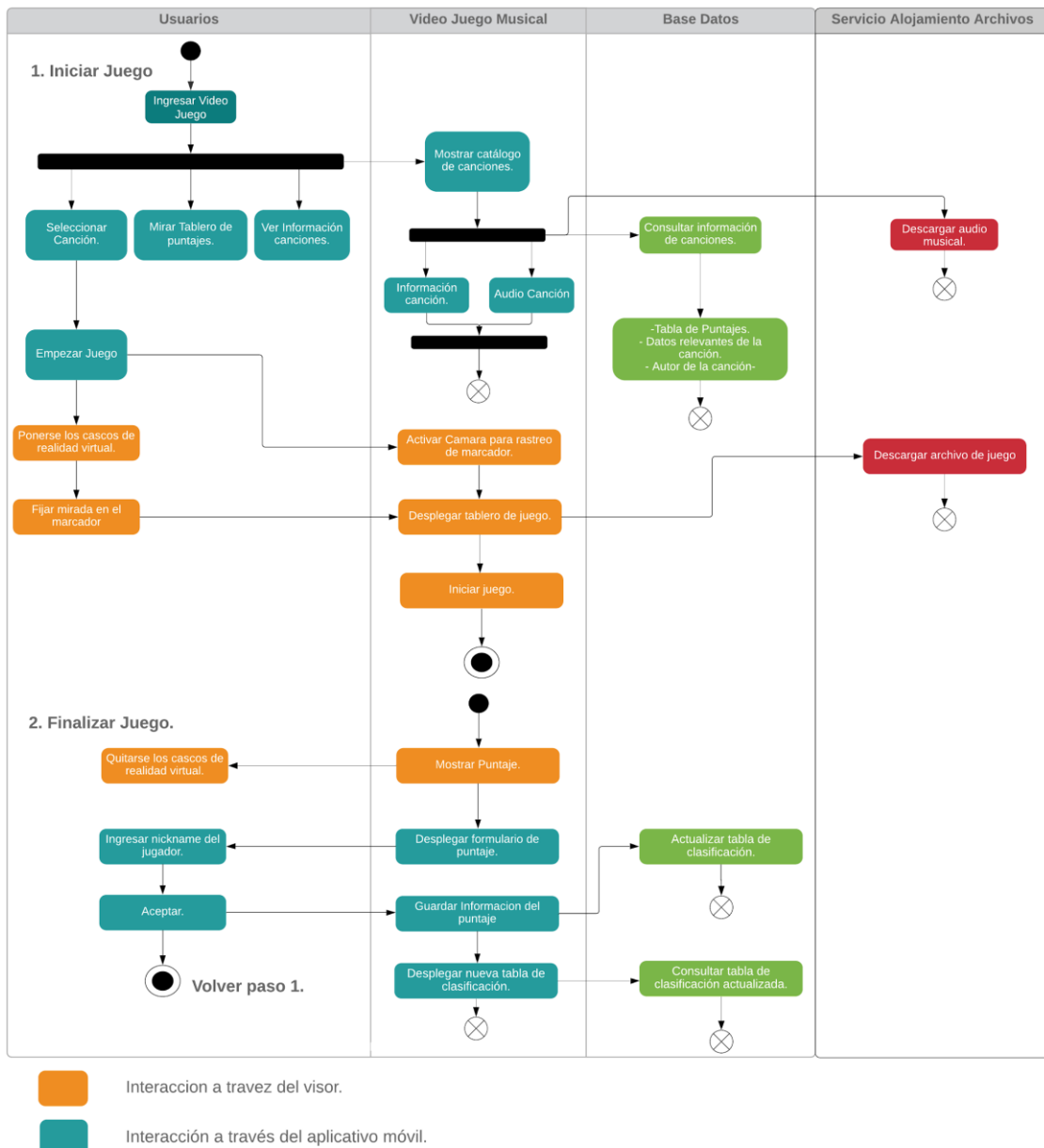
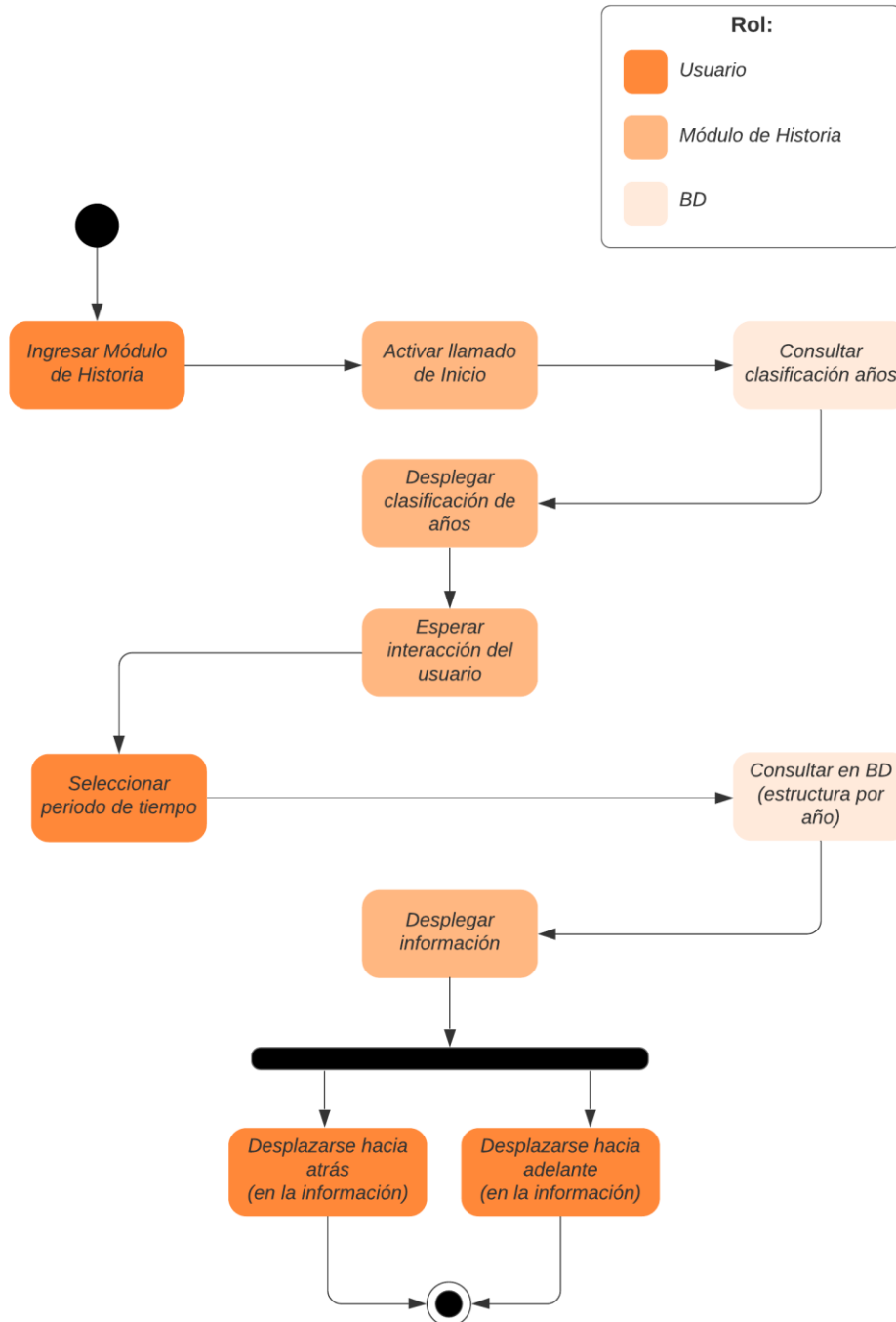


Figura 4.10 Diagrama de Actividades Video Juego Musical.

## Capítulo 4. Análisis, selección y diseño de la solución

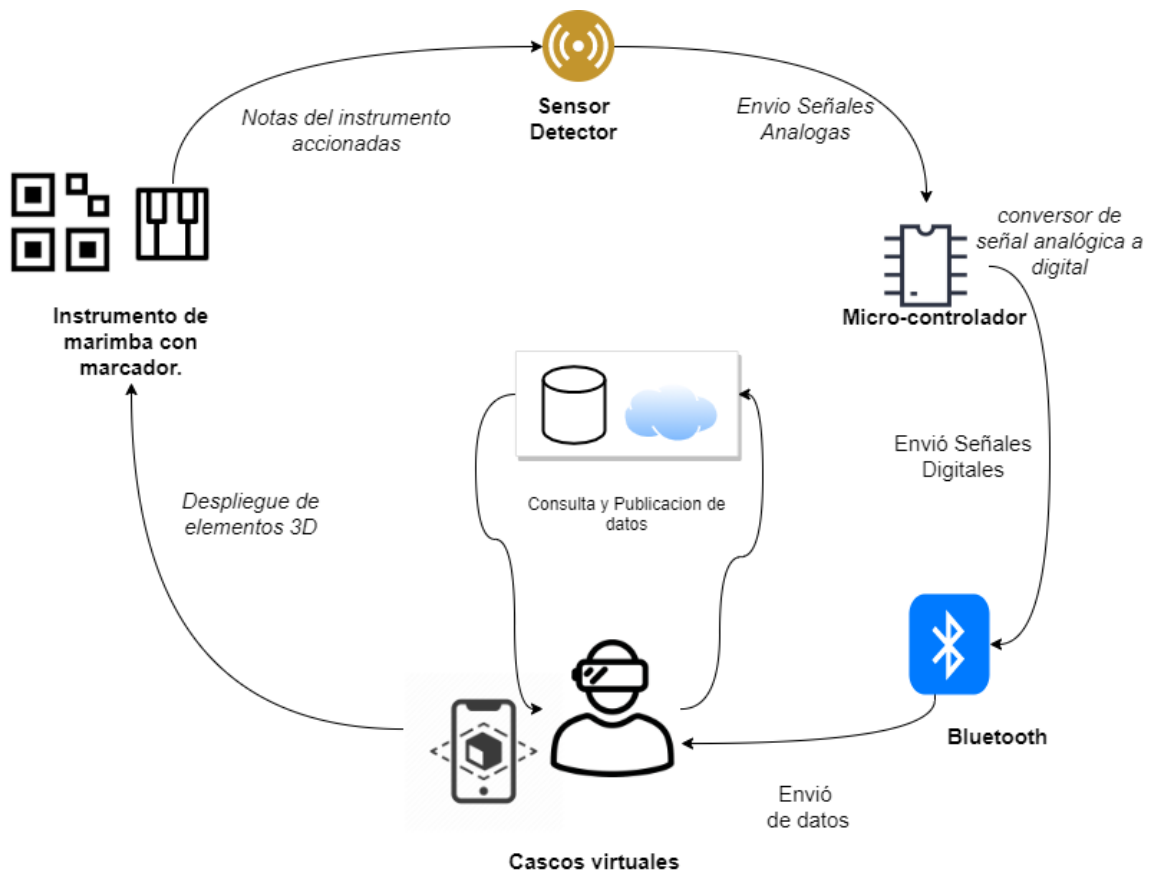
La *Figura 4.11* hace una explicación al detalle de las actividades que se presentan en la *Figura 4.3*, en donde se exponen las tareas y funciones que tienen los actores involucrados sobre la ejecución de una serie de actividades.



*Figura 4.11* Diagrama de actividad módulo de Multimedia Interactiva.

#### 4.6.4 Vista física.

La *Figura 4.12* presenta las tareas que cumplirá cada componente físicos del proyecto desde la primera señal emitida por el toque de la marimba.



*Figura 4.12* Diagrama topológico del sistema.

### 4.6.5 Vista de desarrollo.

La Figura 4.13 expone a gran escala los componentes del sistema.

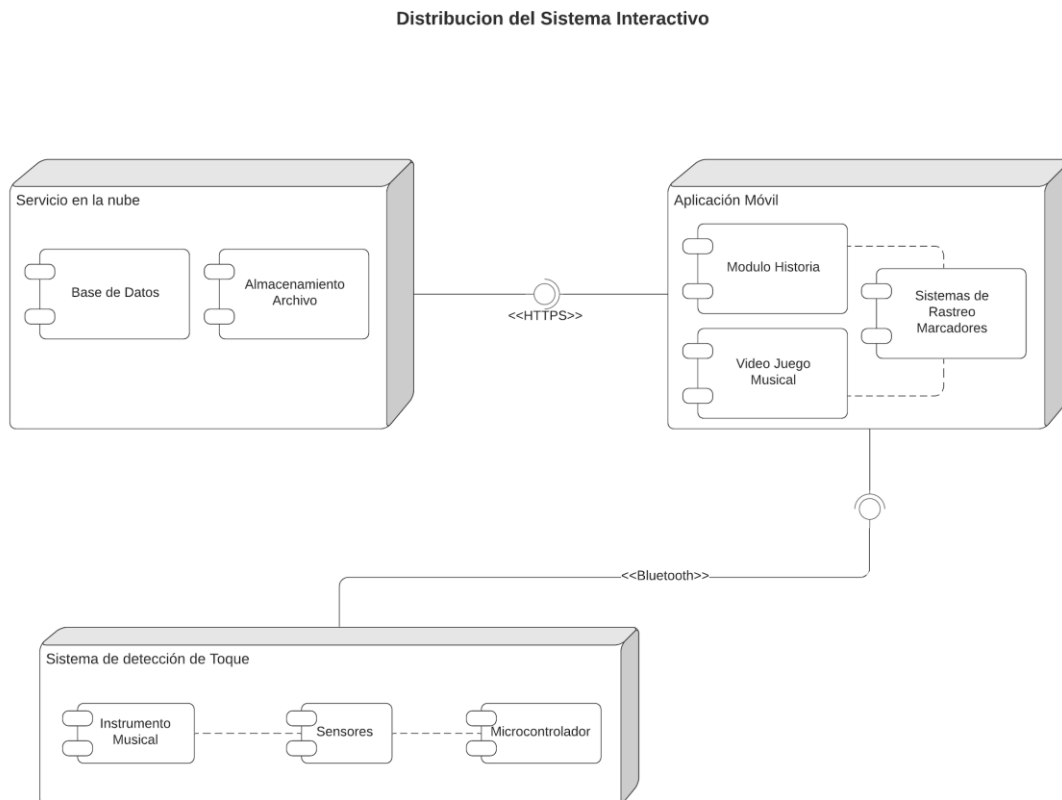


Figura 4.13 Diagrama de componentes.

Dentro del análisis del proyecto, se realizó una indagación de diferentes motores gráficos utilizados para la implementación de sistemas interactivos de realidad mixta. La elección de la herramienta se realizó con base a las siguientes características: costo, documentación y curva de aprendizaje. Se fijó como característica el costo de implementación, debido a que se quiere lograr crear un sistema a bajo costo que pueda ser accesible para la casa de la memoria en Tumaco. El grado de documentación es una característica que se evaluó, con el propósito de entender cuál herramienta permite explorar de mejor manera las posibilidades de interacción. También se consideró la curva de aprendizaje de la herramienta con el fin de lograr concretar la implementación del sistema en el menor tiempo posible.

### 5.1 Selección de Herramientas.

De acuerdo a la *Tabla 2.7 “Diferencia entre RV, RA y RM”*, la realidad mixta se compone de ciertas tecnologías claves fundamentales que permiten trabajar tres propiedades principales: inmersión, interactividad y percepción múltiple, por eso se comprendió la selección de una serie de herramientas de construcción que permiten trabajar con estas tecnologías clave:

- **Motor de videojuegos.**
  - Tecnología de Simulación.
  - Tecnología de Visualización.
  - Computación Gráfica.
  
- **Visores de realidad.**
  - Interacción Humano-Computador.
  
- **SDK 's de realidad aumentada.**
  - Tecnología de rastreo.

### 5.1.1 Motor de videojuegos.

Un motor de video juego es un software con arquitectura de reutilización que brinda una serie de componentes y herramientas que facilitan el desarrollo de un video juego, automatizando determinadas tareas y ocultando la complejidad en procesos de bajo nivel. Algunos componentes fundamentales en los motores de videojuegos son por ejemplo, el sistema de renderizado gráfico, los sistemas de detección de colisiones, los sistemas de audios, los elementos artísticos, etc[47].

Para la selección del motor de video juego se optó por evaluar tres motores candidatos: Unity, Unreal y Godot. Estos se evaluaron de acuerdo a siguientes características:

- **Documentación.** Se compone por manuales técnicos de usuarios y otras instrucciones, que permitan al desarrollador entender y familiarizarse con el software.
- **Plataformas soportadas.** Se refiere a los múltiples OS y entornos de interacción para los cuales permite exportar y emular un proyecto desarrollado.
- **Curva de aprendizaje.** Es el grado de adaptación y aprendizaje que tiene el entorno de desarrollo.
- **Integración con SDKs de AR/VR.** Se refiere a la compatibilidad que existe entre algunos SDK (Kit de Desarrollo de Software) con el entorno de desarrollo del proyecto.
- **Costo.** Cabe anotar que todos los motores evaluados son gratuitos para el desarrollador y para implementaciones pequeñas como la de La Casa de la Memoria de Tumaco. Por esta razón, aunque importante, el parámetro no se consideró en la Tabla 5.0, pues todos los motores cumplen con el requisito de bajo costo.

## Capítulo 5. Desarrollo de la solución

Nombre Motor	Curva de aprendizaje	Documentación	Plataformas Móviles soportadas	Integración con SDK AR/VR
Unity	Media	Alto	Móviles(Android,IOS, Windowsphone, Tizen,Fire OS),	SI
Unreal	Bajo	Alto	Móviles (Android, IOS).	SI
Godot	Alto	Bajo	Móviles (Android, iOS, BlackBerry 10),	No( solo aplicaciones de escritorio con VR/AR )

*Tabla 5.0 cuadro comparativo entre motores de videojuegos.*

De acuerdo a la *tabla 5.0* el cuadro comparativo de los motores de videojuegos, Unity es el motor de videojuego más adecuado, debido a que cuenta con un mejor desempeño para el proyecto en: curva de aprendizaje, documentación, plataformas soportadas e integración con SDK; que son la mayoría de las características requeridas para la implementación y además cuenta con una comunidad activa y dispuesta a colaborar.

Cabe aclarar las plataformas soportadas se evaluaron teniendo en cuenta los posibles trabajos a futuro y sus compatibilidades con dispositivos móviles y dispositivos de Realidad Virtual/Aumentada. Se buscó mayor difusión en dispositivos de gama media, dando importancia al sistema operativo Android.

### 5.1.2 Visores de realidad mixta.

En la actualidad se disponen de dos tipos de visores que permiten interactuar con la realidad mixta:

#### 5.1.2.1 Hololens.

Microsoft saca al mercado los Hololens 2 sucesor de los Hololens 1, presentado un modelo cuyo propósito es de poder captar el seguimiento de las manos del usuario y la distancia entre los dos ojos del usuario. La innovación de los Hololens 2 recae en su inteligencia artificial. Mediante

estos modelos de inteligencia artificial, el dispositivo rastrea los movimientos de las manos y de los ojos con el fin de desplegar hologramas ubicados de cierta manera para dar la percepción de estar al frente del usuario. Los HoloLens cuenta con un modelo 3D que adopta los movimientos y las formas de la mano del usuario; y con un modelo neuronal ejecutado por el dispositivo que está entrenado para detectar el seguimiento de la manos, y que ayuda a reajustar las formas y el tamaño del modelo de la mano 3D permitiendo así mayor precisión en la interacción con los hologramas[20].

### 5.1.2.2 MHMD.

Los MHMD (en inglés Mobile Head Mounted Displays) son cascos que se basan en una carcasa, con un par de lentes que se posicionan a cierta distancia de un dispositivo móvil. El dispositivo móvil adjunto funciona como medio de visualización y procesamiento de información, un ejemplo de estos tipos de cascos son las cardboard de Google que aparecen en la *Figura 5.1 b)* que funcionan como un visor básico y que además permiten alojar el dispositivo móvil como visor de pantalla. Se han añadido algunas modificaciones en cuanto a términos de comodidad, como la creación de visores con material plástico y con un diseño más ergonómico añadiendo medios de sujeción de correas trasera[21].

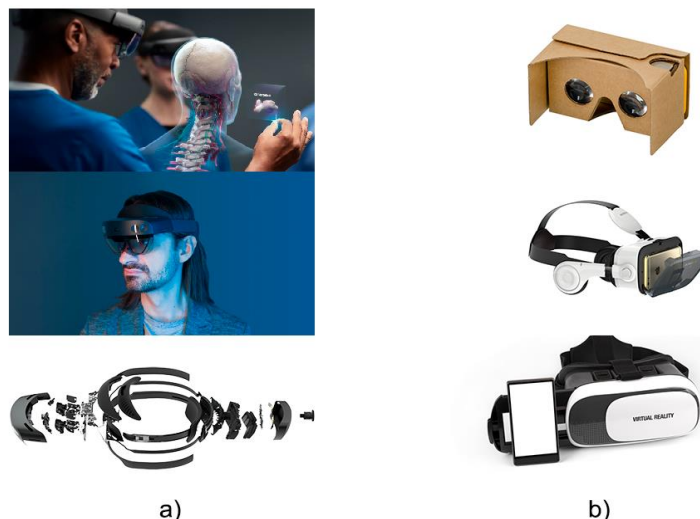


Figura 5.1 a) HoloLens. b) MHMD.

Se puede anotar que Hololens se compone de una computadora *ver figura 5.1 a)* con una arquitectura diseñada para aplicar plenamente todas las tecnologías claves: visualización, simulación, computación gráfica, interacción humano-computador y rastreo, en cambio los MHMD solo incorporan un visor que tiene como punto de procesamiento un dispositivo móvil al cual se le debe programar y anexar otras herramientas para que se pueda recrear una realidad mixta.

Cabe concluir que en términos de requerimientos tecnológicos, Hololens viene integrado con todas la tecnologías claves, lo que supondría el candidato perfecto para ser aplicado al sistema interactivo; sin embargo, hay dos razones por las cuales en este proyecto se eligió utilizar los MHMD.

**Precio.** Hololens actualmente según la página oficial de Microsoft tiene un precio que ronda alrededor de los \$3.500 dólares [50]. Para el caso de los MHMD se encuentra una gran variedad de marcas en el mercado; sin embargo, para este caso se comparó el precio con un MHMD de la marca bobovr Z4 que son los que se adquirieron para el proyecto. Su valor en varios tiendas virtuales no excede los \$35 dólares. Es decir, los Hololens son 100 veces más costoso que los MHMD.

**Portabilidad y masificación de uso.** Se evidencia claramente que los Hololens en cuanto a sus aplicaciones, únicamente podrán ser ejecutados en estos dispositivos que tienen un entorno de desarrollo único. Actualmente no se puede saber con exactitud cuántos usuarios hoy en día están utilizando Hololens ya que es un dispositivo relativamente nuevo en el mercado. En los MHMD, los smartpone tienen herramientas de desarrollo que permiten crear aplicaciones que pueden ejecutarse en varios modelos de Smartpone. Actualmente se estima que el número de usuarios de dispositivos móviles está alrededor de 3.5 mil millones de usuarios, casi un 44.81% de la población mundial[51].

### 5.1.3 SDK de realidad aumentada.

Un SDK es un kit de desarrollo que comprende una serie de herramientas y programas de software que tiene documentación, ejemplos de código, procesos y guías que los desarrolladores pueden usar e integrar en sus propias aplicaciones. Los SDK enfocados en realidad aumentada se caracterizan por ofrecer posibilidades como la de poder trabajar con tecnologías de rastreo de marcadores, permitiendo así que se puedan integrar marcadores que posteriormente puedan ser reconocidos por la cámara del dispositivo. También, permiten agregar elementos virtuales sobre el mundo físico real referente a la posición del marcador.

#### 5.1.3.1 Vuforia.

Vuforia fue seleccionado como el SDK de realidad aumentada para ser aplicado al sistema, debido a que cumple con varios elementos necesarios a la hora de trabajar con SDK .

- Documentación.
- Foros de ayuda para desarrolladores.
- Ejemplos de implementación.
- Gratis.
- Se adapta muy bien al motor de videojuegos de Unity.

En la *figura 5.2*, se presenta una descripción general del procesamiento que lleva a cabo la herramienta. Los pasos se enuncian a continuación, desde captar un cuadro de imagen de vídeo hasta realizar el correspondiente proceso de rastreo que se detalla en la sección 2.7.1 y luego proceder a validar en una base de datos (local o en la nube) el tipo marcador que va ser captado, y posteriormente exponer sobre la posición del marcador detectado cualquier elemento virtual preconfigurado por el desarrollador.

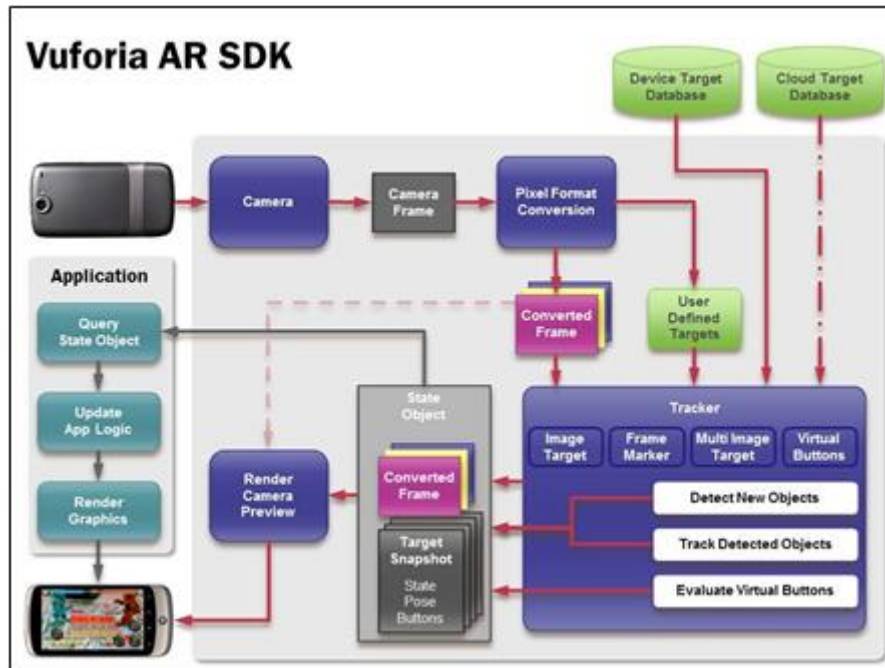


Figura 5.2 Arquitectura SDK Vuforia[22].

Para la preconfiguración del marcador, primero se debe contar con un marcador de referencia (ver *Figura 5.3*), para luego proceder a publicar la imagen del marcador al portal de la herramienta (ver *figura 5.3*), con el fin de que se puedan guardar y procesar las propiedades del marcador en un archivo que puede ser reconocido y leído por la herramienta de Vuforia. Este archivo es posteriormente descargado e importado al motor de video juegos. Dentro del motor de video juegos, el archivo importado crea un objeto 3D con la figura del marcador de referencia que se ha publicado en el portal. Dentro del objeto 3D que representa la figura del marcador se procede a posicionar el elemento virtual el cual se desea desplegar sobre el marcador (ver *Figura 5.3 c*). Como última fase se compila el proyecto para luego ser ejecutado en un dispositivo móvil, en donde se puede observar el objeto virtual posicionado tal cual como se ubicó en el motor de video juego con respecto al marcador (ver *Figura 5.3*).

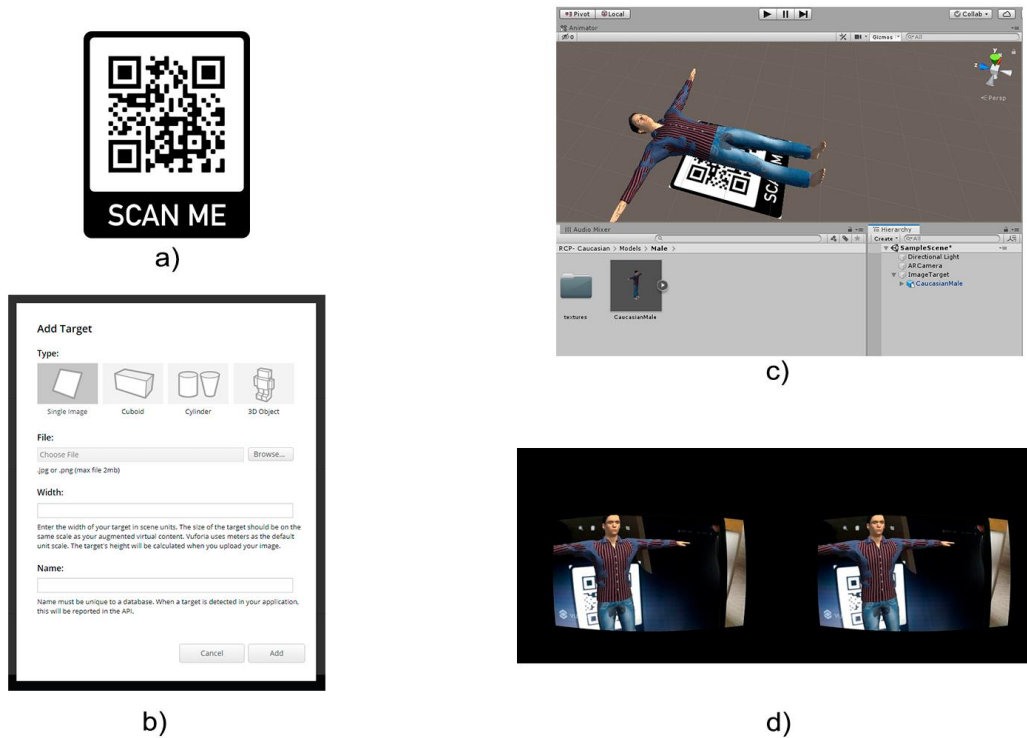


Figura 5.3 a) Marcador QR. b) Publicación a la base de datos de Vuforia. c) Elemento virtual sobre el marcador. d) Vista desde una cámara móvil.

## 5.2 Instrumento musical como dispositivo de entrada.

El instrumento musical de Marimba consta de 12 tablas de madera de mayor menor tamaño y cada una emite diferentes notas musicales. Al tratarse de un instrumento de percusión cuya finalidad es emitir sonido a través del golpe, se parte de la necesidad de poder captar el momento en el cual se hace el toque al instrumento para transmitir esa señal al dispositivo móvil. Para la implementación del sistema de envío de señales del instrumento musical se hizo uso de los siguientes componentes electrónicos:

- **Sensor obstáculos Infrarrojo:** Un sensor de infrarrojo es un dispositivo que detecta y mide la radiación infrarroja. Se pueden encontrar dos tipos de sensores: activo y pasivos, los sensores infrarrojos activos emiten y reciben radiación infrarroja. Esto se debe a que al momento que la luz

infrarroja choca con un objeto el sensor capta el reflejo de esta luz. Un sensor infrarrojo pasivo solo se concentra en recibir señales infrarrojas.

- **Sensor Piezo eléctrico.** Un sensor piezoeléctrico es un dispositivo que utiliza el principio de piezoelectricidad para medir el potencial eléctrico causado al aplicar una fuerza mecánica a un material piezoeléctrico. Se utiliza para varios propósitos tales como: medir presión, aceleración, temperatura, medir una deformación al convertir datos adquiridos en una carga eléctrica [52].
- **Microcontrolador Arduino.** Arduino es una plataforma de desarrollo que tiene como base una placa de electrónica de hardware libre. Esta placa se compone de un microcontrolador re-programable que está conectado a una serie de pines que facilitan la interconexión con diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla[53].
- **Módulo Bluetooth HC.** Bluetooth es un protocolo de comunicación inalámbrica para intercambiar datos en distancias cortas. Este mecanismo es utilizado en los dispositivos móviles debido a que fueron los primeros dispositivos en tener incorporado este protocolo y es utilizado para realizar conexiones a dispositivos externos como impresoras, tablets, portátiles, ratones, teclados, impresoras, auriculares, televisores, cámaras digitales, reproductores MP3 o videoconsolas, entre otros. Un módulo HC-06 permite tener una conexión con los microcontroladores Arduino, lo que permite que se pueda trabajar con el protocolo de Bluetooth para poder enviar datos a dispositivos externos

### 5.2.1 Procesamiento de señales electrónicas.

Para la implementación de un sistema que permita detectar qué nota musical ha tocado el usuario, se realizaron unas pruebas concretas sobre dos tipos de sensores: piezo eléctrico (vibracional) y sensor infrarrojo (obstáculo). Interpuestas como se expresa en la figura 5.4.

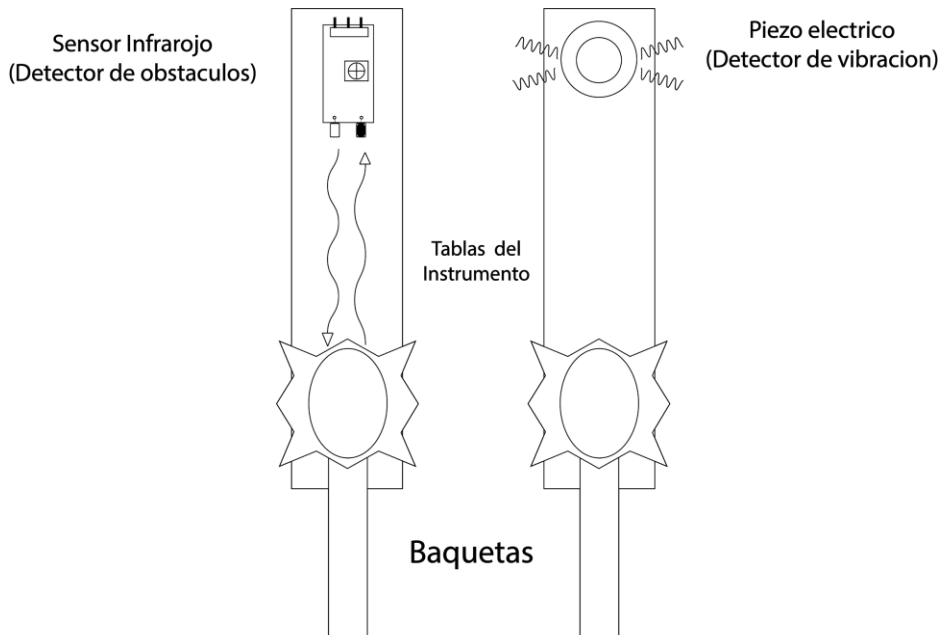


Figura 5.4 instalación de los sensores en el instrumento musical.

Al realizar las pruebas del comportamiento de los sensores con respecto a los toques musicales, se logró captar el gráfico de las señales eléctricas de cada sensor. A partir de allí, a través de un algoritmo, es posible identificar, por medio del microcontrolador, la tabla del instrumento que fue tocada por el usuario. Luego, estas señales se envían hacia la aplicación móvil mediante el protocolo de comunicación de Bluetooth. Dentro de la Figura 5.5 se expone la vista del comportamiento de las señales eléctricas de ambos sensores.

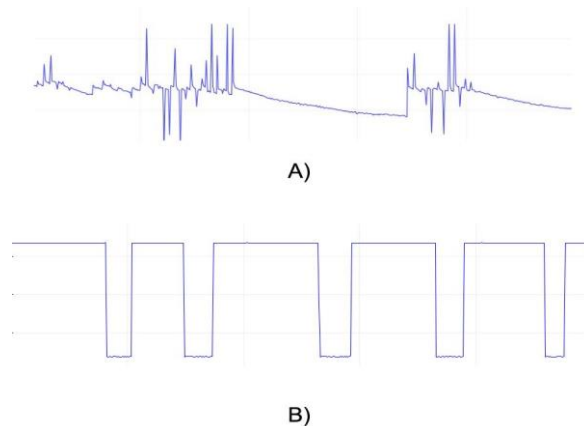


Figura 5.5 . Señales eléctricas de los sensores. A) Señal del piezo eléctrico. B) Señal de sensor infrarrojo.

La Figura 5.5 A muestra que el comportamiento en el sensor piezo eléctrico presenta una serie de picos pronunciados (superior e inferior) que representan los toques de la marimba hechos por el usuario. Al tener gran distinción, el sensor es bastante sensible con la vibración generada al tocar la tabla del instrumento, pero también presenta una serie de mini picos que son falsos positivos causados al tocar una tabla. Por tanto, es más complejo crear un algoritmo que permita al microcontrolador clasificar los picos que representan un toque por parte del usuario en una de las tablas del instrumento. La imagen 5.5. B muestra un comportamiento más estable del sensor infrarrojo, ya que tan solo requiere que la baquetas del instrumento estén en el campo de detección del emisor del sensor. El toque de una tabla se infiere en las partes bajas del gráfico y las subidas en el gráfico representan la no obstaculización por parte de las baquetas. El algoritmo alerta que se presentó un toque al momento de presentarse una bajada en el gráfico.

En conclusión, el sensor que presenta mayor precisión y facilidad de implementación en el microcontrolador, es el sensor de infrarrojo; sin embargo esta elección no quiere decir que el sensor sea el más apropiado, sino el más efectivo y simple de configurar. Con ajustes adecuados sensor piezo eléctrico puede obtener mejores señales.

La figura 5.6 muestra una conexión para un solo sensor funcional para la captación de toque.

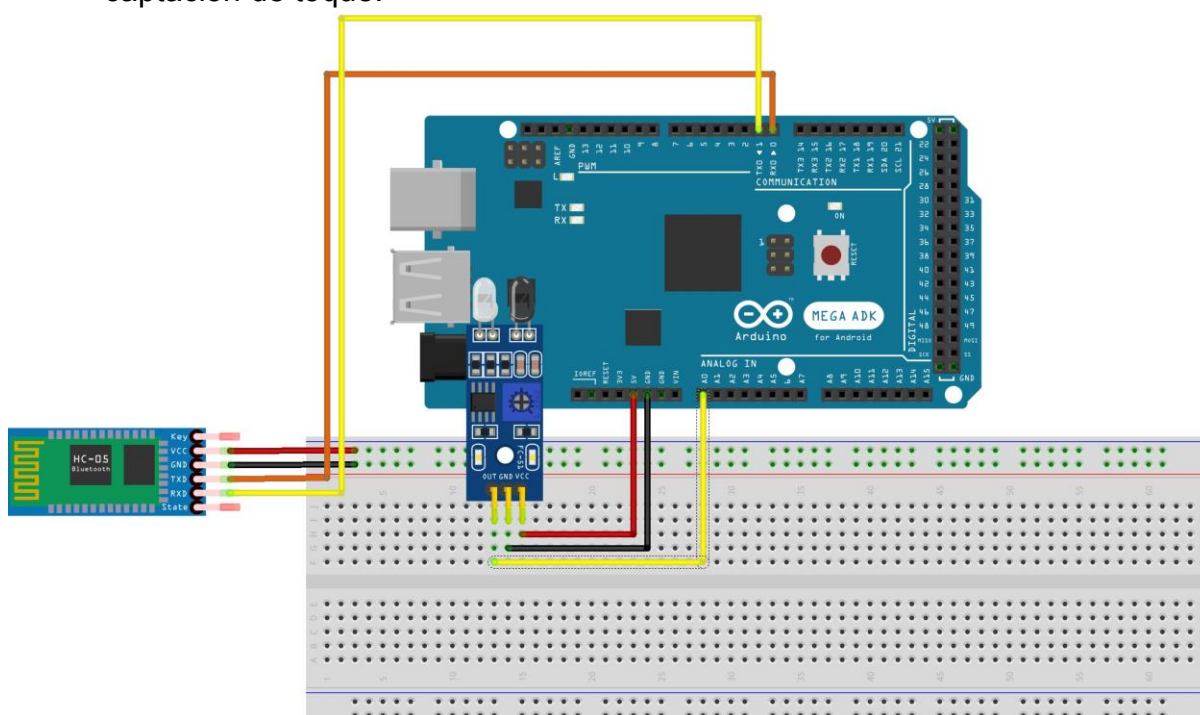


Figura 5.6 Circuito base Sensor Infrarrojo.

### 5.2.2 Envío de datos por bluetooth.

El módulo HC-05, que se muestra en la *Figura 5.6*, es el componente electrónico que envía el mensaje del circuito electrónico al dispositivo móvil mediante el protocolo de comunicación inalámbrica Bluetooth. La conexión de este módulo requiere la conexión de los siguiente pines: Vcc (Colector de voltaje) +, GND (conexión tierra) -, RXD (receptor), TXD( Emisor). Se conecta el pin RXD del módulo HC-05 con el pin TXD del microcontrolador y de igual manera el pin TXD del módulo HC-05 con el pin RXD del microcontrolador, logrando así que el microcontrolador pueda enviar y recibir comandos por medio de Bluetooth.

Para el envío del mensaje se tiene una cadena de 12 bits. Cada bit representa el estado de cada nota musical del instrumento. Esta cadena de bits es enviada constantemente a la aplicación móvil y de esa manera la aplicación móvil está al tanto del estado de cada nota musical de la marimba en cada momento.

El anexo 8.5 se presenta el código compilado para el microcontrolador de Arduino, el cual realiza el análisis de la señal eléctrica y realiza el envío del estado del instrumento.

### 5.3 Aplicativo Móvil.

El aplicativo móvil debe poder garantizar la actualización de contenidos expuesto al público. Esto se logra mediante la consulta de información a través de una base de datos en línea, y de un repositorio de archivos que permite guardar y descargar archivos multimedia que son utilizados en la aplicación. Actualmente unas de las plataformas que ofrece este tipos de servicio de alojamiento y creación de base de datos de manera accesible para proyectos de baja escala es la plataforma de desarrollo Firebase desarrollada por Google, que actualmente cuenta con dos servicios que fueron utilizados para el proyecto. Se utilizó un servicio de bases de datos en tiempo real y un servicio de alojamiento de archivos. Gracias a estos servicios es posible garantizar que cualquier dispositivo que ejecute la aplicación va disponer de todos los contenidos que se actualizan en la base de datos y en el repositorio de archivos. La aplicación se desarrolló únicamente para ser ejecutada en dispositivos móviles con sistema operativo Android.

### 5.3.1 Implementación del módulo de video juego.

La implementación del módulo de video juego empezó con el desarrollo del menú del video juego necesario para seleccionar la canción que se va a tocar, tal como se denota en en la *Figura 5.6.b* que muestra el catálogo de canciones con sus tablero de puntuación y el acceso a la respectiva información sobre la canción. Cuando se selecciona el botón de la mitad es posible tocar la melodía.

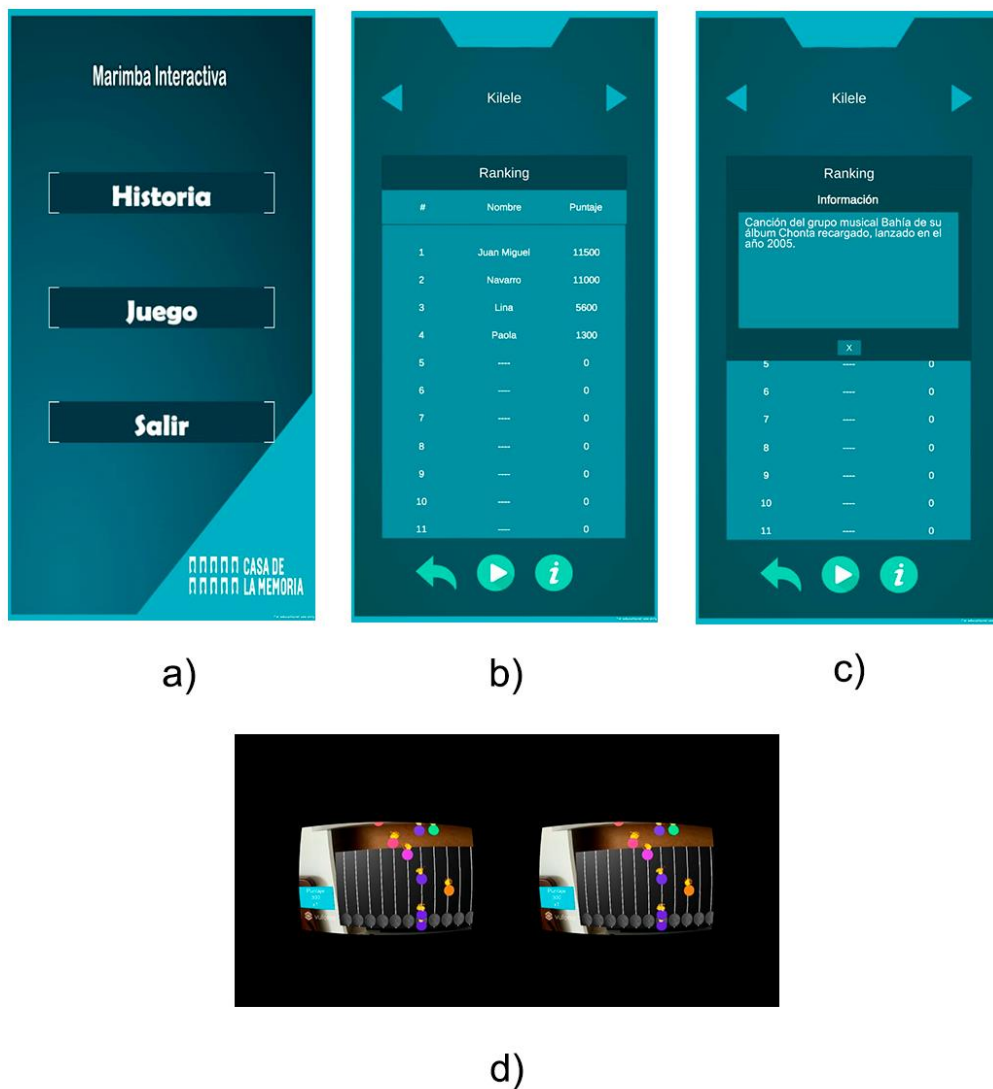


Figura 5.6. a) menú Principal. b) Catálogo de canciones y Tabla de puntuación. c) Información de la canción. d) Gameplay del video juego.

### 5.3.1.1 Base de datos del video juego musical.

Para poder crear un catálogo de canciones con su respectivo detalle y con su tablero de clasificación, se estructuró una base de datos de Firebase que permite cargar toda la información al momento de acceder al catálogo de canciones. Ver Figura 5.7.



Figura 5.7 Estructura de los datos del juego.

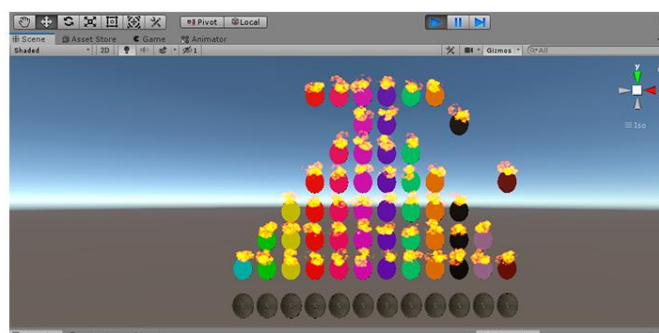
Todos los usuarios de la aplicación realizan la consulta en una misma base de datos. Al guardar la puntuación de un jugador, la tabla de clasificación se actualiza para todos, de manera que cualquier usuario de la aplicación está compitiendo con el puntaje de todos los usuarios de la aplicación. De la misma manera todos los usuarios tienen acceso al mismo catálogo de canciones.

### 5.3.1.2 Escena del video juego.

De acuerdo a la sección 4.2.1, el tablero del juego está comprendido por una serie de notas musicales que están en plena caída y en espera de estar posicionadas adecuadamente para ser tocadas. La *Figura 5.6 d*, muestra el estado de la aplicación móvil cuando recibe la cadena de bits que tiene la información de los estados de cada nota musical de la marimba, acompañado de un tablero que expone la puntuación del jugador al tocar cada nota correctamente. Antes de iniciarse el juego, primero se procede a desplegar y organizar las notas musicales en el tablero del juego, y esto se realiza mediante un archivo de tipo JSON que contiene una matriz de 12 x N en donde se leen las coordenadas de cada nota como se observa en la *Figura 5.8 a*. Este archivo es procesado por el motor de videojuegos de manera que se permite organizar cada nota musical tal como lo está descrito en el archivo (ver *Figura 5.8*).

```
{
  "beatTempo": 150,
  "song": [
    [ 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0 ],
    [ 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1 ],
    [ 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0 ],
    [ 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0 ],
    [ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 ]
  ]
}
```

a)



b)

Figura 5.8 a) Archivo de canción. b) Tablero con notas cargadas.

Este archivo JSON que marca las notas de una canción se descarga desde el servicio de alojamiento de Firebase en donde se adjuntan cada una de las estructuras de las canciones, lo que permite que se pueda actualizar y agregar más canciones al juego y que estas puedan ser accedidas por todos los usuarios de la aplicación.

### 5.3.2 Implementación del módulo Multimedia Interactiva.

El módulo de multimedia Interactiva está constituido por dos submódulos. En la figura 5.9 b) se muestran las opciones de Historia, que introducen al usuario a un viaje a la historia de Tumaco a través de una línea tiempo que va relatando cada periodo importante y relevante de la región. La opción de Cultura representa todo el conjunto de elementos que representan el valor cultural de la región.

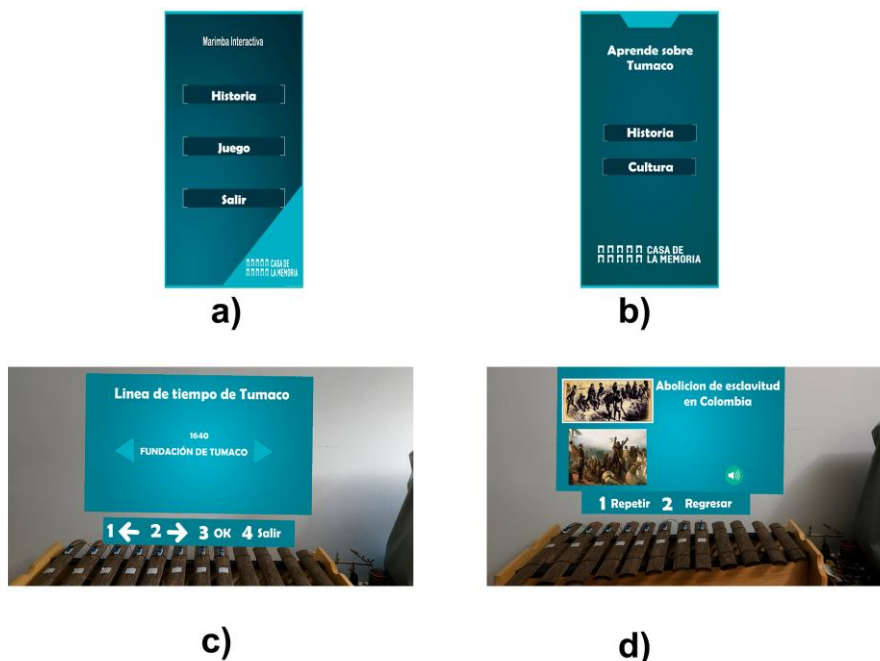


Figura 5.9 Módulo Interactivo Multimedia. a) Menú principal. b) Submenu módulo c) Interfaz de realidad aumentada. d) Contenido multimedia.

Las figuras 5.9 c y d muestran la interfaz virtual a la que se expone el usuario, que mediante la utilización del instrumento podrá explorar todo el contenido y material histórico de la región. Los contenidos expuestos a los usuarios se componen de varios elementos multimedia tales como: Imágenes, video, audio , animación y objetos 3D.

### 5.3.3 Base de datos del módulo de multimedia interactiva.

La base datos del módulo de video juegos guarda las característica de cada escena, es decir: propiedades de los contenido visuales (animaciones, imágenes, vídeo) que guardaran datos como la posiciones en el espacio 3D de la escena y , contenido textual de algunas escenas que provean texto informativos (ver figura 5.10).

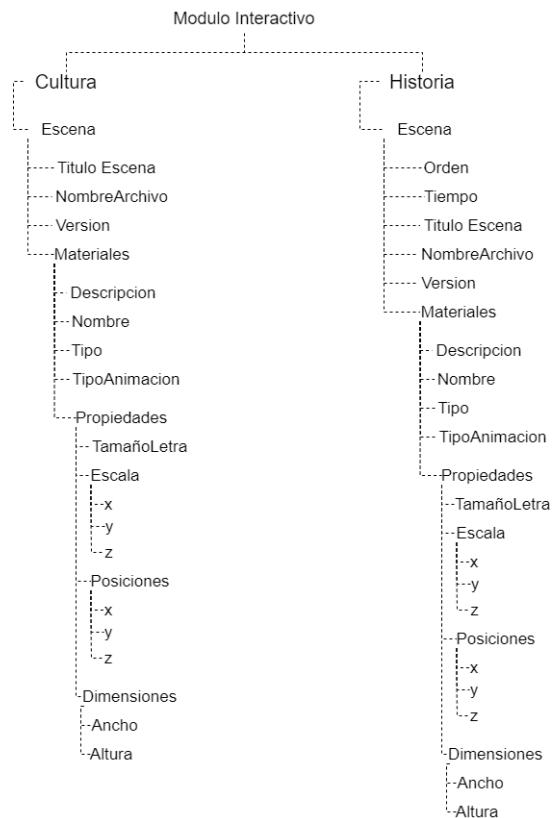


Figura 5.10 Estructura de los datos del módulo multimedia.

### 5.3.4 Alojamiento del material multimedia.

Para el alojamiento de todos los elementos multimedia que componen una escena, se utiliza un alojamiento en la nube. Al utilizar el servicio de alojamiento de Firebase, se optó por empaquetar cada escena en un tipo de archivo reconocido por el motor de video juegos, de manera que se tiene alojado todo un listado de paquetes que posteriorme son descargados en el momento en que el usuario ingresa a una escena específica. Después se procede a desempaquetar y a organizar todo el material multimedia de acuerdo a los parámetros que son consultados en la base de datos (*sección 5.3.3*). Este procedimiento de manejar un conjunto de paquetes que representan el contenido de cada escena, permite simplicidad al momento de actualizar el contenido del módulo, pues simplemente se crea un nuevo paquete que contiene todo el material multimedia y, junto con sus parámetros de descripciones. De esta forma se logra una escalabilidad en el crecimiento de contenido que se le pueden ofrecer a los usuarios. Ver *Figura 5.11*

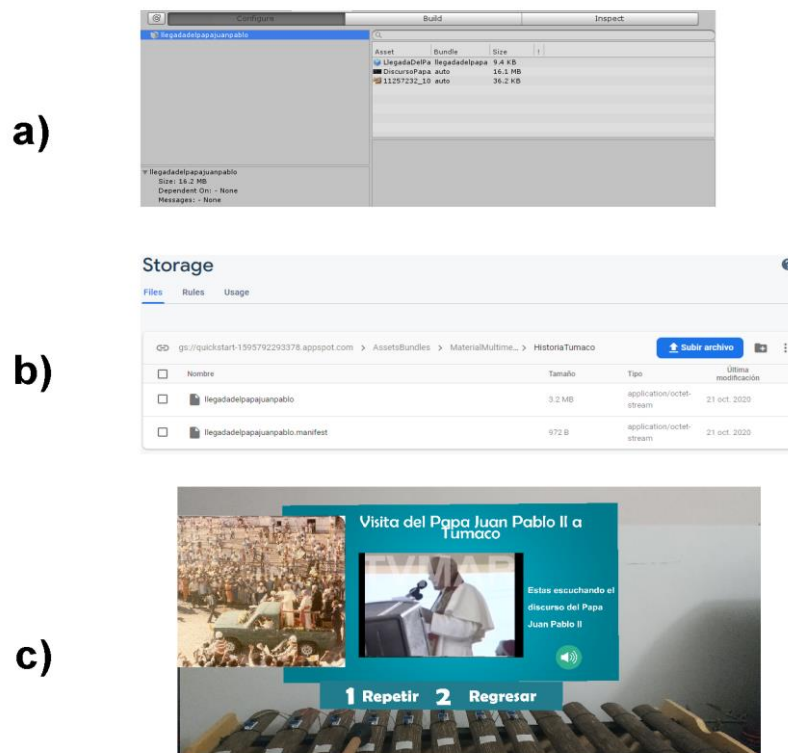


Figura 5.11 a) Creación del paquete b) Alojamiento del paquete en la nube c) despliegue del contenido del paquete.

En el marco de la contingencia que se atraviesa por el nuevo Covid-19 a nivel mundial, el proyecto se vió en la necesidad inevitable de ajustar la etapa de pruebas a condiciones por fuera de las planteadas inicialmente, donde se esperaba trabajar con una población de características sociodemográficas in situ en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, muy similar a público objetivo descrito en el Capítulo 4. Por lo anterior, dichas pruebas se realizaron en casa con usuarios cercanos (familiares y amigos) y distintos a los autores del proyecto.

### 6.1 Plan de Evaluación.

Se utilizó el enfoque cualitativo en para detectar problemas UX en el ciclo de vida de desarrollo ágil.. Se tomó la decisión no aplicar un enfoque cuantitativo completo en la evaluación de métricas UX, pero se reconoce en el proceso de evaluación de forma esencial la caracterización cualitativa de las tareas para el proyecto.

En la etapa de desarrollo se aplicaron pruebas de evaluación a componentes funcionales de una forma muy intuitiva basada en el siguiente ciclo de vida.

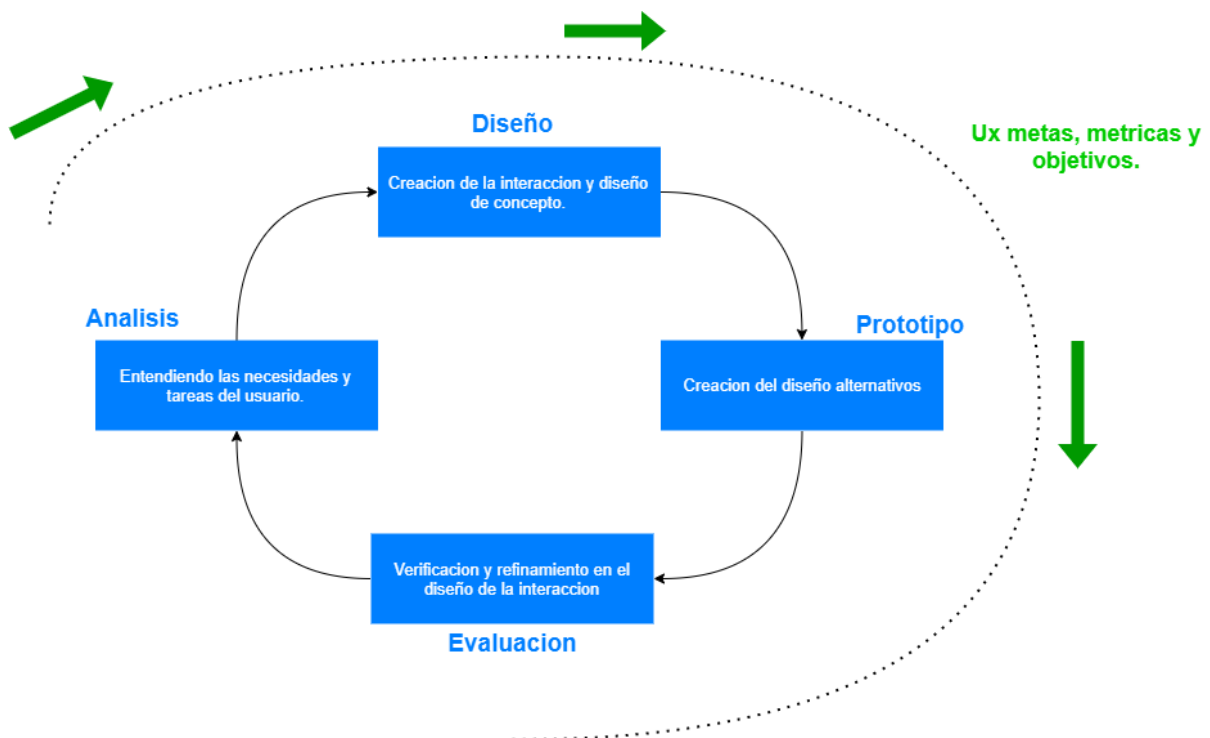


Figura 6.1 Ciclo de pruebas[56].

Adoptado desde una mirada de satisfacción y disfrute del usuario, la aplicación de métricas, objetivos y objetos UX mostrado en la *Figura 6.1*. A continuación se presenta el plan de evaluación

### **6.1.1 Objetivo.**

Se plantea como objetivo de UX de alto nivel, medir el nivel de aceptabilidad y percepción de un sistema que integra nuevas tecnologías basadas en computación e incentiven el reconocimiento cultural e histórico para los visitantes (usuarios) en el recorrido de La Casa de la Memoria de Tumaco.

A continuación, se describen los atributos que se esperan experimenten los usuarios y se traducen en un conjunto de características de dimensión UX. Este análisis es basado un gran porcentaje en el diagrama de Usabilidad como visión funcional:

### **6.1.2 Vista general.**

El plan consta de los siguientes pasos:

Dirigir al usuario al espacio donde se desarrollarán las pruebas, donde se realizará una breve introducción de uso al sistema interactivo. Durante el proceso de exploración y uso del sistema por parte del usuario, se ejecutará el proceso de observación y seguimiento a las conductas mostradas en la interacción por parte del usuario. Finalmente, se solicitará al usuario realizar una corta encuesta basada en la experiencia vivida. Se estima realizar la prueba con alrededor de 3-5 personas.

### **6.1.3 Población de usuarios objetivo:**

Para las pruebas se establece como características de usuario las siguientes: Personas que se encuentran con edades comprendidas entre los 18 y 50 años, esto debido a las condiciones actuales que limita la semejanza con el perfil de público objetivo descrito en el Capítulo 4. Es indiferente para el uso, el conocimiento previo en el uso de dispositivos tecnológicos basados en RA/RV/RM, haciendo semejanza con el perfil del público objetivo visitante a La Casa de la Memoria de Tumaco.

### **6.1.4 Proceso de evaluación:**

En la prueba existen dos momentos, uno que se desenvuelve a lo largo de la interacción del usuario con el sistema y es desarrollado únicamente por los actores que cumplen el papel de observadores; el segundo, es la encuesta diligenciada al finalizar la prueba por parte del usuario objetivo.

### **6.1.5 Objetivo del proceso :**

El objetivo comprende una bifurcación siguiendo la implementación realizada por submódulos en el sistema interactivo. Para el Módulo del Video Juego, su objetivo es recrear de una forma divertida el uso de la marimba como instrumento de enlace a las raíces autóctonas de la región Tumaqueña. En el caso del Módulo de Historia, se aspira impulsar el componente educativo y el reconocimiento de características culturales e históricas de la región.

### **6.1.6 Método.**

Basado en el ciclo de vida de la *Figura 6.1*, el método general y actividades aplicadas a la evaluación serán una vez terminado el proceso de observación y el diligenciamiento del formato de encuesta corta, una asignación cuantitativa a las preguntas de verificación de conocimiento adquirido y cualitativas a las métricas UX establecidas.

### **6.1.7 Ciclo de vida del proceso.**

Es una prueba sumativa realizada al final del proyecto.

### **6.1.8 Programa.**

Las pruebas de usuario se realizaron a lo largo de una semana, una vez liberada la primera versión del prototipo funcional del sistema interactivo basado en computación.

### **6.1.9 Personal Responsable.**

El observador será quien durante todo el proceso de interacción esté acompañando al usuario y quien al final será el encargado de conducir las pruebas de evaluación del usuario.

## 6.2 Pruebas Unitarias:

Bajo los lineamientos de los requerimientos funcionales y no funcionales planteados para el proyecto, se siguieron bajo la misma configuración el modelo a continuación de pruebas unitarias:

ID	Requerimiento	Descripción
PF#	Nombre del Requerimiento Funcional RF#	Descripción del objetivo de la prueba funcional al Requerimiento Funcional RF#.
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Descripción del resultado esperado (positivo) en la PF#	Descripción del resultado obtenido (real) en la PF#
	<b>Observaciones</b>	
	Observaciones al proceso de prueba y detalle	

*Figura 6.2 Plantilla de prueba unitaria.*

A lo largo de la implementación del prototipo se realizaron pruebas buscando la evaluación unitaria en los requerimientos funcionales y no funcionales. Se encuentran de manera detallada el resultado en el Anexo 8.8.

## 6.3 Pruebas de Usuario:

A continuación, se describen las características que se tuvieron en cuenta para la elaboración de los formatos de observación y pruebas de usuario. Las Pruebas de usabilidad están basadas en el Modelo de atributos de usabilidad conceptual y criterios medibles [14]. La tabla muestra el instrumento de evaluación.

Criterios de Usabilidad	Pregunta
<i>Tolerancia al error</i>	

[ET1] Mensajes de error apropiados para condiciones no válidas	¿Consideras que las instrucciones de uso del sistema son claras e intuitivas?
<i>Satisfacción</i>	
[S1] La conveniencia del sistema y las tareas del usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Consideras atractivo el uso del sistema propuesto?</li> <li>- ¿Te pareció interesante la actividad?</li> </ul>
[S2] Opinión del usuario sobre la experiencia del usuario	¿Se sintió cómodo al usar el sistema?
[S3] Opinión del usuario sobre frustración o confusión	¿Qué grado de dificultad encontraste en la adaptación de uso de sistema?
<i>Aprendizaje</i>	
[L1] Visibilidad clara del estado actual del sistema y una idea de qué hacer a continuación	¿Conseguiste con facilidad entender la secuencia de la interacción del sistema?
[L2] Las tareas del usuario no son erróneas	¿Consideras que las acciones realizadas en el sistema te llevaron a donde esperabas?
[L4] El usuario dedica un tiempo mínimo a "Ayuda"	¿Consideró necesario solicitar ayuda?
<i>Generales</i>	
¿Disfrutaste de la actividad?	
¿Cuáles sentidos considera que conectó en la interacción? (Vista, Olfato, Gusto, Tacto, Oído) ¿Qué aspectos mejorarías del sistema? [Pregunta abierta]	

*Figura 6.3 Estructura de pruebas de usuario.*



*Figura 6.4 Evidencia de pruebas de usuario.*

Después de haber realizado en análisis y desglose por cada característica descrita anteriormente, se construye el formato de la encuesta con sus resultados el cual se encuentra disponible en el Anexo 8.8. En una escala de evaluación de 1 a 5, donde 1 es la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta en cada ítem evaluado y asociado al Diagrama de Usabilidad. Véase figura 2.5.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que los usuarios consideraron el uso del sistema propuesto atractivo, interesante y con un alto puntaje en el disfrute de la actividad. También lograron identificar la inmersión de los sentidos como oído, tacto y vista en la interacción con el sistema, tal y como se plantea en la propuesta [48]. Se identificaron aspectos a mejorar en la característica de adaptación del sistema particularmente para las personas con problemas de visión.

#### 7.1 Conclusiones.

El reto principal que se planteó fue la implementación de un prototipo funcional que permitiera exponer contenido cultural e histórico a los usuarios del museo, acompañado de una característica de interactividad que permitiese una exploración de contenido de una manera más entretenida e inmersiva. Se presentaron ciertos desafíos a la hora realizar un diseño preliminar del sistema. Por ejemplo, crear una alternativa de bajo costo a la hora de su implementación así como construir una integración de realidad mixta y multimedia interactiva que ofreciera interactividad orientada a la educación, entretenimiento y jugabilidad.

A lo largo de la implementación se abordaron distintas características a nivel técnico, las cuales llevaron a evaluar y escoger los dispositivos que aportaran un rendimiento eficiente y un resultado más preciso en las señales de entrada capturadas desde la Marimba, transmisión de datos vía Bluetooth y estabilidad en la comunicación. Una vez integrados estos componentes, se construyó una aplicación que permite ofrecer información estructurada y de manera escalable de diversos contenidos multimediaa los usuarios

Durante la última etapa del proceso, en las pruebas se logró evidenciar, con los resultados obtenidos en la evaluación de los usuarios, reacciones que fueron identificadas positivas a lo largo de la interacción con el sistema. Se pudo reconocer un alto nivel de aceptación y agrado. Se despertó el interés de los usuarios por interactuar con el instrumento musical y el referente cultural e histórico que se presenta sobre la región Tumaqueña. También se puede concluir que el sistema propone una inmersión alta de los sentidos, los usuarios reconocen en este proceso el uso del oído, tacto y vista; en un alto porcentaje.

Finalmente, a lo largo de este proceso se dejó planteado un camino de exploración con tecnologías que permiten de manera expositiva y diferente, por fuera de la línea tradicional en un ambiente museográfico, crear experiencias como estrategia de educación. Los resultados obtenidos en las

pruebas del prototipo nos llevan a reflexionar y proyectar el gran potencial que marca para la preservación y legado cultural inmaterial de comunidades, evolucionar la transmisión de información en tradición oral haciendo uso de tecnologías que se acercan a generaciones más jóvenes permitiendo fortalecer la identidad cultural.

### **7.2 Trabajos futuros.**

#### **7.2.1 Habilitar la aplicación para todas las plataformas móviles.**

Actualmente la aplicación funciona únicamente para dispositivos con sistema operativo Android, se piensa a futuro poder dar compatibilidad con dispositivos IOS.

#### **7.2.2 Aumento en el ángulo visión de la cámara.**

En ángulo de visión que disponen actualmente la mayoría de teléfonos gama media abarca alrededor de los 60° de visión horizontal y los nuevos celulares de gama media-alta que salen al mercado de celulares disponen de una cámara gran angular que les permite alcanzar un ángulo de visión de 123°. Se tiene la expectativa adaptar este tipo de cámaras para lograr un mayor rango de visión horizontal sobre la marimba.

#### **7.2.3 Laboratorio creativo de Música.**

Se proyecta crear un sub-aplicativo dentro del módulo de video juego con la finalidad de que los usuarios no solo interpretan piezas musicales, sino que también puedan crear sus propias piezas musicales y que aquellas puedan ser publicadas para que puedan ser interpretadas por cualquier usuario de la aplicación.

### **7.2.4 Rastreo por la figura del instrumento musical.**

Se tiene como centro de referencia un marcador utilizado como medio de rastreo para superponer los elementos virtuales. Se busca experimentar con nuevos tipos de herramientas de rastreo que permita superponer elementos virtuales con sólo reconocer la figura del instrumento musical y se ajusten los elementos virtuales de acuerdo a las coordenadas detectadas por la herramienta de rastreo sobre el instrumento.

### **7.2.5 Modo cooperativo.**

El módulo de juego es estrictamente operado por una sola persona; sin embargo, es muy común encontrar dentro de los conjuntos musicales del pacifico marimbas con un mayor número de notas musicales y tocadas por dos personas. La idea sería ofrecer la posibilidad de que dos personas pudieran conjuntamente tocar una pieza musical que requieren la necesidad de dos ejecutores.

### **7.2.6 Extender a una arquitectura de digital twin que permita la interacción con un marimbero profesional**

El módulo de juego al desarrollarse en un entorno de interacción inmersiva de Realidad Mixta, explora la posibilidad de ampliar su potencial a una versión colaborativa usando la arquitectura de Digital Twins, entendiendo este concepto como “la representación completa de un proceso u objeto real, dentro de un entorno virtual” [57]. El aprovechamiento de este enfoque enriquece y potencializa la pluriculturalidad a través del lenguaje musical, es decir, que más de un usuario desde distintos lugares del mundo puedan acceder a un mismo entorno e interpretar colaborativamente en tiempo real [54].

# Bibliografía

- [1] Casa de la Memoria Tumaco, *Génesis de la casa de la memoria en Tumaco*, [Online]. <https://casamemoriatumaco.org/genesis-la-casa-la-memoria>, 2016
- [2] Revista Semana. *En el corazón de Tumaco*, [Online]. <http://especiales.semana.com/tumaco/capIntro.html> , 2018.
- [3] Eve Museos e Innovación. “*Museografía*” [definition and examples] <https://evemuseografia.com/2015/07/22/que-es-museografia/>, 2015.  
Eve Museos e Innovación. “5 MODELOS DE INMERSIÓN MUSEOGRÁFICA”. [Online] <https://evemuseografia.com/2018/05/10/5-modelos-de-inmersion-museografica/>
- [4] A., Pavithra. “MULTIMEDIA AND ITS APPLICATIONS”. 10. 271-276. 2018.
- [5] Elizabeth S. Adams, Linda Carswell, Amruth Kumar, Jeanine Meyer, Ainslie Ellis, Patrick Hall, and John Motil. “Interactive multimedia pedagogies: report of the working group on interactive multimedia pedagogy” . 182–191. 1996.
- [6] Shank, P. “*The Value of Multimedia in Learning*. Adobe Design Center, [Online]. [http://www.adobe.com/designcenter/thinktank/valuemedia/The\\_Value\\_of\\_Multimedia.pdf](http://www.adobe.com/designcenter/thinktank/valuemedia/The_Value_of_Multimedia.pdf). 2005.
- [7] Minhua Ma, Andreas Oikonomou, and Lakhmi C. Jain. “*Serious Games and Edutainment Applications*”. 2011.
- [8] T.J. Barber, “*Why Gamification Doesn't Mean Serious Games*”, [Online]. <https://www.dashe.com/blog/why-gamification-doesnt-mean-serious-games>. 2019.
- [9] Martens, A., & Müller, W. *Gamification*. “*Handbook of Digital Games and Entertainment Technologies*”, 1–23. 2015.
- [10] Stieglitz, S., Lattemann, C., Robra-Bissantz, S., Zarnekow, R., & Brockmann, T. (Eds.). “*Gamification*”. 2017.
- [11] S. Tang, M. Hanneghan, A.E. Rhalibi, Introduction to games-based learning. In T. Connolly, M. Stansfield, & L. Boyle (Eds.), “Games-based learning - advancements for multi-sensory human computer interfaces”. 2019
- [12] Lamberti P Montuschi, A Sanna and G Paravati. “*Human-computer interaction: Present and future trends.IEEE Computer Society*” [Online]. 2014.
- [13] Georgia Tech College of Computing. “*Human-Computer Interaction (HCI) at Georgia-Tech*”. [Online]. <https://www.youtube.com/watch?v=6kyIRHpYw6E>. 2017.

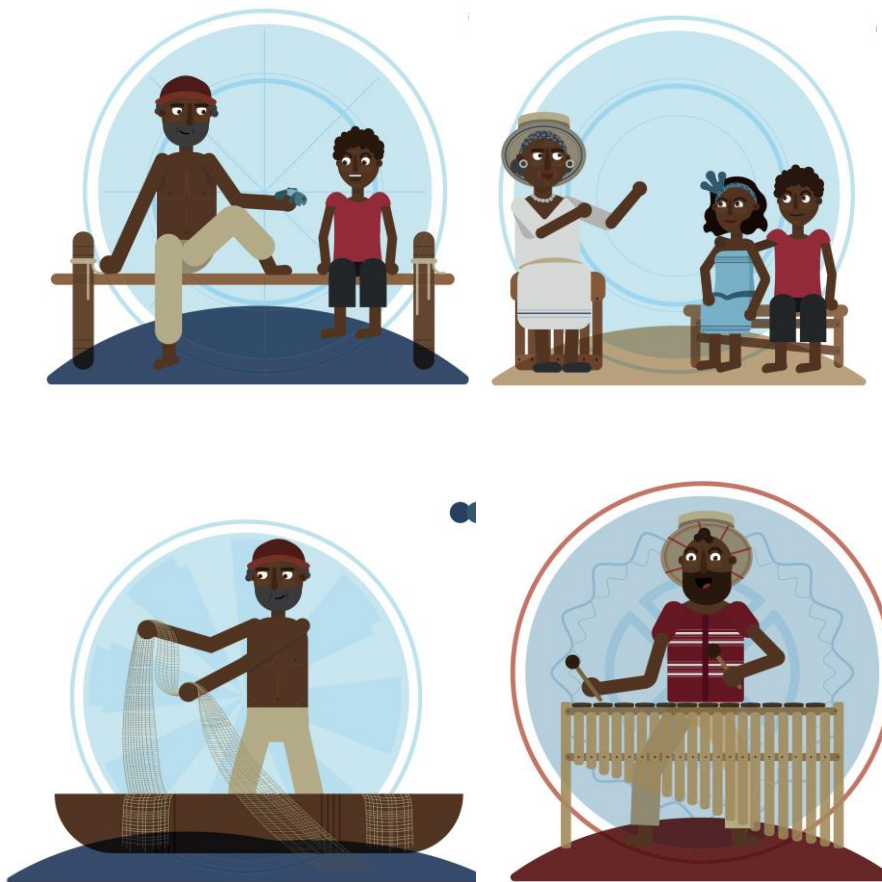
- [14] S. Adikari and C. McDonald, "*User and Usability Modeling for HCI/HMI: A Research Design, 2006 International Conference on Information and Automation, Shandong*", pp.151-154. 2006 .
- [15] Microsoft, "*What is mixed reality?*", [Online]. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mixed-reality>, 2018.
- [16] STAFF MARXE. "*What is virtual reality?*" [definition and examples], [Online]. <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality>, 2015.
- [17] M Rouse. *Augmented Reality (ar)*, [Online]. <https://whatis.techtarget.com/definition/augmented-reality-AR>.
- [18] P.Milgram and F.Kishino. "*A Taxonomy of Mixed Reality*", [Online].[https://cs.gmu.edu/~z duric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram\\_IEICE\\_1994.pdf](https://cs.gmu.edu/~z duric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf). 2013.
- [19] Shiqian Ke, Feng Xiang, Zhi Zhang, Ying Zuo. "*A enhanced interaction framework based on VR, AR and MR in digital twin*", 753-758. 2019.
- [20] John Roach. "*The making of the HoloLens 2: How advanced AI built Microsoft's vision for ubiquitous computing*", [Online]. <https://news.microsoft.com/innovation-stories/hololens-2-shipping-to-customers/>. 2019.
- [21] Christoph Anthes, Rubén Jesús García Hernández, Markus Wiedemann, Dieter Kranzüller, "*State of the Art of Virtual Reality Technology*". 2016.
- [22] Jens Grubert, Dr. Raphael Grasset. "*Augmented Reality for Android Application Development*". 2013.
- [23] S. Garrido-Jurado, Rafael Muñoz-Salinas, Francisco J. Madrid-Cuevas, Manuel J. Marín-Jiménez. "*Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion*". 2014.
- [24] Mehmet Sezgin and Bulent Sankur, "*Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation, Journal of Electronic Imaging*", 146–165, 2004.
- [25] Bhateja, V., Satapathy, S. C., & Satori, H. (Eds.). "*Embedded Systems and Artificial Intelligence. Advances in Intelligent Systems and Computing*". 2020.
- [26] Ning Xie, Xinrui Cai, Sipei Li, Yifan Lu, Mingyue Lou, and Heng Tao Shen. "*DT-Zheng: digital twin method for Zheng musical instrument*". 2018.
- [27] F. Farbiz et al., "*A multimodal augmented reality DJ music system,*" 2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, Singapore, pp. 1-5, 2007.

- [28] C. A. T. Fernandez, P. Paliyawan, C. C. Yin and R. Thawonmas, "*Piano learning application with feedback provided by an AR virtual character*," *2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, Kyoto*. 2016.
- [29] E. Çelik and A. Çetin, "*Realization of Keyboard Instruments on Mobile Platform with Mixed Reality*," *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) Adana*. 2018.
- [30] C. Chuanrong, "*The Application of Interactive Design in Museum Exhibition Space*," *2017 9th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Changsha*. 2017.
- [31] Jaegher, Lars & Waele, Maria & Goethem, Veronique. "*The use of digital media in a new urban history exhibition: STAM — Ghent city museum*". 557-560. 2012.
- [32] J. Keil et al., "*A digital look at physical museum exhibits: Designing personalized stories with handheld Augmented Reality in museums*, *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage), Marseille*". pp. 685-688. 2013.
- [33] K. Lee, Y. Chen, H. Hsieh and K. Chin, "*Application of intuitive mixed reality interactive system to museum guide activity*, *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW)*". pp. 257-258. 2017.
- [34] K. Cheng and I. Furusawa, "*The Deployment of a Mixed Reality Experience for a Small-Scale Exhibition in the Wild*, *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct*". pp. 214-215. 2018.
- [35] H. Tascon, "*A MARIMBIAR Método oí para tocar la marimba de chonta*". pp.16. 2014.
- [36] D.J Anderson and A Carmichael, "*Kanban Esencial Condensado*". 2016.
- [37] Digité, "*Kanban Principles & Practices*". [ONLINE] <https://www.digite.com/kanban/what-is-kanban/> . NA
- [38] Philippe Krutchen, "*Architectural Blueprints—The “4+1” View Model of Software Architecture*" pp. 42-50. 1995.
- [39] ARTECHOUSE. Submerge [Image].[www.artechouse.com](http://www.artechouse.com) .2020
- [40] The National Motor Museum Trust. [Image]. <https://nationalmotormuseum.org.uk>. Na
- [41] Chaplin World Museum, [Image]. <https://www.chaplinsworld.com>.. Na.
- [42] Gran Museo del Mundo Maya de Mérida. [Image]. <https://www.granmuseodelmundo maya.com.mx/museo>. Na.
- [43] Rome Reborn. [Image]. <https://www.romereborn.org>. Na.

- [44] Jcdecaux, Valla publicitaria interactiva de Mango. [Image]. <https://www.jcdecaux.com>. Na.
- [45] Tutty, Josie, How to avoid vomit-inducing interactive experiences. [Image]. <https://mumbrella.com.au/how-to-avoid-vomit-inducing-interactive-experiences-mumbrella360-video-480691>.
- [46] Moralejo, María & Sanz, Cecilia & Pesado, Patricia & Baldassarri, Sandra. "Avances en el diseño de una herramienta de autor para la creación de actividades educativas basadas en la realidad aumentada". 2014.
- [47] D. Vallejo, C. Martin. "Desarrollo de Videojuegos: Un Enfoque Práctico". [Libro] pp14. 2015
- [48] Mejía Gallo, Salomón "Marketing sensorial y su influencia en la experiencia de compra" [Libro] Tendencias publicitarias en Iberoamérica. pp. 293-313. 2016.
- [49] Munévar Gordillo, Ibón . "Un legado en cultura para una Colombia en paz - Legado MinCultura 2010-2017". <https://www.mincultura.gov.co/areas/legado-MinCultura/Paginas/un-legado-para-los-colombianos.aspx>. 2017.
- [50] Microsoft, "The Ultimate mixed reality HoloLens2". [Online] <https://www.microsoft.com/en-us/p/holoLens-2/91pnzzznzwc/?activetab=pivot:overviewtab>. 2020.
- [51] BankmyCell, "HOW MANY SMARTPHONES ARE IN THE WORLD?" [Online]: <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world>. 2020
- [52] Sensor-Works, "HOW DO PIEZOELECTRIC SENSORS WORK?" [Online]: <http://sensor-works.com/how-do-piezoelectric-sensors-work/>. 2019.
- [53] ARDUINO.cl, "¿Que es Arduino?".[Online]: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. NA.
- [54] H. Kolivand, E.C. Prakash, M.C. López, D. Hernández, and A.A. Navarro-Newball "Reimagining the Book ... Again! A New Framework for Smart Books Using Digital Twins Technology".
- [55] "¿Qué 20 acontecimientos más importantes escogerías tú?" *Facebook*, 2019. [En línea] Disponible en: <https://www.facebook.com/casamemoriatumaco/photos/2032332613514778> [Accedido 10 de octubre de 2020].
- [56] R. Hartson, P.S. Pyla, *The UX Book. Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*, Elsevier, 2012.
- [57] A. E. Campos-Ferreira, J. J. Lozoya-Santos, A. Vargas-Martínez, R. Ramírez Mendoza, R. Morales-Menéndez, *Digital Twin Applications: A review*, 2019.

<https://github.com/juanprog97/Marimba-Inmersiva.git>

*Anexo 8.0: Repositorio del proyecto.*



*Anexo 8.1: Ilustraciones utilizadas en el módulo de multimedia interactiva.*



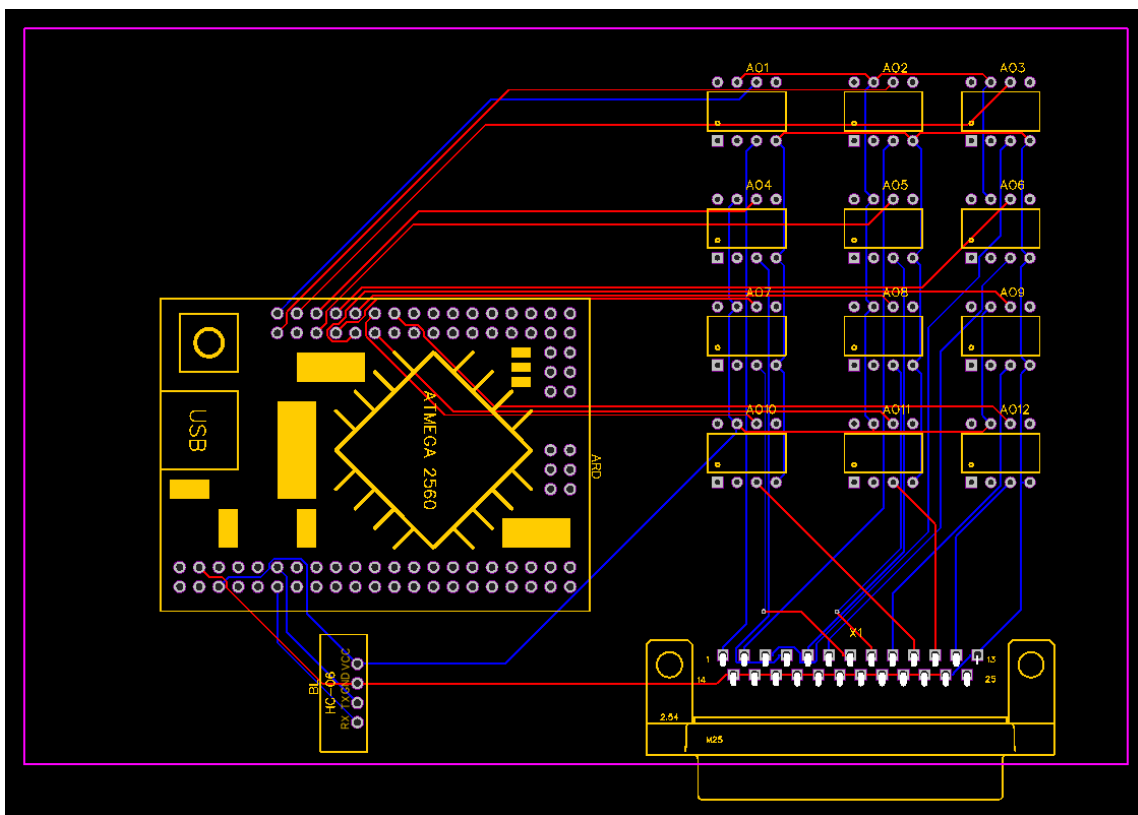
Anexo 8.2: Marcador QR de rastreo.

 The image shows a screenshot of a 'Planner' application interface. At the top, it says 'Planner' and 'Tesis ☆'. Below this, there are four columns representing different stages of a project:
 

- Diseño:** Contains tasks like 'Reunión para Ilustraciones' (assigned to Lina Valencia Castañeda) and 'Definición Tamaño QR-Ppal' (assigned to Lina Valencia Castañeda and JM).
- Desarrollo/Implementación:** Contains tasks like 'Turno rotulador en CAP' and 'Desarrollo Módulo Interacción Historia' (with a due date of 05/17, assigned to Lina Valencia Castañeda).
- Verificación y Pruebas:** Contains tasks like 'Pruebas de Conocimiento', 'Pruebas Satisfacción', and 'Pruebas Unitarias' (all assigned to Lina Valencia Castañeda).
- Documentación:** Contains a task 'Actualización Bibliografía' (with a due date of 05/06, assigned to Lina Valencia Castañeda and JM).

 The interface also shows 'Add task' buttons, member avatars (LV, JM), and a 'Show completed' count at the bottom of each column.

Anexo 8.3: Creación de la tabla de tareas de implementación.



Anexo 8.4: Diseño PCB para el circuito de detección.

<b>Propiedades</b>	<b>Características</b>	<b>RV</b>	<b>RA</b>	<b>RM</b>
<b>Inmersión</b>	Espacio Virtual.	✓	✓	✓
	Espacio Físico.		✓	✓
	Interacción tiempo real.			✓
<b>Interactividad</b>	Usuario y Objetos Virtuales.	✓	✓	✓
	Usuarios y Espacio Físico.		✓	✓
	Objetos Físicos y Objetos virtuales.			✓
<b>Percepción Múltiple</b>	Información Virtual.	✓	✓	✓
	Información Real		✓	✓
	Información fisiológica del usuario.			✓
<b>Tecnologías claves</b>	Tecnología de simulación.	✓	✓	✓
	Tecnología de visualización.	✓	✓	✓
	Computación Gráfica	✓	✓	✓
	Interacción humano-computador		✓	✓

	Tecnología de Rastreo		✓	✓
--	-----------------------	--	---	---

### Anexo 8.5 Tabla de diferencia de RV,RA,MR[19].

```

int val1;int val2;int val3;int val4;int val5;int val6;int val7;int val8;
bool EstadoTecla_1 = false;bool EstadoTecla_2 = false;bool EstadoTecla_3 = false;bool EstadoTecla_4 = false;bool
EstadoTecla_5 = false;
bool EstadoTecla_6 = false;bool EstadoTecla_7 = false;bool EstadoTecla_8 = false;
bool tmpEstado;
String comando;
//Mensaje de envio
String operadorLogico(boolean a1, boolean a2)
{
  if(a1 == a2){ return "0";}
  else if(a1== false && a2 == true){return "1";}
  else{return "0";}
}

void setup() { Serial.begin(9600);}
void loop() {

  //Inicializar Comando
  comando = "";
  //Leer estado de los sensores
  val1 = analogRead(A0);
  val2 = analogRead(A1);
  val3 = analogRead(A4);
  val4 = analogRead(A5);
  val5 = analogRead(A7);
  val6 = analogRead(A8);
  val7 = analogRead(A11);
  val8 = analogRead(A10);
  tmpEstado = (val1 < 800) ? true : false; ///Verificar señal del sensor: si es true hay toque de lo contrario no
hay .
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_1, tmpEstado);
  EstadoTecla_1 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val2 < 800) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_2, tmpEstado);
  EstadoTecla_2 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val3 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_3, tmpEstado);
  EstadoTecla_3 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val4 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_4, tmpEstado);
  EstadoTecla_4 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val5 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_5, tmpEstado);
  EstadoTecla_5 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val6 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_6, tmpEstado);
  EstadoTecla_6 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val7 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_7, tmpEstado);
  EstadoTecla_7 = tmpEstado;

  tmpEstado = (val8 < 900) ? true : false;
  comando += operadorLogico(EstadoTecla_8, tmpEstado);
  EstadoTecla_8 = tmpEstado;

  comando+="0000";
  Serial.println(comando); //Envio del mensaje.
  delay(50);
}

```

### Anexo 8.6 Código para detectar las señales eléctricas en el microcontrolador de Arduino.

ID	Requerimiento	Descripción
PF1	<i>Integración de Sensores al instrumento musical</i>	<i>El sistema debe integrar sensores que permitan detectar el toque en las tablas de la Marimba.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Captar una señal a través de los sensores que permita clasificar un toque	Un rango de señal eléctrica que se identifica como una señal de toque.
	<b>Observaciones</b>	
	Se probaron sensores vibracionales y de obstáculo, dejando mejores resultados al final los sensores de obstáculo que son los que se implementaron en el prototipo final.	

ID	Requerimiento	Descripción
PF2	<i>Integración de Microcontrolador</i>	<i>El microcontrolador debe procesar las señales capturadas por los sensores.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Un algoritmo que permita clasificar los rangos de una señal de entrada análoga y transformarla a digital.	Un algoritmo que recibe una señal análoga de entrada y la transforma a digital, posteriormente enviada por protocolo bluetooth.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
	<i>Integración de Microcontrolador - Conexión Inalámbrica</i>	<i>El sistema deberá integrar un medio de transmisión inalámbrica(Bluetooth).</i>

	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
PF3	El microcontrolador deberá enviar por protocolo Bluetooth la señal digital procesada.	El uso del protocolo bluetooth como canal de transmisión de la señal de salida digital a la aplicación.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

<b>ID</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>
PF4	<i>Enviar datos vía Bluetooth</i>	<i>El sistema debe transmitir las señales eléctricas procesadas por el microcontrolador hacia la aplicación la aplicación del dispositivo móvil</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Reconocer desde la aplicación la señales de entrada vía Bluetooth	Un algoritmo que reconoce las señales digitales de entrada recibidas vía Bluetooth.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

<b>ID</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Descripción</b>
PF5	<i>Marcadores AR</i>	<i>Se debe integrar un marcador AR que pueda ser detectado óptimamente por la cámara del dispositivo móvil.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Mediante el uso del SDK Vuforia se debe reconocer el marcador QR.	SDK Vuforia logra hacer un rastreo del marcador QR.

	<b>Observaciones</b>
	El marcador creado debe cumplir con la mejor calificación posible de puntos mapeados para un óptimo reconocimiento por el sistema de rastreo del SDK

ID	Requerimiento	Descripción
PF6	<i>Marcadores AR</i>	<i>El sistema deberá desplegar modelos u objetos virtuales sobre el marcador.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se debe asociar a través de las herramientas disponibles Unity + SDK Vuforia, modelos de información sobre el marcador QR	El sistema de rastreo del SDK permite identificar y desplegar modelos y objetos en el proceso de reconocimiento.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
PF7	<i>Creación de una base de datos</i>	<i>Se creará un modelo de datos en donde las aplicaciones pueden consultar o guardar información específica.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Una estructura de BD no relacional	Una estructura de BD no relacional adaptada al contenido dependiendo el módulo de interacción en que se encuentre, permitiendo consultar o guardar información.
	<b>Observaciones</b>	
	Con un nivel de escalabilidad alto en contenido en la BD, soportando distintos tipos (extensiones de archivos) de contenido.	

ID	Requerimiento	Descripción
PF8	<i>Alojamiento de archivos en la nube</i>	La aplicación móvil dispondrá de un servicio de alojamientos de archivos que permitirá guardar (imágenes, sonidos, videos).
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se debería contar con un servicio que permita la descarga en la aplicación a los distintos módulos requeridos en la interacción.	Se permite el alojamiento y descarga de múltiples materiales que pueden ser accedidos a través del servicio desde cualquier dispositivo que cuente con la aplicación instalada.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
PF9	<i>Información virtual superpuesta</i>	<i>El sistema debe superponer elementos virtuales al marcador siempre que la cámara de realidad mixta lo detecte.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	La aplicación se seguirá ejecutando solo cuando se detecte el marcador QR	El sistema desplegará contenido particularmente en el módulo de juego exclusivamente cuando se detecte el marcador QR, en caso contrario se pausa la ejecución de la interacción.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
----	---------------	-------------

PF10	<i>Sistema de Catálogo de canciones</i>	<i>El video juego musical deberá permitir ver al usuario el catálogos de canciones que puede elegir para poder interpretarla</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se debe permitir navegabilidad entre las distintas canciones disponibles.	Se logra el desplazamiento entre canciones disponibles en el módulo de juego.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
PF11	<i>Sistema de Ranking</i>	<i>El video juego musical deberá permitir la visualización de los puntajes ordenados de mayor a menor, que corresponde al puntaje otorgado por el nivel de interpretación exacta de la pieza musical</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se deberá registrar y ordenar el puntaje de los participantes en el módulo de juego.	Se almacena y ordena en la BD los puntajes de los usuarios al finalizar la interpretación de una pieza musical en el módulo del video juego musical.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
	<i>Lógica del juego</i>	<i>La Lógica del juego se creará a partir de un patrón que recrea una representación del ritmo de las pieza musicales</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>

PF12	La mecánica de juego permitirá interpretar la pieza de una canción propuesta.	La mecánica de juego permite al usuario interpretar una pieza musical aún sin tener ningún conocimiento de música (tiempos, ritmos, notas, etc)
	<b>Observaciones</b>	
	Las piezas musicales brindadas en el módulo de juego es una simulación de recreación de piezas musicales. Se requiere de un músico para la construcción y adaptación de las canciones a interpretar.	

ID	Requerimiento	Descripción
PF13	<i>Interacción de Instrumento musical con el video juego.</i>	<i>Se debe permitir que a través de las tablas de la marimba se pueda interactuar con el video juego musical.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se debe garantizar que las tablas de la marimba juegue un rol de dispositivo de entrada permanente en vide juego musical.	El videojuego musical cuenta completamente con las integración del Hardware sobre la marimba, como entrada suficiente y estable de interacción.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

ID	Requerimiento	Descripción
PF14	<i>Visualización de Línea de Tiempo</i>	<i>Debe mostrar una representación de la línea de tiempo histórica interactiva.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	En el módulo de multimedia interactiva [Historia], la navegabilidad se debe realizar a través de una línea de tiempo.	El módulo de la historia permite el desplazamiento entre las fechas del contenido usando un 'slider' como representación de línea de tiempo.

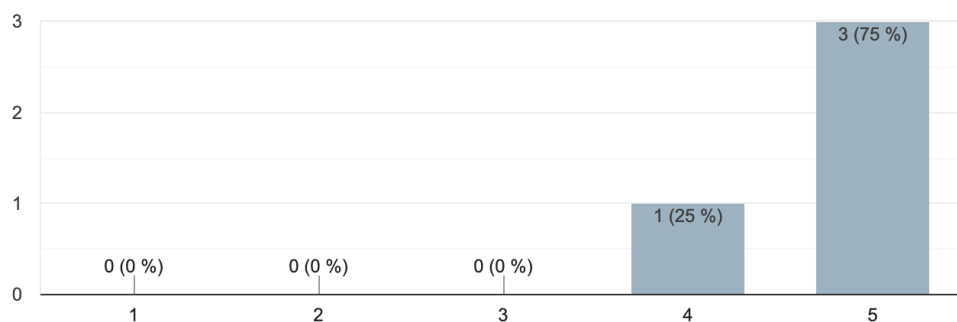
	<b>Observaciones</b>
	N/A

ID	Requerimiento	Descripción
PF15	<i>Contenido interactivo</i>	<i>El módulo histórico deberá permitir desplazarse entre la información de forma dinámica.</i>
	<b>Resultado esperado</b>	<b>Resultado obtenido</b>
	Se debe permitir el desplazamiento entre el contenido del módulo histórico.	El desplazamiento entre la información del módulo histórico y cultural se realiza de forma dinámica y libre por parte del usuario.
	<b>Observaciones</b>	
	N/A	

*Anexo 8.7 Resultados de pruebas unitarias en el proceso de desarrollo.*

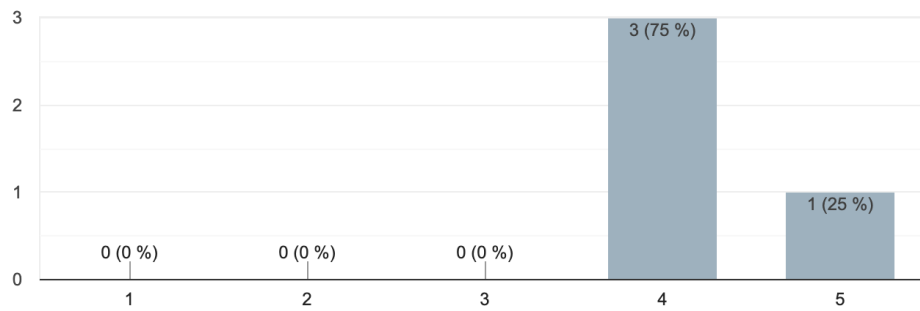
[ET1] ¿Consideras que las instrucciones de uso del sistema son clara e intuitivas?

4 respuestas



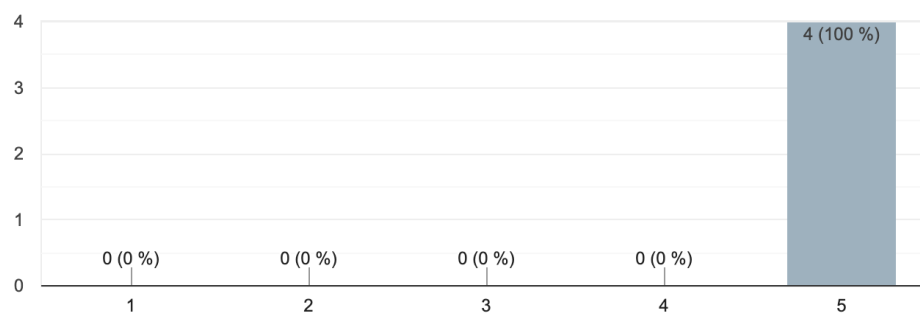
[S1]¿Consideras atractivo el uso del sistema propuesto?

4 respuestas



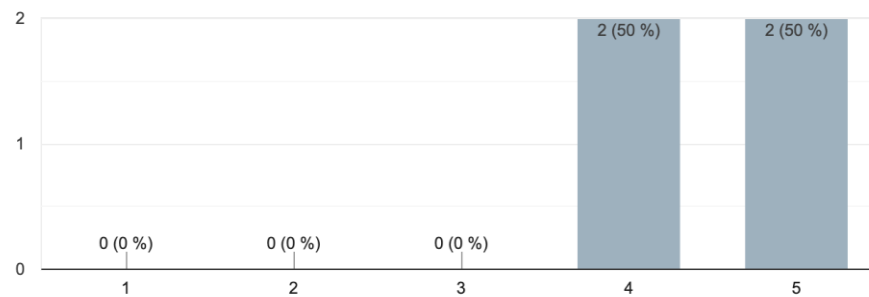
[S1] ¿Te pareció interesante la actividad?

4 respuestas



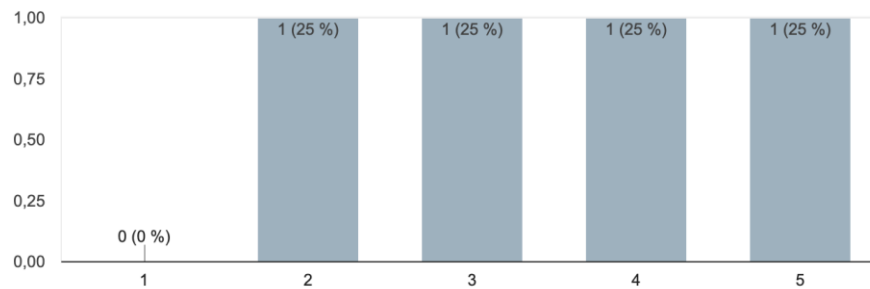
[S2]¿Se sintió cómodo al usar el sistema?

4 respuestas



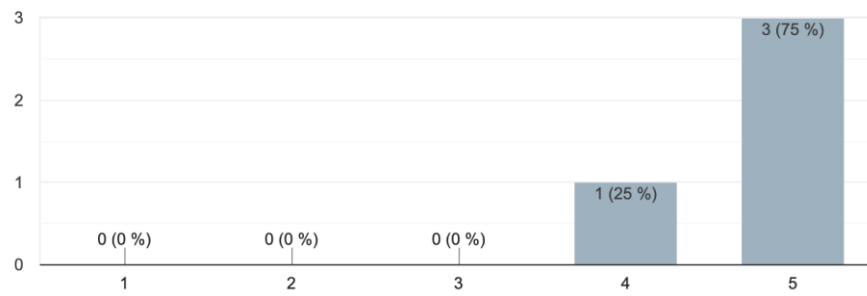
[S3] Que grado de dificultad encontraste en la adaptación de uso de sistema?

4 respuestas



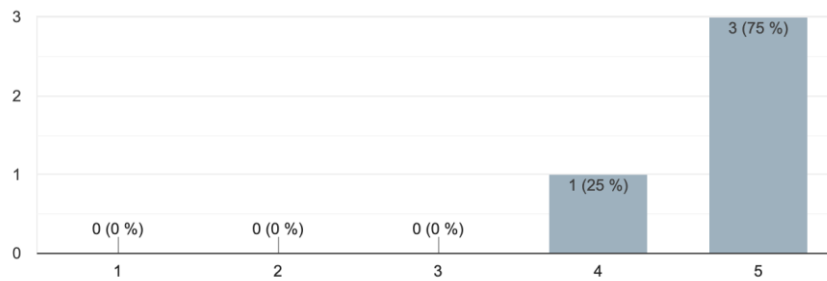
[L1]¿Conseguiste con facilidad entender la secuencia de la interacción del sistema?

4 respuestas



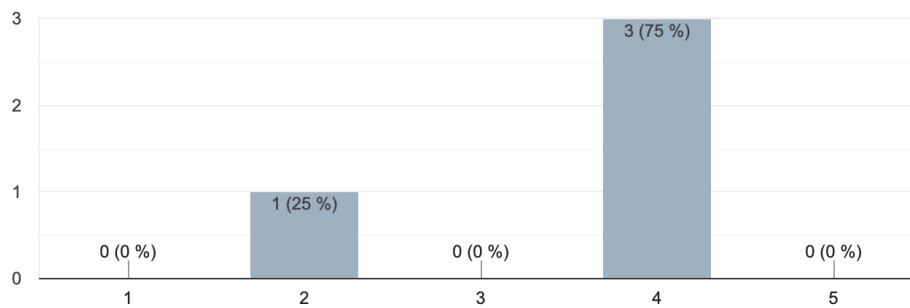
[L2]¿Consideras que las acciones realizadas en el sistema te llevaron a donde esperabas?

4 respuestas



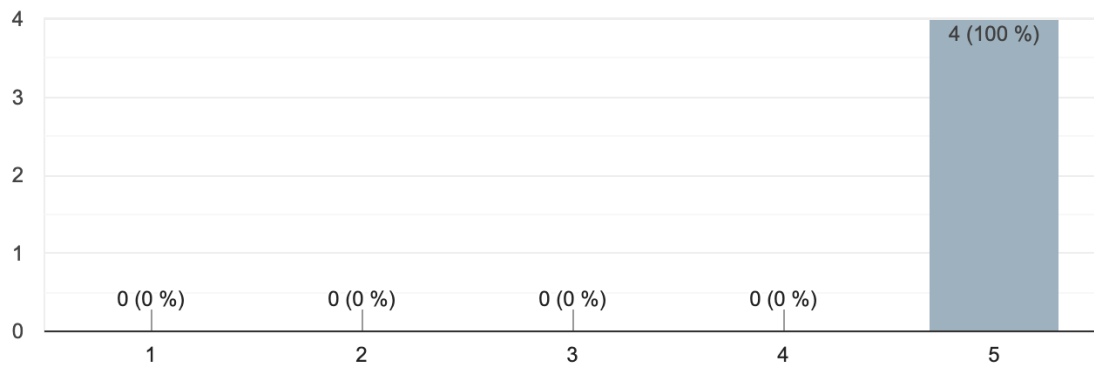
[L4]¿Consideraste necesario solicitar ayuda?

4 respuestas



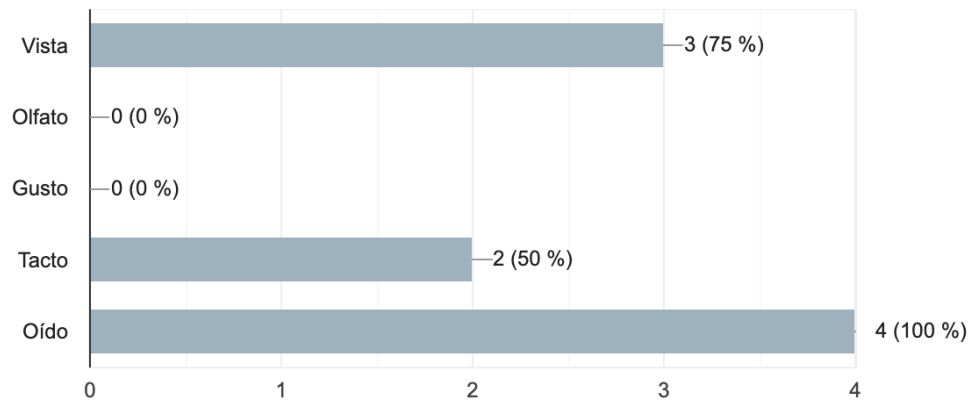
### ¿Disfrutaste de la actividad?

4 respuestas



### ¿Cuáles sentidos considera que conectó en la interacción?

4 respuestas



### ¿Qué aspectos mejorarías del sistema?

4 respuestas

Mejor el alcance de los sensores para evitar acercarme tanto a la marimba y así no tener que perder de vista la misma

la visibilidad para mayor comodidad

mejoraria los colores que se encuentran de fondo ya que se dificulta mucho el entender las oraciones, podría ser un fondo negro con la letras blancas.

colocar los numeros de las teclas para uno identificar mejor cuando se esta leyendo las instrucciones

URL: <https://forms.gle/WD19da98sA4KHiRv8>

*Anexo 8.8 Resultados de encuesta a pruebas de usuario.*