

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



TESIS DE GRADO

**“TUTOR DE EDUCACIÓN AMBIENTAL MEDIANTE REALIDAD
AUMENTADA”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POSTULANTE: JHIMMY CARLOS CALDERON CANOA
TUTOR METODOLÓGICO: Lic. BHYLENIA YHASMYNA RIOS MIRANDA
ASESOR: Lic. MARCELO GERMAN ARUQUIPA CHAMBI

LA PAZ – BOLIVIA

2016



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mi madre Eustaquia. Por haberme apoyado en todo momento y por la motivación constante hacia mi persona.

A mi tío Donato. Por el apoyo incondicional que siempre me brindo.

A mis familiares. A mis tías Trinidad y Blanca por haberme apoyado constantemente.

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por haberme guiado y permitido llegar hasta este punto para lograr mis objetivos.

A mi tutora Lic. Bhylenia Yhasmyna Rios Miranda por haber colaborado con las correcciones oportunas para la conclusión de esta tesis.

A mi asesor Lic. Marcelo German Aruquipa Chambi por su constante apoyo, sus oportunas observaciones y sugerencias fueron muy importantes.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta el diseño de una aplicación móvil cuyo objetivo es el mejorar el aprendizaje de la educación ambiental, por el cual se pretende ayudar al cuidado del medio ambiente.

Por otro lado el presente trabajo de investigación se centra en la aplicación de la Realidad Aumentada por ser una tecnología de tendencia actual orientada a procesos de enseñanza y aprendizaje, sobre la educación ambiental a través del reconocimiento de marcadores para la visualización de modelos 3D. Considerando que la aplicación corresponde a un sistema de realidad aumentada se hará uso del SDK de Realidad Aumentada de Vuforia, además de Unity 3D, ya que Vuforia cuenta con una extensión para Unity lo cual permite que la integración de ambas sea flexible para la creación de proyectos basados en Realidad Aumentada. Por otra parte se utiliza Blender para la parte del modelado de objetos 3D, todo enmarcado en la plataforma Android.

Además, para el desarrollo de la aplicación se aplicó la metodología ágil Morile-D que guiara el proceso de desarrollo desde la colección de requerimientos, diseño de la solución, construcción del prototipo y pruebas. Posteriormente analizar y presentar los resultados obtenidos.

ABSTRACT

This paper presents the design of a mobile application whose objective is to be able to improve the learning of environmental education, which is intended to help care for the environment.

On the other hand, the present research focuses on the application of the Augmented Reality as a technology of current trend oriented teaching and learning processes, on environmental education through the recognition of markers for the visualization of 3D models. Considering that the application corresponds to an augmented reality system will be made use of the augmented reality SDK of Vuforia, in addition to Unity 3D, since Vuforia has an extension for Unity which allows the integration of both is flexible for the creation of Projects based on Augmented Reality. On the other hand Blender is used for the part of modeling 3D objects, all framed in the Android platform.

In addition, the Morile-D search methodology that guides the development process of the requirements collection, solution design, prototype construction and testing is applied to the development of the application. Then analyze and present the results obtained.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMA.....	2
1.2.1. ANTECEDENTES.....	2
1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.4. HIPÓTESIS.....	6
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	7
1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	7
1.5.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.....	7
1.5.4. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA.....	8
1.6. ALCANCES Y LIMITES.....	8
1.6.1. ALCANCES.....	8
1.6.2. LIMITES.....	8
1.7. APORTES.....	9
1.8. METODOLOGÍA.....	9
CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. MEDIO AMBIENTE.....	10
2.2. EDUCACIÓN AMBIENTAL.....	11
2.3. TÉRMINOS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN BOLIVIA.....	11
2.4. EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	12

2.4.1. IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL DESARROLLO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	13
2.4.2. ¿QUÉ ES UN RESIDUO SÓLIDO?.....	13
2.4.3. CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN SU PROCEDENCIA Y NATURALEZA.....	13
2.4.4. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	14
2.4.4.1. RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	14
2.4.4.2. RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS.....	14
2.4.5. SELECCIÓN EN ORIGEN.....	15
2.4.6. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	16
2.4.7. EL RECICLAJE.....	16
2.5. REALIDAD AUMENTADA.....	17
2.5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	17
2.5.2. APLICACIONES.....	18
2.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA.....	19
2.5.4. CAPTACIÓN DE LA ESCENA.....	19
2.5.5. IDENTIFICACIÓN DE ESCENAS.....	20
2.5.5.1. RECONOCIMIENTO BASADO EN MARCADORES.....	20
2.5.5.2. RECONOCIMIENTO SIN MARCADORES.....	22
2.5.6. MEZCLADO DE REALIDAD E INFORMACIÓN DIGITAL.....	23
2.5.6.1. LIBRERÍAS DE AUMENTO.....	24
2.5.7. VISUALIZACIÓN DE ESCENA.....	26
2.5.8. IDENTIFICACIÓN POR POSICIONAMIENTO.....	27
2.5.8.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	27
2.6. DISPOSITIVOS MÓVILES.....	28
2.6.1. TELÉFONO INTELIGENTE.....	28
2.6.2. TABLETA.....	29
2.7. PLATAFORMAS MÓVILES.....	29
2.7.1. PLATAFORMA MÓVIL ANDROID.....	29
2.7.1.1. CARACTERÍSTICAS.....	30
2.7.1.2. ARQUITECTURA.....	30
2.7.1.3. SDK ANDROID.....	32

2.8. METODOLOGÍA MÓBILE – D.....	32
2.8.1. FASES.....	33
2.8.1.1. FASE DE EXPLORACIÓN.....	33
2.8.1.2. FASE DE INICIALIZACIÓN.....	33
2.8.1.3. FASE DE PRODUCCIÓN.....	34
2.8.1.4. FASE DE ESTABILIZACIÓN.....	34
2.8.1.5. FASE DE PRUEBAS.....	34
2.9. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO.....	35
2.9.1. ANDROID STUDIO.....	35
2.9.2. UNITY.....	36
2.9.2.1. CARACTERÍSTICAS.....	37
2.9.3. VUFORIA.....	38
2.9.3.1. CARACTERÍSTICAS.....	38
2.9.4. BLENDER.....	39
2.9.4.1. CARACTERÍSTICAS.....	40
CAPÍTULO III.....	42
MARCO APLICATIVO.....	42
3.1. EXPLORACIÓN.....	42
3.1.1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO.....	43
3.1.2. ESTABLECIMIENTO DE GRUPOS DE INTERÉS.....	43
3.1.3 ESTABLECIMIENTO DE ACTORES INTERVINIENTES.....	43
3.1.4. COLECCIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	44
3.1.4.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES.....	44
3.1.4.2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES.....	44
3.1.5. DISEÑO DEL SISTEMA TUTOR.....	45
3.1.5.1. MODELO PEDAGÓGICO.....	45
3.1.5.2. MODELO DIDÁCTICO.....	46
3.1.5.3. MODELO USUARIO.....	46
3.1.6. CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	46
3.1.6.1 CRONOGRAMA DE PROYECTO PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	47
3.2. INICIALIZACIÓN.....	47

3.2.1. CASOS DE USO.....	47
3.2.2. DIAGRAMA GENERAL DE CASOS DE USO.....	47
3.2.3. DIAGRAMA DETALLADO DE CASOS DE USO.....	48
3.2.4. DESCRIPCIÓN DE DIAGRAMAS DE CASO DE USO EXTENDIDO.....	49
3.2.5. PLANIFICACIÓN DE DESARROLLO.....	54
3.3. PRODUCCIÓN.....	54
3.3.1. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO.....	54
3.3.2. MODELADO 3D.....	56
3.3.3. DISEÑO DE MARCADORES.....	58
3.3.4. CONFIGURACIÓN DE UNITY 3D INTEGRANDO VUFORIA.....	61
3.3.5. RECONOCIMIENTO DE MARCADORES.....	62
3.3.5.1. RECONOCIMIENTO DE MARCADORES MÚLTIPLES.....	62
3.3.6. COLISIÓN ENTRE OBJETOS.....	64
3.4. ESTABILIZACIÓN.....	65
3.5. PRUEBAS.....	66
3.5.1. PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD.....	66
3.5.2. PRUEBA DE COMPATIBILIDAD.....	67
3.5.3. DISEÑO ADAPTATIVO.....	68
CAPÍTULO IV.....	70
PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	70
CAPÍTULO V.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
5.1. CONCLUSIONES.....	74
5.2. RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXO A.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Realidad Mixta.....	17
Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sistema de realidad aumentada típico.....	19
Figura 3. Ejemplo de frame marker.....	21
Figura 4. Superposición de contenidos en Layar.....	23
Figura 5. Satélite del segmento espacial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)....	28
Figura 6. Arquitectura Android.....	31
Figura 7. Ciclo de desarrollo Mobile-D.....	33
Figura 8. Logo representativo de Android Studio.....	36
Figura 9. Logo representativo de Unity.....	37
Figura 10. Logo representativo de Blender.....	40
Figura 11. Diseño Arquitectónico del Tutor.....	45
Figura 12. Diagrama general de casos de uso.....	48
Figura 13. Diagrama detallado de casos de uso.....	48
Figura 14. Diseño de splash screen.....	55
Figura 15. Menú principal.....	56
Figura 16. Estructura de árbol mediante Add-on.....	57
Figura 17. Adición de hojas.....	57
Figura 18. Incorporación de texturas.....	58
Figura 19. Diseño de imagen base para marcador.....	59
Figura 20. Asociación entre imagen y marcador tradicional.....	59
Figura 21. Creación de la base de datos en el portal de Vuforia.....	60
Figura 22. Creación de Imagen Target en el portal web de Vuforia.....	60
Figura 23. Importación de paquetes de Vuforia a Unity 3D.....	61
Figura 24. Integración y reconocimiento de Image Target en Unity.....	62
Figura 25. Incorporación de marcadores múltiples en Unity.....	63
Figura 26. Configuración de cámara para el reconocimiento múltiple.....	63
Figura 27. Objeto en modo interfaz con su C# script para colisionar.....	64
Figura 28. C# script para la colisión entre objetos.....	65

Figura 29. Captura de pantalla del menú en dispositivo samsung s5.....	68
Figura 30. Captura de pantalla de escena en el dispositivo móvil.....	68
Figura 31. Prueba en diferentes resoluciones de pantalla.....	69
Figura 32. Comparación de datos.....	71
Figura 33. Distribución t de student.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos por su procedencia y naturaleza.....	14
Tabla 2. Residuos Sólidos Reciclables Vs No Reciclables.....	16
Tabla 3. Descripción de usuarios.....	43
Tabla 4. Cronograma de elaboración del proyecto enmarcado en la metodología Mobile-D	47
Tabla 5. Descripción caso de uso: Inicia aplicación.....	49
Tabla 6. Descripción caso de uso: Ventana principal.....	50
Tabla 7. Descripción caso de uso: Realidad Aumentada.....	51
Tabla 8. Descripción caso de uso: Activa cámara.....	52
Tabla 9. Descripción caso de uso: Identificar marcador.....	53
Tabla 10. Descripción caso de uso: Visualiza modelo 3d.....	53
Tabla 11. Descripción de iteraciones.....	54
Tabla 12: Resultados de cumplimiento de funcionamiento de requerimientos.....	67
Tabla 13. Características de dispositivos móviles en las que se realizo las pruebas.....	67
Tabla 14. Evaluación a estudiantes.....	70

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1.1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Educación Ambiental, se ha convertido en un propósito importante para el ser humano y la sociedad, donde el apoyo que brindan las TIC¹ se utiliza como estrategia didáctica de contextualización, desde las cuales se pueden diseñar propuestas innovadoras (Monal, 2012).

Según Forno y Pauwels (2010) el cuidado del medio ambiente ha ido creciendo en las sociedades modernas y la boliviana no es ajena a este proceso; sin embargo estamos muy lejos de asegurar un ambiente saludable para las poblaciones actuales y se ve poco probable que lo logremos para las futuras.

La realidad aumentada se usa para añadir información virtual a la información física ya existente. Hoy en día la realidad aumentada está experimentando un significativo crecimiento en diferentes ámbitos de aplicación como ser la educación, medicina, turismo, entretenimiento, publicidad, fabricación. En la actualidad esta tecnología se encuentra al alcance de la mayoría de las personas, ya que con la evolución de las tecnologías se implementaron en dispositivos móviles, por esa razón es que la realidad aumentada es un recurso muy útil y necesario en el ámbito educativo.

Actualmente, el uso de aplicaciones móviles está constituyendo una auténtica revolución en el mercado de los *smartphones* y *tablets*, suponiendo un estímulo para el desarrollo de nuevos sistemas (Lymberopoulos, et al., 2011). Entonces, las aplicaciones móviles orientadas a la educación ambiental pueden convertirse en un nuevo canal de comunicación e información que permitan transmitir mensajes formativos de manera dinámica e interactiva.

¹ Tecnologías de Información y Comunicación

El presente trabajo de investigación propone desarrollar una herramienta de realidad aumentada para la educación ambiental; pretendiendo mejorar el aprendizaje, incrementar la motivación sobre la educación ambiental, para que el público pueda conocer las causas y efectos sobre cambio climático en la actualidad, empleando nuevas tecnologías, que consigan transmitir mensajes formativos de manera dinámica e interactiva.

1.2. PROBLEMA

1.2.1. ANTECEDENTES

Cuando se inicia la crisis ambiental (Hacia finales de los años 1960), como consecuencia de la destrucción de los hábitats naturales y la degradación de la calidad ambiental, la Educación Ambiental (EA) se convirtió en interés Mundial, para la cual se planteó la necesidad de una educación que colabore al establecimiento de relaciones más armónicas entre el ser humano y su Medio Ambiente (MA), pretendiendo de esta forma, *“resolver por lo menos en parte la problemática ambiental y en todo caso, prevenir la producción de nuevos y más graves problemas ambientales”* (Sánchez, 1982, p. 370).

Los efectos adversos del cambio climático global impactan y profundizan la frágil condición de vida de la mayor parte de los bolivianos y bolivianas, obligándonos a transitar ámbitos de mayor vulnerabilidad en el futuro cercano. Cada vez con mayor frecuencia, somos testigos de eventos climatológicos extremos como inundaciones, intensas sequías e incendios forestales, y la pérdida de reservorios de agua en los glaciares andino-tropicales que impactan nuestra sobrevivencia y capacidad de respuesta. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011).

Bolivia ha sufrido en las últimas décadas impactos climáticos que han agravado la situación de vulnerabilidad existente, dada por los asentamientos humanos escasamente planificados, la pobreza, la inequidad y la migración rural; la baja inversión en infraestructura y servicios, degradación de suelos, deforestación de bosques, contaminación y sobre explotación de recursos naturales. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011).

La sociedad boliviana tiene diversas necesidades de contar con información en torno al cambio climático. Por una parte, la población vulnerable tiene la necesidad de conocer más de qué se trata el cambio climático, entender cuales son sus niveles de exposición y las medidas de adaptación que deberían adoptar. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2011).

En la actualidad en nuestro medio, específicamente en las unidades educativas existe una deficiencia en cuanto a la educación ambiental en los estudiantes y estos repercuten en la sociedad, ya que se sigue educando a través de asignaturas en módulos de ciencias naturales. Y no se aprovechan los recursos informáticos y/o tecnológicos por parte de los educadores.

A continuación se presentan tesis y proyectos de grado relacionados con problemáticas del medio ambiente, educación primaria y realidad aumentada orientadas a la educación que se encuentran a disposición en la biblioteca de la carrera de informática perteneciente a la Universidad Mayor de San Andrés.

- Siñani, R. (2009). Aula virtual para el auto aprendizaje de las normas del medio ambiente. En la tesis de grado hace uso de tecnologías, especialmente multimedia (vídeo, audio, imágenes, texto, etc.) la cual proporciona nuevos modos de visualización y representación más eficaz y operativos.
- Silva, C. (2013). Tutor para la educación ambiental a niños de 9 a 10 años. Proyecto de grado, trata de la utilización de herramientas multimedia y métodos educativos con el fin de estructurar contenidos de materia referente a Medio Ambiente. Haciendo uso de la metodología UWE, también se hace uso de HTML5 que es una agrupación de diversas especificaciones concernientes al desarrollo web.
- Ruiz, M. (2015). Software educativo para la enseñanza de hábitos ecológicos a niños. En la tesis tiene el propósito de enseñar a niños a cuidar el medio ambiente, haciendo uso de m-Learning ya cual permite formar a estudiantes con recursos

digitales en dispositivos móviles. También se usa la tecnología móvil Android para la construcción de una aplicación educativa con recursos multimedia y juegos interactivos.

- Esteban, O. (2014). Tutor interactivo para el aprendizaje de zoología en niños de 8 a 10 años utilizando Realidad Aumentada. La tesis tiene la finalidad mejorar el entendimiento en tema de difícil comprensión para que el niño o estudiante pueda aprender de una manera mas divertida y didáctica. Con el fin de integrar las TIC, propone el diseño y desarrollo de una herramienta basada en la tecnología de Realidad Aumentada con ayuda de HTML5 y Adobe Flash Profesional creando un tutor interactivo para niños de 8 a 10 años para que estos puedan aprender sobre zoología de manera divertida.
- Chuquimia, H. (2014). Aplicación de Realidad Aumentada como herramienta lúdica y pedagógica, orientada al proceso de enseñanza-aprendizaje. La tesis, mediante un software de Realidad Aumentada, propone una forma alternativa y nueva de dar a conocer información de naturaleza educativa. Se usa la herramienta de desarrollo multiplataforma *Unity 3D* en combinación de la librería *Vuforia* de Realidad Aumentada, además de editores de vídeo, audio e imágenes para la creación de contenido multimedia.

A nivel internacional existen muchas aplicaciones ambientales disponibles para sistemas operativos móviles que permiten ser respetuosos con la naturaleza de forma activa. A continuación se muestran algunas de las aplicaciones de perfil ecologista o ambiental más curiosas e interesantes:

- **Green tips**² permite familiarizarte con la sostenibilidad, puedes empezar obteniendo consejos prácticos para el día a día en torno al cambio climático, contaminación, biodiversidad, agua, brinda facilidad para compartir los tips por redes sociales.

² <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobilendo.greentips>

- **Eviana**³ es una serie de juegos para niños en edad preescolar que integra, a través de mecánicas muy sencillas, valores como la cultura de protección del medio ambiente, el juego entre padres e hijos y la lógica elemental, todo ello arropado por una ambientación musical con la que los niños también interactúan. La protagonista es Eviana, una niña pequeña alegre y curiosa, quien junto a su amigo Bruno, y siempre con el parque musical de su ciudad como punto de partida, descubre mil y una formas para proteger el medio ambiente y divertirse al mismo tiempo.
- **Recyclart**⁴ te da nuevas ideas de cómo crear artículos maravillosos con los materiales reciclados. La aplicación ofrece una sección de *Hágalo Usted Mismo* y detalla los materiales necesarios para cada proyecto. Disponible únicamente en iOS⁵.

Analizando la problemática planteada en los antecedentes, se dará una lista de problemas:

- Poco interés de superación de la sociedad, a través de TIC.
- Falta de herramientas tecnológicas sobre la temática del medio ambiente en nuestro medio.
- Falta de la información sobre Educación Ambiental.
- Falta de apoyo al estudiante para promover el tema del medio ambiente, a fin de que pueda tomar decisiones para mitigar problemas del medio ambiente.
- Falta de aprovechamiento de los beneficios que brindan los dispositivos móviles en la Educación Ambiental.

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De que manera se puede transmitir mensajes formativos sobre la Educación Ambiental con el apoyo de la realidad aumentada y dispositivos móviles?.

³ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ralightsoftware.eviana1>

⁴ <http://itunes.apple.com/ar/app/irecyclart/id383598641?l=en&mt=8>

⁵ IOS es un sistema operativo móvil de la multinacional Apple Inc.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un tutor para el aprendizaje de la Educación Ambiental mediante Realidad Aumentada con dispositivos móviles.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar herramientas necesarias para crear contenidos con Realidad aumentada.
- Modelar objetos en tres dimensiones.
- Diseñar marcadores propios para la representación de modelos.
- Elaborar escenarios de aprendizaje que promuevan la educación ambiental.
- Construir prototipo en base a una metodología de desarrollo.
- Evaluar el grado de comprensión, mediante test realizadas a los estudiantes.

1.4. HIPÓTESIS

La hipótesis del presente trabajo de investigación establece:

“El tutor de Educación Ambiental con realidad aumentada sobre dispositivos móviles contribuirá el aprendizaje, para transmitir mensajes formativos”

Variable independiente:

Tutor de Educación Ambiental, Uso de Realidad Aumentada, Dispositivos Móviles

Variable dependiente:

Contribuirá el aprendizaje, para transmitir mensajes formativos sobre la Educación Ambiental.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Desde la perspectiva de la sociedad, nuestro medio necesita de tecnologías que ayuden a entender, promover, transmitir mensajes formativos con claridad de la educación ambiental por la cual, se pretende brindar beneficios a estudiantes en su conjunto o personas en general para cuidar el medio ambiente y aplicar medidas medioambientales. Con la ayuda de la realidad aumentada y dispositivos móviles, el cual facilita ampliar conocimientos de manera interactiva y atractiva.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El objetivo de este trabajo de investigación es el de ayudar a los estudiantes o a la sociedad de nuestro medio para que de alguna u otra manera poder promover, incrementar la motivación, transmitir mensajes formativos de la educación ambiental, las causa y efectos de los mismos. Para llevar a cabo este prototipo de Realidad Aumentada bajo tecnología móvil los gastos económicos serán lo mas mínimo posible, debido a que cada día se incrementa el numero de personas que tienen acceso a un dispositivo móvil inteligente y por otro lado la mayor parte de software a ser utilizado es libre.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

En Bolivia, 7 de cada 10 usuarios utilizan el sistema operativo Android para navegar en la web desde sus teléfonos inteligentes (smartphones en inglés), de acuerdo con el informe (Mapa de Colonización Mobile Latinoamérica, 2013). Además que para este trabajo de investigación se hará uso de herramientas de desarrollo libre, también se cuenta con distintos frameworks desarrollados de Realidad Aumentada para Android. Entonces, se podría decir que se cuenta tanto con herramientas de hardware, así como de software para abordar la presente tesis de grado.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

El presente trabajo de investigación se justifica de manera científica, porque integra lo que es la educación ambiental, así como el uso de realidad aumentada, la cual brinda virtudes que poseen impacto para los diferentes ámbitos científicos y dispositivos móviles que brindan beneficios para estimular el aprendizaje, en tal sentido el desarrollo de este tipo de tecnologías nos lleva a una amplia generación de nuevos conocimientos.

1.6. ALCANCES Y LIMITES

1.6.1. ALCANCES

El tutor pretende mostrar que la tecnología móvil mediante el uso de la Realidad Aumentada puede convertirse en una herramienta alternativa para fomentar interés, inducir la cultura de la concientización en la sociedad de nuestro medio, sobre la temática de Educación Ambiental.

La educación ambiental comprende varias temáticas por lo que es demasiado extensa, es por esa razón que para el presente trabajo de investigación esta orientado a la temática de gestión de residuos sólidos en un nivel básico de aprendizaje.

Por otra parte el estudio para el diseño del prototipo se lo realizara en la ciudad de La paz y El Alto.

1.6.2. LIMITES

El prototipo solo estará disponible en dispositivos móviles de gama media o superior que cuenten con plataforma Android, descartando así otras plataformas como ser iOS, Windows Phone.

El tutor no busca ser autónomo para la enseñanza, en cambio es una buena alternativa como herramienta de apoyo.

1.7. APORTES

El prototipo basado en Realidad Aumentada bajo Dispositivos móviles sera un significativo aporte a la sociedad, ya que se presenta un nuevo enfoque de enseñanza de temas básicos sobre la Educación Ambiental.

La investigación permitirá ver otro enfoque la enseñanza de la Educación Ambiental, así como también se hace uso de nuevas tecnologías y esto es un aporte para que surjan nuevas propuestas basado en tecnologías actuales.

1.8. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizara para abordar la presente tesis es el método científico esto debido a las etapas que esta presenta y que son necesarias como: observación, formulación de hipótesis, experimentación y emisión de conclusiones.

El tipo de investigación es el enfoque descriptivo-analítico propuesto por (Hurtado Barrera, 2008), para este fin, se aplica el proceso de recopilación de fuentes primarias sobre la tecnología de realidad aumentada y el enfoque teórico para el desarrollo de la realidad aumentada.

Para el desarrollo de el prototipo se hará uso de la metodología Mobile-D. Que tiene como objetivo ciclos de desarrollo muy rápidos en equipos pequeños es ideal para el desarrollo de aplicaciones móviles. Mobile-D propone las siguientes fases: exploración, inicialización producción, estabilización y pruebas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MEDIO AMBIENTE

Existen una serie de definiciones del concepto de medio ambiente de diferentes autores u organizaciones internacionales las cuales son las siguientes:

“Conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos e indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”. (Conferencia de las Naciones Unidas. Estocolmo, 1972).

“Sistema global complejo, de múltiples y variadas interacciones, dinámico y evolutivo, formado por los sistemas físico, biológico, social, económico, político y cultural en que vive el hombre y demás organismos”. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f.).

“La totalidad de las condiciones externas que afectan la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo”. (Glosario de Estadísticas del Medio Ambiente de las Naciones Unidas, 2012).

Escenario concreto formado por muchos elementos en el cual el hombre, tanto en forma individual como organizado en un grupo social de cualquier escala y nivel de complejidad, desarrolla sus múltiples actividades. El concepto de ambiente engloba a todos los elementos y relaciones tanto naturales como producto de la intervención humana de la biosfera⁶. (Reboratti, 2000).

⁶ Delgada porción que incluye la superficie del globo, las capas inferiores de la atmósfera y las superiores de la litosfera.

2.2. EDUCACIÓN AMBIENTAL

Existen varias alternativas en cuanto a definiciones de la Educación Ambiental entre algunas citaremos las siguientes:

“La educación ambiental es un proceso permanente en el cual los individuos y la comunidades adquieren conciencia de su medio y aprenden los conocimientos, los valores, las destrezas, la experiencia y, también, la determinación que les capacite para actuar, individual y colectivamente, en la resolución de problemas ambientales presentes y futuros”. (Congreso Internacional de Educación y Formación sobre Medio Ambiente. Moscú, 1987).

“La Educación Ambiental es entendida como la formación de los individuos para conocer y reconocer las interacciones entre lo que hay de natural y social en su entorno y para actuar en ese medio, intentando no imprimir a sus actividades orientaciones que pongan en grave deterioro el equilibrio que los procesos naturales han desarrollado, haciendo posible la existencia de una calidad ambiental idónea para el desarrollo de la vida humana.” (ONU, 1987).

“La Educación Ambiental es una herramienta para el cambio de cultura, un proceso permanente de formación a la ciudadanía para que reconozca valores, aclare conceptos y desarrolle las habilidades y las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre seres humanos, su cultura y medio ambiente” (CONAMA, 1998”).

2.3. TÉRMINOS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN BOLIVIA

Los hitos más relevantes en Bolivia en términos de Educación Ambiental, son citados de manera cronológica:

Ley de Medio Ambiente, que manifiesta como política nacional del medio ambiente la contribución de mejora de la calidad de vida de la población, sobre la base de 4 Incorporación de la educación ambiental para beneficio de la población en su conjunto (Art. 5 Punto 6). Además del involucramiento, en éste proceso, de las Instancias del Sector de

Educación, niveles territoriales departamentales, Instituciones de Educación Superior y medios de comunicación, en la contribución de los objetivos definidos por la indicada política ambiental. (1192)

Reforma Educativa, incorporando en la currículo escolar como tema transversal, la Educación para el Desarrollo Sostenible, orientada a promover una visión sistémica del desarrollo y a partir de la cual deben generarse capacidades de gestión integrales orientadas hacia los cuatro ámbitos del desarrollo sostenible. (1995)

Nueva Constitución Política del Estado, establece que el objetivo de la educación es la formación integral de las personas y el fortalecimiento de la conciencia social crítica en la vida y para la vida. La educación estará orientada a la formación individual y colectiva; al desarrollo de competencias, aptitudes y habilidades físicas e intelectuales que vincule la teoría con la práctica productiva; a la conservación y protección del medio ambiente, la biodiversidad el territorio para el vivir bien (Art.80). (2009)

Ley de la Educación N° 070 “Avelino Siñani -Elizardo Pérez”, citando como un objetivo de la educación, formar una conciencia productiva, comunitaria y ambiental ellas y los estudiantes, fomentando, conservando y protegiendo la biodiversidad, el territorio y la Madre Tierra, para Vivir Bien. (2010)

2.4. EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2012). Se entiende por Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) a la aplicación de medidas compatibles, integrales y corresponsables entre todos los actores institucionales y la población, a través de la formulación e implementación de políticas, estrategias, programas y normativa, que permitan lograr objetivos y metas orientados a la prevención, aprovechamiento, tratamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos.

2.4.1. IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL DESARROLLO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

En el marco de la gestión integral de residuos sólidos, la Educación Ambiental, es un proceso de educación, concientización y sensibilización, a través del cual se busca que las personas y toda la comunidad, conozcan, comprendan y se sensibilicen sobre la problemática ambiental y de salud que origina un incorrecto manejo de los residuos sólidos, así como los beneficios ambientales y económicos que conlleva el adecuado manejo de estos.

2.4.2. ¿QUÉ ES UN RESIDUO SÓLIDO?

De acuerdo al Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, son materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje.

2.4.3. CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS SEGÚN SU PROCEDENCIA Y NATURALEZA

En el marco del Reglamento en Gestión de Residuos Sólidos de la Ley de Medio Ambiente N° 1333, la clasificación de los residuos sólidos se realiza de acuerdo a la tabla 1:

A. Residuos Domiciliarios	
B. Residuos Voluminosos	
C. Residuos Comerciales	
D. Residuos Procedentes de la Limpieza de Áreas Públicas	
E. Residuos Especiales	E.1 Vehículos y electrodomésticos desechados E.2 Neumáticos desechados E.3 Residuos Sanitarios No Peligrosos E.4 Animales muertos E.5 Escombros E.6 Jardinería
F. Residuos Industriales Asimilables a Domiciliarios	
G. Restos de Mataderos	
H. Lodos	
I. Residuos Agrícolas, Ganaderos Y Forestales	

J. Residuos Mineros y Metalúrgicos

K. Residuos Peligrosos

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos por su procedencia y naturaleza

Fuente: Ley de Medio Ambiente N° 1333, Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos, s.f.

2.4.4. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La composición de los residuos sólidos, depende de su generación y describe en términos de porcentajes en masa, en base a humedad y contenidos, la materia orgánica, papel, cartón, plásticos, vidrios, metales, etc. Conocer dicha composición sirve para una serie de fines, entre los que se puede citar la formulación de estudios de mejoramiento del servicio de aseo, implementación del aprovechamiento, otros.

2.4.4.1. RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Son aquellos que provienen de los restos de plantas o animales; por ejemplo: cáscaras de frutas, restos de alimentos, huesos, cáscara de huevos, etc., también los que provienen de actividades agrícolas y pecuarias.

Estos residuos generan problemas importantes en los rellenos sanitarios por la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero, cuando estos se descomponen en su interior.

Los residuos orgánicos pueden ser aprovechados y convertidos en abono y humus de lombriz a través de procesos de compostaje y lombricultura. También mediante procesos de digestión anaerobia o biometanización, se puede aprovechar energéticamente el biogás generado en la descomposición anaeróbica de los residuos y el producto sólido residual se composta y se usa como abono (MmyA, 2012).

2.4.4.2. RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS

Los residuos inorgánicos son aquellos residuos que provienen de minerales y productos sintéticos como plásticos, metales, vidrios, entre otros. Estos residuos tienen un tiempo de degradación o descomposición muy lenta o simplemente no se descomponen por lo que pueden generar problemas de contaminación si no son tratados adecuadamente y además

generan un problema de volumen muy grande en los rellenos sanitarios. Sin embargo, estos residuos pueden aprovecharse en nuevos procesos productivos mediante sistemas de reciclaje.(MMyA, 2012).

2.4.5. SELECCIÓN EN ORIGEN

La selección en origen consiste en la separación de los residuos sólidos en el lugar dónde se generan⁷, de acuerdo a las características de los residuos sólidos, así por ejemplo en metales, vidrios, papeles, plásticos, materia orgánica, etc., se trata de un proceso importante para obtener un residuo sólido libre de contaminación, incrementando su calidad y posibilidades de reciclaje. El número de fracciones a separar o seleccionar depende del grado de sensibilización y concientización de la población, así como de diferentes factores relativos al contexto municipal⁸ (MMyA, 2012).

Bajo esta consideración y de forma inicial, es posible plantear una selección en las siguientes fracciones: Residuos sólidos orgánicos (color verde), residuos sólidos inorgánicos reciclables (color amarillo), y resto o rechazo (color negro). Es necesario también considerar la separación de los residuos sólidos peligrosos; para el caso de las pilas es posible el uso de botellones donde estos se almacenarían para su disposición segura y diferenciada (MMyA, 2012).

Si existen altos niveles de concientización, es posible separar los residuos inorgánicos en varias fracciones. La NB 756, señala una serie de colores para contenedores y papeleros para la separación o clasificación en origen, estos son:

- Recipiente de color naranja, para envases PET
- Recipiente de color plomo para botellas de vidrio,
- Recipiente de color negro para restos no aprovechables,
- Recipiente de color amarillo, para plásticos,
- Recipiente de color azul, para papeles, cartones (que estén seco y limpio)
- Recipiente de color verde, para restos de materia orgánica.

⁷ Domicilio, escuelas, negocios, industrias en otros.

⁸ Instalaciones, equipos, herramientas, personal y otros.

2.4.6. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El aprovechamiento consiste en utilizar los Residuos Sólidos como materias primas o insumos para la fabricación de nuevos productos o para la reutilización en fines distintos a los iniciales. Los residuos se pueden aprovechar siempre y cuando estén seleccionados en origen y recolectados de forma diferenciada (MMyA, 2012).

2.4.7. EL RECICLAJE

De acuerdo al Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos (Ley N° 1333), el reciclaje es aquel proceso que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea el mismo en que fue generado u otro diferente.

Que se Puede Reciclar	Que NO se Puede Reciclar
Papel y Cartón: Papel blanco, Periódicos, Revistas y Libros, Hojas sin plastificar, Cartones y Sobres y Folders.	Servilletas desechables (como papel), Papel Celofán, Papel Fax, Curitas, Papel plastificado.
Vidrio: Frascos de alimentos, Botellas y vasos.	Parabrisas y faros, Focos, Lentes, Espejos, Pyrex.
Plásticos: Frascos, botellas, bolsas plásticas y bolsas de baja densidad.	Bolsitas de frituras, Plumas plásticas, Nieve seca, Radiografías, Platos y cubiertos desechables usados, Tetrabrik.
Metales: Aluminio Puro: Latas de refresco y conserva, cervezas y otras bebidas, utensilios de cocina, marcos de puertas y ventanas, partes de motor. Aleaciones Ferrosas: Acero y Chatarra sin aluminio.	Papel Aluminio, mezclas de aluminio con hierro o con cobre

Tabla 2. Residuos Sólidos Reciclables Vs No Reciclables

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2012

2.5. REALIDAD AUMENTADA

Realidad Aumentada (RA) es un término acuñado por Tom Caudell (1990) y describe la aumentación de la realidad física mediante el uso de técnicas que la mezclan con contenido digital (virtual). Tenemos pues que la Realidad Aumentada es un Entorno que incluye elementos de los dos mundos (virtual y real), es interactivo en tiempo real y se muestra en tres dimensiones; podemos decir que se construyen nuevos mundos mixtos coherentes con ambos sistemas (Bonnin, s.f.).

Hoy en día hay dos definiciones de gran aceptación, la de P. Milgram & F. Kishino y la de R. Azuma.

La definición creada por Paul Milgram y Fumio Kishino (1994) llamada Milgram-Virtuality Continuum dice que entre un entorno real y un entorno virtual puro esta la llamada realidad mixta y esta se subdivide en 2, la realidad aumentada⁹ y la virtualidad aumentada¹⁰.



Figura 1. Realidad Mixta

Fuente: Milgram y Kishino, 1994

Un sistema de Realidad Aumentada permite la visualización de una capa virtual superpuesta sobre elementos del mundo real (Azuma, 1997). En ese sentido, “aumentar” implica lograr que el ser humano pueda: captar situaciones, detalles, características e información que sus sentidos no podrían captar sin la ayuda de la tecnología o aumentar las capacidades (reales) de un usuario al interactuar con un sistema informático.

2.5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Según Azuma (1997) para que un sistema se clasifique como sistema de realidad aumentada, este:

⁹ Más cercana a la realidad

¹⁰ Más próxima a la virtualidad pura

- **Combina lo real y lo virtual.** La información digital es combinada con la realidad.
- **Funciona en tiempo real.** La combinación de lo real y lo virtual se hace en tiempo real.
- **Registra en tres dimensiones.** En general la información aumentada se localiza o “registra” en el espacio. Para conservar la ilusión de ubicación real y virtual, ésta última tiende a conservar su ubicación o a moverse respecto a un punto de referencia en el mundo real.

La combinación de estas tres características hacen que la Realidad Aumentada sea muy interesante para el usuario ya que complementa y mejora su visión e interacción del mundo real con información que puede resultarle extremadamente útil a la hora de realizar ciertas tareas. De hecho la Realidad Aumentada es considerada como una forma de Amplificación de la Inteligencia que emplea el computador para facilitar el trabajo al usuario (González, Vallejo, Albusac y Castro, 2012).

2.5.2. APLICACIONES

Existen multitud de ámbitos de aplicación de la realidad aumentada. En su revisión del estado del arte de Azuma (1997), ya identificaba diversas áreas de aplicación de la Realidad Aumentada. Sólo por mencionar algunas, aunque prácticamente en cualquier área de trabajo puede tener sentido desarrollar aplicaciones de Realidad Aumentada. (González et al., 2012).

- **Medicina:** La medicina puede beneficiarse del uso de la Realidad Aumentada en quirófanos y entrenamiento de doctores. Actualmente es posible obtener datos 3D en tiempo real mediante resonancias magnéticas o tomografías que pueden superponerse en la imagen real del paciente, dando una visión de rayos X al especialista.
- **Fabricación:** Otro uso de la Realidad Aumentada es en el ámbito de la fabricación, mantenimiento y reparación de maquinaria compleja. Los pasos a seguir en la reparación son mucho más intuitivos y fáciles de seguir si aparecen directamente superpuestos sobre la imagen real.

- **Entretenimiento:** La industria del ocio ya ha comenzado a sacar partido del enorme potencial de interacción que ofrece la Realidad Aumentada (como Sony, Ubisoft o SixFlags).
- **Publicidad:** Cada vez más empresas utilizan la Realidad Aumentada como reclamo publicitario. Desde 2008, empresas como Adidas, Ford, BMW, Lego, FOX, Paramount, Doritos, Ray Ban y Mac-Donalds forman parte de una largísima lista de entidades que han utilizado estas técnicas, definiendo una curva creciente exponencialmente.

2.5.3. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA

Según López (2010), en todo sistema de realidad aumentada son necesarias, al menos, cuatro tareas fundamentales para poder llevar a cabo el proceso de aumento. Estas tareas son: captación de escena, identificación de escena, mezclado de realidad y aumento y visualización. En la figura 2 se puede ver de forma esquemática este proceso.

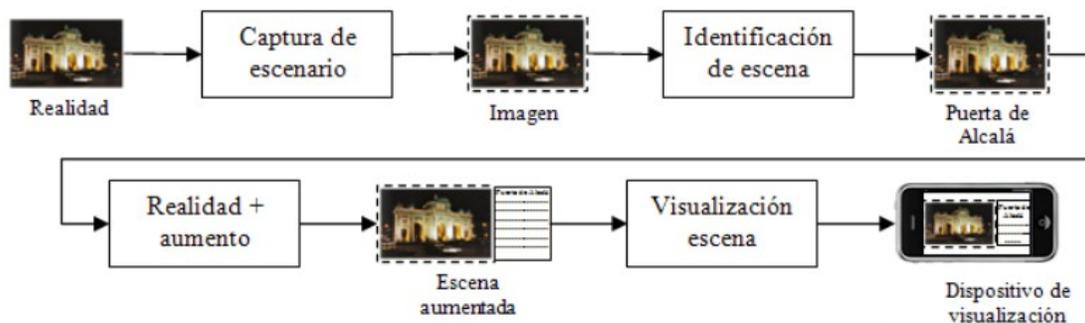


Figura 2. Esquema de funcionamiento de un sistema de realidad aumentada típico

Fuente: López, 2010

2.5.4. CAPTACIÓN DE LA ESCENA

Una de las tareas más importantes en cualquier sistema de realidad aumentada es la de identificar el escenario que se desea aumentar. En el caso de los sistemas que utilicen reconocimiento visual, es indispensable contar con algún mecanismo que permite recoger

la escena para que pueda ser posteriormente procesada (López, 2010). Se analizarán los diferentes tipos de dispositivos físicos que permiten captar dicho escenario, estos dispositivos se pueden agrupar, principalmente, en dos conjuntos:

- **Dispositivos video-through:** dentro de este grupo se encuentran aquellos dispositivos que realizan la captura de imágenes o vídeo que se encuentran aislados de los dispositivos de visualización. En este conjunto se encontrarían las cámaras de vídeo o los terminales móviles (siempre y cuando tengan una cámara).
- **Dispositivos see-through:** son los dispositivos que realizan tanto la tarea de capturar la escena real como de mostrarla con información aumentada al usuario. Estos dispositivos acostumbran a trabajar en tiempo real, haciéndolos no sólo más costosos en presupuesto sino también en complejidad. Dentro de este grupo se encontrarían aquellos dispositivos conocidos como head-mounted. Cabe remarcar que estos dispositivos see-through llevan años siendo usados, por ejemplo, en los Head Up Displays (HUDs) utilizados por los aviones de combate para mostrar información al piloto sobre altura, velocidad, identificación de blancos, y otros sin necesidad de apartar la vista de la zona frontal de la cúpula de su cabina.

2.5.5. IDENTIFICACIÓN DE ESCENAS

La identificación de escenas consiste en investigar qué escenario físico real es el que el usuario quiere que se aumente con información digital. Este proceso puede realizarse de dos maneras: utilizando marcadores o sin utilizarlos. Los dispositivos de captura de imágenes son dispositivos físicos que recogen la realidad que deberá ser ampliada (Bimber y Rakar, 2005).

2.5.5.1. RECONOCIMIENTO BASADO EN MARCADORES

Según Cawood y Fiala (2008) , en los sistemas de realidad aumentada, un marcador es un objeto cuya imagen es conocida por el sistema. Dichos sistemas son reconocidos por utilizar marcadores fiduciales que se obtienen mediante una cámara y técnicas de visión por computadora. Las maneras en que el sistema conoce el marcador se pueden agrupar

en tres conjuntos, mediante su geometría, su color o mediante ambas características. Dentro de los sistemas de detección de marcas se pueden destacar: ARToolKit, ARTag, StudierStube, OsgART, etc. Estos sistemas se encuentran compuestos por una serie de bibliotecas que recogen las técnicas de visión necesarias para realizar el posicionamiento del objeto.

Según Abril (2011) para el reconocimiento de marcadores se utiliza un primer escaneo en profundidad sobre la imagen. Una vez localizado, el mecanismo de actuación suele ser el descrito a continuación.

En primer lugar se establece un rango de variación en el movimiento del marcador para el posterior fotograma. En el procesamiento de dicho fotograma, el rango de búsqueda ya se encuentra acotado a un espacio muy inferior al inicial, por lo que el tiempo de procesamiento decae considerablemente. Además, por norma general, se utilizan menos técnicas de reconocimiento, empleando el menor número de cálculos para localizar el marcador. Una vez detectado, se procede a las tareas necesarias de mezclado y aumento en los sistemas de realidad aumentada. Este proceso se efectúa de forma iterativa mientras la aplicación esté en ejecución.

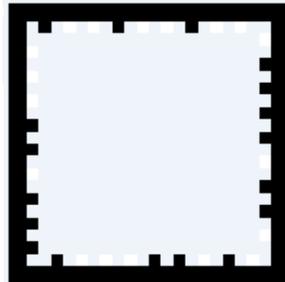


Figura 3. Ejemplo de frame marker

Fuente: Vuforia, 2015

El proceso anteriormente descrito sólo modificará su comportamiento si en algún fotograma en la región de búsqueda no se encontrase el marcador. En esta circunstancia existen diversas posibilidades de actuación:

- Realizar un nuevo escaneo sobre toda la imagen en busca del marcador. Este proceso puede ser efectivo si el marcador ha sido desplazado a una posición alejada de la anterior secuencia o si no se encuentra.
- Buscar de forma recursiva en las regiones vecinas el marcador. Esta solución podría ser óptima si el marcador desplazado se encuentra cerca de la región de búsqueda inicial.
- Utilizar predicción de movimiento. Esta tarea se puede llevar a cabo mediante la variación del movimiento analizando las imágenes o bien mediante el uso de acelerómetros.

En todos los casos, si el marcador ha sido detectado se procedería a utilizar el mecanismo iterativo ya expuesto. El presente proyecto utiliza reconocimiento basado en marcadores.

2.5.5.2. RECONOCIMIENTO SIN MARCADORES

De la misma forma, es posible identificar la escena mediante reconocimiento de imágenes o mediante la estimación de la posición. También es posible encontrar sistemas que realicen una combinación de ambas en función de la situación. A este tipo de identificación se le denominará híbrida. Dentro de cada uno de estos dos conjuntos de técnicas se pueden encontrar diversas variaciones que dependerán en gran medida de las prestaciones que deba ofrecer el sistema así como de sus posibilidades técnicas (López, 2010).

Dentro de los tipos de sistemas más usados se puede encontrar los sistemas que registran rasgos naturales (natural feature tracking) quienes funcionan de manera similar a los sistemas basados en marcadores fiduciales, realizando el análisis de la imagen e identificando puntos en una secuencia de imágenes.

Dentro de las aplicaciones que permiten este tipo de reconocimiento podemos resaltar

BazAR (CVLAB - Computer Vision Laboratory, 2007) compuesto por librerías que permiten el cálculo de la orientación del punto de vista de la cámara a partir de la identificación de rasgos naturales.



Figura 4. Superposición de contenidos en Layar

Fuente: López, 2010

2.5.6. MEZCLADO DE REALIDAD E INFORMACIÓN DIGITAL

Una vez descrito el proceso de identificación de escenarios, el siguiente proceso que tiene lugar en los sistemas de realidad aumentada es de sobreponer la información digital que se quiere ampliar sobre la escena real capturada. Cabe resaltar, que esta información digital de aumento puede ser tanto de carácter visual como auditivo o táctil, lo que por lo general, en la mayoría de sistemas de realidad aumentada sólo se ofrecen los de tipo visual (López, 2010).

En los sistemas de realidad aumentada, excepto en los sistemas que utilizan hologramas tridimensionales o similares, los dispositivos de visualización son en dos dimensiones, como pueden ser las pantallas de ordenadores, teléfonos móviles, etc. Este suceso puede llevar a pensar que sólo es posible representar información bidimensional y, aunque esto es cierto, es posible simular la sensación de un entorno tridimensional en un plano 2D. Para realizar la conversión de una imagen en 3D al plano bidimensional se suele utilizar la técnica de proyección de perspectiva (o proyección de puntos). Esta técnica consiste en

simular la forma en que el ojo humano recibe la información visual por medio de la luz y cómo genera la sensación 3D. Este proceso consiste en la superposición de dos imágenes bidimensionales captadas desde diferentes ángulos, dando la sensación de profundidad inexistente en imágenes 2D (Abril, 2011).

La información bidimensional constituye un plano geométrico digital en el que cada punto del plano se representa por medio de un píxel que, habitualmente, es un vector de colores en escala RGB¹¹. Cada uno de los tres valores que conforman el vector oscila en el rango 0-255, siendo la mezcla de los tres valores 0 la representación del color negro y 255 la del color blanco. Dentro de este tipo de información, no sólo se encuentran las imágenes, sino que también serán clasificados los contenidos textuales, debido a sus características similares de representación (López, 2010).

El otro tipo de información digital anteriormente expuesta es la tridimensional. Este tipo de información de la realidad consiste en un conjunto de vectores multidimensionales para cada punto del plano tridimensional (x, y, z). Al igual que sucedía con la información bidimensional, cada vector uno de estos puntos está formada por un vector RGB o cualquier otro tipo de representación del color (López, 2010).

2.5.6.1. LIBRERÍAS DE AUMENTO

Para el proceso de aumento es necesario disponer de software adecuado para sobreponer a la imagen real la información aumentada deseada. Según la forma de rastreo se pueden clasificar en dos tipos: Las librerías de seguimiento de marcadores fiduciales y las librerías de seguimiento de gestos corporales. Para el reconocimiento de marcadores fiduciales existen diversas librerías disponibles al público. Las más conocidas son:

- **ARToolKit**, librería de realidad aumentada desarrollada por Hirokazu Kato del Nara Institute of Science and Technology en 1999. Dicha librería que permite la detección de unos marcadores específicos y realiza las tareas de superposición de imágenes. Está desarrollada en lenguaje C++. ARToolKit realiza el seguimiento de la cámara en tiempo real, asegurando que los objetos virtuales siempre aparecen superpuestos sobre los marcadores de seguimiento.

¹¹ Rojo, verde, azul.

- **ARToolKitPlus**, Desarrollada en el Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology, y optimizada para su aplicación y desarrollo orientado a dispositivos móviles. (Wagner et al 2007).
- **FLARToolKit**, es la versión para su uso en Adobe Flash usando ActionScript 3. (Spark, 2009). En esta aplicación FlarToolKit, detecta un marcador usando la imagen de entrada de una cámara web como señal de entrada, posteriormente calcula las coordenadas espaciales para superponer el objeto. (Medicherla et al., 2010).
- **osgART**, es una combinación de ARToolKit y OpenSceneGraph. osgART no funciona como un sencillo kit de librerías, ya que dispone de tres funciones principales: Integración de alto nivel de la entrada de video (video del objeto), el registro espacial¹² y el registro fotométrico (oclusión, la sombra). (Looser et al., 2006).
- **ARTag**, Alternativa a ARToolkit, realiza un procesamiento más complejo de las imágenes en entornos de luz variable. Posiblemente el avance más significativo se presenta en la adopción de técnicas digitales en la verificación e identificación que lleva a altas tasas de fasos positivos de identificación y confusión de marcadores. (Fiala, 2005).
- **NyARToolkit**, una librería de clases ARToolkit especial para máquinas virtuales, en particular las que albergan Java, C # y Android.
- **Studierstube**. Este proyecto iniciado en 1996 en la Universidad Tecnológica de Viena (TU-Wien) y posteriormente retomado en 2004 por la Universidad Tecnológica de Graz. Compuesto por dos versiones, Studierstube Tracker, compuesto por las librerías de detección y orientación y Studierstube.

¹² Basado en marcadores y seguidores múltiples.

2.5.7. VISUALIZACIÓN DE ESCENA

Dentro de los sistemas de realidad aumentada, el último proceso que se lleva a cabo, es el de visualización de la escena real con la información de aumento. Sin este proceso, la realidad aumentada no tendría razón de ser. Para nuestro proyecto se pueden diferenciar entre dos tipos básicos de sistemas: sistemas móviles y sistemas fijos. Siendo lo sistemas móviles los de nuestro interés. Los sistemas fijos se pueden considerar como ordenadores personales. A diferencia de lo que sucede en los sistemas móviles, este tipo de sistemas suelen disponer de hardware adecuado para realizar tareas de visualización más complejas, generando de esta forma imágenes de salida de mayor calidad.

En esta sección se describirán los mecanismos de visualización habituales. Para ello se realizará una clasificación de estos entre sistemas de bajo coste y sistemas de alto coste.

- **Sistemas de bajo coste:** Este tipo de sistemas de visualización se caracterizan por estar presentes en la gran mayoría de dispositivos, tanto móviles como fijos y que cualquier usuario puede obtener de forma barata y sencilla. Dentro de este grupo se pueden diferenciar entre dos tipos básicos de sistemas: sistemas móviles y sistemas fijos. Los sistemas de visualización móviles se refieren a los integrados en dispositivos móviles como teléfonos o PDAs. Estos sistemas se caracterizan por venir integrados en los dispositivos de fábrica, por lo que el usuario no debe preocuparse por adquirir elementos adicionales. Una de las características más relevantes de estos dispositivos es la baja definición y calidad de las imágenes de salida. Esto se debe a que los componentes hardware integrados en ellos encargados de tareas de carácter gráfico no disponen de gran potencia de cálculo ni de memorias integradas con capacidad suficiente (Abril, 2011). Pero en la actualidad se cuenta con dispositivos móviles denominados de gama media o superior las cuales disponen de recursos de hardware adecuado con lo cual no habrá mayores inconvenientes para la elaboración del presente proyecto.
- **Sistemas de alto coste:** Los sistemas de alto coste son escasos dentro de la realidad aumentada, aunque se pueden encontrar casos de utilización, como es el caso de los Head Up Displays (HUDs). Este tipo de sistemas tienen además la

característica de ser interactivos con el usuario desde el punto de vista de que se libera a éste de dispositivos de visualización físicos, pudiendo ver la información aumentada mediante proyecciones sobre elementos físicos reales. Para poder hacer realidad este fenómeno se utilizan dispositivos de proyección en 2D o, sobre todo en los últimos años, en 3D. No obstante, también se pueden encontrar dentro de este grupo aquéllos dispositivos de última generación como los empleados por el ejército o en las simulaciones de vuelo que, debido a la criticidad de su servicio y de las altas prestaciones tanto a nivel hardware como software, conllevan un coste bastante elevado (López, 2010).

2.5.8. IDENTIFICACIÓN POR POSICIONAMIENTO

Según Abril (2011) el posicionamiento se realiza gracias a la estimación en la posición y orientación del usuario, deduciendo de esta forma qué es lo que está viendo en cada momento. Esta información extra proporciona una mayor precisión a la hora de especificar y capturar datos del mundo real que rodea al usuario, aportando así mayores opciones en cuanto a la visualización final se refiere.

En la mayoría de aplicaciones de realidad aumentada para teléfonos móviles ésta suele ser la solución más extendida gracias al uso del dispositivo GPS, el cual nos proporciona la posición exacta en la que el terminal se encuentra, y en muchos casos, una brújula digital que permite conocer la orientación del usuario para precisar donde se encuentra y hacia donde está mirando.

2.5.8.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El sistema de posicionamiento global es un servicio de los EE.UU. que proporciona a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría. El sistema GPS está formado por tres segmentos, el espacial, el de control y el de usuario:

- El *segmento espacial* consiste en un grupo de veinticuatro satélites que envían información sobre la posición y hora de cada satélite.
- El *segmento de control* realiza las tareas de seguimiento y manejo de los satélites desde la tierra.

- El *segmento de usuario* se encuentra localizado en los terminales receptores GPS y determina la posición tridimensional y la hora precisa.



Figura 5. Satélite del segmento espacial del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Fuente: López, 2010

Para un dispositivo receptor GPS el funcionamiento es el siguiente. Cuando quiere determinar su posición, al menos debe recibir tres señales de tres de los veinticuatro satélites disponibles, que contendrán información sobre la posición del satélite y la hora a la que fue enviada la señal. Con estas señales el receptor sincroniza el reloj GPS y calcula el retraso de las señales, o lo que es lo mismo, la distancia al satélite. Mediante triangulación con las tres señales recibidas, se estima fácilmente la posición relativa respecto a los tres satélites. Gracias al envío de la posición absoluta de cada satélite, se calcula, una vez averiguada la posición relativa del receptor, su posición absoluta sobre el planeta (López, 2010).

2.6. DISPOSITIVOS MÓVILES

2.6.1. TELÉFONO INTELIGENTE

Según Mohammad Ilyas, Syed A. Ahson (2006). Un teléfono inteligente está optimizado para la comunicación de voz y de texto, además permiten a los usuarios acceder al correo electrónico de forma inalámbrica, navegar por Internet y conectarse de forma segura a las redes corporativas. Da a los usuarios la opción de comunicarse a través de voz o de texto junto con la capacidad de acceder a información y servicios. Los usuarios de teléfonos inteligentes pueden sincronizar sus citas, contactos, calendario y correo electrónico.

2.6.2. TABLETA

Una tableta es una computadora portátil de mayor tamaño que un teléfono inteligente, integrada en una pantalla táctil con la que se interactúa sin necesidad de teclado físico ni ratón. El término puede aplicarse a una variedad de formatos que difieren en tamaño que van desde las 7 a 12 pulgadas (Tardáguila, 2011).

2.7. PLATAFORMAS MÓVILES

En los últimos años se ha producido un notable crecimiento en el número de plataformas software pensadas en dar soporte a los dispositivos móviles, tales como teléfonos o PDAs, así como en las prestaciones que éstas aportan. Hoy en día, estas plataformas se aproximan más a los sistemas operativos tradicionales que a simples interfaces de acceso a los recursos de los dispositivos móviles. De hecho, la gran limitación que tienen estas plataformas se debe más al hardware al que dan soporte que a sus propias prestaciones (Lopez, 2010).

2.7.1. PLATAFORMA MÓVIL ANDROID

Android es un sistema operativo basado en una modificación del Kernel de Linux para dispositivos móviles. Aunque el desarrollo inicial fue llevado a cabo por la empresa Android Inc., actualmente la plataforma pertenece a Google.

Android permite el desarrollo de aplicaciones mediante una SDK en lenguaje Java y un kit nativo (NDK) para lenguaje C. Una de las características que hace de Android un entorno atractivo para los desarrolladores es que el código fuente se encuentra bajo licencias de software libre y código abierto (Lopez, 2010).



Figura 5. Logo representativo de Android

Fuente: Android, 2016

2.7.1.1. CARACTERÍSTICAS

- Código abierto.
- Núcleo basado en el Kernel de Linux.
- Adaptable a muchas pantallas y resoluciones.
- Utiliza SQLite para el almacenamiento de datos.
- Ofrece diferentes formas de mensajería.
- Navegador web basado en WebKit incluido.
- Soporte de Java y muchos formatos multimedia.
- Soporte de HTML, HTML5, Adobe Flash Player, etc.
- Incluye un emulador de dispositivos, herramientas para depuración de memoria y análisis del rendimiento del software.
- Catálogo de aplicaciones gratuitas o pagas en el que pueden ser descargadas e instaladas (Google Play).
- Bluetooth.
- Google Talk desde su versión HoneyComb, para realizar videollamadas.
- Multitarea real de aplicaciones.

2.7.1.2. ARQUITECTURA

La arquitectura de Android se puede ver en la figura 6 y está formada por los siguientes componentes:

- Aplicaciones.
- Framework de aplicaciones.
- Bibliotecas.
- Runtime de Android.
- Núcleo Linux.



Figura 6. Arquitectura Android

Fuente: Android OS Documentation, 2015

2.7.1.3. SDK ANDROID

Un kit de desarrollo de software o SDK es generalmente un conjunto de herramientas de desarrollo de software que le permiten al programador o desarrollador de software crear aplicaciones para un sistema concreto, por ejemplo ciertos paquetes de software, frameworks, plataformas de hardware, computadoras, videoconsolas, sistemas operativos entres otros.

Es una interfaz de programación de aplicaciones o API creada para permitir el uso de cierto lenguaje de programación, o puede, también, incluir hardware sofisticado para comunicarse con un determinado sistema embebido. Las herramientas de desarrollo de software mas comunes incluyen soporte para la detección de errores de programación como un entorno de desarrollo integrado (IDE) y otras utilidades. Los SDK frecuentemente también incluyen códigos de ejemplo y notas técnicas de soporte u otra documentación de soporte para ayudar a clasificar ciertos puntos de material de referencia primario (Android Developer Web Site, 2016).

2.8. METODOLOGÍA MÓBILE – D

Mobile-D es una creación un tanto antiguo, ya que se desarrolló como parte de un proyecto finlandés, ICAROS, allá por el año 2004. La metodología se creo en un periodo de intenso crecimiento en el terreno de las aplicaciones móviles. Por tanto, en ese momento no existían demasiados principios de desarrollo a los que acudir. Los autores de Mobile-D apuntan a la necesidad de disponer de un ciclo de desarrollo muy rápido para equipos muy pequeños. De acuerdo con sus suposiciones, Mobile-D está pensado para grupos de no más de 10 desarrolladores colaborando en un mismo espacio físico. Mobile-D se basa en muchas otras soluciones conocidas y consolidadas: eXtreme Programming (XP), Crystal methodologies y Rational Unified Process (RUP) . Los principios de programación extrema se han reutilizado en lo que se refiere a las prácticas de desarrollo, las metodologías Crystal proporcionaron un input muy valiosos en términos de la escalabilidad de los métodos y el RUP es la base para el diseño completo del ciclo de vida. (Blanco, Camarero, Fumero, Warterski y Rodríguez, 2009).

Mobile-D consta de cinco fases: exploración, Inicialización, producción, estabilización, y pruebas.



Figura 7. Ciclo de desarrollo Mobile-D

Fuente: Agile Software Development Methodologies At Vtt Electronics, 2016

2.8.1. FASES

2.8.1.1. FASE DE EXPLORACIÓN

La fase de exploración, siendo ligeramente diferente del resto del proceso de producción, se dedica al establecimiento de un plan de proyecto y los conceptos básicos. por lo tanto, se puede separar del ciclo principal de desarrollo. Los autores de la metodología ponen además especial atención a la participación de los clientes en esta fase. (Blanco et al., 2009).

2.8.1.2. FASE DE INICIALIZACIÓN

En esta fase de inicialización, los desarrolladores preparan e identifican todos los recursos necesarios. Se preparan los planes para las siguientes fases y se establece el entorno técnico¹³. Los autores de Mobile-D afirman que su contribución al desarrollo ágil se centra fundamentalmente en esta fase, en la investigación de la línea arquitectónica. Esta acción se lleva a cabo durante el día de planificación. Los desarrolladores analizan el

¹³ Incluyendo el entrenamiento del equipo de desarrollo.

conocimiento y los patrones arquitectónicos utilizados en la empresa y los relacionan con el proyecto actual. Se agregan las observaciones, se identifican similitudes y se extraen soluciones viables para su aplicación en el proyecto. Finalmente, la metodología también contempla algunas funcionalidades nucleares que se desarrollan en esta fase, durante el día de trabajo. (Blanco et al., 2009).

2.8.1.3. FASE DE PRODUCCIÓN

En la fase de producción se repite la programación de tres días¹⁴ se repite iterativamente hasta implementar todas las funcionalidades. Primero se planifica la iteración de trabajo en términos de requisitos y tareas a realizar. Se preparan las pruebas de la iteración de antemano¹⁵. Las tareas se llevarán a cabo durante el día de trabajo, desarrollando e integrando el código con los repositorios existentes. Durante el último día se lleva a cabo la integración del sistema seguida de las pruebas de aceptación. (Blanco et al., 2009).

2.8.1.4. FASE DE ESTABILIZACIÓN

En la fase de estabilización, se llevan a cabo las últimas acciones de integración para asegurar que el sistema completo funciona correctamente. Esta será la fase más importante en los proyecto multi-equipo con diferentes subsistemas desarrollados por equipos distintos. En esta fase, los desarrolladores realizarán tareas similares a las que debían desplegar en la fase de “producción”, aunque en este caso todo el esfuerzo se dirige a la integración del sistema. Adicionalmente se puede considerar en esta fase la producción de documentación. (Blanco et al., 2009).

2.8.1.5. FASE DE PRUEBAS

La última fase (prueba y reparación del sistema) tiene como meta la disponibilidad de una versión estable y plenamente funcional del sistema. El producto terminado e integrado se prueba con los requisitos de cliente y se descarta todos los defectos encontrados. (Blanco et al., 2009).

¹⁴ planificación - trabajo - liberación

¹⁵ De ahí el nombre de esta técnica de Test-Driven Development, TDD.

2.9. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

2.9.1. ANDROID STUDIO

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones para Android y se basa en IntelliJ IDEA¹⁶. Además del potente editor de códigos y las herramientas para desarrolladores de IntelliJ, Android Studio ofrece aún más funciones que aumentan tu productividad durante la compilación de apps para Android. (Android Studio, 2016).

Según la pagina oficial de Android Studio (2016), este reúne las siguientes características:

- Sistema de compilación flexible basado en Gradle¹⁷.
- Un emulador rápido con varias funciones.
- Un entorno unificado en el que puedes realizar desarrollos para todos los dispositivos Android.
- Instant Run, para aplicar cambios mientras tu app se ejecuta sin la necesidad de compilar un nuevo APK¹⁸.
- Integración de plantillas de código y GitHub, para ayudarte a compilar funciones comunes de las apps e importar ejemplos de código.
- Gran cantidad de herramientas y frameworks de prueba.
- Herramientas Lint para detectar problemas de rendimiento, uso, compatibilidad de versión, etc.
- Compatibilidad con C++ y NDK
- Soporte integrado para Google Cloud Platform, que facilita la integración de Google Cloud Messaging y App Engine.

¹⁶ Ambiente de desarrollo integrado para el desarrollo de programas informáticos.

¹⁷ Herramienta para construir proyectos de forma automatizada.

¹⁸ Android Application Package, significado en español: Aplicación empaquetada de Android.



Figura 8. Logo representativo de Android Studio

Fuente: Android Studio, 2015

2.9.2. UNITY

Unity es un motor de videojuego multiplataforma en donde se puede crear cualquier juego en 2D o 3D. Creado por Unity Technologies, Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows y OS X, y permite crear juegos para Windows , OS X, Linux, Xbox 360, PlayStation 3, PlayStation Vita, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android y Windows Phone. Gracias al plugin web de Unity, también se pueden desarrollar videojuegos de navegador para Windows y Mac (Unity, 2016).

Unity es el motor gráfico más conocido y utilizado. Es potente, robusto y permite el desarrollo de videojuegos 2D y 3D . No solo lo permite si no que cada actualización que realiza añade una gran cantidad de funcionalidades orientadas a este formato. Se adapta perfectamente a lo que se busca ya que permite la migración a los tres sistemas operativos móviles¹⁹. Un punto muy a su favor es la gran comunidad de usuarios que hay detrás de esta herramienta, encontrando solución a todos los problemas que se puedan generar durante el desarrollo. En términos de licencia Unity posee una licencia gratuita para desarrollar videojuegos que contiene gran cantidad de características, también posee una versión de pago la cual contiene características adicionales como render a textura, determinación de cara oculta, iluminación global y efectos de post procesamiento (Cuadrado, 2014).

¹⁹ Android, iOS y windows phone.



Figura 9. Logo representativo de Unity

Fuente: Unity, 2016

2.9.2.1. CARACTERÍSTICAS

Las características mas destacadas de Unity (2016)son las siguientes:

- **Flujo de trabajo:** Permite agrupar rápidamente sus escenas en un espacio de trabajo con un editor intuitivo y extensible.
- **Calidad:** Permite crear un juego con gran fidelidad visual, auditiva y acción al máximo con un nivel AAA que se ejecuta suave y limpiamente en cualquier pantalla.
- **2D y 3D:** Unity tiene herramientas dedicadas para la creación de contenido 2D y 3D con flujos de trabajo eficientes que utilizan convenciones compartidas.
- **Mecanim:** El sistema de animación poderoso y flexible, con características únicas, de Unity da vida a cualquier personaje u objeto con movimiento natural o fluido.
- **Rendimiento:** Rendimiento confiable, framerate²⁰ uniforme y soberbias experiencias de juego en las plataformas de destino.
- **Multiplataforma:** Ningún otro motor de juegos permite elegir entre tantas plataformas de publicación con prácticamente ningún esfuerzo de implementación.
- **Colaboración:** Control de versión completa para todos los activos de juego; obtiene instantáneamente los cambios de otros miembros del equipo.

Como se pudo apreciar Unity es un motor especializado principalmente en el desarrollo de videojuegos para distintas plataformas y dispositivos móviles, como ser, Android e iOS. Por otra parte Unity permite la integración de vuforia, Por la cual se convierte una herramienta bastante adecuada para el desarrollo de aplicaciones basadas en Realidad Aumentada.

²⁰ Tasa de imágenes por segundo.

2.9.3. VUFORIA

Vuforia es un SDK desarrollado inicialmente por Qualcomm, una empresa productora de chipsets para tecnología móvil. En 2010 la empresa lanzó algunas aplicaciones propias que hacían uso de tecnologías de RA, y finalmente ese mismo año anunció que ponía a disposición de los desarrolladores sus frameworks de desarrollo al que denominaron Vuforia. Está disponible para Android e iOS y se basa en el reconocimiento de imágenes basado en características especiales, por lo que también soporta reconocimiento de marcadores naturales o reconocimiento sin marcadores. Además dispone de un plugin para interactuar con Unity3D y ofrece la posibilidad de crear botones virtuales para ampliar las vías de interacción con el usuario (Cobo, 2013). En noviembre del año 2015 la compañía PTC²¹ anuncia la adquisición de la plataforma vuforia. En la actualidad la plataforma vuforia mantiene su objetivo principal con el que inicio Qualcomm, la cual es, proponer un nexo entre el mundo real y el digital a través de la realidad aumentada. Además de seguir manteniendo su condición de sdk de uso gratuito.

2.9.3.1. CARACTERÍSTICAS

Según la pagina oficial, la plataforma Vuforia²² reúne las siguientes características:

- Reconocer y realizar un seguimiento de un conjunto más amplio de objetos 2D y 3D (Object), tales como un juguete, vehículo, etc. y añadir características digitales para productos de consumo.
- Permite el reconocimiento de imágenes (Images), estas pueden ser de revistas, anuncios, etc. estas imágenes son creadas con la herramienta online Target Manager la cual ayuda a analizar y mejorar sus imágenes para optimizar el rendimiento de la aplicación.
- Permite el reconocimiento de imágenes definidas por el usuario²³, este reconocimiento ofrece a los usuarios la capacidad de crear experiencias básicas AR que trabajan en cualquier lugar.
- Soporta reconocimiento de texto, ya sean palabras que se encuentren

²¹ Parametric Technology Corporation.

²² <http://www.vuforia.com/Features>

²³ User-Defined Images

almacenadas en una base de datos que almacena más de 100.000 palabras o un vocabulario personalizado definido por el desarrollador.

- Permiten detectar y realizar un seguimiento de las imágenes rodadas en formas cónicas y cilíndricas. También apoyan la detección y el seguimiento de las imágenes en las caras superior e inferior planas del cilindro de destino.
- Permite reconocimiento de simples cajas con lados planos y suficientes detalles visuales.
- permite el reconocimiento de Frame Markers, son las imágenes que se ven un poco como los códigos QR, pero le dan la libertad para poner su propia imagen en el interior.
- Permite detectar y realizar un seguimiento de las imágenes rodadas en formas cónicas y cilíndricas (Cylinder Target).También apoyan la detección y el seguimiento de las imágenes en las caras superior e inferior planas del cilindro de destino.

2.9.4. BLENDER

Blender es desarrollado por la blender foundation. La primera versión salió el 1995, actualmente se encuentra en su versión estable 2.77 bajo la licencia GPL. Blender es un enorme software de diseño, animación, simulación, render, composición y rastreo de movimiento. Principalmente está pensado para la animación, pero también se puede usar para diseño. Su curva de aprendizaje es larga ya que dispone de multitud de componentes, características y opciones (Roca, 2014).

Blender es un software multiplataforma, potente, liviano y completamente libre, dedicado a la creación de contenido 3D, que permite el modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de juegos. (Roosendaal y Selleri, 2005).

Blender es potente, emplea muchas metodologías modernas, permite un flujo de trabajo muy rápido y es sucesivamente versátil. Con él se puede hacer cualquier cosa que tenga que ver con la infografía sin necesidad de recurrir a programas externos. Se pueden crear y

exportar modelos escenarios y personajes para juegos, generar desde escenas realistas hasta animaciones muy complejas, preparar personajes virtuales o efectos especiales e insertarlos dentro de una película e imagen real, e incluso puedes crear un juego completo y hacer que funcione dentro de blender. La verdadera razón por la que se debería darle una oportunidad a Blender es porque, si llegas a conocerlo, probablemente sea el más adecuado. (Muños, 2013).



Figura 10. Logo representativo de Blender

Fuente: Blender, 2016

Una de las características principales en cuanto a la implementación en Blender es que se trata de una implementación visual. Y la más importante de todas, es que se trata de un proyecto Open Source, con lo que su adquisición es gratuita, así como su documentación. El mantenimiento de la herramienta la realiza Blender Foundation (Román, 2011).

2.9.4.1. CARACTERÍSTICAS

A continuación mencionamos las características más destacadas que presenta este software:

- Multiplataforma, libre, gratuito. El espacio en disco que ocupa este software es realmente pequeño comparado con otros paquetes de 3D, dependiendo del sistema operativo en el que se ejecuta.
- Capacidad para una gran variedad de primitivas geométricas, incluyendo curvas, mallas poligonales, vacíos, NURBS, curvas Bezier, etc.

- Junto a las herramientas de animación se incluyen cinemática inversa, deformaciones por armadura o cuadrícula, vértices de carga y partículas estáticas y dinámicas.
- Edición de audio y sincronización de vídeo.
- Características interactivas para juegos como detección de colisiones, recreaciones dinámicas y lógica.
- Posibilidades de renderizado interno versátil e integración externa con potentes trazadores de rayos libres como kerkythea, YafRay o Yafrid.
- Lenguaje Python para automatizar o controlar varias tareas. Es posible la creación de scripts para tratar los objetos poligonales que hay en la escena.
- Blender acepta formatos gráficos como TGA, JPG, Iris, SGI, o TIFF. También puede leer ficheros Inventor.
- Motor de juegos 3D integrado, con un sistema de bloques lógicos Para más control se usa programación en lenguaje Python.
- Simulaciones dinámicas para partículas y fluidos.
- Modificadores apilables, para la aplicación de transformación no destructiva sobre mallas.
- Sistema de partículas estáticas para simular cabellos y pelajes, al que se han agregado nuevas propiedades entre las opciones de shaders para lograr texturas realistas.

En el presente proyecto, se ha utilizado Blender para la creación de objetos 3D.

CAPÍTULO III

MARCO APLICATIVO

EL objetivo del presente capítulo radica en diseñar y desarrollar el prototipo para la enseñanza de la Educación Ambiental en un nivel básico de aprendizaje orientado a estudiantes de nivel primario que se formalizará, después de una serie de procesos, la estructura principal del software educativo.

La metodología elegida para guiar el desarrollo de software del tutor es Mobile-D, el objetivo de este método es conseguir ciclos de desarrollo rápidos en equipos pequeños considerando también que la aplicación corresponde a un sistema de realidad aumentada se hará uso del SDK de Realidad Aumentada de Vuforia disponible para Android e iOS, además de Unity, ya que Vuforia cuenta con una extensión para Unity lo cual permite que la integración de ambas es flexible para la creación de proyectos basados en Realidad Aumentada. Por otra parte se utiliza Blender para la creación de modelos 3d.

Mobile-D propone diferentes fases de desarrollo las cuales son:

- Exploración
- Inicialización
- Producción
- Estabilización
- Pruebas

3.1. EXPLORACIÓN

Esta es la fase en donde se determinan los requerimientos mínimos y necesarios del proyecto para la implementación del mismo, así como también una planificación general de todo lo que conlleva el proyecto y la funcionalidad mediante casos de uso general para lograr el éxito en las siguientes fases del proyecto.

3.1.1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO

La educación de los estudiantes de primaria comienza con los fundamentos de cómo escribir y leer palabras sencillas; asimismo se debe empezar la educación sobre el ambiente, o educación ambiental. La creación de ambientes enseñanza-aprendizaje apoyados con TIC tiene sentido si responde a las necesidades educativas. Es así que surge la imperiosa necesidad de tratar de resolver aquellos problemas que están relacionados con el aprendizaje.

Los problemas que se detectaron en los estudiantes de primaria en cuanto al aprendizaje son:

- Un buen porcentaje de los estudiantes carecen de motivación para estudiar la educación ambiental volviendo las clases monótonas.
- Por otra parte no se le brinda el suficiente tiempo de estudio para el tema relacionado con la educación ambiental.
- Ausencia de actividades didácticas participativas relacionadas con temas ambientales

3.1.2. ESTABLECIMIENTO DE GRUPOS DE INTERÉS

Los objetivos de esta etapa son identificar y establecer diferentes grupos de actores necesarios en diferentes tareas a lo largo del proyecto. Se identifica a estudiantes que cursa el grado de primaria que necesitan mejorar su aprendizaje.

3.1.3 ESTABLECIMIENTO DE ACTORES INTERVINIENTES

Los usuarios intervinientes para la construcción del tutor se muestran en la siguiente tabla.

Usuario	Descripción
Estudiante	Es el usuario final quien usará el prototipo de aplicación móvil como medio tecnológico de apoyo al aprendizaje.

Tabla 3. Descripción de usuarios

3.1.4. COLECCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Los requerimientos principales identificados para el tutor se clasifican en funcionales y no funcionales, se pretende crear escenarios en donde intervienen modelos 3D propios o parte de la definición de medio ambiente basados e implementados en Realidad Aumentada. Además de interactuar de diferentes maneras con modelos 3D en base a marcadores. Para ello se realizó una entrevista a profesores con la finalidad de identificar problemas en el proceso de enseñanza aprendizaje en el área de ciencias naturales que esta relacionado con la educación ambiental.

3.1.4.1. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- ✓ Para la realidad aumentada, el tutor debe usar marcadores de acuerdo al contenido.
- ✓ Para la realidad aumentada, el tutor debe ser capaz de reconocer múltiples marcadores en una misma escena por medio de la utilización de la cámara principal del dispositivo móvil.
- ✓ Permitir visualizar varios modelos 3D asignado a su respectivo marcador .
- ✓ El tutor debe permitir interacción de objetos mediante colisiones.
- ✓ El tutor debe contar con material multimedia inmerso en la Realidad Aumentada.
- ✓ Tener la capacidad reconocer los objetos 3D en tiempo real de tal manera que el modelo sea mostrado y manipulado por el usuario.

3.1.4.2. REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

- La aplicación debe ser de fácil uso, con lo cual el usuario final podrá manipular la aplicación de manera correcta y adecuada.
- La aplicación deberá ser compatible con diferentes versiones del sistema operativo Android, además de ser compatible con distintos dispositivos móviles como ser tablets, smartphones.
- Interfaz atractiva e intuitiva para los usuarios finales
- La aplicación deberá necesariamente brindar un óptimo rendimiento y así no afectar los recursos de software como de hardware.

3.1.5. DISEÑO DEL SISTEMA TUTOR

En la figura 11 se muestra el diseño arquitectónico, en donde se observa la relación de los módulos del tutor y este mantiene un flujo de información, el mismo hace posible la enseñanza y aprendizaje de la Educación Ambiental. Se tomo como base el modelo tradicional de un sistema tutor que propone Gonzales (2002).

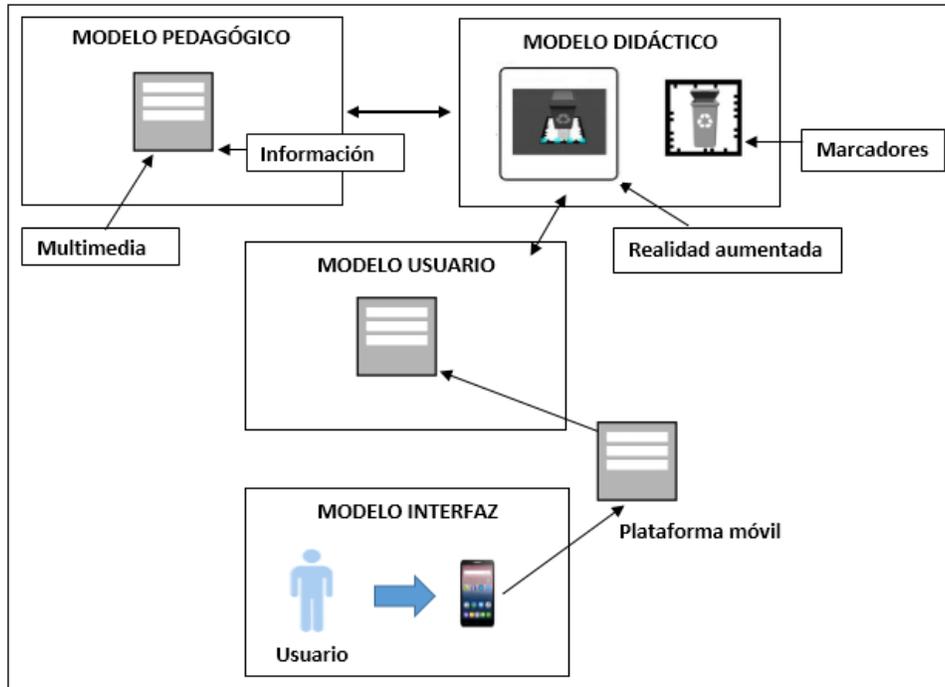


Figura 11. Diseño Arquitectónico del Tutor

3.1.5.1. MODELO PEDAGÓGICO

El modelo pedagógico contiene el material e información a enseñar, el conocimiento al cual desea acceder el usuario. Contiene las características del conocimiento, para el tutor se considera el siguiente conocimiento: información de medio ambiente, educación ambiental, gestión de residuos, reciclaje, contenedores diferenciados de residuos reciclables según color.

3.1.5.2. MODELO DIDÁCTICO

El modelo didáctico contiene el conocimiento de ¿Cómo se va a enseñar? Al usuario, en este caso se hace uso de la realidad aumentada de forma interactiva, como también haciendo uso de material multimedia dentro de la realidad aumentada. Una vez que el usuario ingresa al tutor este tendrá un menú en el cual selecciona lo que quiere aprender.

Las acciones que se puede realizar en el tutor son las siguientes:

- Reconocimiento de múltiples marcadores.
- Selecciona modelo 3D.
- Manipulación de objetos 3D mediante el touch del dispositivo móvil.
- Interacción entre modelos 3D (Colisiones).
- Aceptación en caso de efectuar un acierto.
- Rechazo en caso no acertar.
- Mostrar contenido multimedia.
- Reinicio de la actividad.

3.1.5.3. MODELO USUARIO

El principal actor que interactuá con el Tutor es el usuario. Son estudiantes de primaria que interactúan directamente con la interfaz en un ambiente interactivo de aprendizaje, con el tutor su función es informarse de lo que es el medio ambiente y reciclaje. Concluido el proceso de obtener los conocimientos practicar en un ambiente de realidad aumentada en dispositivos móviles.

3.1.6. CRONOGRAMA DEL PROYECTO

En base a la metodología Mobile-D se definió los tiempos asignados por etapas, tomando en cuenta que es de gran importancia cumplir con las fechas indicadas y así controlar de manera adecuada el desarrollo de la aplicación.

3.1.6.1 CRONOGRAMA DE PROYECTO PARA EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO

TAREAS	DURACIÓN	2016																	
		AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DIC	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Exploración	15 días																		
Inicialización	10 días																		
Producción	40 días																		
Estabilización	15 días																		
Pruebas	10 días																		

Tabla 4. Cronograma de elaboración del proyecto enmarcado en la metodología Mobile-D

3.2. INICIALIZACIÓN

Después de determinar los requerimientos más importantes se pasa a la etapa de generación de diagramas. Para esta presente investigación se realiza el diagrama de caso de uso, casos de uso expandido, diagrama de clases, diagramas de actividades y el diagrama de secuencia. Posteriormente se realiza el diseño de las interfaces de usuario.

3.2.1. CASOS DE USO

Un caso de uso es una descripción de los pasos o las actividades que se deben realizar para llevar a cabo un proceso. En esta etapa se encontrará la secuencia de interacciones que se desarrollarán entre el sistema y los actores previamente identificados en respuesta a un evento que inicia un actor sobre el propio sistema.

3.2.2. DIAGRAMA GENERAL DE CASOS DE USO

El siguiente diagrama de casos de uso se observa el comportamiento del sistema de Realidad Aumentada en donde el usuario inicia la aplicación seguidamente tiene una interfaz principal y dependiendo de las opciones se lanza una actividad basada en Realidad Aumentada. Esta claro que es necesario contar con pre condiciones con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la aplicación móvil.

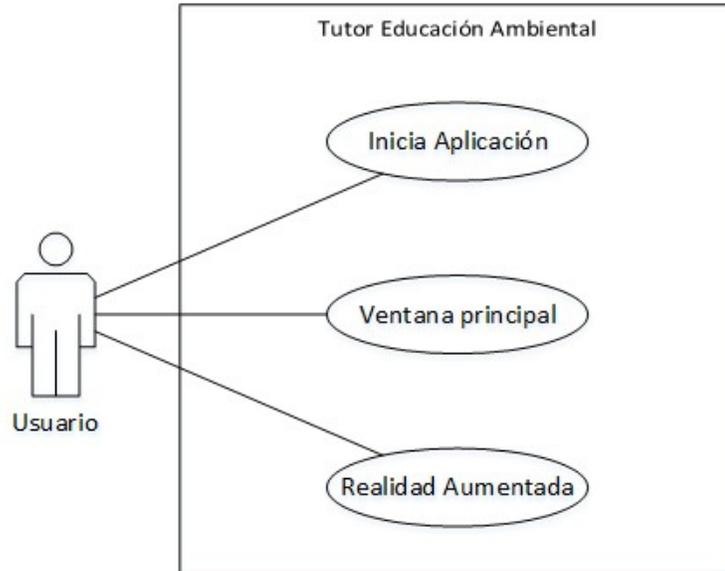


Figura 12. Diagrama general de casos de uso

3.2.3. DIAGRAMA DETALLADO DE CASOS DE USO

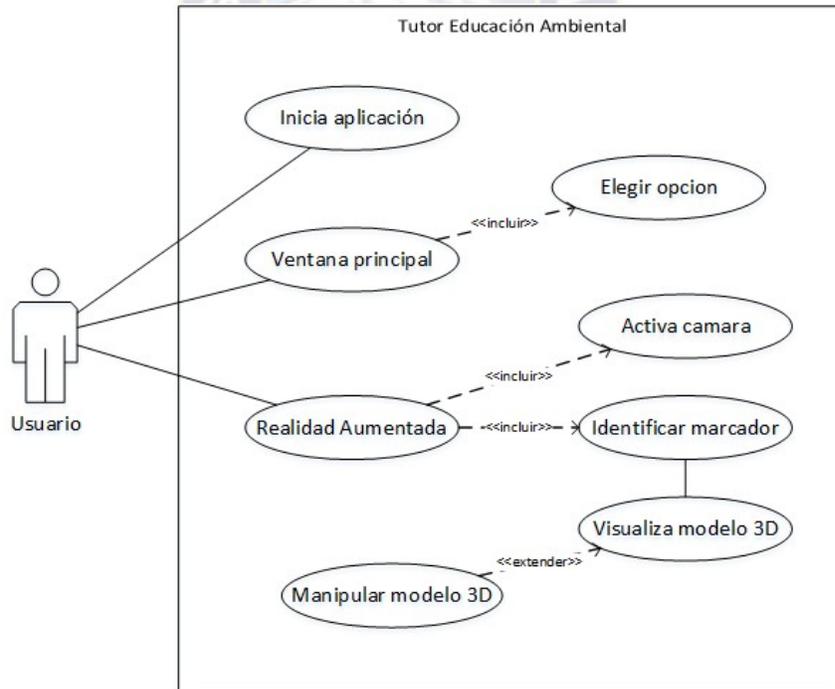


Figura 13. Diagrama detallado de casos de uso

3.2.4. DESCRIPCIÓN DE DIAGRAMAS DE CASO DE USO EXTENDIDO

A continuación se detalla cada uno de los casos de uso de la aplicación que se mostraron en el diagrama de caso de uso. Este punto es importante ya que es una pauta sobre la participación del usuario que inicia un evento sobre el propio sistema.

En principio se inicia la aplicación previa instalación de manera correcta.

Nombre de Caso de Uso:	Inicia aplicación		
Descripción:	Caso de uso que permite al usuario acceder a la ventana principal de la aplicación.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	Previa instalación de el archivo ejecutable de la aplicación.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del sistema
	1	Ejecuta archivo apk.	Inicia la instalación de la aplicación el dispositivo móvil.
	2	Inicial la aplicación seleccionando el icono correspondiente en el dispositivo móvil.	El sistema muestra la ventana principal,
Post Condiciones			

Tabla 5. Descripción caso de uso: Inicia aplicación

Una vez iniciada la aplicación se muestra una ventana principal en donde se puede elegir diferentes alternativas.

Nombre de Caso de Uso:	Ventana principal		
Descripción:	Caso de uso que visualiza la en contenido principal de la aplicación.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	Previa ejecución correcta de la aplicación, si error alguno.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del sistema
	1	Ejecuta archivo apk.	Inicia la instalación de la aplicación en el dispositivo móvil.
	2	Inicial la aplicación seleccionando el icono correspondiente en el dispositivo móvil.	El sistema muestra la ventana principal,
	3		Inicia la aplicación mostrando la ventana principal en donde se muestra una serie de opciones.
Post Condiciones	La aplicación muestra un menú con una serie de opciones para su posterior interacción con el usuario.		

Tabla 6. Descripción caso de uso: Ventana principal

La realidad aumentada en donde se hace todo el proceso de introducir información digital para su posterior interacción.

Nombre de Caso de Uso:	Realidad Aumentada		
Descripción:	Caso de uso que permite introducir información digital en un entorno real.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	El usuario a instalado e iniciado la aplicación y lleva adjunto sus respectivos marcadores para su posterior reconocimiento.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del sistema
	1		Activa la cámara principal del dispositivo móvil realidad aumentada.
	2	El usuario enfoca a los respectivos marcadores	La aplicación hace el reconocimiento de marcadores.
	3		La aplicación muestra información digital, en este caso modelos 3d.
Post Condiciones			

Tabla 7. Descripción caso de uso: Realidad Aumentada

Se inicia la Realidad Aumentada activando el lente de la cámara principal del dispositivos móvil, la cual proporciona captura del entorno real observado en tiempo real.

Nombre de Caso de Uso:	Activa cámara		
Descripción:	Caso de uso en el cual se activa la cámara principal del dispositivo móvil.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	Instalación de la aplicación en un dispositivo móvil con sistema operativo android.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del

			sistema
	1	Ejecuta la aplicación.	Inicia la aplicación
	2		Habilita la cámara principal del dispositivo móvil.
Post Condiciones	La aplicación enfoca la realidad en tiempo real mediante el dispositivo móvil.		

Tabla 8. Descripción caso de uso: Activa cámara

Se inicia el reconocimiento de marcadores.

Nombre de Caso de Uso:	Identificar marcador		
Descripción:	En este caso de uso, el sistema de realidad aumentada debe reconocer el marcador y posteriormente mostrar un modelo 3d.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	Inicio de la aplicación, la cámara del dispositivo móvil debe estar activa y en la pantalla mostrar el marcador.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del sistema
	1	El usuario enfoca al marcador.	El sistema activa la cámara del dispositivo móvil para identificar el marcador.
	2		El sistema detecta el marcador.
	3		El sistema busca el marcador en su base de datos.
	4		El sistema despliega información digital correspondiente al marcador.

Post Condiciones	Un modelo en 3d se muestra en la ventana actual del dispositivo móvil.
-------------------------	--

Tabla 9. Descripción caso de uso: Identificar marcador

Se integran los diferentes modelos para adicionar la información digital sobre el mundo real a través del dispositivo móvil.

Nombre de Caso de Uso:	Visualiza modelo 3D		
Descripción:	Caso de uso en el cual se despliega un modelo 3d en la pantalla para que el usuario pueda interactuar con el mismo.		
Actores:	Usuario.		
Condiciones de Entrada	El usuario debe estar en la aplicación, además de tener un marcador enfocado por la cámara principal del dispositivo móvil.		
Flujo de eventos normal	Paso	Entrada del Actor	Respuesta del sistema
	1	El usuario presiona un botón para visualizar el modelo 3d.	El sistema inicia el caso de uso Activa cámara.
	2		El sistema inicia el caso de uso Identifica marcador.
	3		EL sistema visualiza un modelo 3d correspondete a su marcador.
Post Condiciones	El modelo 3d se muestra en la pantalla.		

Tabla 10. Descripción caso de uso: Visualiza modelo 3d

3.2.5. PLANIFICACIÓN DE DESARROLLO

Iteración	Tarea
Interfaz gráfica de usuario	Implementación interfaz de usuario, ventana principal, menú de opciones.
Construcción de objetos 3D.	Diseño y creación de modelos 3d en el software Blender.
Diseño de marcadores.	Diseño y creación de marcadores tradicionales, marcadores múltiples, Image Targets. Creación de base de datos en el portal Web de Vuforia.
Configuración de Unity 3D integrando Vuforia	Importación de paquetes, importación de almacén de datos de marcadores.
Colisiones entre objetos.	Colisión entre objetos, creación y asignación de C# script a objetos.

Tabla 11. Descripción de iteraciones

Dando continuidad a la metodología de desarrollo propuesta la cual recomienda iteraciones que corresponden a planificación, trabajo se establece el camino de cada uno de las alternativas. A continuación se describe cada una de las iteraciones hacia la obtención de un nivel de madurez considerable, acorde a las características del producto deseado.

3.3. PRODUCCIÓN

En esta etapa de producción se pretende implementar todas las funcionales de la aplicación es así que Mobile-D recomienda iteraciones que corresponden a la planificación, trabajo y liberación. Tomando en cuenta que ya se tiene definidas las iteraciones se procede al desarrollo del prototipo.

3.3.1. INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Para el diseño de la interfaz de usuario y menú de opciones de la aplicación se utilizo Android Studio debido a que ofrece grandes bondades por ser de código abierto (open source), lo que permite que el desarrollo sea completamente personalizable. Del mismo

modo, al ser código abierto garantiza que, en caso de existir un bug o error, este sea detectado y reparado. Se optó por desarrollar la interfaz de usuario en Android Studio ya que se debe tener en cuenta que Unity no posee una manera sencilla de realizar una interfaz de usuario debido a que este debe tomar en cuenta las dimensiones de la pantalla del dispositivo móvil para poder acomodar de manera correcta los botones que integran el menú principal de acuerdo a la proporción correcta. Además que desde Android Studio se lanza a diferentes escenas de Unity, a partir de esta parte ya entramos en lo que es la Realidad Aumentada en donde se hace reconocimiento de marcadores y visualización de modelos, previa integración de Vuforia.

En la siguiente figura se muestra el diseño del splash screen seguido de la interfaz gráfica de usuario que se le presenta al usuario cuando este inicia la aplicación de manera correcta.



Figura 14. Diseño de splash screen

En cuanto al menú principal enmarcado en el diseño, se busca que el usuario pueda interactuar con la aplicación de manera intuitiva por lo que se agregaron diferentes opciones para que el usuario pueda acceder a alguna de estas como se ve en la figura 15.



Figura 15. Menú principal

3.3.2. MODELADO 3D

Una de las características de los sistemas basados realidad aumentada es el registro en tres dimensiones, para el prototipo se incluye el diseño de varios modelos en 3D, estos modelos se construyeron utilizando el software de modelado Blender debido a su distribución bajo licencia GPL, en esta sección se describe de forma detallada el proceso de diseño de solo un ejemplar de modelo 3D , el resto de modelos 3D serán diseñados de forma análoga.

Para el ejemplar de modelo 3D se optó por modelar un árbol de características similares a la de un árbol real.

En la figura 16 se muestra la interfaz de usuario de blender, en el cual se creó la estructura principal de un árbol haciendo uso de los add-on²⁴ de blender.

²⁴ Un **Add-on** se entiende, del inglés como extensiones, plugins, snap-ins, son programas que sólo funcionan anexados a otro y que sirven para incrementar o complementar sus funcionalidades.

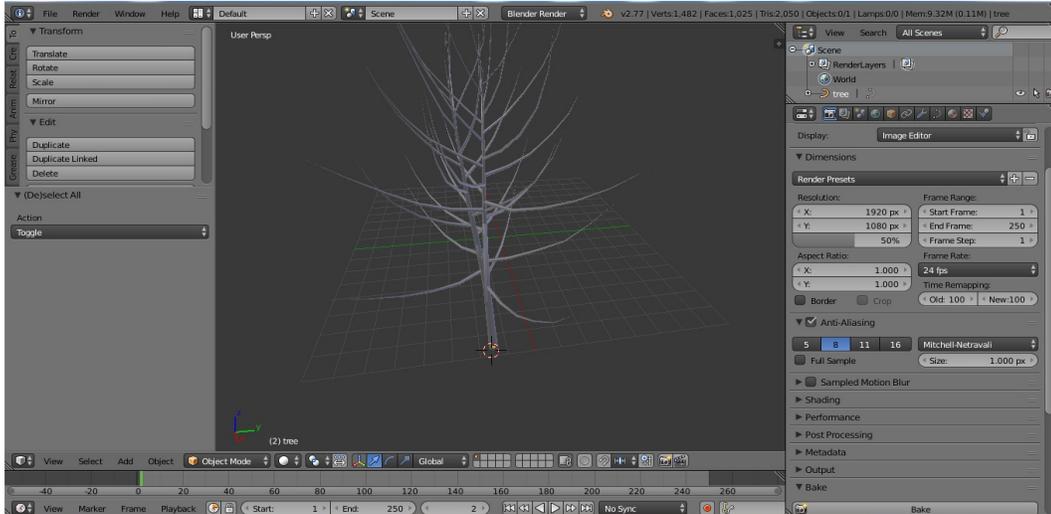


Figura 16. Estructura de árbol mediante Add-on

Posteriormente se adiciona lo que son las hojas con la ayuda de las opciones de Blender.

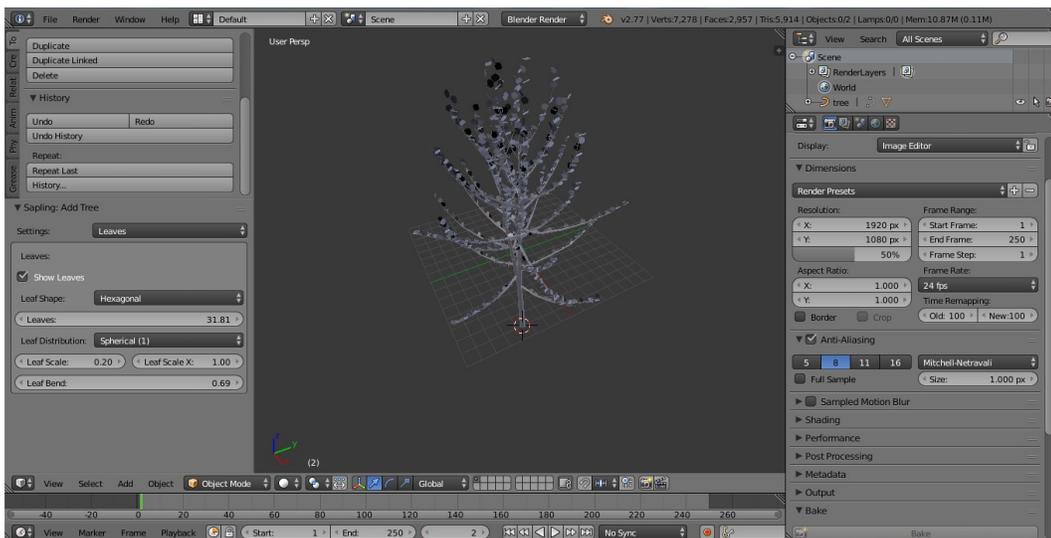


Figura 17. Adición de hojas

Ahora se procede a poner una textura al árbol, tanto en el tronco como en las hojas para que se asemeje mas a la realidad.

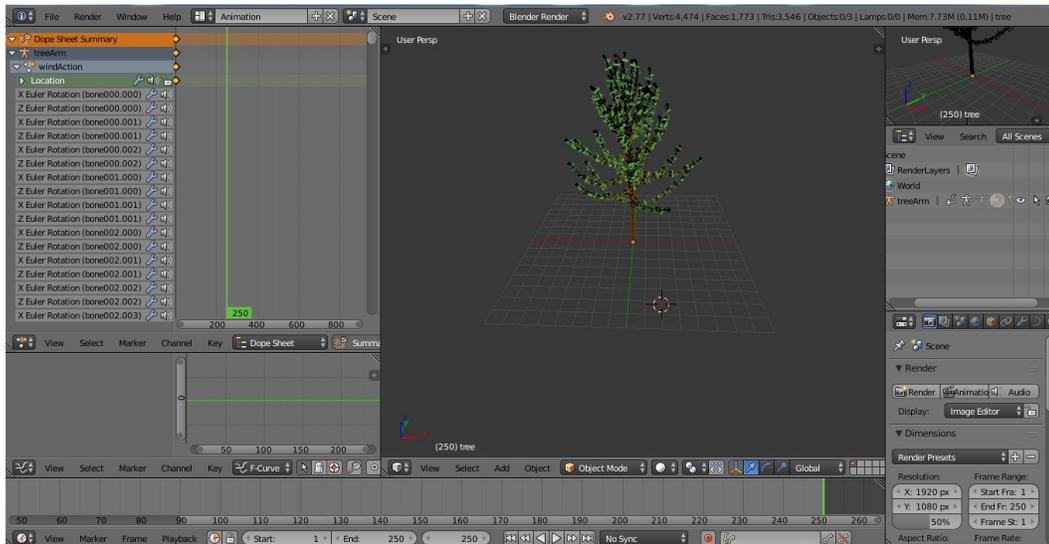


Figura 18. Incorporación de texturas

3.3.3. DISEÑO DE MARCADORES

Por tratarse de un sistema de Realidad Aumentada los marcadores son por demás elementos muy importantes en la construcción del prototipo, ya que mediante la cámara principal del dispositivo móvil se determinará la posición y orientación de cada objeto para que posteriormente se visualice la información digital en el mundo real.

Para nuestro propósito se hará uso de Image Targets, que son imágenes que el SDK Vuforia es capaz de detectar y seguir. A diferencia de marcadores tradicionales, matrices de códigos de datos y códigos QR, los Image Targets no necesitan ningún tipo de regiones en blanco y negro especiales o códigos para poder ser reconocidos.

Inicialmente se utilizó herramientas de edición de imágenes para el diseño de la imagen que se usará como marcador, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 19. Diseño de imagen base para marcador

Como se menciono los Image Targets no necesitan ningún tipo de regiones en blanco y negro especiales, pero para tener un mejor patrón de reconocimiento se hará la unión de marcadores tradicionales e imágenes las cuales se convertirán en image Targets como se muestra en la siguiente figura.



Figura 20. Asociación entre imagen y marcador tradicional

Ahora el siguiente paso es crear los Image Targets, estos se crean on-line con el Target Manager, a partir de imágenes con extensión JPG o PNG. Seguidamente se extraen las características de estas imágenes y se almacenan en una base de datos que se usa en tiempo de ejecución para realizaras las respectivas comparaciones.

Se procede a crear la base de datos para almacenar los marcadores uno a uno, el nombre de la base de datos es BDEducacionAmbiental.

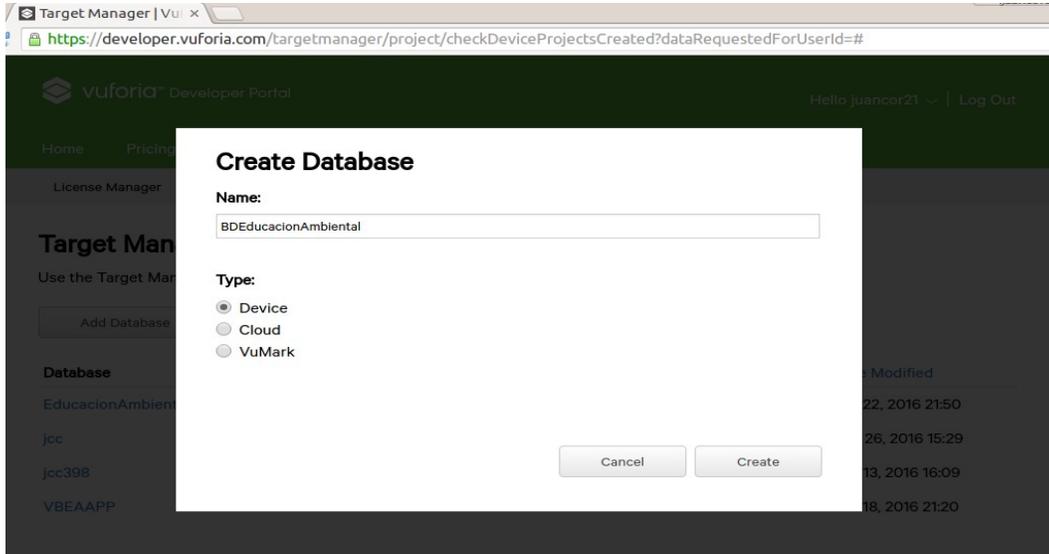


Figura 21. Creación de la base de datos en el portal de Vuforia

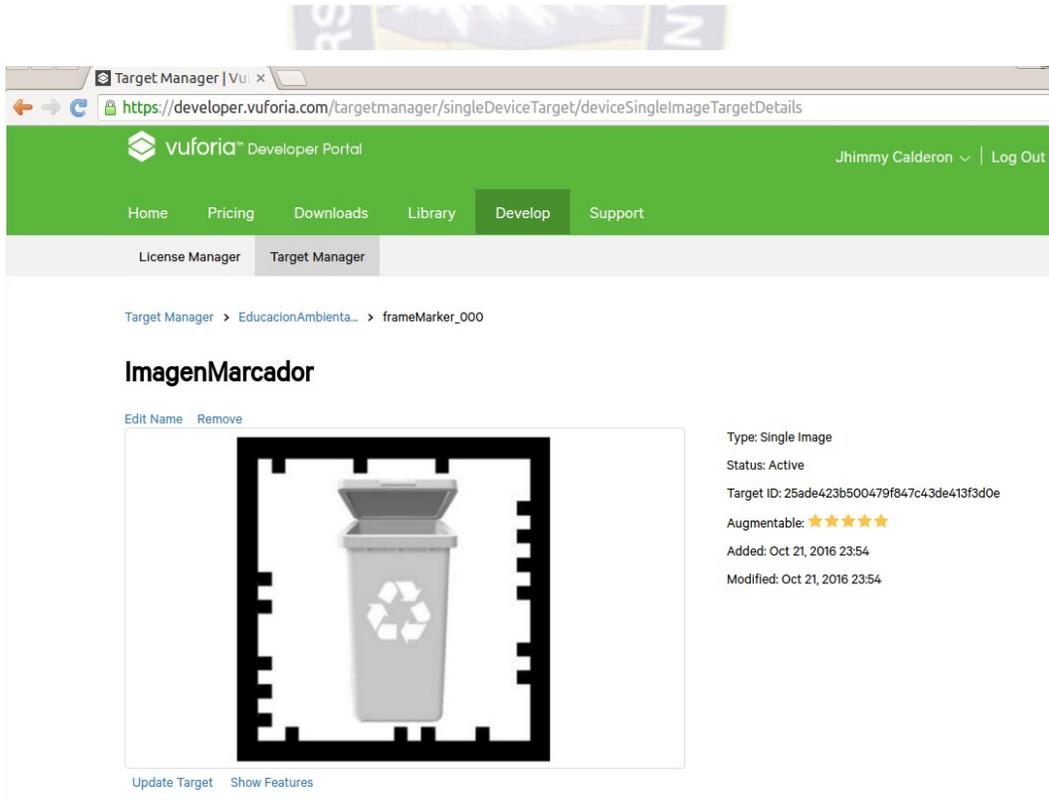


Figura 22. Creación de Imagen Target en el portal web de Vuforia

Como se puede observar. Target Manager hace una clasificación representada en estrellas, en un rango de 1 a 5, se considera optimo un rango de 4 a 5 estrellas, caso contrario la capacidad de seguimiento sera limitada, en nuestro caso es de 5 estrellas lo que significa que ofrece una buena capacidad de reconocimiento.

Posteriormente se descarga la base de datos de los marcadores personalizados que fueron creados con anterioridad del portal web de Vuforia, esta base de datos viene en forma empaquetada para su posterior uso en el editor de Unity.

3.3.4. CONFIGURACIÓN DE UNITY 3D INTEGRANDO VUFORIA

Para crear contenidos con realidad aumentada es necesario configurar Unity 3D con Vuforia. El primer paso es importar el paquete de Vuforia, seguido del almacén de datos de marcadores creado en el portal web de Vuforia con anterioridad.

En la figura 23 se muestra la manera de importar los paquetes.

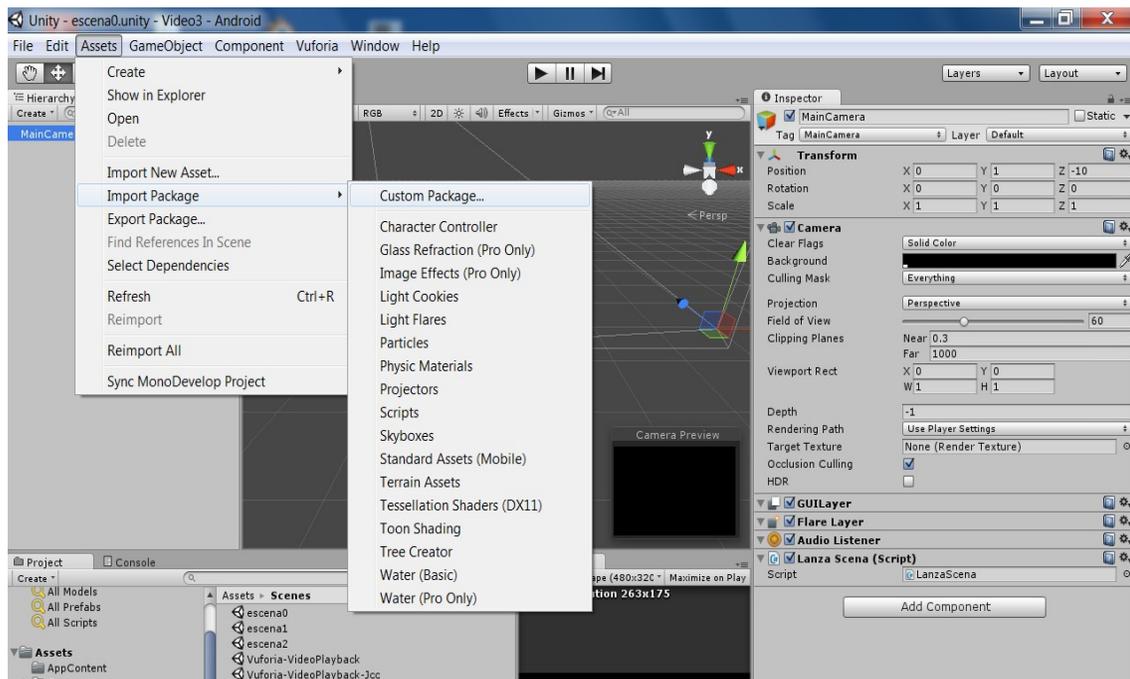


Figura 23. Importación de paquetes de Vuforia a Unity 3D

3.3.5. RECONOCIMIENTO DE MARCADORES

Como ya se menciona en anteriores apartados se hará el reconocimiento de marcadores usando el SDK de Vuforia mediante el editor Unity usando la cámara principal del dispositivo móvil. Para nuestro fin haremos uso de los Image Targets.

Para el reconocimiento de marcadores es necesario principalmente crear un nuevo proyecto en el editor Unity, posteriormente integrar a una escena nueva la cámara de Realidad Aumentada de Vuforia como también la Image Target, seguido añadir el modelo 3D.

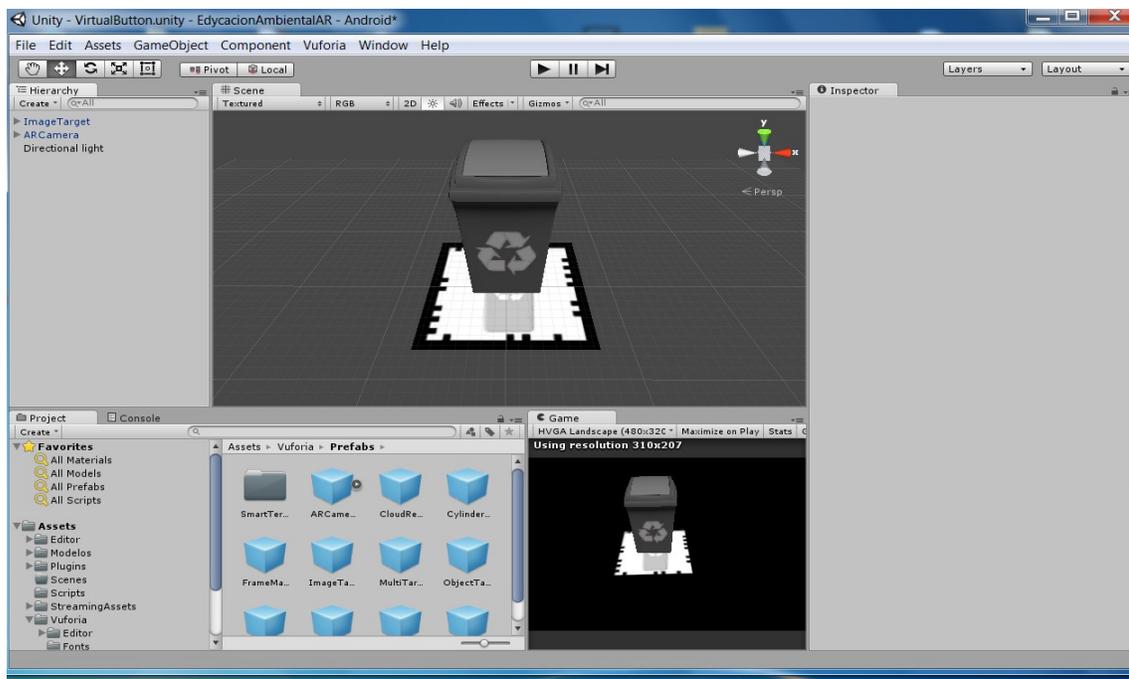


Figura 24. Integración y reconocimiento de Image Target en Unity

3.3.5.1. RECONOCIMIENTO DE MARCADORES MÚLTIPLES

Vuforia utiliza el reconocimiento de marcadores basado en la visión computarizada, estable, y eficiente ofreciendo así el reconocimiento de más de un marcador en una misma escena en Unity. Procedemos a incorporar múltiples marcadores en el editor de Unity.

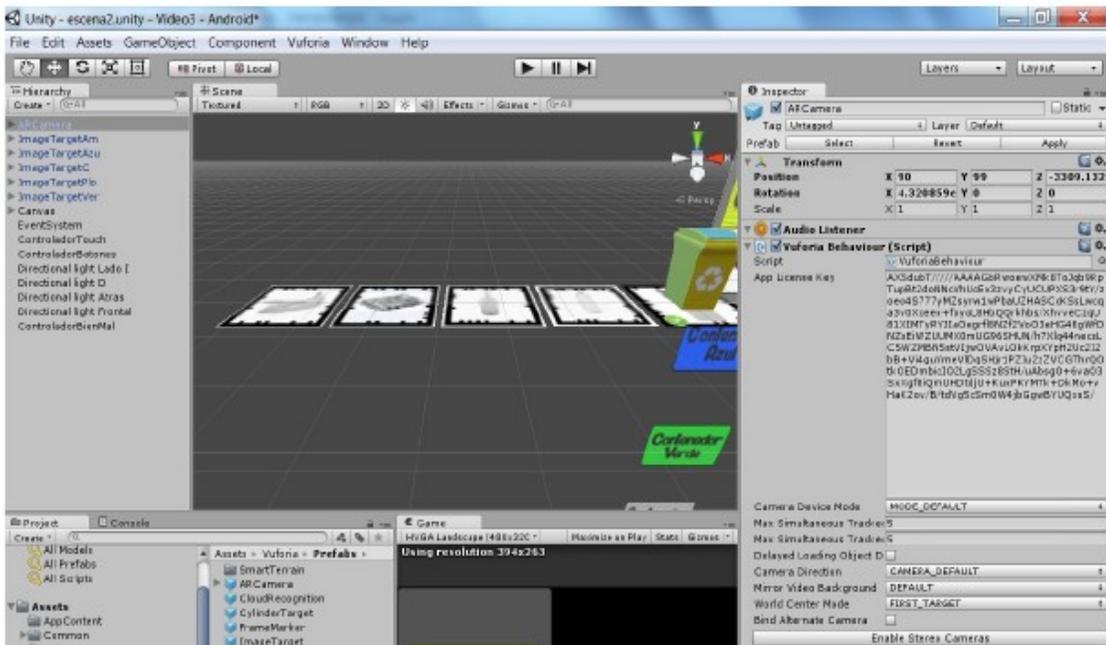


Figura 25. Incorporación de marcadores múltiples en Unity

Es importante configurar la cámara de Vuforia para permitir el reconocimiento múltiple de marcadores, se puede observa en la figura 26 la cámara de Vuforia en modo interfaz en el cual se permite hasta un máximo de cinco marcadores de forma simultanea.

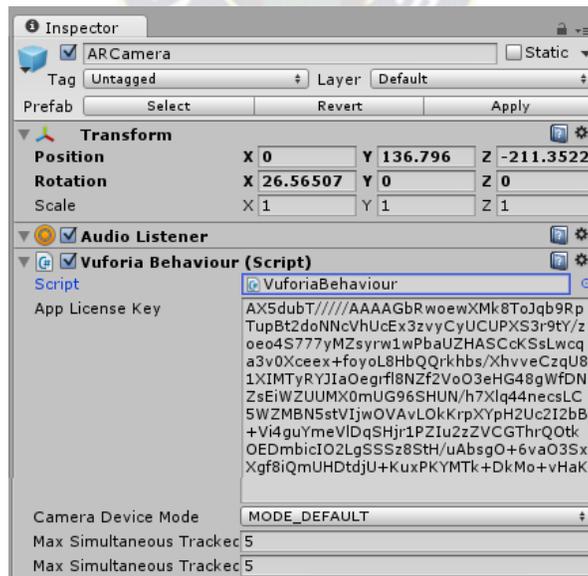


Figura 26. Configuración de cámara para el reconocimiento múltiple

3.3.6. COLISIÓN ENTRE OBJETOS

Una vez concluida la implementación de reconocimiento de marcadores procedemos a que objetos colisionen en una escena, para ello los componentes se deben ejecutar dentro de uno de los dos objetos que van a colisionar.

Para el funcionamiento correcto y adecuado de las colisiones asociados a los objetos 3D en necesario incorporar un C# script que realice el reconocimiento de los mismos. Además de incorporar Box Colliders a los objetos que van a colisionar.

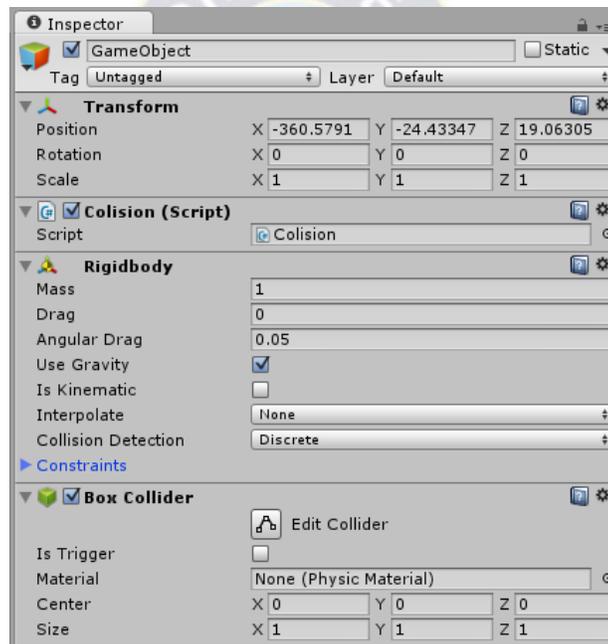


Figura 27. Objeto en modo interfaz con su C# script para colisionar

```

1 using UnityEngine;
2 using System.Collections;
3
4 public class Collision : MonoBehaviour {
5
6     void OnCollisionEnter(Collision collision){
7
8         if (collision.gameObject.name == "Nombre Modelo") {
9             Debug.Log ("Colision Realizada");
10        } else {
11            Debug.Log ("Colision Alternativa");
12        }
13    }
14    void OnCollisionStay(Collision collision){
15        Debug.Log ("Colision Activa");
16    }
17    void OnCollisionExit(Collision collision){
18        Debug.Log ("Colision Concluida");
19    }
20 }

```

Figura 28. C# script para la colisión entre objetos

3.4. ESTABILIZACIÓN

En la presente fase se lleva a cabo la integración de todos los módulos desarrollados en cada iteración y así obtener el sistema de Realidad Aumentada completo, estable y funcional.

Para la integración de la aplicación móvil, se tuvo que conectar el menú con las distintas escenas creadas en el editor Unity. También se hizo una verificación de cada módulo haciendo énfasis en algunos cambios necesarios para su correcto funcionamiento.

Elementos a integrar:

- Interfaz gráfica de usuario realizado en Android Studio.
- Modelos 3D de Blender.
- Marcadores de Vuforia.

3.5. PRUEBAS

Una vez concluido el proceso de desarrollo se tiene como meta obtener una aplicación plenamente funcional para el usuario. Las pruebas realizadas al prototipo son de compatibilidad, funcionalidad y diseño adaptativo, posteriormente se hará un análisis de resultados y su respectiva demostración de hipótesis planteada.

3.5.1. PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD

El objeto de este tipo de prueba es comprobar si el prototipo construido cubre las necesidades de funcionamiento planteados en la fase de exploración acorde a las especificaciones de diseño.

REQUERIMIENTO	CUMPLIMIENTO		RESULTADO	SOLUCIÓN
	si	no		
Para la realidad aumentada, el tutor debe usar marcadores de acuerdo al contenido.	✓		Correcto	Se creo marcadores personales de acuerdo al contenido.
Para la realidad aumentada, el tutor debe ser capaz de reconocer múltiples marcadores en una misma escena por medio de la utilización de la cámara principal del dispositivo móvil.	✓		Correcto	Se adiciona varios marcadores a la escena, posteriormente se configura la cámara de vuforia para permitir el reconocimiento múltiple
Permitir visualizar varios modelos 3D asignado a su respectivo marcador .	✓		Correcto	Asignar modelos 3D a cada marcador personal.
El tutor debe contar con material multimedia inmerso en la Realidad Aumentada.	✓		Correcto	Se uso la escena VideoPlayback, luego se hizo una adecuación.
Tener la capacidad reconocer los objetos 3D en tiempo real	✓		Relativo	Asignación de script a objetos, el cual sera

de tal manera que el modelo sea mostrado y manipulado por el usuario.				manipulado mediante el touch de dispositivo.
---	--	--	--	--

Tabla 12: Resultados de cumplimiento de funcionamiento de requerimientos

3.5.2. PRUEBA DE COMPATIBILIDAD

En las pruebas de compatibilidad se asegura que la aplicación funcione de manera correcta adaptándose a diferentes resoluciones de cada dispositivo móvil así como también a las versiones del sistema operativo.

En las pruebas de compatibilidad se accedió a dispositivos móviles con diferentes características tanto en software como en hardware.

En la tabla 13 se observa los dispositivos en los cuales se probó el prototipo.

Marca	Modelo	Versión Android	Resolución de Pantalla	Dimensión	Cámara Mpx	Memoria Ram
Samsung	S5	5.1.1	1920x1080	5.1 plg	16 MP	2 GB
Sony	z3	4.4.4	1080x1920	5.2 plg	20.7 MP	3 GB
Samsung	s2	2.3	480x800	4.3 plg	8 MP	1 GB

Tabla 13. Características de dispositivos móviles en las que se realizo las pruebas

A continuación se observa la captura de pantalla de aplicación en ejecución en uno de los dispositivos móviles mencionados anteriormente.



Figura 29. Captura de pantalla del menú en dispositivo samsung s5

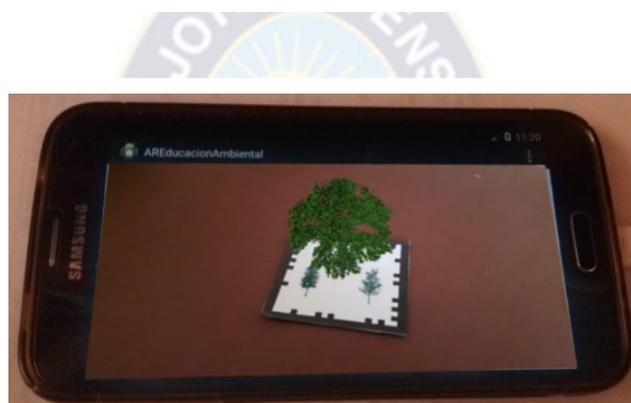


Figura 30. Captura de pantalla de escena en el dispositivo móvil

3.5.3. DISEÑO ADAPTATIVO

El diseño adaptativo busca la correcta visualización de una página en distintos dispositivos con diferentes resoluciones concluido el prototipo se realizó las pruebas en diferentes dispositivos móviles y se tomo en cuenta solo aquellos que son más conocidos en el mercado.

En cuanto a las resoluciones de diferentes dispositivos se probó en dispositivos el emulador de unity mostrando el resultado en la siguiente figura.



HVGA 480X320



WVGA 800X480



HD 1920X1080

Figura 31. Prueba en diferentes resoluciones de pantalla



CAPÍTULO IV

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Una vez concluido el prototipo y considerando la hipótesis planteada en el capítulo I la cual establece “El tutor de Educación Ambiental con realidad aumentada sobre dispositivos móviles contribuirá el aprendizaje, para transmitir mensajes formativos” y tras haber identificado las variables independientes y dependientes se procede a la demostración de la hipótesis.

Para demostrar la validez de la hipótesis se realiza la prueba de hipótesis, para comprobar de forma estadística si se acepta o se rechaza la misma. Para tal efecto se realizó un test a un grupo de estudiantes de primaria con y sin el uso de la aplicación mediante la cual se obtuvo los siguientes datos.

N.º Estudiante	Resultados sin utilizar la aplicación	Resultados haciendo uso de la aplicación
1	75	80
2	60	75
3	85	90
4	75	95
5	45	70
6	95	100
7	70	85
8	65	80
9	50	65
10	80	85
11	90	100
12	60	80
13	50	45

Tabla 14. Evaluación a estudiantes

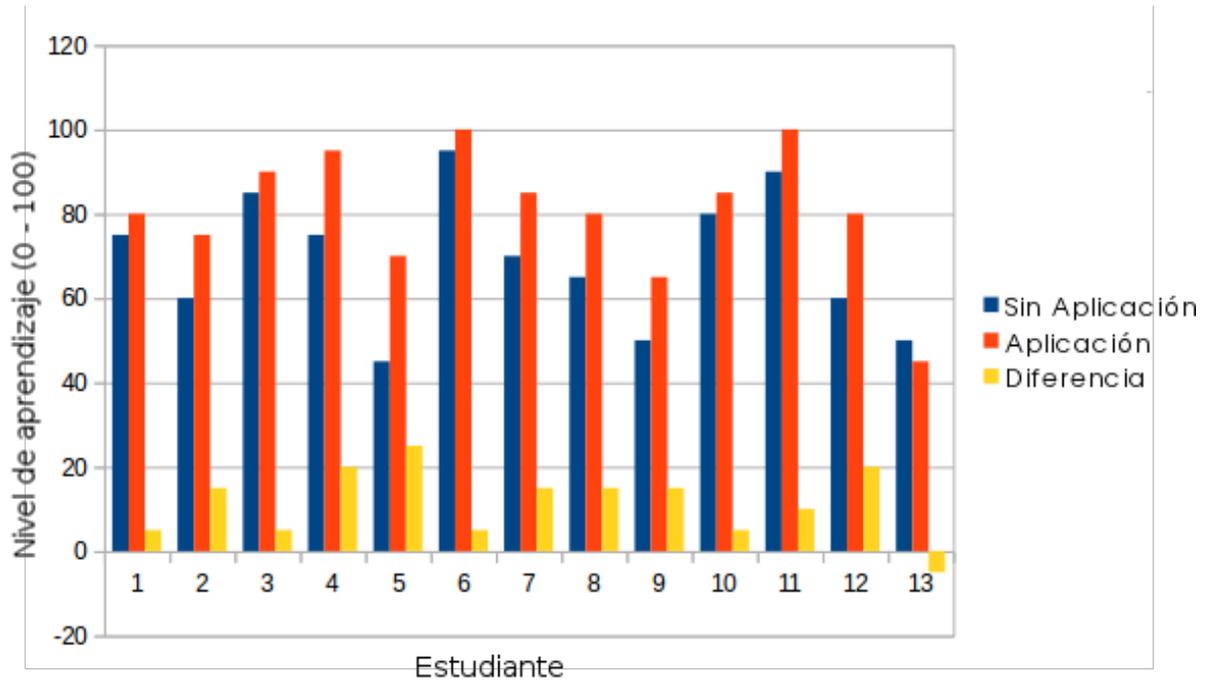


Figura 32. Comparación de datos

Una vez obtenida la muestra, la cual es menor a 30 entonces procedemos a utilizar la distribución t de Student para dos muestras independientes que se basa en el estadístico:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} : Es la media

s^2 : Es la desviación estandar

n : Es el tamaño de la muestra

La media y la desviación estándar se la calcula de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ahora como tenemos dos muestras independientes se procede remplazar datos y se obtiene el siguiente resultado

$$s_1 = \sqrt{\frac{1}{13-1} \cdot 3042,3076923077} \rightarrow s_1 = \sqrt{253,525641026} \rightarrow s_1 = 15,922488531$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{1}{13-1} \cdot 2742,3076923077} \rightarrow s_2 = \sqrt{228,525641026} \rightarrow s_2 = 15,117064564$$

Por otro lado tenemos:

$$\begin{array}{ll} n_1 = 13 & n_2 = 13 \\ \bar{x}_1 = 69,2307692308 & \bar{x}_2 = 80,7692307692 \end{array}$$

Remplazamos datos en la ecuación (1) para obtener t:

$$t = \frac{69,2307692308 - 80,7692307692}{\sqrt{\frac{(13-1)15,922488531^2 + (13-1)15,117064564^2}{13+13-2}} \sqrt{\frac{1}{13} + \frac{1}{13}}} \rightarrow t = -4,831$$

Considerando la hipótesis planteada en capítulo 1 se tiene:

Hipótesis alternativa **H_i** : El tutor de Educación Ambiental con realidad aumentada sobre dispositivos móviles contribuirá el aprendizaje, para transmitir mensajes formativos.

Hipótesis nula **H_o**: El tutor de Educación Ambiental con realidad aumentada sobre dispositivos móviles no contribuirá el aprendizaje, para transmitir mensajes formativos.

Se planteo la hipótesis nula y la hipótesis alternativa para aceptar una y rechazar la otra.

$$H_o : u_1 = u_2$$

$$H_i : u_1 < u_2$$

Determinación de la región crítica

Por tratarse un proyecto de investigación el nivel de significancia normalmente se considera $\alpha = 0.05$ ahora se busca ese valor en la tabla t de student.

$$\begin{aligned}
 & -Z_{1-\alpha} \\
 & -t_{(n_1+n_2-2; 1-\alpha)} \\
 & -t_{(24; 0,95)} \\
 & -1,711
 \end{aligned}$$

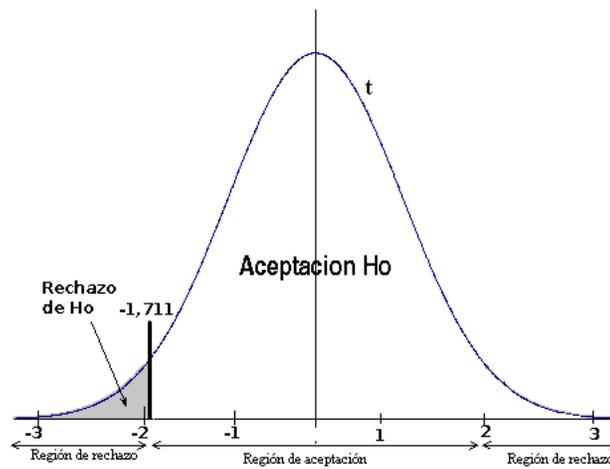


Figura 33. Distribución *t* de student

Toma de decisiones

Tomando en cuenta que el valor $t = -4,831$ pertenece a la región de rechazo es decir $-4,831 < -1,711$ entonces se rechaza la hipótesis nula **Ho** y por consiguiente se acepta la hipótesis alternativa **Hi**.

En conclusión el uso de aplicaciones móviles con tecnología de Realidad Aumentada contribuye al aprendizaje de la Educación Ambiental.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El desarrollo de aplicaciones orientados al aprendizaje con la tecnología emergente realidad aumentada en dispositivos móviles genera un gran aporte a la educación, debido a que se puede mostrar de una forma dinámica los contenidos de temas complejos y abstractos que necesitan de una amplia imaginación para su comprensión.

En la actualidad existen una amplia variedad de herramientas informáticas que permiten la creación de aplicaciones basadas en realidad aumentada, ya sean de licencia de uso gratuito o de pago. La elección de qué herramienta utilizar depende del contexto en donde se utilizará la aplicación. Por tanto, previamente se deben evaluar los objetivos y características de cada herramienta, para así seleccionar la herramienta mas adecuada para nuestro proyecto. Tomando en cuenta que con el paso del tiempo las personas dependen más de las tecnologías de información y comunicación, por lo cual se ve al dispositivo móvil más aun si es inteligente como un recurso muy útil y necesario en el ámbito educativo.

El objetivo general fue cumplido de manera aceptable ya que se desarrollo un prototipo basado en realidad aumentada en dispositivos móviles, además de emplear la metodología de desarrollo Mobile-D la cual es ideal para el desarrollo de aplicaciones móviles.

En cuanto a las herramientas que se utilizo para el desarrollo de la aplicación de Realidad Aumentada bajo plataforma android, se consiguió importar la librería Vuforia para Unity satisfactoriamente, además de diseñar marcadores y crear un almacén de datos con las distintas marcas y adicionarlos al proyecto en Unity 3D y posteriormente integrarlo con Android Studio. En cuanto a la parte de modelos de objetos en tres dimensiones se uso la herramienta de software blender, el mismo posee una gran cantidad de documentación en linea la cual contribuyo en la construcción de modelos en tres dimensiones. Todo el proceso fue cumplido y coadyuvo a la elaboración de escenarios de aprendizaje en el cual se promueve la educación ambiental con el uso de la realidad aumentada.

Por otra parte se realizo test a estudiantes para probar la hipótesis en el cual se a llegado a demostrar que se contribuye al aprendizaje de la educación ambiental mediante realidad aumenta en dispositivos móviles.

5.2. RECOMENDACIONES

Concluido el desarrollo de la aplicación a nivel prototipo se puede formalizar las siguientes recomendaciones:

- Utilizar el área de la inteligencia artificial para crear un tutor inteligente.
- Se recomienda investigar más sobre Realidad aumentada para la creación de aplicaciones altamente interactivas.
- Adicionar más módulos sobre temáticas de Educación ambienta, como por ejemplo un modulo sobre hábitos ecológicos con información sonora, visual y táctil. También emplear la realidad aumentada donde la temática principal sea el cuidado del agua.
- Implementar esta tecnología para más áreas en el ámbito educativo.
- Se recomienda trabajar de manera conjunta con profesionales en el ámbito educativo, para un mejor desarrollo de la aplicación.
- Se recomienda expandir la aplicación para dispositivos móviles con distintas plataformas como ser iOS y Windows Phone.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, D. (2013, 14 de Noviembre). Metodologías ágiles en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles. Estado actual. *Journal Technology*. Recuperado de <http://www.uelbosque.edu.co/>
- Abril, D. (2011). Realidad Aumentada. *Universidad Carlos III de Madrid*. Recuperado de <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/10-11/13mem.pdf>
- Agile Software Technologies Research Programme (2013), *Mobile-D* , Recuperado de <http://agile.vtt.fi/mobiled.html>.
- Agile Software Development Methodologies At Vtt Electronics, (2016). *MOBILE-d*. Recuperado de <http://agile.vtt.fi/mobiled.html>
- Android OS Documentation, (2016). *Android*. Recuperado de <https://media.readthedocs.org/pdf/androidos/latest/androidos.pdf>
- Azuma, R. (1997). *A Survey of Augmented Reality. Presence Teleoperators and Virtual Environments*.
- Buitrago, R. (2013, marzo). Realidad aumentada con fines educativos. *Escuela Coombiana de Carreras Industriales. ECCI Vol. 2 No. 3*. Recuperado de <http://revistasdm.ecci.edu.co/index.php/IngECCI/article/viewFile/12/13>
- Blender, (2016). Blender web site. Recuperado de <https://download.blender.org/institute/logos/blender-plain.png>
- Blanco, P., Camarero, J., Fumero, A., Werterski, A. y Rodríguez, P. (2009). *Metodología de desarrollo ágil para sistemas móviles Introducción al desarrollo con Android y el iPhone*. Recuperado de http://www.adamwesterski.com/wp-content/files/docsCursos/Agile_doc_TemasAnv.pdf
- Cawood S., Fiala M., (2008), *Augmented Reality: A practical guide*.
- Cobo, E. (2013). *Diseño e Integración en Android de un Sistema de Realidad Aumentada y Reconocimiento de Imágenes para un Sistema de Domótica Asistencial*. Proyecto De Fin De Carrera. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.
- Cuadrado, E. (2014). *Desarrollo Y Plan De Negocio De Un Videojuego Multiplataforma Para Dispositivos Móviles (ICAI JUMP)*. Proyecto De Fin De Carrera. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- El mapa de la Colonización Mobile de Latinoamérica 2013*, (2013). Recuperado de <http://guialocal.com/blog/es/2013/12/17/el-mapa-de-la-colonizacion-mobile-de-latinoamerica-2013/>

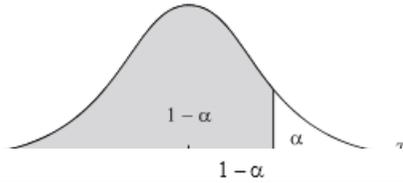
- González, C., Vallejo, D., Albusac, J. y Castro, J. (2012). *Realidad Aumentada un Enfoque Práctico con ARToolKIT y Blender*. Recuperado de http://www.librorealidadaugmentada.com/descargas/Realidad_Aumentada_1a_Edicion.pdf
- González, S. (2002). *Sistemas Inteligentes En La Educación: Una Revisión De Las Líneas De Investigación Y Aplicaciones Actuales*. Recuperado de http://www.uv.es/RELIEVE/v10n1/RELIEVEv10n1_1.pdf
- Glosario E.A, ONU, (2012). *Glosario de Estadísticas del Medio Ambiente de las Naciones Unidas*. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/BibliolNEIPub/BancoPub/Est/Lib1037/cap11.pdf>
- Lymberopoulos, D, Zhao, P., König, A., Berberich, K. y Liu, J. (2011). *Location-aware click prediction in mobile local search*. Recuperado de https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/CIKM_LocalSearch.pdf
- López, H. (2010). *Análisis y Desarrollo de Sistemas de Realidad Aumentada*, Master Thesis. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Milgram, P. y Kishino, A. (1994). *Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. IEICE Transactions on Information and Systems.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013). *Estrategia De Educación Ambiental Para La Gestión Integral De Recursos Hídricos*. Recuperado de http://www.cuencasbolivia.org/files/estrategia_de_educacion_ambiental_para_la_gestion_integral_de_recursos_hidricos_ver_01.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (2012), *Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Recuperado de <http://www.mmaya.gob.bo/redcompostaje/files/biblioteca/04%20GUIAS%20MANUALES/202%20Gu%C3%ADa%20de%20Educaci%C3%B3n%20Ambiental%20en%20la%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos.pdf>
- Monal, J. G. (2012). *La Gestión Ambiental Apoyada Por Realidad Aumentada, Para El Desarrollo Del Pensamiento Social En Estudiantes Del Grado Noveno*, Tesis De Maestría. Universidad Tecnológica De Pereira, Pereira, Colombia.
- O. Bimber, R. Rakar (2005), *Spatial Augmented Reality. Merging Real and Virtual Worlds*.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2011). *Tras las huellas del cambio climático en Bolivia*. Recuperado de <http://www.undp.org/content/dam/bolivia/docs/Tras-las-huellas-del-Cambio-Climatico-en-Bolivia.pdf>

- Roosendaal, T., Selleri, S. (2005). *The Official Blender 2.3 Guide: Free 3D Creation Suite for Modeling, Animation and Rendering*. (3ª Ed.). California, EE.UU.: No Starch Press.
- Reboratti, C. (2000), Ambiente y sociedad. Conceptos y relaciones. Recuperado de http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/231/Reboratti_AMBIENTE_SOCIEDAD.pdf
- Developer Android, (2016). *Android Studio web site.*, Recuperado de <https://developer.android.com/studio/intro/index.html?hl=es-419>
- Roca, A. (2014). *Controlador de Dispositivos por Reconocimiento de Voz (CDRV)*. Universitat Politècnica de Barcelona, Barcelona España.
- Román, A. (2011). Diseño y fase de testing de un videojuego en Blender. Recuperado de http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/15010/PFC_Ana_Roman_Rodriguez.pdf?sequence=1
- Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2015). *El medio ambiente*. Recuperado de http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/ciencias/medio_ambiente
- Sánchez, V. (1982). *El Medio Ambiente En Mexico: Temas, Problemas Y Alternativas*. México, Fondo de Cultura Económica; Dimensión ambiental y ciencias sociales.
- Serrano, A. (2012). *Herramientas de desarrollo libres para aplicaciones de Realidad Aumentada con Android. Análisis comparativo entre ellas*, Trabajo fin de Máster. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Siñani, R. (2009). *Aula Virtual Para El Auto Aprendizaje De Las Normas Del Medio Ambiente*, Tesis De Grado. UMSA, La Paz, Bolivia.
- Unity, (2016). *Unity web site.*, Recuperado de <https://unity3d.com/profiles/unity3d/themes/unity/images/company/brand/logos/primary/unity-logo.png>
- Vuforia, (2015). *Vuforia web site*. Recuperado de <https://developer.vuforia.com/>
- Wagner D., Schmalstieg D. (2007). *ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices*, Graz Technical University. Computer Vision Winter Workshop, St. Lambrecht, Austria

ANEXO A

TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN *t*-Student

La tabla da áreas $1 - \alpha$ y valores $c = t_{1-\alpha, r}$, donde, r y donde $P = [T \leq c] = 1 - \alpha$ T tiene distribución *t*-Student con r grados de libertad.



r	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

DOCUMENTACIÓN

