

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales

## **MODELAMIENTO CON OBJETOS 3D DE LOS RECURSOS LACUSTRES DE LA PROVINCIA DE IMBABURA QUE PERMITA ASOCIARLOS MEDIANTE MARCAS PARA LA VISUALIZACIÓN EN LAS HERRAMIENTAS DE REALIDAD AUMENTADA A TRAVÉS DE UN APLICATIVO MÓVIL**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas  
Computacionales

Autor:

Alexander Santiago Lomas Almeida

Director:

Msc. Carpio Agapito Pineda Manosalvas

Ibarra- Ecuador

2018



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN Y USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100309163-2		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Lomas Almeida Alexander Santiago		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Atuntaqui – Juan de Velasco y Rocafuerte		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:aslomasa@utn.edu.ec">aslomasa@utn.edu.ec</a>		
<b>TELEFONO FIJO:</b>	----	<b>TELEFONO MÓVIL:</b>	0990554700

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	MODELAMIENTO CON OBJETOS 3D DE LOS RECURSOS LACUSTRES DE LA PROVINCIA DE IMBABURA QUE PERMITA ASOCIARLOS MEDIANTE MARCAS PARA LA VISUALIZACIÓN EN LAS HERRAMIENTAS DE REALIDAD AUMENTADA A TRAVÉS DE UN APLICATIVO MÓVIL.
<b>AUTOR (ES):</b>	Lomas Almeida Alexander Santiago
<b>FECHA:</b>	22-11-2018

<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSTGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Sistemas Computacionales
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Msc. Carpio Pineda

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de noviembre de 2018.

EL AUTOR:



(Firma).....

Nombre: Alexander Santiago Lomas Almeida

Cédula: 100309163-2

## CERTIFICACIÓN DIRECTOR

Ibarra, 22 de noviembre de 2018

### CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente yo Carpio Pineda certifico que el Sr. Alexander Santiago Lomas Almeida con CI Nro. 100309163-2-1 ha trabajado en el desarrollo del trabajo de grado **“MODELAMIENTO CON OBJETOS 3D DE LOS RECURSOS LACUSTRES DE LA PROVINCIA DE IMBABURA QUE PERMITA ASOCIARLOS MEDIANTE MARCAS PARA LA VISUALIZACIÓN EN LAS HERRAMIENTAS DE REALIDAD AUMENTADA A TRAVÉS DE UN APLICATIVO MÓVIL”**, previo a la obtención del título de ingeniero en sistemas computacionales, realizándolo en su totalidad con interés profesional y responsabilidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



Msc. Carpio Pineda

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado principalmente a mis padres que fueron uno de los pilares fundamentales durante toda mi carrera.

A mi hermano Edison que nunca dejó de apoyarme para que el cumplimiento de este objetivo se hiciera realidad.

A mi novia Gaby Carrión que estuvo a mi lado y me apoyo en cada paso que di durante mi vida universitaria.

Al resto de mi familia que siempre estuvieron para brindar una palabra de aliento en los momentos más difíciles.

*Santiago Lomas Almeida*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera muy especial a Dios, a mis padres, mi hermano y a la distinguida Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de prepararme profesionalmente y desarrollarme como persona en sus aulas día a día.

Mi agradecimiento más sincero al Magister Carpio Pineda director de tesis, por sus recomendaciones acertadas durante todo el proceso de desarrollo del proyecto que ahora concluyen en este documento.

*Santiago Lomas Almeida*

## Tabla de contenido

<b>AUTORIZACIÓN Y USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....</b>	<b>2</b>
<b>CERTIFICACIÓN DIRECTOR .....</b>	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>14</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
Tema.....	16
Problema.....	16
Objetivos.....	17
Alcance.....	17
Arquitectura.....	18
Justificación .....	19
Contexto.....	20
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>21</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>21</b>
1.1. Introducción General .....	21
1.2. Objetos 3D.....	21
1.3. Modelado 3D .....	22
1.4. Realidad Aumentada .....	26
1.5. Herramientas de Realidad Aumentada.....	27
1.5.1. Vuforia .....	29

1.6.	Recursos Lacustres .....	30
<b>CAPÍTULO 2.....</b>		<b>35</b>
<b>Elaboración del Aplicativo .....</b>		<b>35</b>
2.1.	Elaboración de modelos 3D de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura .....	35
2.2.	Creación de marcadores .....	40
2.3.	Configuración y desarrollo de la realidad aumentada.....	41
2.4.	Asociación de objetos 3D a Marcadores .....	43
2.5.	Diseño de la interfaz de usuario .....	45
2.6.	Elaboración del aplicativo móvil.....	47
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>53</b>
<b>Verificación.....</b>		<b>53</b>
3.1.	Pruebas de funcionamiento .....	53
3.2.	Pruebas de Integración.....	75
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>83</b>
Análisis de Impactos .....		83
Tecnológico.....		83
Social.....		84
Ambiental .....		84
Económico .....		85
Conclusiones .....		86
Recomendaciones .....		87
<b>Referencias.....</b>		<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>90</b>
Manual de instalación Unity .....		90
Manual de Instalación y configuración Vuforia.....		94
Manual de instalación y configuración de Maya.....		98

Manual Firebase .....	102
Manual de usuario del aplicativo.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de Problema .....	17
Figura 2. Funcionamiento del aplicativo.....	18
Figura 3. Arquitectura del Aplicativo basado en Vuforia.....	19
Figura 4. Vistas o planos de la visión en 3D .....	22
Figura 5. Modelado Poligonal .....	24
Figura 6. Paleta de Herramientas para Esculpir Maya.....	26
Figura 7. Construcción del Plano de modelo 3D.....	35
Figura 8. Configuración de subdivisiones .....	36
Figura 9. Mapa en escala de grises.....	37
Figura 10. Displacement Lago Cuicocha .....	37
Figura 11. Sculpt Tool Maya 2018 .....	38
Figura 12. Configuración de displacement del lago Cuicocha.....	38
Figura 13. Modelo 3D de la laguna de Cuicocha .....	39
Figura 14. Plantilla de Marcador .....	40
Figura 15. Marcadores Creados sobre las lagunas .....	40
Figura 16. Tipos de Base Vuforia .....	41
Figura 17. Añadir Objeto 3D .....	42
Figura 18. VuMarks .....	42
Figura 19. Marcadores cargados en Vuforia.....	43
Figura 20. Pantalla de Creación de Proyecto Unity.....	43
Figura 21. Selección de Cámara de AR.....	44
Figura 22. Añadir una Image Target .....	44
Figura 23. Colocación de un Marcador sobre un Image Target .....	45
Figura 24. Importación de modelos 3D a espacio de trabajo de Unity .....	45
Figura 25. Pantalla inicial del aplicativo Imbalake 3D .....	46
Figura 26. Pantalla de menú sobre la laguna de Mojanda .....	46
Figura 27. Pantalla de realidad aumentada .....	47
Figura 28. Ventana de configuración de preferencias de Unity.....	48
Figura 29. Ventana de configuración para la construcción del aplicativo .....	48
Figura 30. Ventana Player Settings .....	49
Figura 31. Configuración de Resolución.....	49
Figura 32. Configuración de Iconos .....	50
Figura 33. Configuración de Splash.....	50
Figura 34. Configuraciones adicionales de Android.....	51
Figura 35. Ajustes de Publicación del APK.....	51

Figura 36. Configuración de Realidad Aumentada .....	51
Figura 37. Tools Firebase.....	54
Figura 38. Dispositivos Físicos de Google Firebase .....	55
Figura 39. Dispositivos Virtuales de Google Firebase.....	56
Figura 40: Rendimiento Dispositivo LG K4 .....	57
Figura 41: Rendimiento Dispositivo Pixel 2.....	58
Figura 42: Rendimiento Dispositivo Samsung J2 Prime .....	58
Figura 43: Rendimiento Dispositivo Nexus 6 .....	59
Figura 44: Rendimiento Dispositivo Pixel.....	60
Figura 45: Rendimiento Dispositivo Nexus 7 .....	60
Figura 46: Rendimiento Dispositivo Moto G Play.....	61
Figura 47: Rendimiento Dispositivo LG G6.....	62
Figura 48: Rendimiento Dispositivo Huawei Mate 9.....	63
Figura 49: Rendimiento Dispositivo Samsung Galaxy S9 .....	63
Figura 50: Rendimiento Dispositivo Huawei P8 Lite.....	64
Figura 51: Rendimiento Dispositivo Sony Xperia Z2.....	65
Figura 52: Rendimiento Dispositivo Razer Phone.....	65
Figura 53: Rendimiento Dispositivo Moto G4.....	66
Figura 54: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 02-08-2018.....	68
Figura 55: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 03-08-2018.....	68
Figura 56: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 05-08-2018.....	69
Figura 57: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 02-08-2018.....	69
Figura 58: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 03-08-2018.....	70
Figura 59: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 05-08-2018.....	70
Figura 60: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 02-08-2018 .....	71
Figura 61: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 03-08-2018 .....	71
Figura 62: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 05-08-2018.....	71
Figura 63: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 02-08-2018.....	72
Figura 64: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 03-08-2018.....	72
Figura 65: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 05-08-2018.....	73
Figura 66: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 02-08-2018.....	73
Figura 67: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 03-08-2018.....	74
Figura 68: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 05-08-2018.....	74
Figura 69: Información del marcador para la base de datos de Vuforia .....	76
Figura 70: Objetos 3D integrados en Unity .....	76
Figura 71: Fotografías integradas en Unity.....	77
Figura 72: Videos integrados en Unity.....	77

Figura 73: Imágenes integradas en Unity .....	78
Figura 74: Audios integrados en Unity .....	78
Figura 75: Texturas integradas en Unity .....	79
Figura 76: Configuración de las escenas en unity .....	79
Figura 77: Configuración del canvas .....	80
Figura 78: Tipografías añadidas en Unity .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicativos de Realidad Aumentada.....	28
Tabla 2. Flora y Fauna Laguna San Pablo .....	31
Tabla 3. Flora y Fauna Laguna Yahuarcocha.....	31
Tabla 4. Flora y Fauna Laguna Cuicocha .....	32
Tabla 5. Flora y Fauna Laguna Puruhanta .....	33
Tabla 6. Flora y Fauna Laguna Mojanda .....	34
Tabla 7. Tipos de Dato Maya 2018.....	39
Tabla 8. Dispositivos utilizados para primera fase de test.....	56
Tabla 9. Dispositivos utilizados para segunda fase de test.....	67
Tabla 10. Pruebas diarias Moto G Play .....	68
Tabla 11. Pruebas diarias Razer Phone .....	69
Tabla 12. Pruebas diarias Xperia Z3 .....	70
Tabla 13 . Pruebas diarias Galaxy S7.....	72
Tabla 14 . Pruebas diarias Pixel 2 .....	73
Tabla 15. Tabla de definición de variables y valores para impacto .....	83

## Resumen

El presente documento se encuentra conformado por tres capítulos, en el cual se detalla todo el proceso para realizar el Trabajo de Grado: “MODELAMIENTO CON OBJETOS 3D DE LOS RECURSOS LACUSTRES DE LA PROVINCIA DE IMBABURA QUE PERMITA ASOCIARLOS MEDIANTE MARCAS PARA LA VISUALIZACIÓN EN LAS HERRAMIENTAS DE REALIDAD AUMENTADA A TRAVÉS DE UN APLICATIVO MÓVIL”.

En la parte de la Introducción se define el problema, objetivo general y objetivos específicos. Además, se incluye la arquitectura de la aplicación, el alcance que va a tener la aplicación desarrollada, así como la justificación de la realización de la misma.

En el Capítulo 1, se presenta todo el marco teórico, se describen temas como lo que son objetos y modelado 3D, introducción a la realidad aumentada y las diferentes herramientas para la aplicación de esta tecnología. También se describe la herramienta Vuforia que es la que se utilizó para el desarrollo de la aplicación ImbaLake3D, y otros temas que respaldan de forma teórica el Trabajo de Grado.

En el Capítulo 2, se detalla todo el proceso que se realizó para desarrollar la aplicación móvil, desde el modelado de los objetos 3D de las cinco lagunas de la provincia de Imbabura, la creación de los marcadores, la configuración y aplicación de la realidad aumentada, hasta el diseño de la interfaz de usuario final.

En el Capítulo 3, se muestra las pruebas de funcionamiento de la aplicación, y adicionalmente las pruebas de integración de todos los elementos que se utilizaron en el desarrollo de la misma.

## Abstract

This document which goes by the name of: "MODELING WITH 3D OBJECTS OF LACUSTRINE RESOURCES IN THE PROVINCE OF IMBABURA TO ASSOCIATE THEM THROUGH BRANDS FOR THE VISUALIZATION IN THE TOOLS OF INCREASED REALITY WITH A MOBILE APP " is composed of three chapters. In the first Chapter is presented the theoretical framework, with topics such as what are objects and 3D modelling, introduction to augmented reality and different tools for the application of this technology are described. It is also described the Vuforia tool that is the one used for the development of the ImbaLake3D app. In the second Chapter is detailed the entire process that was carried out to develop the mobile app, from the modelling of the 3D objects of the five lagoons in the province of Imbabura, the creation of markers, the configuration and application of augmented reality, until the final design of the user interface. In Chapter 3, it is shown how the app works, and additionally the integration tests of all the elements that were used in the development of the same.

Victor Rodriguez  
1715496119  
Rui B...



# INTRODUCCIÓN

## **Tema**

Modelamiento con objetos 3D de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura que permita asociarlos mediante marcas para la visualización en las herramientas de realidad aumentada a través de un aplicativo móvil.

## **Problema**

La realidad aumentada (RA) es una tecnología nueva que se encuentra en auge, por lo que varias empresas han desarrollado una serie de herramientas y librerías las cuales permiten crear aplicaciones RA, las más comunes están encaminadas a actividades lúdicas, la medicina y el turismo. Además, es adaptable a distintas plataformas móviles como Android, IOS, Windows Phone, así como también para escritorio y consolas de video juegos.

Gracias a la evolución tan acelerada de la tecnología, el modelado 3D permite realizar una representación digitalizada de objetos del entorno mediante una herramienta RA, por lo que éstos se convierten en las piezas fundamentales para la elaboración de este tipo de proyectos; sin embargo, este tema muy poco ha sido investigado, especialmente la integración de la tecnología RA con el modelamiento 3D.

En Imbabura también conocida como la provincia de los lagos no se puede evidenciar interés por parte de las autoridades encargadas del ámbito de turismo sobre el uso de esta nueva tecnología. En la actualidad existen diversas herramientas y software que permiten dar un enfoque distinto a esta área generadora de recursos, pero en referencia a esto no se ha hecho nada; y sin el desarrollo adecuado de modelos en tercera dimensión de las lagunas no es posible implementar una aplicación de realidad aumentada para promocionar estos íconos lacustres.

La visión a futuro de este proyecto es que la aplicación se propague no solo a nivel del Ecuador sino a nivel mundial, lo cual permitirá posicionar a Imbabura como un referente en innovación turística en el país, mediante la aplicación de una tecnología novedosa y de vanguardia, además de crear una cultura de investigación, inspirar al descubrimiento de la tecnología de modelado 3D, así como la implementación de estos recursos para el manejo de realidad aumentada.

Acorde a los antecedentes expuestos se ha podido llegar a la conclusión de que el problema a investigar representa: "la limitada existencia de objetos 3D de los recursos

lacustres en la provincia de Imbabura para promocionar el turismo local”, aspecto que se desarrolla con mayor amplitud con el análisis de causas y efectos, que se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Árbol de Problema

## Objetivos

### Objetivo General

Modelar objetos 3D de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura para asociarlos mediante marcas a su visualización en herramientas de realidad aumentada.

### Objetivos Específicos

- Elaborar un constructo teórico sobre las plataformas que permitan manejar objetos 3D.
- Crear el objeto 3D de un recurso lacustre de la provincia de Imbabura.
- Desarrollar una aplicación que vincule los objetos 3D sobre una herramienta de RA.

### Alcance

Este proyecto se centra en la creación de un sistema informático que permita el consumo y visualización de objetos 3D, que serán diseñados basándose en los recursos lacustres de la provincia de Imbabura.

Inicialmente se realizará un análisis de la herramienta Unity 3D específicamente para el modelado 3D y la herramienta Vuforia para la implementación de la realidad aumentada.

A continuación, se realizará el modelado de los objetos 3D en la herramienta mencionada en el punto anterior, a dichos objetos 3D se los asociará a marcadores para posteriormente ser utilizados por las herramientas de realidad aumentada.

En tercer lugar, se procederá al desarrollo de un aplicativo móvil el cual por medio de marcadores permita la visualización de los objetos 3D, el aplicativo además de permitir visualizar como objetos 3D las lagunas de Imbabura proveerá de información adicional.

Para la implementación de realidad aumentada en el presente aplicativo se lo realizará bajo el concepto de Realidad Aumentada basada en marcadores.

Este aplicativo será desarrollado en el lenguaje Java con funcionalidad sobre la plataforma Android dando como resultado final un aplicativo que integre los modelos en 3D de los recursos lacustres con los marcadores para su posterior visualización mediante el aplicativo móvil.

### **Funcionamiento**

El funcionamiento del aplicativo es relativamente sencillo, el usuario mediante un dispositivo móvil en el que fue previamente instalada la aplicación de realidad aumentada, realiza la lectura de un marcador, con lo cual visualizará el objeto 3D como se muestra en la Figura 2.

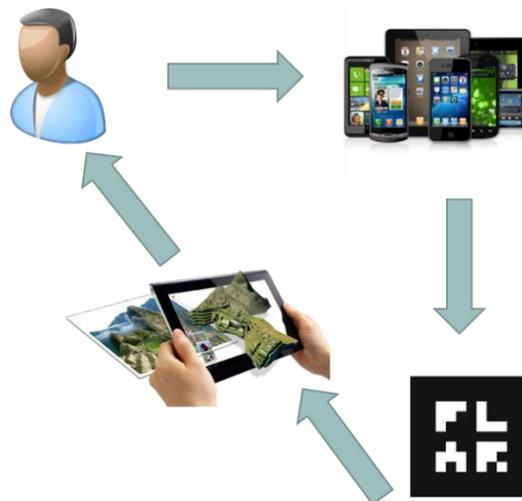


Figura 2. Funcionamiento del aplicativo

### **Arquitectura**

El aplicativo se desarrolla bajo la arquitectura de Vuforia, la cual maneja una base de datos que posee un target manager que contiene las imágenes targets y éstas serán asociadas a modelos 3D mediante software. El desarrollador se debe centrar en la elaboración del aplicativo y la creación de la base de datos de Vuforia, dado que el



## **Contexto**

Dentro de la Universidad Técnica del Norte y en la provincia de Imbabura no se ha encontrado evidencia de modelado en 3D de los recursos lacustres para la aplicación en realidad aumentada; sin embargo, existen estudios relacionados con tecnologías similares como son la realidad virtual y algunos trabajos de titulación en los cuales se manejan referencias a la realidad aumentada como los propuestos por:

Salazar Muñoz, Luis (2017) “Construcción de una aplicación de componentes electrónicos básicos utilizando la realidad aumentada para las niñas, niños y jóvenes de la zona 1 del Ecuador”

Garrido Sánchez, José Fernando (2013). Metodología para escenarios virtuales con VRML. “Laboratorio virtual de la FICA”

Acosta Rúales, Erika (2013) “Análisis de estudio de mundos virtuales 3D aplicados a la educación. Aplicativo: implementación y desarrollo de un Campus Virtual 3D para la asignatura de Realidad Nacional de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.”

Una de las grandes diferencias de la presente investigación con las realizadas previamente recae en que ninguna de éstas implica el modelado de objetos 3D ni marcadores para asociar dichos objetos en herramientas de realidad aumentada, además que el aplicativo tendrá un enfoque turístico al dar un realce a los recursos lacustres de la provincia de Imbabura.

# CAPÍTULO 1

## Marco Teórico

### 1.1. Introducción General

Con el paso del tiempo y a medida que la tecnología avanza de forma acelerada, la humanidad cada día se vuelve más dependiente de este y atado al mundo tecnológico, es así que, en esta era digital, todo niño, joven y adolescente han crecido con un dispositivo electrónico en sus manos ya sea este un teléfono inteligente, una tablet, una consola de videojuegos y todos estos conectados a internet. Por ello la población joven e incluso la adulta no nativa digital tienen elevado interés en la incursión de innovaciones relacionadas con temas como la educación, cultura, arte y entretenimiento.

El desarrollo de aplicativos compatibles con sistemas operativos móviles como: Android, IOS, Windows Phone, entre otros, puede favorecer el interés y aprendizaje de contenido didáctico con un sinnúmero de temáticas y en el caso del presente trabajo, el ámbito turístico de la provincia de Imbabura empleando nueva tecnología como lo es la realidad aumentada.

### 1.2. Objetos 3D

Como las pantallas de la computadora son esencialmente bidimensionales, los gráficos 3D solo son ilusiones ópticas en 2D que engañan al cerebro para hacerle pensar que se está viendo un objeto en 3D. (Collingridge, s.f.)

Un objeto en 3D puede ser observado desde cualquier ángulo a lo largo del tiempo, tanto en el dibujo técnico como para la arquitectura se han establecido 6 vistas estándar las cuales corresponden a 6 direcciones ortogonales las cuales son: Top, Bottom, Right, Left, Front y Back, como se puede ver en la Figura 4.

Para la creación de un objeto en 3D se debe conocer a detalle las 6 vistas del objeto que se desea representar en tres dimensiones.

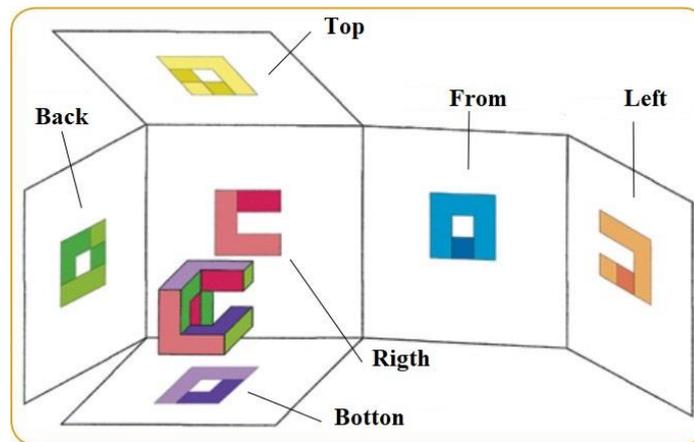


Figura 4. Vistas o planos de la visión en 3D  
Fuente: (BlinkLearning, s.f.)

### 1.3. Modelado 3D

El modelado en tres dimensiones es conocido por varios autores de libros y artículos como la representación matemática de cualquier objeto tridimensional mediante la utilización de un software especializado en esta área, al resultado obtenido de este proceso se lo conoce como un modelo 3D.

Se puede visualizar como una imagen bidimensional mediante un proceso llamado renderizado 3D o utilizar una simulación por computadora de fenómenos físicos. El modelo también se puede crear físicamente usando dispositivos de impresión 3D. Los modelos pueden ser creados automática o manualmente. El proceso manual de preparar la información geométrica para los gráficos 3D es similar al de las artes plásticas y la escultura. (Espinosa, 2015)

Otros autores como Hareh Khemani lo definen como:

El modelado de sólidos es el método más avanzado de modelado geométrico en tres dimensiones. El modelado sólido es la representación de las partes sólidas del objeto en su computadora. El modelo geométrico típico está hecho de marcos de alambre que muestran el objeto en forma de cables. Esta estructura metálica puede ser bidimensional y semidimensional o tridimensional. Proporcionar una representación de la superficie de las vistas tridimensionales de los modelos geométricos hace que el objeto parezca sólido en la pantalla de la computadora y esto es lo que se llama modelado de sólidos. (Khemani & Stonecypher, 2008)

Para realizar el modelado de un objeto en tres dimensiones existen un sinnúmero de procesos o pasos a seguir, esto también depende de la herramienta con la cual se esté trabajando ya que de esta depende que tan fácil o complicado se realice el modelado, sin

embargo, como un proceso general a seguir independientemente de la herramienta es el modelado poligonal.

Maya es una herramienta que permite modelar, animar y renderizar objetos tridimensionales muy completo, su interfaz gráfica y las avanzadas herramientas de diseño y edición lo convierten en uno de los programas más utilizados en todo el mundo por profesionales del desarrollo de juegos y de la creación de contenidos para la televisión y cine. Con éste programa es posible crear objetos en 2D Y 3D, incluso manipularlos hasta convertirlos en objetos mucho más concretos como por ejemplo: casa, coches, vajillas etc. (Urdaneta, 2016). Entre sus características se tiene que este software trabaja con cualquier tipo de superficie NURBS, polígonos y subdivisión de superficies, e incluye la posibilidad de convertir entre todos los tipos de geometría. Así como el software 3ds Max trabaja a base de polígonos cuyos componentes básicos son: Caras, aristas y vértices. El espacio de trabajo de Maya es tridimensional, es muy similar al de 3ds Max, este espacio está definido por un sistema cartesiano de tres ejes: X, Y, Z. El punto donde salen las líneas virtuales que definen los ejes se llama origen y sus coordenadas son (0, 0, 0). En este espacio virtual se crean, modifican y disponen los diferentes objetos tridimensionales que van a componer la escena. (Arquiénpolis, 2018)

### **Modelado poligonal**

Los polígonos en la actualidad se han convertido en la base de muchos de los modelos tridimensionales y son usados ampliamente en el desarrollo de contenido 3D para efectos animados, películas, videojuegos y más aplicaciones en internet. Los polígonos son Figuras geométricas con vértices, bordes y caras los cuales se utilizan para la creación de modelos en tres dimensiones.

En general el concepto de polígonos maneja la siguiente terminología: Los polígonos son formas de tres o más lados rectos, definidos por puntos tridimensionales denominados vértices y las líneas rectas que los conectan se las conoce como bordes. La región interior del polígono se llama cara. Los vértices, los bordes y las caras son los componentes básicos de los polígonos.

Cuando se modela con polígonos, usualmente se usan los de tres lados llamados triángulos o de cuatro lados llamados cuadriláteros. Una de las ventajas de la herramienta Maya es que admite la creación de polígonos con más de cuatro lados, aunque estos últimos no son tan comúnmente utilizados para el modelado.

En Maya a un polígono individual se le denomina cara y se define como el área delimitada por tres o más vértices y sus bordes asociados. Cuando muchas caras se conectan entre sí, crean una red de caras llamada malla poligonal como se detalla en la Figura 5. Para un modelado a gran escala se deben crear los modelos poligonales 3D usando mallas poligonales para lo cual existe una variedad de técnicas.

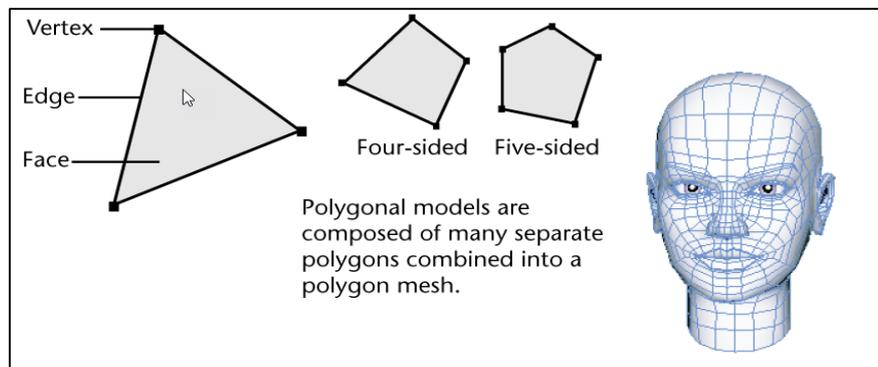


Figura 5. Modelado Poligonal  
Fuente: (MAYA, s.f.)

## Modelado NURBS

Non-Uniform Rational B-Splines o también denominado NURBS proporciona un marco de modelado 3D basado en primitivas geométricas y curvas dibujadas. Se puede usar NURBS de dos maneras: para construir modelos 3D a partir de primitivas NURBS y crear curvas NURBS que definan el contorno básico de la forma 3D que se desea construir, para luego usar las curvas como base para construir superficies NURBS.

- Las primitivas son objetos 3D simples creados a base de formas geométricas comunes, como cubos, esferas, conos; y pueden ser un excelente punto de partida para muchas formas 3D, ya que éstas permiten editar sus atributos para modificar su forma. También se puede modificar las primitivas recortando porciones de sus formas, biselando sus bordes o esculpiéndolas de diferentes formas usando herramientas de escultura.

Para construir o modificar curvas y superficies NURBS:

- Se puede dibujar curvas colocando vértices de control o editando puntos.
- Las opciones para crear y editar curvas NURBS y superficies NURBS se encuentran en el conjunto de menú Modelado.
- También se puede encontrar opciones NURBS en el estante Curves / Surfaces.

## **Modelado UVs**

Los UVs son coordenadas de textura bidimensionales los cuales contienen la información del componente de vértice para mallas de superficie poligonal y de subdivisión.

Los UV tienen como propósito definir un sistema de coordenadas de textura bidimensional, llamado espacio de textura UV. Estos usan las letras U y V para indicar los ejes en 2D. El espacio de texturas UV facilita la colocación de mapas de texturas de imágenes en una superficie 3D.

Los rayos UV son esenciales ya que proporcionan la conexión entre la malla de la superficie y la forma en que se mapea la textura de la imagen. Es decir, los rayos UV actúan como puntos marcadores que controlan qué puntos en el mapa de textura corresponden a puntos específicos en la malla. Las texturas aplicadas a superficies de polígono o subdivisión que no poseen coordenadas de textura UV no se procesarán.

Aunque Maya crea UV por defecto para muchos tipos primitivos, se deberá reorganizar los UV en la mayoría de los casos, ya que la disposición predeterminada generalmente no coincidirá con ninguna edición posterior del modelo que se pueda realizar. Además, la ubicación de las coordenadas de textura UV no se actualiza automáticamente cuando edita una malla de superficie.

En la mayoría de los casos mapea y organiza los rayos UV una vez que se ha completado el modelado, pero antes de asignarle texturas al modelo. De lo contrario, cambiar el modelo creará una falta de coincidencia entre el modelo y los UV y afectará la forma en que aparecen las texturas en el modelo.

Comprender el concepto de UV y cómo asignarlos a una superficie para luego exponerlos con precisión es esencial al producir texturas en superficies poligonales y de subdivisión cuando se trabaja en Maya. Esto también es importante cuando se necesita pintar texturas, piel o cabello en un modelo 3D.

## **Esculpir**

Dentro de Maya existe la posibilidad de esculpir superficies 3D virtuales como si tallara objetos 3D reales de arcilla u otros materiales de modelado. En lugar de usar arcilla, las superficies 3D virtuales se construyen usando polígonos. Es recomendable usar una tableta gráfica para aprovechar al máximo las características de esculpido de Maya; sin embargo, aún se puede esculpir usando un mouse estándar de tres botones.

## Esculpiendo un modelo de polígono

Se puede esculpir un modelo poligonal con herramientas del estante Sculpting como se muestra en la Figura 6 las cuales son de fácil acceso y se encuentran en el menú principal de Maya.

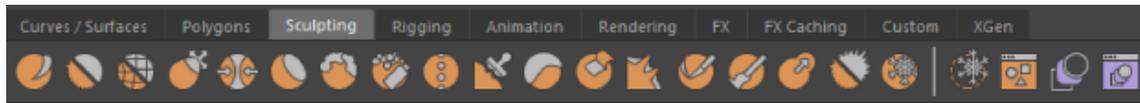


Figura 6. Paleta de Herramientas para Esculpir Maya

Al seleccionar una herramienta de escultura y colocar el cursor sobre una región del modelo se reposicionan los vértices en esa área, cambiando su forma 3D. Cuando los vértices se cambian de posición, también las caras poligonales asociadas con ellos se modifican. Dado que las caras poligonales reflejan la luz, el color y la información de sombreado en el ojo, esto cambia la forma en que aparece el objeto 3D.

La densidad de los vértices y caras en un modelo poligonal determina cuánto detalle fino se puede esculpir. Si el modelo poligonal tiene una cantidad menor de vértices, hay menos puntos para cambiar su forma 3D. Para esculpir detalles más finos, se debe aumentar la cantidad de poligonos mediante la técnica de subdivisión. (MAYA, s.f.)

### 1.4. Realidad Aumentada

La realidad aumentada (RA) es el término que se usa para definir la visión de un entorno físico del mundo real a través de un dispositivo tecnológico, es decir, los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales, logrando de esta manera crear una realidad aumentada en tiempo real. (Cantor, 2017)

Otra definición de la realidad aumentada de acuerdo a (Basogain, Olabe, & Espinosa, 2016) define que esta tecnología no reemplaza el mundo real por uno virtual, sino al contrario, mantiene el mundo real que ve el usuario complementándolo con información virtual superpuesta al real. El usuario nunca pierde el contacto con el mundo real que tiene al alcance de su vista y al mismo tiempo puede interactuar con la información virtual superpuesta.

La realidad aumentada es diferente de la realidad virtual porque sobre la realidad material del mundo físico monta una realidad visual generada por la tecnología, en la que el usuario percibe una mezcla de las dos realidades; en cambio, en la realidad virtual el usuario se aísla de la realidad material del mundo físico para sumergirse en un escenario o entorno totalmente virtual. (González Morcillo, Vallejo Fernández, Albusac Jiménez, &

Castro Sánchez, 2013) La realidad aumentada según bibliografía especializada es clasificada por niveles, así:

- **NIVEL 0. Híper enlazando el mundo físico**  
Este nivel se basa en los códigos de barras, códigos QR. Lo característico de este nivel 0 es que los códigos son hiperenlaces a otros contenidos, no existe registro en 3D ni seguimiento de los marcadores.
- **NIVEL 1. RA basado en marcadores**  
Normalmente consiste en el reconocimiento de patrones 2D, los cuales tienen híper enlazados a ellos un objeto 3D.
- **NIVEL 2. RA sin marcadores**  
Se caracteriza por el uso del GPS y la brújula de los dispositivos electrónicos con lo que se consigue localizar la situación y orientación para superponer puntos de interés en las imágenes del mundo real.
- **NIVEL 3. Visión aumentada**  
Este nivel se basa en la suposición de despegarse del monitor o el display para pasar a displays transparentes oculares para llevar sobre las retinas.

Una vez que la realidad aumentada se convierte en visión aumentada, es inmersiva. La experiencia global inmediatamente se convierte en algo más relevante, contextual y personal. (Espinosa, 2015)

### **1.5. Herramientas de Realidad Aumentada**

Durante el proceso evolutivo de la tecnología de realidad aumentada han surgido un sin número de aplicativos que permiten el manejo de objetos 3D, algunos de los cuales se presentan en la Tabla 1.

Una de las grandes desventajas de estas aplicaciones o herramientas de realidad aumentada es que el usuario final queda limitado a ciertos modelos u objetos 3D establecidos por el desarrollador o el propietario de la herramienta.

Es por esta razón que las herramientas mencionadas anteriormente pueden ser consideradas como aplicativos de consumo, es decir que cumplen la necesidad de un usuario; es así que para el presente trabajo se estableció el uso de herramientas más orientadas al desarrollo de realidad aumentada las cuales permitan moldear, configurar y personalizar el producto final, acciones que son permitidas por la herramienta Vuforia y que es la herramienta seleccionada para la creación de la aplicación RA, por ser una de las

herramientas más poderosas y famosas para el desarrollo de realidad aumentada ya que cuenta con soporte para teléfonos, tablets y gafas.

Tabla 1. Aplicativos de Realidad Aumentada

CATEGORÍA	APLICACIONES
Aplicativos Móviles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HP Reveal Studio</li> <li>• Aumentaty Viewer</li> <li>• Layar</li> <li>• Quiver</li> <li>• Chromville</li> <li>• AR ARKids</li> <li>• AR Flashcards</li> <li>• Animal Alphabet</li> <li>• AR Flashcard Space</li> <li>• AR Dino Roar</li> <li>• AR DinoPark</li> <li>• AnimalCAM</li> <li>• Zookazam</li> <li>• Arloon Anatomy</li> <li>• Anatomy 4D</li> <li>• The Brain AR</li> <li>• iSkull AR</li> <li>• Durolane</li> <li>• FaceYou</li> <li>• Taggar</li> <li>• Wikitude</li> <li>• Junaio</li> <li>• Goggles</li> <li>• Aumentaty VSearch</li> <li>• Sky Map</li> <li>• Mapa estelar</li> <li>• 3D Compas AR</li> <li>• La Patena de Cástulo RA</li> <li>• AR Showcase</li> <li>• Visuar</li> </ul>
Aplicativos para PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentaty Auto</li> <li>• BuildAR</li> <li>• EstARteco</li> </ul>
Aplicativos Web	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augment</li> <li>• Aurasma Studio</li> <li>• Layar Creator</li> <li>• Learn AR</li> <li>• ARCrowd</li> <li>• Bakia</li> <li>• estARteco</li> <li>• Visuar.</li> </ul>

### 1.5.1. Vuforia

Vuforia es un SDK para Android y iOS que permite construir aplicaciones basadas en realidad aumentada; la aplicación utiliza la pantalla del dispositivo para ver imágenes desde una base de datos de objetivos Vuforia y entrelazar elementos del mundo real con elementos virtuales.

Este SDK para el desarrollo de aplicaciones móviles con realidad aumentada permite lo siguiente:

- Uso de coordenadas del mundo: Cualquier clase de objeto puede ser exhibido usando alguna referencia arbitraria, ignorando obstáculos reales, pero considerando la ubicación obtenida en el mundo. El objeto puede estar fuera de la vista y continuar "existiendo" en la misma posición. Éste es un sistema similar al utilizado por Pokémon GO. (Megali, 2016)
- Reconocer targets (objetivos): Vuforia puede buscar imágenes específicas como "targets". VuMarks, por ejemplo, una imagen del estilo de código QR altamente reconocida por el sistema, puede ser usada como puntos ancla o referencias para cualquier clase de objeto proyectado en el mundo. Una revista pudiera ser "expandida" con éste recurso, con páginas que incluyan fabulosas interacciones como videos, audios, etc. (Megali, 2016)
- Reconociendo objetos simples: objetos simples como cuadros y cilindros pueden ser reconocidos y usados como puntos ancla. Éste método es útil para reconocer paquetes y hacerlos interactivos. (Megali, 2016)
- Buscando palabras: palabras en idioma inglés también pueden ser comprendidas por Vuforia. El sistema puede buscar palabras específicas y dirigir alguna interacción en ellas. Esto podría ser útil para herramientas de aprendizaje para niños o para traducción de lenguaje. (Megali, 2016)
- Reconociendo el terreno del mundo: Una de las características más poderosas disponibles en Vuforia es la capacidad de reconocer el mundo como es. Vuforia le permite al usuario escanear su ambiente y puede hacer algún proceso para interpretar el mundo al crear una visión de computadora en 3D del mundo real y sus objetos. (Megali, 2016)

Vuforia al contar con muchas herramientas de funcionalidad para realidad aumentada, se optó por utilizarla para desarrollar la aplicación que va a promocionar las cinco lagunas de la provincia de Imbabura, esto con el fin de aumentar el turismo en dichos lugares.

Este SDK ha ido evolucionando constantemente, actualmente existen 11 versiones, y para el desarrollo de la aplicación se utilizó la última que es la "Vuforia SDK v7.1.34", debido a que tiene mejores características que ofrecer en relación a las anteriores, como: soporte de autofocus de ARKit 1.5, una mejor resolución, se corrigió un problema por el cual algunas aplicaciones de Vuforia creadas en Unity fallaban el envío de la App Store, y la inicialización de Vuforia ahora se ejecuta en un hilo independiente del hilo principal de Unity.

Se han publicado más de 50,000 aplicaciones de Vuforia en App Store y Google Play. Vuforia también es compatible con un ecosistema de desarrolladores activos con más de 375,000 desarrolladores registrados y más de 45,000 proyectos en desarrollo. (Vuforia, s.f.)

Vuforia SDK es compatible con una variedad de tipos de objetos 2D y 3D, incluidos objetos de imagen "sin marcadores", configuraciones 3D Multi-Target y una forma de marcador conocido como VuMark. Las características adicionales del SDK incluyen detección de oclusión localizada usando botones virtuales, selección de objetivos de imágenes en tiempo de ejecución y la capacidad de crear y reconfigurar conjuntos de objetos mediante programación en tiempo de ejecución. (Vuforia, s.f.)

Vuforia SDK provee al desarrollador una integración mediante API, lo cual facilita el trabajo tanto para dispositivos móviles multiplataforma, ya sea mediante un IDE de programación nativo del dispositivo como Android Studio en el caso del sistema operativo Android o Xcode en el caso de IOS, además de permitir desarrollo sobre la plataforma Unity 3D.

## **1.6. Recursos Lacustres**

Imbabura la provincia número 10 del Ecuador también conocida como la provincia de los lagos, se ha ganado este característico nombre debido a la gran cantidad de lagunas dentro de su territorio, entre los lagos más característicos se encuentran: San Pablo, Yahuarcocha, Cuicocha, Puruhanta, Mojanda.

El lago San Pablo, se encuentra a 10,7Km de la ciudad de Otavalo, específicamente en la parroquia de González Suárez, éste se encuentra situado a una altura de 2660 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una temperatura promedio de 12°C, además tiene una profundidad en sus orillas de 35 metros y de 48 metros en el centro, su superficie es de 7 kilómetros cuadrados, sus orillas están cubiertas principalmente de totora, que constituye la materia prima para la elaboración de artesanías.

Esta laguna, que se encuentra a los pies del volcán Imbabura, ofrece a sus visitantes varios caminos que llevan a distintos puntos atractivos para los turistas como: El Lechero y

Mira Lago. En los alrededores de la laguna se encuentran varias parroquias como: González Suárez, San Pablo, San Rafael y sus respectivas comunidades; entre ellas Araque, en donde se encuentra el Parque Acuático, lugar que ofrece recorridos en lanchas y una variedad de platos típicos de la zona. En esta laguna, se lleva a cabo la famosa travesía natatoria que se realiza año tras año durante la fiesta del Yamor.

Tabla 2. Flora y Fauna Laguna San Pablo

<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>
Totora	Trucha arco iris
Eucaliptos	Carpas
Sauces	Somormujos
Pinos	Cormoranes
	Patos
	Cuervos
	Garza Blanca
	Gaucabas
	Colibríes
	Golondrinas de mar
	Culingos bandera

Laguna de Yahuarcocha, su nombre tiene un origen quichua que significa “Lago de sangre”, está ubicada a 3 kilómetros al norte de la ciudad de Ibarra, se encuentra situada a 2190 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una temperatura promedio de 11°C, posee una profundidad máxima de 8 metros en su punto más profundo, y su extensión es de 257 hectáreas, con un perímetro aproximado de 7.970 metros.

Cuenta con el Autódromo Internacional de Yahuarcocha que rodea la laguna, siendo el escenario de competencias automovilísticas. Algunos investigadores manifiestan que existe una amplia y aún no explorada evidencia arqueológica, por lo que el instituto nacional de patrimonio cultural declaró a Yahuarcocha como la tercera laguna sagrada del país.

Tabla 3. Flora y Fauna Laguna Yahuarcocha

<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>
Totora	Tilapias
Eucalipto	Patos
	Colibríes
	Garza

Laguna de Cuicocha se encuentra ubicada dentro de la reserva ecológica Cotacachi-Cayapas, además como referencia se puede decir que se encuentra ubicada a 14 kilómetros de Otavalo y 12 kilómetros al suroccidente de Cotacachi, la laguna de Cuicocha

se encuentra a 3.400 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una temperatura que rodea entre los 10°C y 20°C. Esta laguna tiene la característica particular de acentuarse en un profundo cráter volcánico de 3 kilómetros de largo por 3 kilómetros de ancho con una profundidad aproximada de 200 metros. Como un dato curioso de esta laguna es que para los pueblos indígenas el lago es considerado sagrado, en cuyas aguas se realizan ritos de purificación shamánicos.

Esta maravillosa laguna situada al pie del volcán Cotacachi, considerada como laguna ecológica y mitológica, en medio de este lago sobresalen tres cúpulas de roca volcánica que conforman dos islotes cubiertos de vegetación separados por el denominado "canal de los ensueños".

Tabla 4. Flora y Fauna Laguna Cuicocha

<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>
Totora	Cuy de monte
Sigses	Conejo de monte
Bromelias	Armadillo
Cerote	Zorro andino
Palo rosa	Chucuri
Pumamaqui	Tórtolas
Arrayán	Torcazas
Cedro rojo	Colibríes
Rumibarba	Gorriones
Bambu Suro	Mirlos
Orquídeas	Lechuzas
Calahuala	Patos

La laguna de Puruhanta al igual que la laguna de Cuicocha se encuentra situada dentro de la reserva ecológica Cayambe- Coca, esta se encuentra ubicada a 22 kilómetros al sur de Pimampiro, dicha laguna atraviesa el río Palahurco, se resalta este sitio por su abundante vegetación propias de este ecosistema. La laguna de Puruhanta se ubica a 3.469 metros sobre el nivel del mar y su temperatura oscila entre los 7 y 20° C.

Es una reliquia e icono del turismo de naturaleza en Pimampiro. En cuyos senderos hacia la Laguna, se puede observar diferentes paisajes naturales y atractivos naturales como: bosque de alisos, en su hábitat natural acoge la presencia de aves y mamíferos.

Tabla 5. Flora y Fauna Laguna Puruhanta

<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>
Epifitas	Venados
Heliconias	Guatusas
Orquídeas	Puercos sahinos
Bromelias	Ose de anteojos
Musgos	Pumas
Helechos	Cuyes
Líquenes	Ardillas
Palmas	Armadillos
Sangre de drago	Tigrillos
Cenelos	Gavilanes
Cedros	Zorillos
Guayabillo	Gallos de peña

La laguna de Mojanda ubicada a 16 kilómetros del cantón Otavalo es una de las lagunas más altas de la provincia de Imbabura con 3.720 metros sobre el nivel del mar, Mojanda cuenta con un conjunto de 3 lagunas las cuales son: La laguna grande, la cual cuenta con un perímetro de 7.7 kilómetros y una superficie de 271 hectáreas; la laguna negra, la cual cuenta con un perímetro de 1.37 kilómetros y la superficie de 11.4 hectáreas; y la laguna pequeña, con un perímetro de 0.37 kilómetros y una superficie de 1.07 hectáreas. Este conjunto de lagunas tiene una temperatura aproximada de 8°C.

Estas lagunas se encuentran rodeadas de montañas elevadas como el Fuya Fuya, que es un lugar propicio para la aclimatación, razón por la que varios andinistas lo visitan antes de ascender a montañas más altas. La vegetación representativa es la paja Calamagrostis sp., Stipa ichu y bosques de yagual.

En esta zona el clima es frío y las condiciones del paisaje cambian de acuerdo al paso de las horas del día, por ello, es recomendado visitarlo en horas de la mañana ya que en la tarde la neblina oculta todo el paisaje.

Tabla 6. Flora y Fauna Laguna Mojanda

<b>Flora</b>	<b>Fauna</b>
Romero	Perdis de paramo
Chuquiragua	Mirlos
Wicundo	Quilicos
Achupall	Quinde de cola larga
Totora	Quinde real
Caucho	Quinde café
Puya	Torcazas
Fichana	Pava de monte
Paja	Lobo de páramo
Zitze	Conejo de páramo
Arrayan	Chucuri
Mora	Zorillo
Cerote	Zacha cuy
Yagual	Puma
Árbol de papel	

# CAPÍTULO 2

## Elaboración del Aplicativo

### 2.1. Elaboración de modelos 3D de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura

Para la creación de los modelos tridimensionales de los recursos lacustres de la provincia de Imbabura se ha seleccionado la herramienta Autodesk Maya en su versión 2018.

Para el modelado de las lagunas se ha tomado como técnica base el modelado poligonal fusionado con la técnica para esculpir basándose en displacements, la mezcla de estas dos técnicas facilita de gran manera el trabajo, ya que la creación de modelos tridimensionales de áreas irregulares se requiere de un nivel alto de habilidades de diseño.

El presente trabajo se inicia con la creación de una base poligonal de un tamaño determinado, para lo cual se utiliza la herramienta *polygon plane*, la cual se encuentra dentro del menú *poly modeling*. Sobre el plano que se crea se realiza el trabajo de esculpido, por lo cual dicho el polígono debe tener el tamaño que se haya establecido para el objeto 3D. En este caso, una laguna de 800 en los tres ejes tanto X Y e Z como se muestra en la Figura 7.

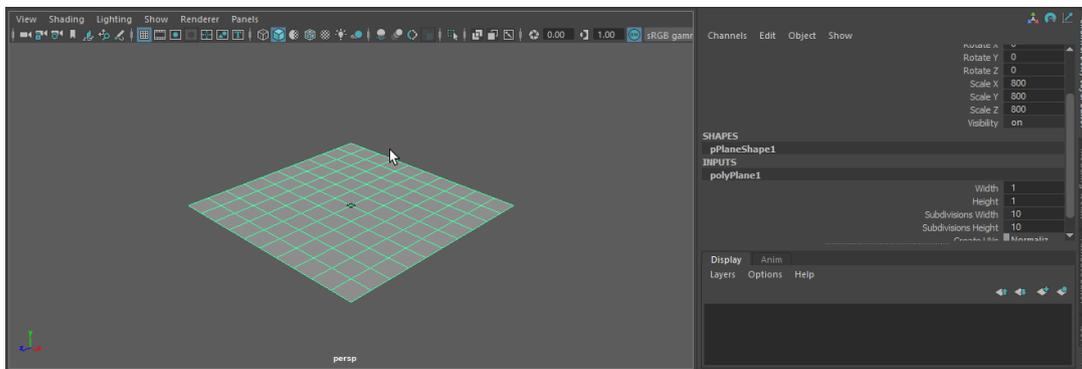


Figura 7. Construcción del Plano de modelo 3D

Una vez establecido el plano de un tamaño determinado, si se desea trabajar con una alta precisión se debe aumentar la cantidad de puntos en el plano para la cual es necesario cambiar la configuración de subdivisiones dentro del mismo; para el modelo tridimensional en desarrollo se ha considerado una cantidad de 800 subdivisiones tanto en alto como en ancho, tal y como se puede observar en la Figura 8.

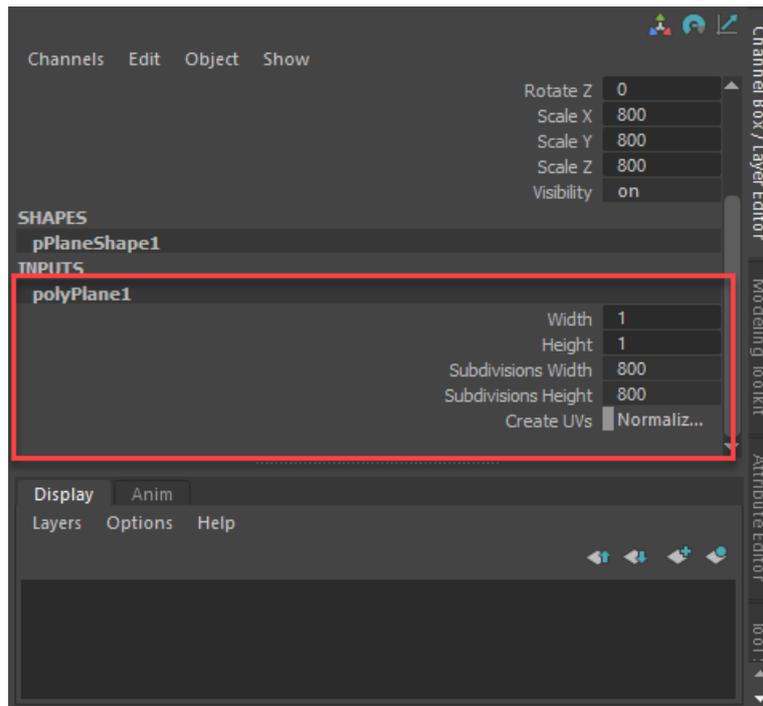


Figura 8. Configuración de subdivisiones

Una vez que se ha creado y configurado el plano base para la construcción del objeto tridimensional, se procede a la creación de las elevaciones en base a un displacement.

Dentro de *Maya*, se denomina displacements a las texturas en escala de grises que se asigna a los objetos para crear un relieve superficial en un objeto que de otra manera sería plano. Con los mapas de desplazamiento, las depresiones y las elevaciones se vuelven parte de la geometría del objeto, cambiando la topología, a diferencia de los mapas Bump que solo crean la ilusión de relieve superficial; por lo tanto, considerando que se está implementando modelos de un espacio natural es favorable la creación de relieves a partir de un displacement ya que éste da la apariencia más realista.

Los displacement requeridos se obtuvieron de un sitio web que ofrece un mapa mundial en escala de grises como se puede apreciar en la Figura 9, dicho sitio web es: <https://tangrams.github.io/heightmapper/> y a partir de las imágenes obtenidas se ha dado un tratamiento a dichas imágenes para mejorar la calidad de ellas y por ende el modelo 3D sea de mayor calidad.



Figura 9. Mapa en escala de grises  
 Fuente: <https://tangrams.github.io/heightmapper>

Con la ayuda del software Photoshop se realiza la edición, para mejorar los niveles de color como se muestra en la Figura 10.

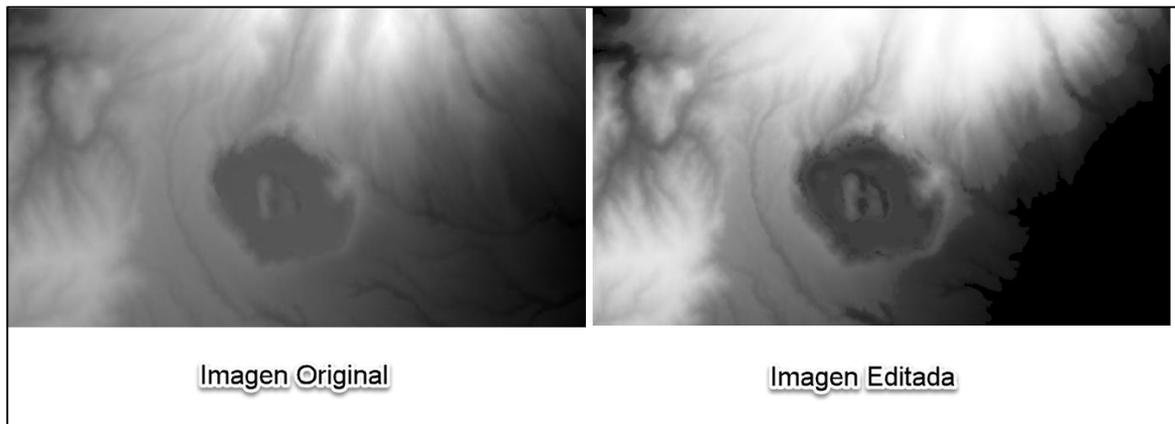


Figura 10. Displacement Lago Cuicocha

Una vez obtenida la imagen con la cual se va a trabajar el displacement, se procede a realizar el esculpido del terreno en la herramienta Maya, dentro de ésta existen un sinnúmero de parámetros los que deben ser configurados, como se muestra en la Figura 11.

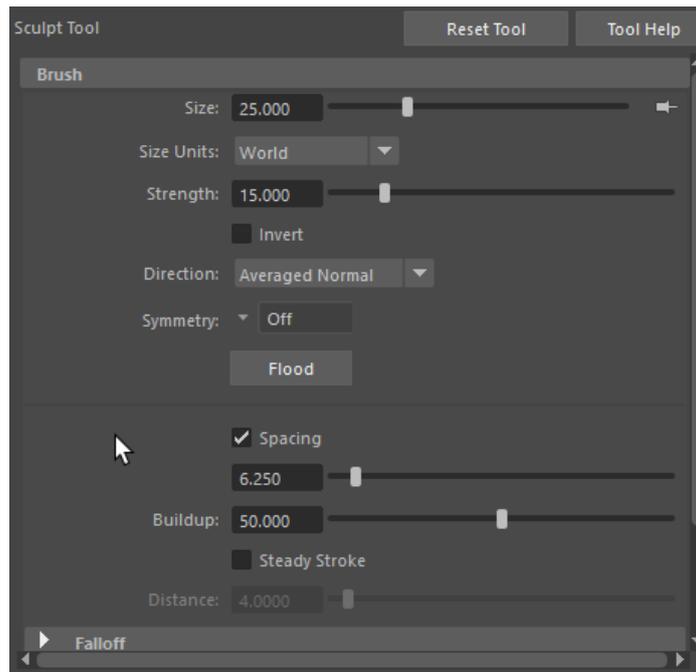


Figura 11. Sculpt Tool Maya 2018

Si se explora un poco dentro de las opciones que *Maya* nos proporciona dentro de su sección de esculpido se podrá notar que este potente software cuenta con la opción de stamp la cual permite al usuario cargar el displacement previamente creado en escala de grises como cualquier importación de archivos; una vez realizado este proceso se puede apreciar una miniatura de dicha imagen como se muestra en la Figura 12.

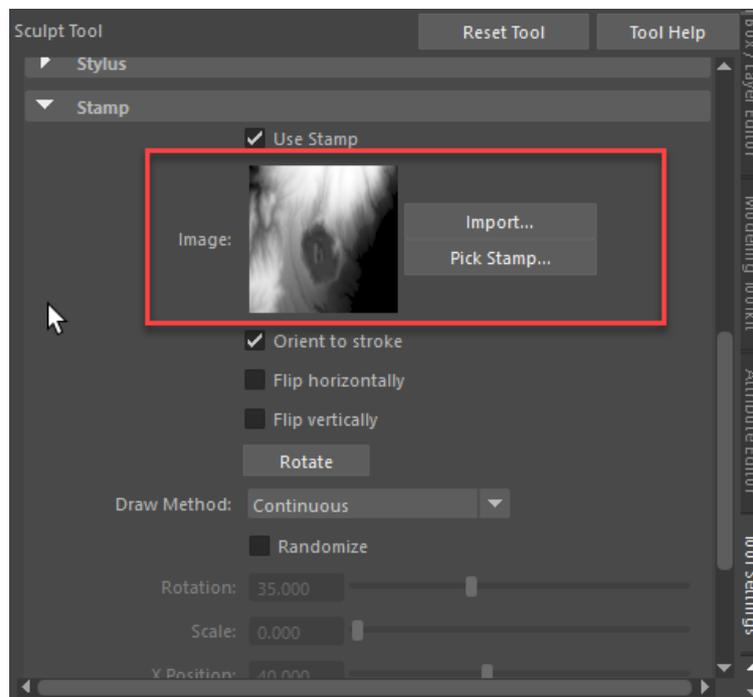


Figura 12. Configuración de displacement del lago Cuicocha

Una vez realizadas las configuraciones del stamp, la herramienta de esculpido realizará un barrido dentro del terreno para dar forma a los relieves característicos de una laguna. El resultado de realizar este proceso se puede apreciar en la Figura 13.

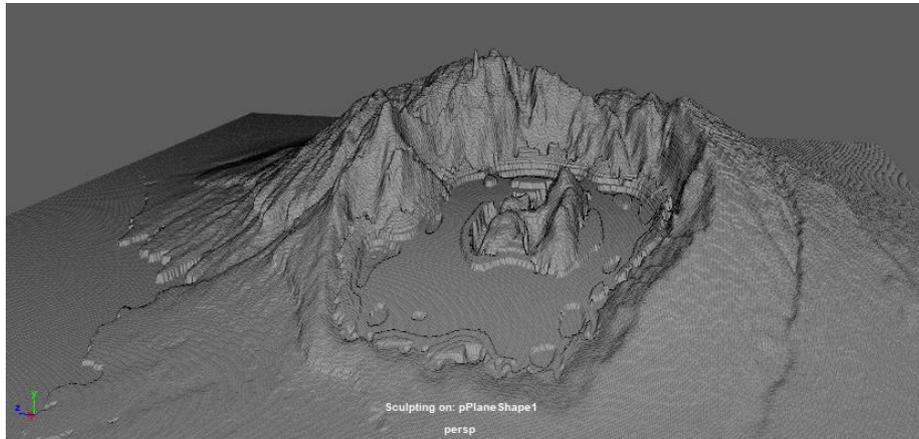


Figura 13. Modelo 3D de la laguna de Cuicocha

Una vez creado el objeto tridimensional y ajustados todos los detalles deseados para el objeto 3D se procede a su exportación, seleccionando uno de los formatos disponibles, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 7. Tipos de Dato Maya 2018  
Fuente: (Autodesk, s.f.)

Tipo de Exportación	Nombre del Plugin	Extensión
<b>Maya Ascii</b>	N/A	.ma
<b>Maya Binary</b>	N/A	.mb
<b>MEL</b>	N/A	.mel
<b>Move</b>	N/A	.mov
<b>editMA</b>	N/A	.editMA
<b>editMB</b>	N/A	.editMB
<b>FBX export</b>	fbxmaya	.fbx
<b>DAE_FBX</b>	fbxmaya	.dae
<b>OBJexport</b>	objExport	.obj
<b>OpenFlight</b>	flt-Translator	.flt
<b>Autodesk Packet File</b>	Autodesk-Packet-File	.apf
<b>animExport</b>	anim-Import-Export	.anim

Cabe recalcar que únicamente los formatos Maya Ascii y Maya Binary conservan toda la información contenida en su escena.

## 2.2. Creación de marcadores

Los marcadores dentro de la realidad aumentada se encuentran dentro del llamado nivel 1 y son elementos gráficos que son detectados por cualquier dispositivo que disponga de una cámara, permitiendo al aplicativo incorporar correctamente un objeto de realidad aumentada dentro de un espacio físico real.

Existen varios programas que permiten la creación de marcadores, sin embargo, en esta investigación se ha decidido su creación desde cero con la ayuda del software de edición de imagen Photoshop. Se utiliza una plantilla de marcador la cual consta de una imagen de 700 píxeles de ancho por 700 píxeles de alto, además de un marco interno en color negro de tamaño 602 píxeles de ancho por 602 píxeles de alto, dejando un espacio de 440 píxeles de ancho por 440 píxeles de alto, como se muestra en la Figura 14.

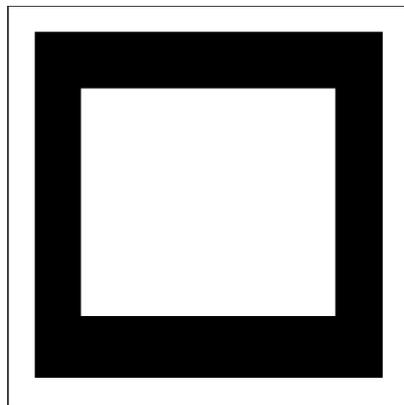


Figura 14. Plantilla de Marcador

Para la creación del contenido de los marcadores se opta por un estilo bastante sencillo, que corresponde al nombre de la laguna que se está representando conjuntamente con un gráfico distintivo y diferente para cada una de ellas, tal y como se muestra en la Figura 15. Estos marcadores se asociarán al objeto tridimensional de la laguna correspondiente.

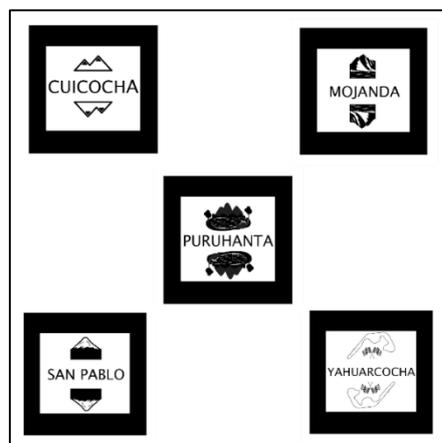
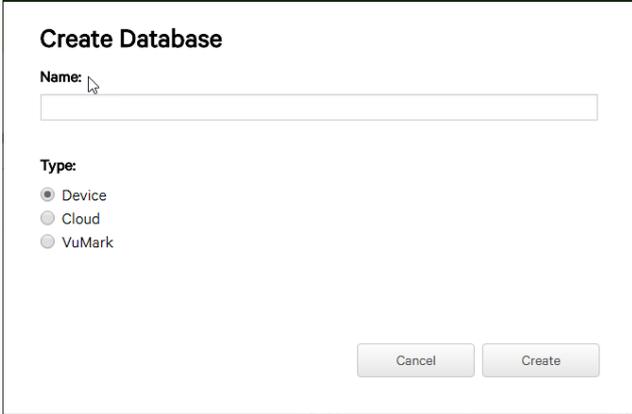


Figura 15. Marcadores Creados sobre las lagunas

### 2.3. Configuración y desarrollo de la realidad aumentada

Para el desarrollo del aplicativo de realidad aumentada se ha escogido la herramienta Vuforia en su última versión v7.1.34. Vuforia pese a ser una herramienta pagada brinda a los estudiantes una licencia bastante generosa y no tan limitada como se espera, que permite la carga de marcadores, mismos que posteriormente serán utilizados para la asociación de los mismos a un objeto en tres dimensiones.

La herramienta Vuforia cuenta con una opción denominada Vuforia Target Manager, esta es una herramienta basada en la web que le permite crear y gestionar bases de datos de destino en línea, dentro de los tipos de base de datos que Vuforia permite están: Device, VuMark y Cloud como se puede apreciar en la Figura 16.



The image shows a web-based dialog box titled "Create Database". It contains a "Name:" label followed by a text input field. Below the input field is a "Type:" section with three radio button options: "Device" (which is selected), "Cloud", and "VuMark". At the bottom right of the dialog, there are two buttons: "Cancel" and "Create".

Figura 16. Tipos de Base Vuforia

- **Device Database**

El tipo device corresponde a bases de datos locales de imágenes u objetos cuyos datos están almacenados en el dispositivo del usuario, una de las principales ventajas es el rápido reconocimiento de Imagen, Cilindro o Multi-Objetos, se utilizan cuando el aplicativo no necesita cambiar el conjunto de objetos con mucha frecuencia.

Los parámetros que se definen para un target difieren según el tipo de objetivo, al igual que el flujo de trabajo para asignar y configurar archivos de destino, como imágenes y archivos de datos de objeto. Pueden añadirse objetos de tipo: Image Targets, Multi-Targets o Cylinder Targets como se observa en la Figura 17.

Figura 17. Añadir Objeto 3D

- **Cloud**  
Las tipo Cloud son bases de datos de imágenes cuya información está alojada en el servicio de reconocimiento en la nube de Vuforia y brindan una manera de reconocer hasta más de 1 millón de imágenes u objetos cuya información debe ser consultada a través de Internet.
- **VuMark**  
Las bases de datos tipo VuMark almacenan las marcas en el dispositivo del usuario. Un VuMark es considerado el código de barras del futuro, ya que permite utilizar un diseño personalizado de la marca mientras codifica datos simultáneamente y actúa como un objetivo AR. Los diseños de VuMark son completamente personalizables, por lo que puede tener un VuMark único para cada objeto único (ver figura 18).



Figura 18. VuMarks  
Fuente: (Vuforia, s.f.)

Una vez definidos todos los parámetros, se procede a la implementación de todo lo anteriormente mencionado. Para el presente proyecto se ha seleccionado una base de datos de tipo device, en la cual se han cargado los marcadores creados para posteriormente asociarlos a un objeto tridimensional.

Como se puede observar en la Figura 19 los marcadores tienen un rating superior a tres estrellas, lo que significa que los marcadores cuentan con una buena cantidad de puntos los cuales serán reconocidos dentro de la aplicación de realidad aumentada.

Target Name	Type	Rating	Status	Date Modified
marcador_yahuarcocha_01	Single Image	★★★★★	Active	May 28, 2018 20:39
marcador_sanpablo	Single Image	★★★★★	Active	May 28, 2018 20:39
marcador_puruhanta_01	Single Image	★★★★★	Active	May 28, 2018 20:39
marcador_mojanda	Single Image	★★★★★	Active	May 28, 2018 20:39
marcador_cuicocha	Single Image	★★★★☆	Active	May 28, 2018 20:38

Figura 19. Marcadores cargados en Vuforia

## 2.4. Asociación de objetos 3D a Marcadores

Para la integración de todos los elementos anteriormente creados como objetos 3D y los marcadores se ha tomado como alternativa utilizar la herramienta Unity 3D. Para iniciar con el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada dentro de la herramienta Unity se debe especificar que el tipo de proyecto, en este caso: proyecto 3D. La Figura 20 presenta esta elección.

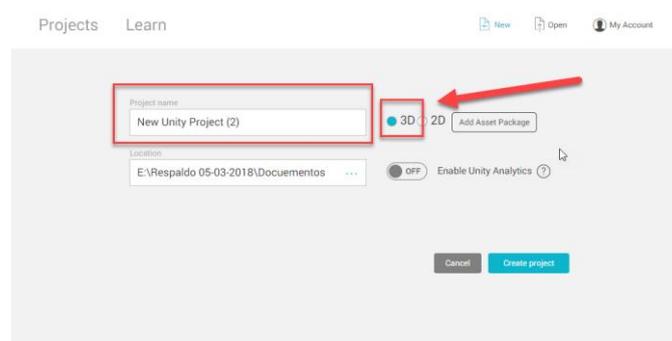


Figura 20. Pantalla de Creación de Proyecto Unity

Además de la configuración del proyecto, se debe reemplazar la cámara por defecto proporcionada por Unity por una cámara proporcionada por el SDK de realidad aumentada, en este caso específico: Vuforia, la cual se encuentra en la opción: *GameObjects* → *Vuforia* → *AR camera*, como se observa en la Figura 21.

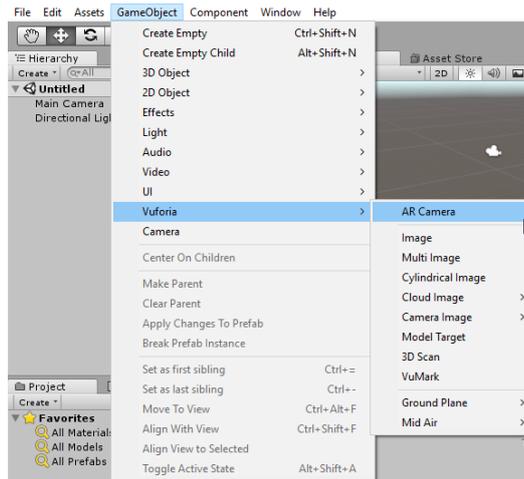


Figura 21. Selección de Cámara de AR

En esta nueva cámara se debe colocar un elemento denominado *Image*, que será el encargado de cargar el marcador contenido dentro de la base de datos de Vuforia (creado previamente), éste podría ser considerado uno de los pasos más cruciales dentro del proceso, ya que esta *Image* será detectada mediante la cámara y dentro de ella se asociará el objeto tridimensional; este objeto se encuentra dentro de *GameObject* → *Vuforia* → *Image*, tal y como aparece en la Figura 22.

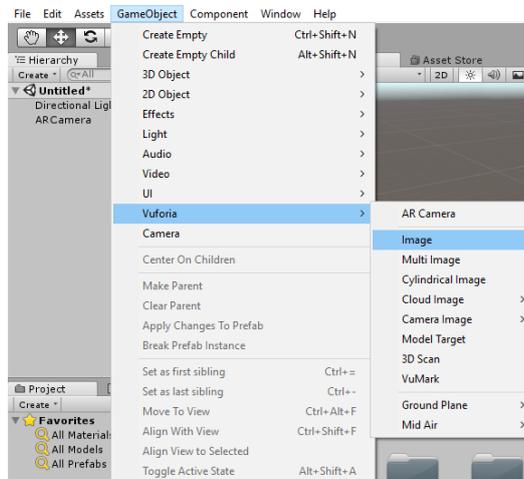


Figura 22. Añadir una Image Target

Una vez creado el *Image Target* se procede a importar la base de datos de Vuforia dentro del proyecto, en la cual ya se encuentran todos los marcadores creados con anterioridad y que serán asociados a un modelo 3D. Para que esto último suceda se debe arrastrar el archivo con extensión “unitypackage” al proyecto. Cuando el *Image Target* se encuentre en el panel de propiedades se deberá escoger la base de datos y el marcador con el que se desea trabajar. La Figura 23 permite visualizar el resultado de este proceso.

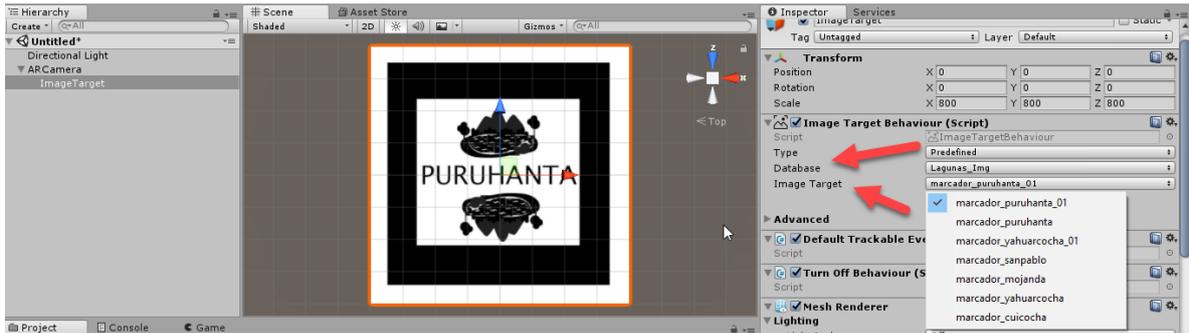


Figura 23. Colocación de un Marcador sobre un Image Target

Cumplido el proceso descrito, se importa el objeto 3D que se asociará al marcador, para lo cual se debe arrastrar hacia el espacio de trabajo denominado Assets y posteriormente ser colocado dentro de la escena para completar el proceso de asociación. La Figura 24 muestra el resultado.

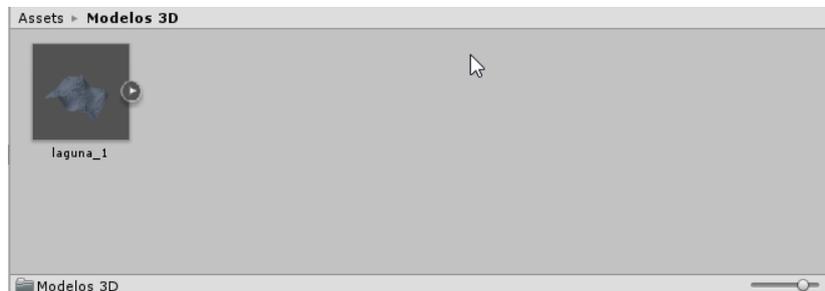


Figura 24. Importación de modelos 3D a espacio de trabajo de Unity

## 2.5. Diseño de la interfaz de usuario

Para la interfaz de usuario se ha optado por la creación de 26 escenas que representan pantallas interactivas para el usuario final y de fácil navegación. Estas se reparten de la siguiente manera:

- Una escena para menú Principal
- Cinco escenas para Sub Menús
- Cinco escenas de Realidad Aumentada
- Cinco escenas de Galería
- Cinco escenas de videos
- Cinco escenas de información.

La Figura 25 muestra la primera pantalla del aplicativo, la cual contiene un menú que ofrece acceso a cada una de las lagunas del aplicativo.

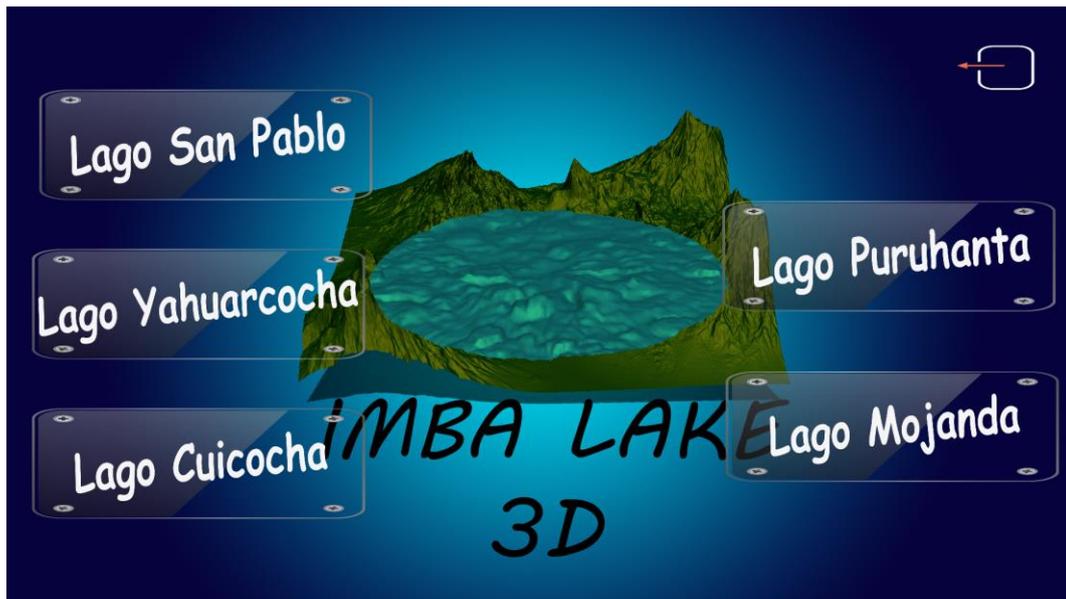


Figura 25. Pantalla inicial del aplicativo Imbalake 3D

Al seleccionar una laguna se accede a un submenú tal como se observa en la Figura 26, que presenta las opciones de visualización: realidad aumentada, galería de imágenes, sección de videos y además una opción para acceder información relevante sobre la laguna seleccionada.



Figura 26. Pantalla de menú sobre la laguna de Mojanda

En la opción de realidad aumentada, se deberá realizar el escaneo del marcador específico correspondiente a la laguna seleccionada, lo cual permitirá una apreciación de un modelo tridimensional de la laguna, en dicha pantalla contaremos con un botón *play* que reproducirá un audio narrativo de la laguna. La Figura 27 muestra la pantalla de la laguna.

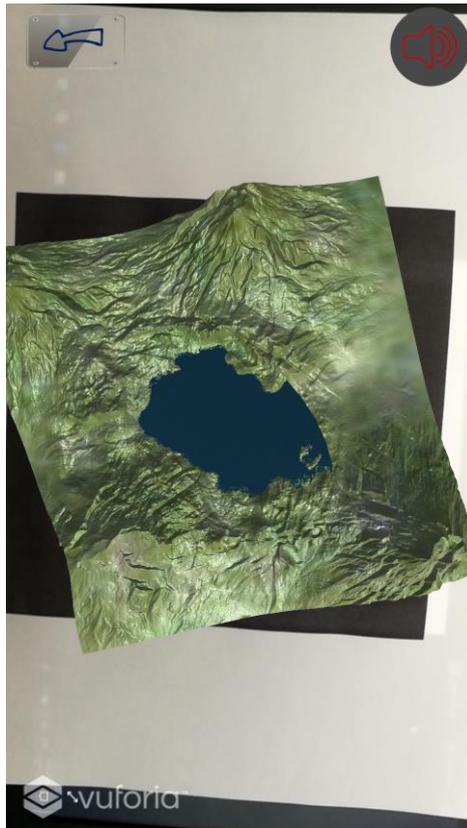


Figura 27. Pantalla de realidad aumentada

Desde la segunda opción del submenú llamada Galería, se accederá a un conjunto de imágenes referentes a la laguna escogida, tales como: lugares turísticos, puntos de interés, entre otros. De forma similar, la opción de videos, cuenta con una sección con varios de estos recursos relacionados a la laguna sobre la cual se esté navegando.

Finalmente, en la opción Información, se obtendrá una pantalla en la cual se podrá leer un poco de información adicional del lugar, como clima, flora, fauna, etc.

## 2.6. Elaboración del aplicativo móvil

Una de las grandes ventajas de la utilización del entorno de Unity 3D es que éste permite la rápida y fácil generación del aplicativo, realizando algunas configuraciones dentro del entorno, las cuales se detallan a continuación.

Inicialmente es necesario configurar las variables SDK y JDK correspondientes a Android, dentro de la opción *Edit* de la barra de menú se encuentra la opción *Preferences*, que abre una ventana en cuyo costado izquierdo se tiene la opción llamada *External Tools* y dentro de ella se deberán colocar las rutas de los archivos solicitados tal y como se muestra en la Figura 28.

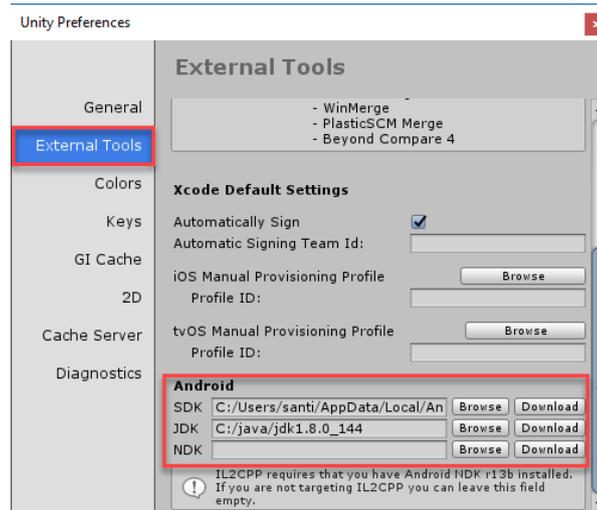


Figura 28. Ventana de configuración de preferencias de Unity

Una vez establecidas las variables de funcionamiento de Android se debe configurar el aplicativo para lo cual se deberá acceder a la opción de *Build Settings* mediante la barra de menú o de una manera más rápida ocupando la combinación de teclas Ctrl+ Shift+B.

Una vez se haya accedido a dichas configuraciones, se abre una ventana en la que debe seleccionarse la plataforma sobre la que se desea trabajar. Para el proyecto en desarrollo: plataforma Android, posteriormente se procede a dar clic sobre el botón de *Player Settings*. La Figura 29 muestra esta ventana final.

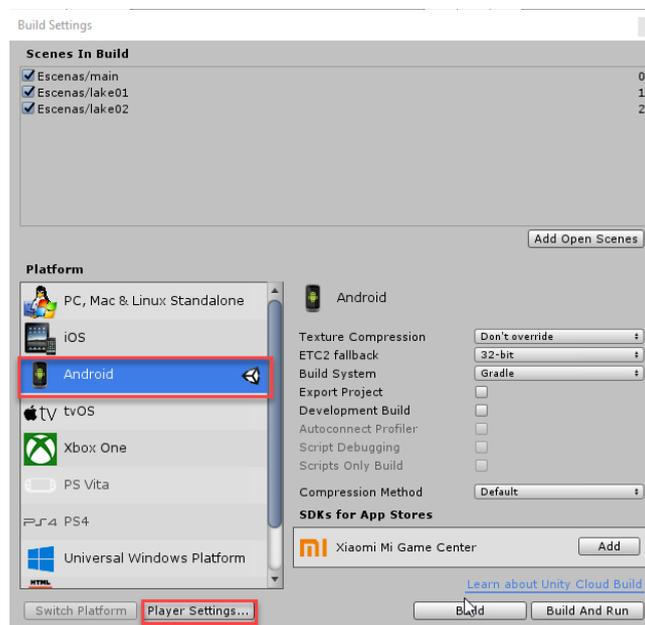


Figura 29. Ventana de configuración para la construcción del aplicativo

Al presionar el botón *Player Settings* se desplegará en la parte derecha del entorno de Unity un menú de configuración de distintos parámetros como se puede apreciar en la Figura 30.

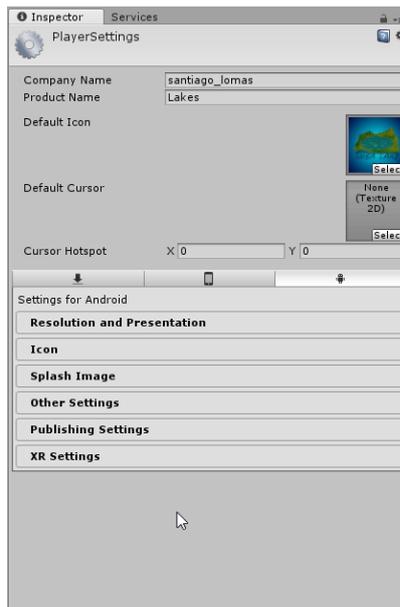


Figura 30. Ventana Player Settings

- **Resolution and Presentation:** Permite realizar ajustes para la resolución de pantalla y otros detalles de presentación como si el aplicativo debería estar por defecto en un modo de pantalla completa. (Technologies, Unity Documentacion, s.f.) La Figura 31 presenta todas las opciones de esta sección.

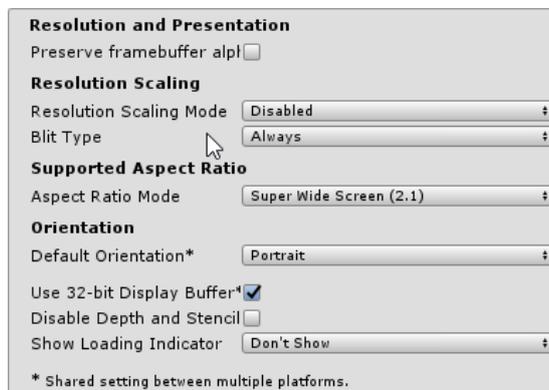


Figura 31. Configuración de Resolución

- **Icon:** Esta opción permite colocar el icono del aplicativo. (Technologies, Unity Documentacion, s.f.) En la Figura 32 se observan las posibilidades de esta opción.

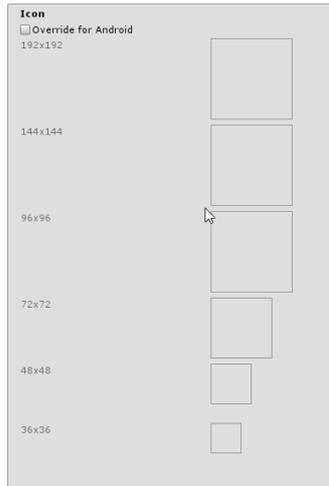


Figura 32. Configuración de Iconos

- **Splash Image:** En esta sección se coloca la imagen que es mostrada mientras el aplicativo se está iniciando. (Technologies, Unity Documentacion, s.f.) La Figura 33 presenta los parámetros de configuración.

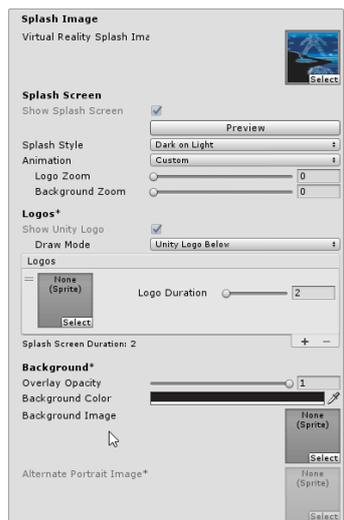


Figura 33. Configuración de Splash

- **Other Settings:** Permite la configuración de cualquiera de los ajustes específicos de la plataforma. (Technologies, Unity Documentacion, s.f.) La Figura 34 presenta las opciones disponibles.



Figura 34. Configuraciones adicionales de Android

- Publishing Settings:** En esta sección se podrá configurar detalles acerca de cómo la aplicación construida es preparada para su lanzamiento desde la app store o página web. (Technologies, Unity Documentacion, s.f.) La Figura 35 presenta las opciones disponibles.

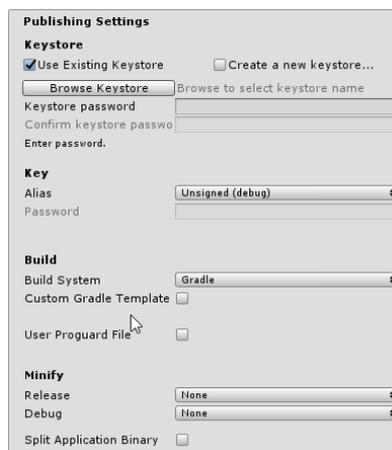


Figura 35. Ajustes de Publicación del APK

- XR Settings:** Dentro de estas opciones se podrá realizar la configuración sobre los complementos de realidad aumentada. Como se observa en la Figura 36.

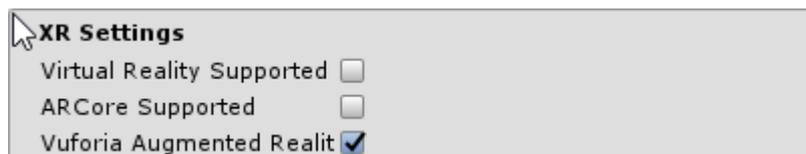


Figura 36. Configuración de Realidad Aumentada

Finalmente, una vez terminadas todas las configuraciones de los aspectos respectivos con la plataforma Android se procede a deployar la aplicación mediante la pantalla construir, al pulsar el botón Build, el software solicitará la ruta en la que se desea guardar el archivo del aplicativo, mismo que se genera con una extensión apk.

# CAPÍTULO 3

## Verificación

### 3.1. Pruebas de funcionamiento

Para la parte de pruebas de funcionamiento del aplicativo, se hizo uso de la herramienta Test Lab, la cual es provista por la plataforma FireBase de Google. Esta plataforma permite al usuario realizar tres tipos de pruebas dentro de su plataforma, que se explican a continuación:

- **Prueba Robo**

La prueba Robo analiza la estructura de la interfaz de usuario (IU) de la app, la explora metódicamente y simula las actividades de un usuario automáticamente. Permite así usar la prueba para validar soluciones de errores y probar regresiones de una forma que no es posible cuando se ejecutan evaluaciones con la prueba Exerciser Monkey de la IU/aplicación debido a que estas sirven para realizar pruebas de estrés a las aplicaciones que se están desarrollando. (Firebase, 2018)

La prueba Robo captura los archivos de registro, guarda una serie de capturas de pantalla con anotaciones y crea un video a partir de las capturas de pantalla para mostrar las operaciones que realizó el usuario simulado. Estos registros, capturas de pantalla y videos pueden ayudar a determinar la causa raíz de los bloqueos de la app y también a encontrar errores en la IU. (Firebase, 2018)

- **Prueba de instrumentación**

Estas son pruebas que se ejecutan en un dispositivo o emulador de hardware. Estas pruebas tienen acceso a las API Instrumentation, y permiten acceder a información como el Context de la app y controlarla desde el código de prueba. Se usa para automatizar la interacción de usuarios o cuando las pruebas tengan dependencias de Android que los objetos ficticios no puedan contemplar.

Debido a que las pruebas instrumentadas se compilan en un APK (por separado del APK de la app), deben tener su propio archivo AndroidManifest.xml. Sin embargo, Gradle automáticamente genera este archivo durante la compilación para que no se vea en el conjunto de fuentes de tu proyecto. Puede agregarse un archivo propio de manifiesto si es necesario, por ejemplo, a fin de especificar un valor diferente para *minSdkVersion* o registrar receptores de ejecución solo para las propias pruebas. Cuando se compila la app, Gradle combina varios archivos de manifiesto en un manifiesto. (Studio, 2018)

- **Bucle de juego**

La automatización de las pruebas de juegos es un desafío debido a la amplia gama de marcos de trabajo de IU que se utilizan para el desarrollo de juegos (algunos de los cuales son dependientes del motor) y debido a las dificultades para automatizar la navegación de la IU en los juegos. Para admitir las pruebas en apps de juegos, Test Lab incluye ahora compatibilidad en versión Beta a "modo de demostración" en el que se ejecuta la app de juego mientras se simulan las acciones de un jugador. Este modo puede incluir múltiples bucles (o situaciones), que pueden organizarse lógicamente mediante etiquetas para que se puedan ejecutar bucles relacionados al mismo tiempo. (Developers, 2018)

Existen lineamientos sobre cómo implementar bucles de juego para que puedan utilizarse fácilmente para probar el juego durante la etapa de desarrollo. Estos lineamientos se aplican si se están ejecutando pruebas en un solo dispositivo de prueba, en una granja de dispositivos de prueba o con Test Lab. (Developers, 2018)

Para el presente trabajo, dentro de firebase en la zona de tolos se busca la opción Test Lab como se aprecia en la Figura 37.

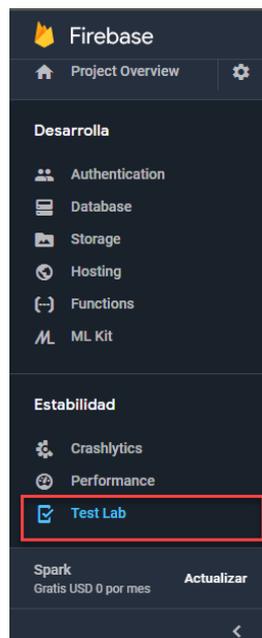


Figura 37. Tools Firebase

Para el presente trabajo se han seleccionado pruebas de tipo robo ya que estas entregan una información de funcionamiento del aplicativo. En la plataforma Firebase es posible realizar diez test en dispositivos virtuales, es decir emuladores de Android o IOS y cinco test en dispositivos físicos; una de las ventajas que proporciona dicha plataforma es permitir al usuario escoger el tipo de dispositivo en el cual se desea trabajar y sus distintos niveles de

api como se muestra en la Figura 38 para dispositivos físicos y Figura 39 para dispositivos virtuales.

Dispositivos físicos	
Nexus 7 (2013) ASUS <input type="checkbox"/> 19 <input type="checkbox"/> 21	Pixel Google <input type="checkbox"/> 25 <input type="checkbox"/> 26 <input type="checkbox"/> 27 <input type="checkbox"/> 28
Pixel 2 Google <input type="checkbox"/> 26 <input type="checkbox"/> 27 <input type="checkbox"/> 28	HTC One (M8) HTC <input type="checkbox"/> 19
Huawei Mate 9 HUAWEI <input type="checkbox"/> 24	Huawei P8 lite HUAWEI <input type="checkbox"/> 21
LG G3 LG <input type="checkbox"/> 19	Nexus 5 LG <input type="checkbox"/> 21 <input type="checkbox"/> 23
LG K4 (LG-X230) LG Electronics <input type="checkbox"/> 23	LG G6 LGUS997 LGE <input type="checkbox"/> 24
Moto G Play (4th Gen) XT1607 Motorola <input type="checkbox"/> 23	Moto G4 Motorola <input type="checkbox"/> 23
Moto G4 Plus Motorola <input type="checkbox"/> 23	Moto X Motorola <input type="checkbox"/> 19
Nexus 6 Motorola <input type="checkbox"/> 21 <input type="checkbox"/> 22 <input type="checkbox"/> 23	OnePlus One OnePlus <input type="checkbox"/> 22
Razer Phone Razer <input type="checkbox"/> 25	SH-04H SHARP <input type="checkbox"/> 23
Galaxy J1 ace SM-J111M Samsung <input type="checkbox"/> 22	Galaxy J2 Prime SM-G532M Samsung <input type="checkbox"/> 23
Galaxy J7 (SM-J710MN) Samsung <input type="checkbox"/> 23	Galaxy Note 3 Duos Samsung <input type="checkbox"/> 19
Galaxy S6 Samsung ⓘ <input type="checkbox"/> 22 <input type="checkbox"/> 23	Galaxy S6 Edge Samsung ⓘ <input type="checkbox"/> 22
Galaxy S7 Samsung <input type="checkbox"/> 23 <input type="checkbox"/> 24	Galaxy S7 edge Samsung <input type="checkbox"/> 23
Galaxy Tab 3 Samsung <input type="checkbox"/> 19	Samsung Galaxy S3 Samsung <input type="checkbox"/> 18
Xperia Z2 Sony <input type="checkbox"/> 21	Xperia Z3 Sony <input type="checkbox"/> 21
Galaxy A5 2017 samsung <input type="checkbox"/> 24	Samsung Galaxy S9 (US) samsung <input type="checkbox"/> 26
Samsung Galaxy S9+ (US) samsung <input type="checkbox"/> 26	

Figura 38. Dispositivos Físicos de Google Firebase

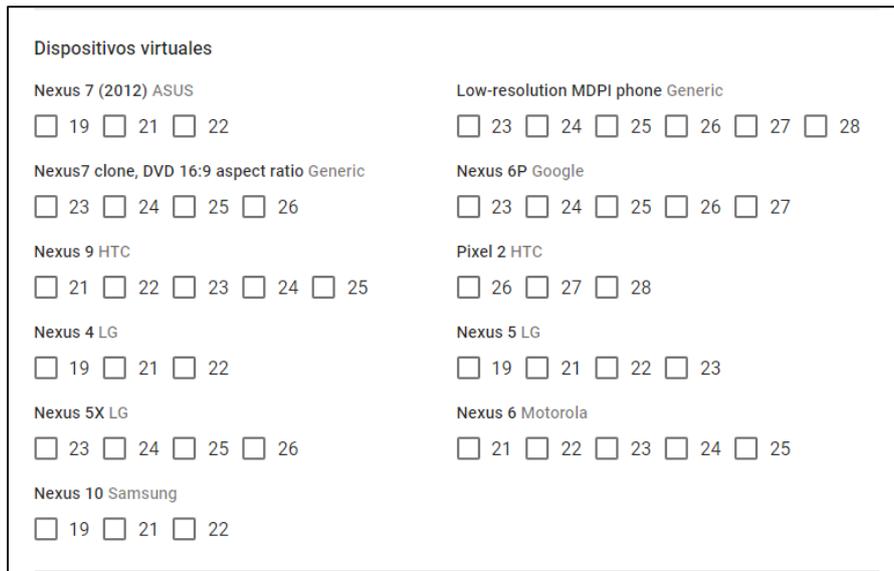


Figura 39. Dispositivos Virtuales de Google Firebase

Dentro del plan de pruebas a realizar al aplicativo denominado “ImbaLake 3D” se han establecido dos fases de pruebas, la primera fase consta de cinco pruebas diarias durante tres días con lo cual se tendría un total de 15 dispositivos diferentes, para estas pruebas se han escogido una serie de dispositivos únicamente físicos con distintas características como nivel de API, modelo, año de lanzamiento, los cuales se detallan en la tabla 9.

Tabla 8. Dispositivos utilizados para primera fase de test

Dispositivos Prueba 1	Dispositivos Prueba 2	Dispositivos Prueba 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LG K4 (LG-X230), API 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> <li>• Pixel 2, API 28 = Android 9.0 (P)</li> <li>• Galaxy J2 Prime SM-G532M, API 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> <li>• Nexus 6, API 22 = Android 5.1 (LOLLIPOP_MR1)</li> <li>• Pixel, API 25 = Android 7.1.1 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nexus 7 (2013), API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> <li>• OnePlus One, API 22 = Android 5.1 (LOLLIPOP_MR1)</li> <li>• Moto G Play, Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> <li>• LG G6, Android 7.0 (NOUGAT)</li> <li>• Huawei Mate 9, Android 7.0 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Samsung Galaxy S9 (US), API 26 = Android 8.0 (OREO)</li> <li>• Huawei P8 lite, API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> <li>• Xperia Z2, API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> <li>• Razer Phone, API 25 = Android 7.1.1 (NOUGAT)</li> <li>• Moto G4, 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> </ul>

Una vez concluidas las pruebas tanto de dispositivos físicos y virtuales los resultados obtenidos son los siguientes:

- **LG K4 (LG-X230)**

- Datos del dispositivo  
Model: LG-X230  
Device: mlv1  
Release version: 6.0  
SDK version: 23
- Tiempo de inicio de la aplicación  
13008 Milisegundos
- Duración de rastreo  
5 min 28 seg
- Rendimiento: Ver figura 40

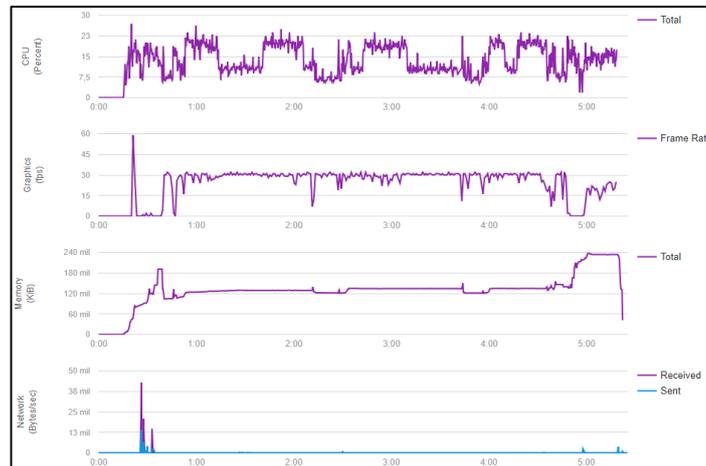


Figura 40: Rendimiento Dispositivo LG K4

- **Pixel 2**

- Datos del dispositivo  
Model: Pixel 2  
Device: walleye  
Release version: 9  
SDK version: 28
- Tiempo de inicio de la aplicación  
2047 Milisegundos
- Duración de rastreo  
5 min 7 seg
- Rendimiento: Ver figura 41

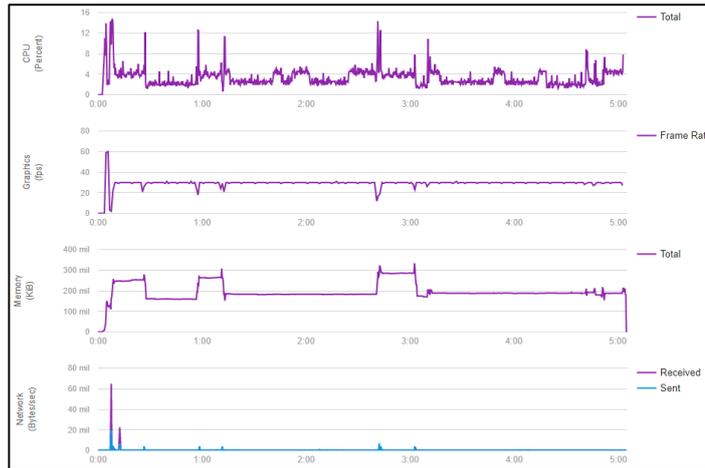


Figura 41: Rendimiento Dispositivo Pixel 2

- **Galaxy J2 Prime**

- Datos del dispositivo
  - Model: SM-G532M
  - Device: grandpplte
  - Release version: 6.0.1
  - SDK version: 23
- Tiempo de inicio de la aplicación
  - 535 Milisegundos
- Duración de rastreo
  - 5 min 18 seg
- Rendimiento: Ver figura 42



Figura 42: Rendimiento Dispositivo Samsung J2 Prime

- **Nexus 6**

- Datos del dispositivo

Model: Nexus 6

Device: shamu

Release version: 5.1.1

SDK version: 22

- Tiempo de inicio de la aplicación

300 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 11 seg

- Rendimiento: Ver figura 43

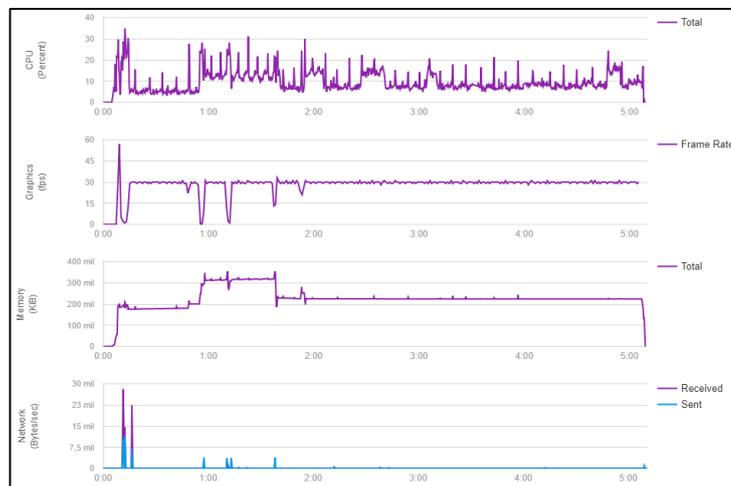


Figura 43: Rendimiento Dispositivo Nexus 6

- **Pixel**

- Datos del dispositivo

Model: Pixel

Device: sailfish

Release version: 7.1.1

SDK version: 25

- Tiempo de inicio de la aplicación

200 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 11 seg

- Rendimiento: Ver figura 44

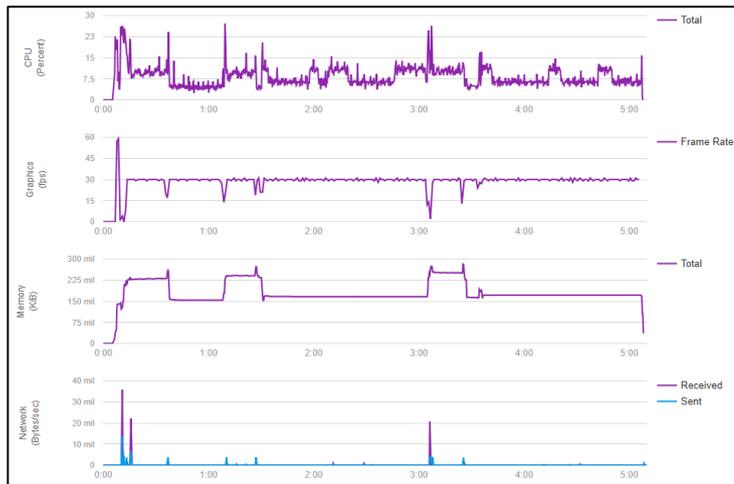


Figura 44: Rendimiento Dispositivo Pixel

- **Nexus 7 (2013)**

- Datos del dispositivo

Model: Nexus 7

Device: flo

Release version: 5.0.2

SDK version: 21

- Tiempo de inicio de la aplicación

689 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 16 seg

- Rendimiento: Ver figura 45

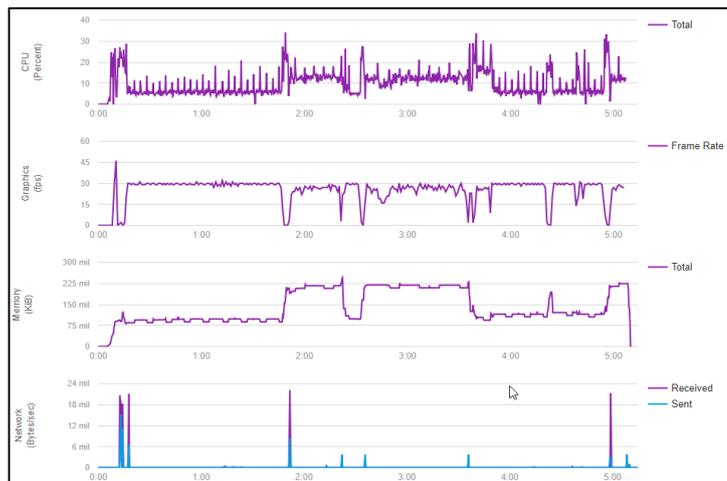


Figura 45: Rendimiento Dispositivo Nexus 7

- **OnePlus One**
  - Datos del dispositivo  
Error de infraestructura
  - Tiempo de inicio de la aplicación  
Error de infraestructura
  - Duración de rastreo  
Error de infraestructura
  - Rendimiento  
Error de infraestructura
  
- **Moto G Play (4th Gen)**
  - Datos del dispositivo  
Model: Moto G Play  
Device: harpia  
Release version: 6.0.1  
SDK version: 23
  - Tiempo de inicio de la aplicación  
745 Milisegundos
  - Duración de rastreo  
5 min 16 seg
  - Rendimiento: Ver figura 46



Figura 46: Rendimiento Dispositivo Moto G Play

- **LG G6 LGUS997**
  - Datos del dispositivo  
Model: LGUS997

Device: lucye

Release version: 7.0

SDK version: 24

- Tiempo de inicio de la aplicación  
293 Milisegundos
- Duración de rastreo  
5 min 10 s
- Rendimiento: Ver figura 47

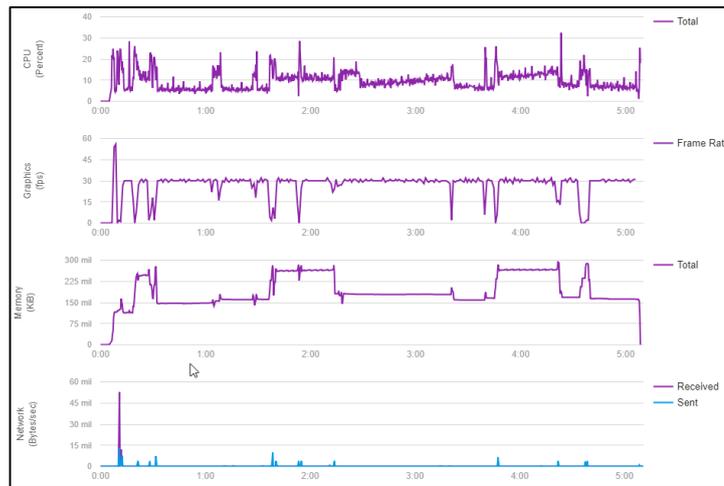


Figura 47: Rendimiento Dispositivo LG G6

- **Huawei Mate 9**

- Datos del dispositivo  
Model: MHA-L29  
Device: HWMHA  
Release version: 7.0  
SDK version: 24
- Tiempo de inicio de la aplicación  
210 Milisegundos
- Duración de rastreo  
5 min 3 seg
- Rendimiento: Ver figura 48

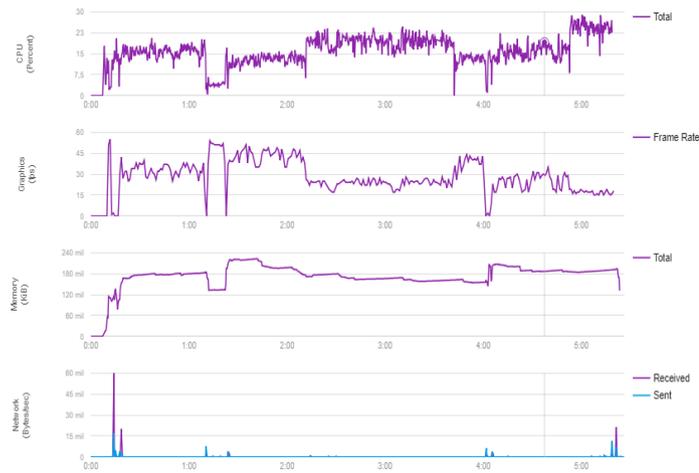


Figura 48: Rendimiento Dispositivo Huawei Mate 9

- **Samsung Galaxy S9**

- Datos del dispositivo
  - Model: SM-G96QU1
  - Device: starqlteu
  - Release version: 8.0.0
  - SDK version: 26
- Tiempo de inicio de la aplicación
  - 239 Milisegundos
- Duración de rastreo
  - 5 min 9 seg
- Rendimiento: Ver figura 49

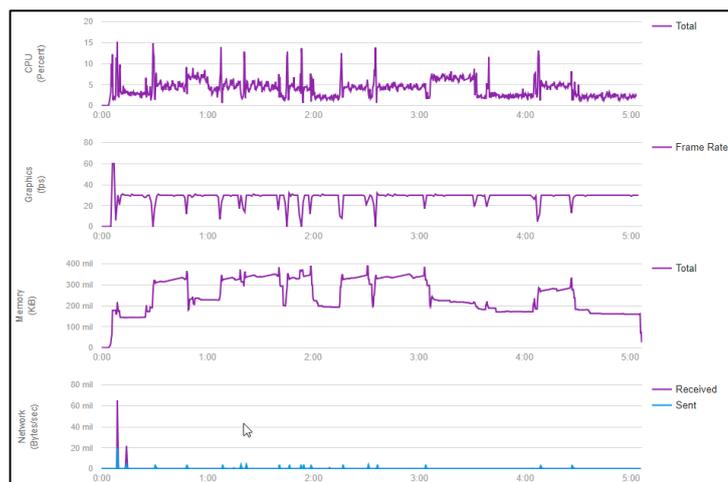


Figura 49: Rendimiento Dispositivo Samsung Galaxy S9

- **Huawei P8 lite**

- Datos del dispositivo

Model: ALE-L23

Device: hwALE-H

Release version: 5.0.1

SDK version: 21

- Tiempo de inicio de la aplicación

667 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 13 seg

- Rendimiento: Ver figura 50

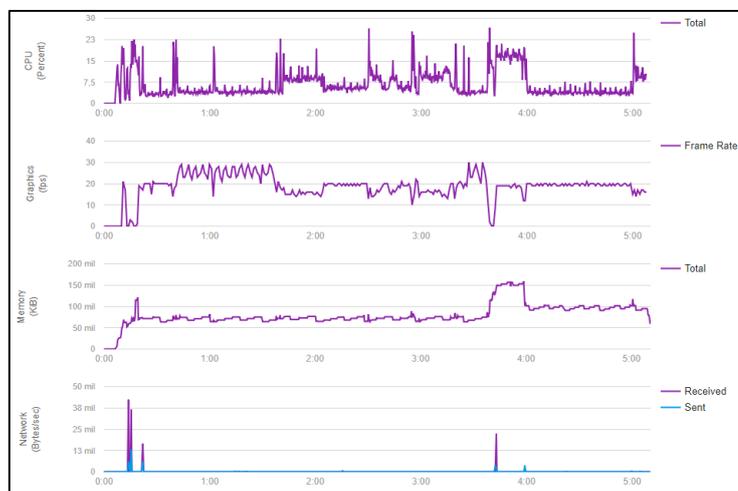


Figura 50: Rendimiento Dispositivo Huawei P8 Lite

- **Sony Xperia Z2**

- Datos del dispositivo

Model: D6503

Device: D6503

Release version: 5.0.2

SDK version: 21

- Tiempo de inicio de la aplicación

781 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 11 seg

- Rendimiento: Ver figura 51

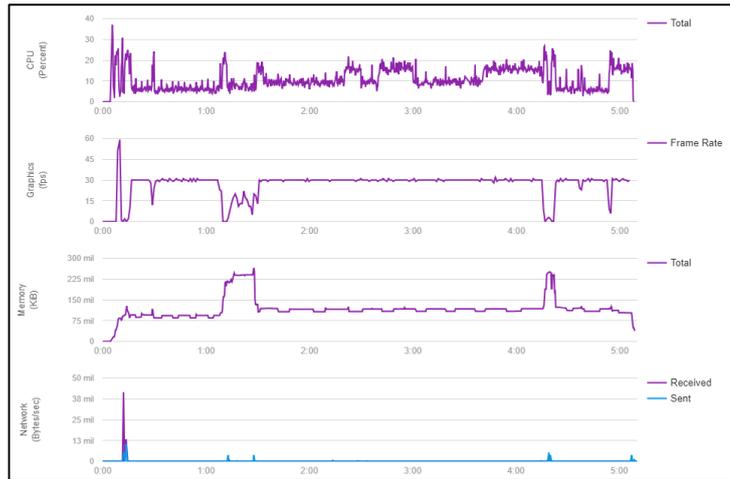


Figura 51: Rendimiento Dispositivo Sony Xperia Z2

- **Razer Phone**

- Datos del dispositivo

Model: Phone

Device: cheryl

Release version: 7.1.1

SDK version: 25

- Tiempo de inicio de la aplicación

174 Milisegundos

- Duración de rastreo

5 min 11 seg

- Rendimiento: Ver figura 52



Figura 52: Rendimiento Dispositivo Razer Phone

- **Moto G4**

- Datos del dispositivo  
Model: Moto G (4)  
Device: athene\_f  
Release version: 6.0.1  
SDK version: 23
- Tiempo de inicio de la aplicación  
491 Milisegundos
- Duración de rastreo  
5 min 12 seg
- Rendimiento: Ver figura 53

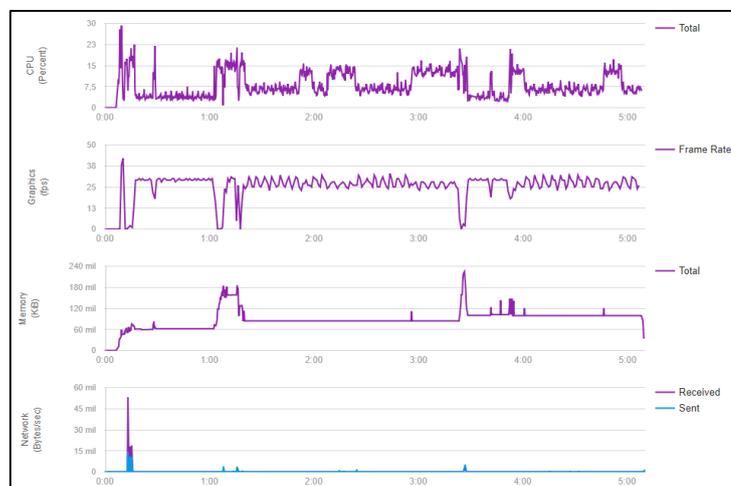


Figura 53: Rendimiento Dispositivo Moto G4

Una vez realizadas las pruebas en los distintos dispositivos se puede observar varias particularidades:

- En cuanto al uso del CPU se refiere el porcentaje máximo utilizado por todos los dispositivos no excede el 40% de total del CPU, además que los picos más altos de consumo se pueden apreciar al realizar la acción de cargar una escena, en el caso del consumo de videos, los picos se mantienen altos y constantes a diferencia de cualquier otra escena.
- Respecto a la memoria gráfica el aplicativo usa una media de 50,57 fotogramas por segundo (fps) lo que significa que si un dispositivo no dispone de un procesador gráfico como lo hacen dispositivos de la familia Samsung, Huawei o Razer, estos mantendrán un buen funcionamiento, si bien se puede notar un retraso leve entre la solicitud de una

escena y la presentación de la misma; siendo éste un factor que repercute para que una funcionalidad sea obsoleta por saturación de memoria gráfica.

- Uno de los aspectos cruciales durante el proceso de desarrollo de la aplicación era el consumo de memoria, ya que si éste era excesivamente alto se desencadenaría una serie de problemas en algunos dispositivos. Después de ver los resultados arrojados por las pruebas se pudo concluir que el consumo de memoria es de 260.000KB lo que equivale a 0,26 GB, una gran ventaja ya que la mayoría de los dispositivos actuales cuentan con al menos 1GB de memoria, este hecho garantiza que el aplicativo no colapsará por falta de memoria.
- El mayor flujo de información en todos los dispositivos sin importar modelo, marca o versión de API, se lleva a cabo dentro de los primeros segundos de funcionamiento del aplicativo, para ser más exactos desde el instante en que arranca la app hasta el momento que carga el menú principal.

La segunda fase de pruebas se realizó durante tres días sobre cinco dispositivos, con la finalidad de ver el comportamiento de dichos dispositivos en diferentes días, lo cual dará como resultado 15 pruebas, para estas pruebas se ha escogido una serie de dispositivos únicamente físicos con distintas características como nivel de API, modelo, año de lanzamiento, los cuales se detallan en la tabla 10.

Tabla 9. Dispositivos utilizados para segunda fase de test

Dispositivos Prueba 1	Dispositivos Prueba 2	Dispositivos Prueba 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moto G Play (4ta GEN), API 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moto G Play (4ta GEN), API 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moto G Play (4ta GEN), API 23 = Android 6.0 (MARSHMALLOW)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razer Phone, API 25 = Android 7.1.1 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razer Phone, API 25 = Android 7.1.1 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razer Phone, API 25 = Android 7.1.1 (NOUGAT)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xperia Z3, API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xperia Z3, API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Xperia Z3, API 21 = Android 5.0 (LOLLIPOP)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galaxy S7, API 24 = Android 7.0 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galaxy S7, API 24 = Android 7.0 (NOUGAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galaxy S7, API 24 = Android 7.0 (NOUGAT)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pixel 2, API 28 = Android 9.0 (P)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pixel 2, API 28 = Android 9.0 (P)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pixel 2, API 28 = Android 9.0 (P)</li> </ul>

- **Moto G Play (4th Gen)**
  - Datos del dispositivo

Tabla 10. Pruebas diarias Moto G Play

Fecha	02-08-2018	03-08-2018	05-08-2018
Tiempo de inicio de la aplicación	652ms	605ms	652ms
Duración de rastreo	5 min 18 seg	5 min 15 seg	5 min 19seg
Rendimiento	Ver Figura 54	Ver Figura 55	Ver Figura 56



Figura 54: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 02-08-2018



Figura 55: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 03-08-2018



Figura 56: Rendimiento Dispositivo Moto G Play / 05-08-2018

- **Razer Phone**
  - Datos del dispositivo

Tabla 11. Pruebas diarias Razer Phone

Fecha	02-08-2018	03-08-2018	05-08-2018
Tiempo de inicio de la aplicación	652ms	605ms	652ms
Duración de rastreo	5 min 18 seg	5 min 15 seg	5 min 19seg
Rendimiento	Ver Figura 57	Ver Figura 58	Ver Figura 59



Figura 57: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 02-08-2018

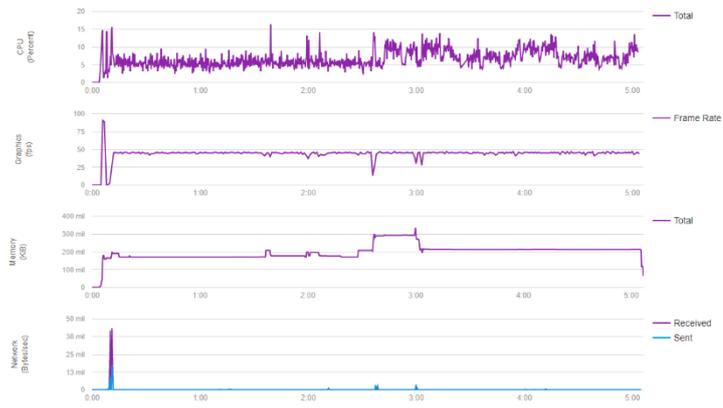


Figura 58: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 03-08-2018

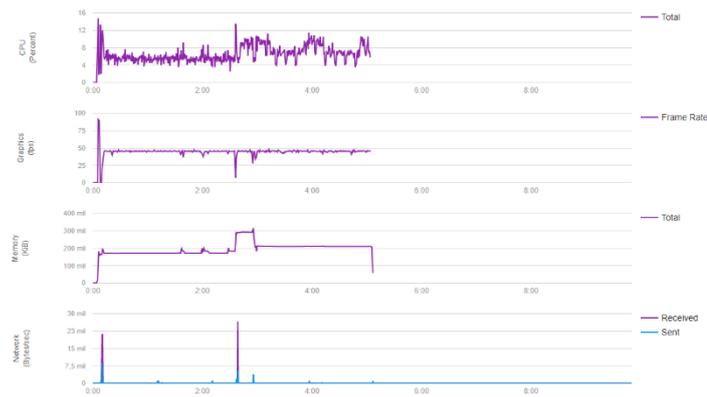


Figura 59: Rendimiento Dispositivo Razer Phone / 05-08-2018

- **Xperia Z3**
  - Datos del dispositivo

Tabla 12. Pruebas diarias Xperia Z3

Fecha	02-08-2018	03-08-2018	05-08-2018
Tiempo de inicio de la aplicación	652ms	605ms	652ms
Duración de rastreo	5 min 18 seg	5 min 15 seg	5 min 19seg
Rendimiento	Ver Figura 60	Ver Figura 61	Ver Figura 62



Figura 60: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 02-08-2018



Figura 61: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 03-08-2018

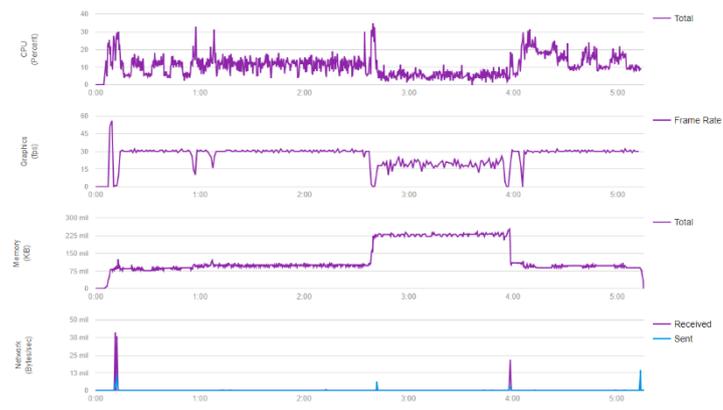


Figura 62: Rendimiento Dispositivo Xperia Z3 / 05-08-2018

- **Galaxy S7**
  - Datos del dispositivo

Tabla 13 . Pruebas diarias Galaxy S7

Fecha	02-08-2018	03-08-2018	05-08-2018
Tiempo de inicio de la aplicación	652ms	605ms	652ms
Duración de rastreo	5 min 18 seg	5 min 15 seg	5 min 19seg
Rendimiento	Ver Figura 63	Ver Figura 64	Ver Figura 65



Figura 63: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 02-08-2018



Figura 64: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 03-08-2018



Figura 65: Rendimiento Dispositivo Galaxy S7 / 05-08-2018

- **Pixel 2**
  - Datos del dispositivo

Tabla 14 . Pruebas diarias Pixel 2

Fecha	02-08-2018	03-08-2018	05-08-2018
Tiempo de inicio de la aplicación	652ms	605ms	652ms
Duración de rastreo	5 min 18 seg	5 min 15 seg	5 min 19seg
Rendimiento	Ver Figura 66	Ver Figura 67	Ver Figura 68



Figura 66: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 02-08-2018



Figura 67: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 03-08-2018

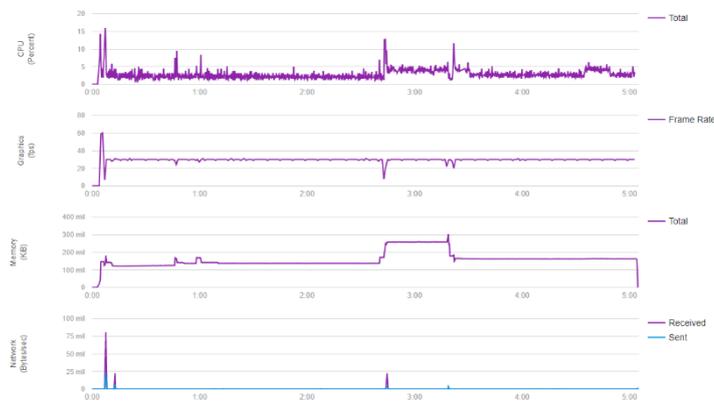


Figura 68: Rendimiento Dispositivo Pixel 2 / 05-08-2018

Una vez realizadas las pruebas de la segunda fase en los distintos dispositivos se puede observar las siguientes particularidades:

- En cuanto al porcentaje de uso del CPU todos los dispositivos no exceden el 40% de total del CPU, además que los picos más altos de consumo se pueden apreciar al realizar la acción de cargar una escena, en el caso del consumo de videos, los picos se mantienen altos y constantes a diferencia de cualquier otra escena.
- Respecto a la memoria gráfica el aplicativo usa una media de 58,2 fotogramas por segundo (fps) lo que significa que si un dispositivo no dispone de un procesador gráfico como lo hacen dispositivos de la familia Samsung, Huawei o Razer, estos mantendrán un buen funcionamiento, si bien se puede notar un retraso leve entre la solicitud de una escena y la presentación de la misma; siendo éste un factor que repercute para que una funcionalidad sea obsoleta por saturación de memoria gráfica.

- Uno de los aspectos cruciales durante el proceso de desarrollo de la aplicación era el consumo de memoria, ya que si éste era excesivamente alto se desencadenaría una serie de problemas en algunos dispositivos. Después de ver los resultados arrojados por las pruebas se pudo concluir que el consumo de memoria es de 267.000KB lo que equivale a 0,267 GB, una gran ventaja ya que la mayoría de los dispositivos actuales cuentan con al menos 1GB de memoria, este hecho garantiza que el aplicativo no colapsará por falta de memoria.
- El mayor flujo de información en todos los dispositivos sin tomar en cuenta el modelo, marca o versión de API, se lleva a cabo dentro de los primeros segundos de funcionamiento del aplicativo, para ser más exactos desde el instante en que arranca la app hasta el momento que carga el menú principal, adicionalmente también se muestran picos por la mitad de la ejecución de la aplicación.

### **3.2. Pruebas de Integración**

Para estas pruebas se ha tomado en consideración el comportamiento de los distintos componentes con que cuenta la aplicación al unirse para consolidar un solo trabajo como son: Marcadores, Objetos 3D, Fotografías, Videos, Imágenes, Textos, Texturas.

- **Marcadores**

Debido a que los marcadores deben ser cargados en la plataforma Vuforia para posteriormente obtener acceso a la base de datos correspondiente, es necesario acatar ciertas normas previstas por dicha plataforma, entre ellas que deben estar en un formato JPG o PNG y un peso máximo de 2MB. En la Figura 69 se puede observar la información de un marcador al subirlo a la base de datos de Vuforia.

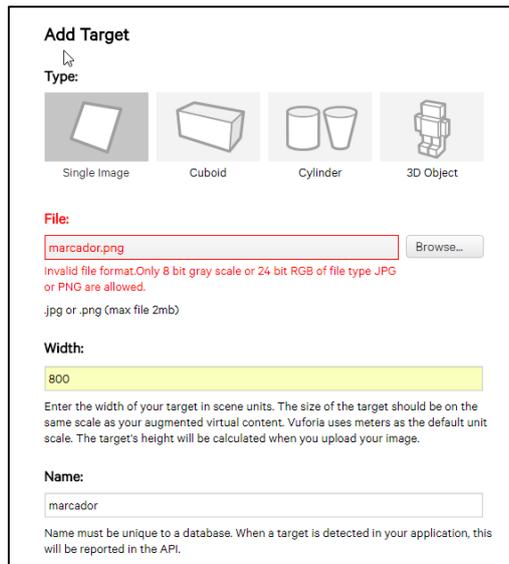


Figura 69: Información del marcador para la base de datos de Vuforia

Al realizar el primer intento de carga de un marcador siguiendo las normas básicas descritas por Vuforia se pudo notar un error el cual indicaba que al tratarse de un marcador en escala de grises se admite en formato 8 bits e imágenes a color de 24 bits. Una vez resuelto dicho problema, la carga de todos los marcadores se realizó con total normalidad.

- **Objetos 3D**

En cuanto al aspecto de objetos tridimensionales no hubo inconvenientes a la hora de integrar estos elementos, gracias a las prestaciones de *Maya* que permite importar sus objetos en un sinnúmero de formatos y Unity que admite varios formatos de objetos 3D. Los objetos 3D integrados pueden observarse en la Figura 70.



Figura 70: Objetos 3D integrados en Unity

- **Fotografías**

Para el aspecto de fotografía, uno de los inconvenientes en el proceso de integración de la app fue su resolución, ya que dichas fotografías debían ser de alta resolución (mínimo 1080px por 1920px); además, para aplicar una fotografía como objeto dentro de una

escena del aplicativo, se debe establecer Sprite (2D and UI) como tipo de textura de las fotografías. Las fotografías integradas se observan en la Figura 71.



Figura 71: Fotografías integradas en Unity

- **Videos**

Referente a la integración de los videos en Unity el principal inconveniente que se encontró fue que debía ser puesto sobre un objeto, en este caso se utilizó un plano de los objetos 3D nativos de unity, en el cual se colocó todos los componentes de video y sonido, además de los mencionado no se encontró ningún otro problema debido a que unity acepta formatos mp4 y mov. Cabe recalcar que al cargar un archivo con extensión .mov se presenta una advertencia que anticipa que dicho formato será obsoleto en las próximas versiones. En la Figura 72 se aprecia todos los videos integrados.



Figura 72: Videos integrados en Unity

- **Imágenes**

En este aspecto se creó: background, botones y el ícono del aplicativo, dentro de este punto al igual que las fotografías se debe establecer Sprite (2D and UI) como tipo de textura, los background se crearon con una medida de 1080 x 1920 como estándar de una pantalla Full HD, todos estos elementos fueron elaborados bajo un plano

transparente, lo cual facilita la colocación de dichos elementos en cualquier parte de la pantalla sin interferir con el aspecto de otros elementos. Las imágenes integradas se observan en la Figura 73.



Figura 73: Imágenes integradas en Unity

- **Audios**

Con el fin de lograr una aplicación más llamativa, se optó por la incorporación de un audio narrativo en la pantalla de realidad aumentada, sin que esta acción presente inconvenientes, ya que el único requisito está relacionado con el formato: mp3. Los audios integrados se presentan en la Figura 74.



Figura 74: Audios integrados en Unity

- **Texturas**

Las texturas constituyen un punto de suma importancia en el desarrollo del aplicativo, ya que gracias a estas el aspecto de los modelos 3D mejoran notablemente. En este parámetro no se tuvo mayor complicación al integrar con los objetos debido a que todas las texturas utilizadas fueron obtenidas gratuitamente de la tienda de Unity llamada "Assets Store". Las texturas utilizadas se observan en la Figura 75.

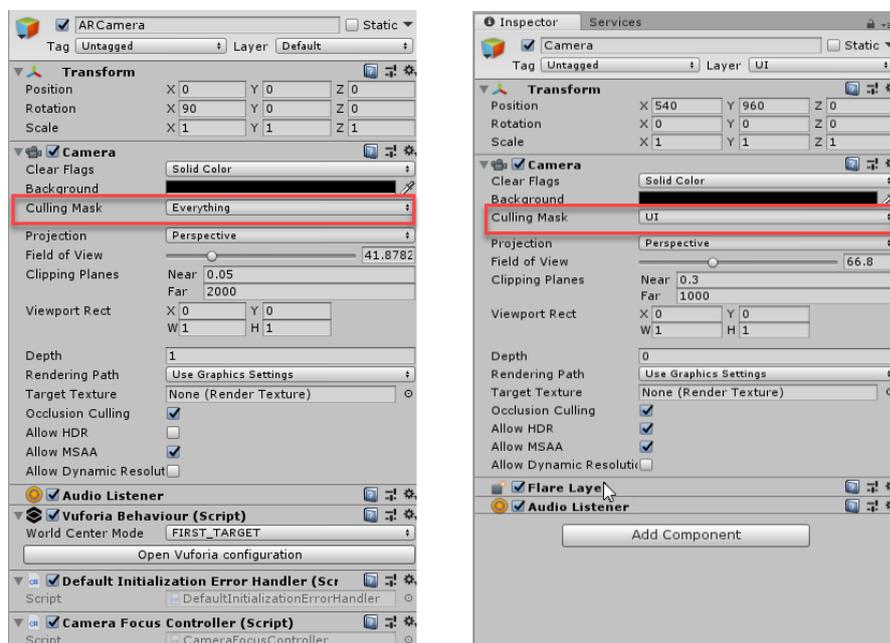


Figura 75: Texturas integradas en Unity

- **Escenas**

Se puede considerar a las escenas como una parte vital en la construcción del aplicativo ya que éstas representan las pantalla o interfaces que el usuario final podrá apreciar, al integrar escenas normales es decir con funciones tales como carga de imágenes, videos, textos, botones; con escenas de realidad aumentada con el uso del componente cámara, existía un conflicto en la presentación de las mismas, debido a esto fue necesario definir en la configuración de cada escena el tipo de comportamiento, evitando así que el componente cámara se active en ocasiones que no se requería de él.

La configuración que se realiza en las escenas que se crean en Unity se puede observar en la Figura 76.



Escena con camara

Escena sin camara

Figura 76: Configuración de las escenas en unity

Otro aspecto conflictivo a la hora de la presentación de las escenas fue la desconfiguración del aspecto de los objetos que ésta contenía; dicho problema

repercute en que al pasar el aplicativo por distintos tamaños de pantalla, los objetos distorsionan su apariencia, posición y en muchos casos se produjo un pixelamiento. Para prevenir el problema se optó por insertar todos los elementos de la pantalla a un canvas; éste proporciona una opción denominada “Canvas Scaler”, que dispone del modo “Scale With Screen Size”, que permite trabajar con una resolución referencial de pantalla. En el caso del presente trabajo se ha determinado trabajar para una resolución full HD 1080px X 1920px obtenido como resultado una vista uniforme incluso en pantallas de resolución menores a las establecidas. La configuración realizada se observa en la Figura 77.

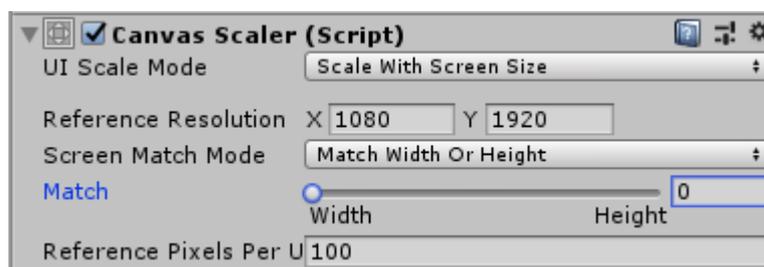


Figura 77: Configuración del canvas

- **Textos**

En cuanto a textos se refiere dentro del aplicativo no han sido un aspecto muy relevante, si bien el entorno de desarrollo es este aspecto es bastante limitada, llegando al punto de ofrecer únicamente una tipografía; el añadir nuevas tipografías es bastante sencillo, todo esto se soluciona buscando en internet la fuente con la cual se desea trabajar y descargando dicha fuente en formato otf, ttf, pbf, pfm, que debe ser arrastrada hacia el espacio de trabajo de Unity y está lista para su uso. Las fuentes agregadas se observan en la Figura 78.



Figura 78: Tipografías añadidas en Unity

- **Scripts**

Con la finalidad de realizar una integración más óptima de los elementos y una correcta navegación y flujo de interfaces se han considerado varias funciones que ayuden a esta tarea.

- **Auto Enfoque**

```
private bool mVuforiaStarted = false;
```

```
void Start () {  
    VuforiaARController vuforia = VuforiaARController.Instance;  
    if (vuforia != null)  
        vuforia.RegisterVuforiaStartedCallback(StartAfterVuforia);  
}
```

```
private void StartAfterVuforia() {  
    mVuforiaStarted = true;  
    SetAutofocus();  
}
```

```
void OnApplicationPause(bool pause) {  
    if (!pause) {  
        if (mVuforiaStarted) {  
            SetAutofocus();  
        }  
    }  
}
```

```
private void SetAutofocus() {  
    if  
(CameraDevice.Instance.SetFocusMode(CameraDevice.FocusMode.FOCUS_M  
ODE_CONTINUOUSAUTO)) {  
        Debug.Log("AutoFocus");  
    }  
    else {  
        Debug.Log("El dispositivo no soporta AutoFocus");  
    }  
}
```

- **Cerrar aplicación**

```
public void cerrar() {  
    Application.Quit();  
}
```

- **Cargar Escena**

```
public void cargar(string laguna) {  
    SceneManager.LoadScene(laguna);  
}
```

- **Controles de Video**

```
public void PlayCurrentClip(){  
    if (player.isPlaying){  
        player.Pause();  
    }  
    else{  
        if (!player.isPrepared){
```

```
        player.Prepare();
    }
    else{
        player.Play();
    }
    }
}
```

```
public void StopPlay(){
    player.Stop();
}
```

```
public void ResetPlay(){
    player.Stop();
    player.time = 0f;
}
```

```
public void PausePlayer(){
    player.Pause();
}
```

- **Rotación de Objetos**

```
void Update () {
    transform.Rotate( new Vector3(0,0.5f,0));
}
```

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Análisis de Impactos

En el presente trabajo se ha visto oportuno realizar un análisis de impactos en distintas áreas como: tecnológica, socio-cultural, ambiental y económico, para lo cual se han establecido ciertas variables con el fin de realizar una evaluación sistemática y que permita determinar si el trabajo tendrá una influencia positiva o negativa. Para las variables de interés se ha seleccionado un rango de niveles de impactos positivos y negativos, tal como se aprecia en la tabla 15.

Tabla 15. Tabla de definición de variables y valores para impacto

Valor	Impacto
-3	Impacto alto Negativo
-2	Impacto medio Negativo
-1	Impacto bajo Negativo
0	No hay Impacto
1	Impacto bajo Positivo
2	Impacto medio Positivo
3	Impacto alto Positivo

Una vez determinadas las variables con las cuales se trabajó, se crea una matriz por cada uno de los aspectos a evaluar el impacto, dicha matriz se constituye de un eje horizontal que contiene el nivel de impacto y el eje vertical con una serie de indicadores mediante los cuales se obtendrá información puntual sobre el área que se esté analizando.

Cabe señalar que a cada indicador se asignó un valor dependiendo de su nivel impacto, a su vez en la matriz se podrá visualizar una sumatoria de los niveles de impacto, dicho valor será dividido para el número de indicadores en cada una de las matrices dando como resultado un valor numérico el cual será considerado como el nivel de impacto del área.

#### Tecnológico

Nivel de Impacto Indicador	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
Uso de nueva Tecnología							x	3
Transferencia Tecnológica					x			1
Total					1		3	4

Suma del valor de impacto tecnológico: 4/2  
 Total del nivel de impacto tecnológico: 2  
 Nivel de Impacto tecnológico: Medio Positivo

En este indicador se aprecia que su impacto es positivo ya que se acorta la brecha o poco uso de nuevas tecnologías, generando beneficios a toda la comunidad Imbabureña.

### Social

Indicador \ Nivel de Impacto	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
	Formación						x	
Bienestar comunitario							x	3
Mejora del Turismo							x	3
Total						2	6	8

Suma del valor de impacto social: 8/3  
 Total del nivel de impacto social: 2,67  
 Nivel de Impacto social: Medio Positivo

Este proyecto podrá aportar beneficios al ámbito social al mejorar el turismo en los sectores cercanos a las lagunas, desencadenando un bienestar en las personas que viven de este recurso, ya que la aplicación podrá atraer y ofrecer información a un conglomerado mayor a través del uso de las tecnologías.

### Ambiental

Indicador \ Nivel de Impacto	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
	Reducción de uso papel							x
Mejora del Medio Ambiente							x	3
Total							6	6

Suma del valor de impacto ambiental: 6/2  
 Total del nivel de impacto ambiental: 3  
 Nivel de Impacto ambiental: Alto Positivo

Con respecto al impacto del medio ambiente se considera que gracias al aplicativo se puede reducir considerablemente el uso de papel para la creación de publicidad sobre las diversas lagunas de la provincia y por ende ser un aporte a la preservación de los recursos naturales.

## Económico

Indicador	Nivel de Impacto							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
Generación de Empleo							x	3
Nuevas Alianzas Estratégicas						x		2
Generación de Microempresas							x	3
Total						2	6	8

Suma del valor de impacto económico: 8/3

Total del nivel de impacto económico: 2,67

Nivel de Impacto económico: Medio Positivo

Uno de los aspectos sumamente importante dentro de los proyectos es el impacto económico, se ha llegado a establecer que el proyecto aporta de manera positiva a la provincia de Imbabura, ya que gracias al uso del aplicativo se atrae más visitantes y esto conlleva que los sitios necesiten lugares tales como: tiendas de artesanías, hoteles, restaurantes, entre otros, de dichos emprendimientos se puede generar varias plazas de trabajo.

## Conclusiones

Una vez concluida la investigación y desarrollo del presente trabajo se ha llegado a las conclusiones que se detallan a continuación:

Las herramientas seleccionadas para la elaboración del aplicativo resultaron ser completas y robustas siendo las mejores que se puede encontrar hoy en día dentro del mercado, tanto en el ámbito de modelado como en el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada.

Con el fin de realizar un desarrollo óptimo del aplicativo se debe tomar en cuenta que los picos más altos en cuanto a consumo de recursos del dispositivo se los obtiene durante la carga de una nueva pantalla o escena.

En la creación de los marcadores se observa que mientras más objetos y transiciones de color del blanco al negro se tengan, se puede conseguir una mayor cantidad de puntos, los cuales serán reconocidos por el software Vuforia y generan un resultado de mayor calidad.

Debido a la poca experticia a la hora de crear los modelos tridimensionales se creyó conveniente crear los modelos en un color sólido mate, para posteriormente con la ayuda del entorno de desarrollo Unity añadir texturas a los objetos y de esta manera el resultado final será un modelo 3D más vistoso y llamativo.

Con la finalidad de que el aplicativo no sea dependiente de una conexión a internet y debido a que las imágenes a reconocer no eran muchas, dentro del proceso de creación se optó por la utilización de una base de dato device de Vuforia.

Una de las desventajas de trabajar sobre la plataforma de desarrollo Unity 3D es que para cada acción que se desee realizar dentro del aplicativo es decir cada vista o pantalla se debe crear una nueva escena desde cero y cargar esta información al aplicativo, lo cual implica que mientras más escenas se crea el tamaño del aplicativo crece.

La plataforma de desarrollo Unity, si bien brinda un ambiente de trabajo visual e intuitivo para el desarrollador es restringida en cuanto a funciones de operación de los periféricos de los dispositivos móviles tales como: cámara, GPS, giroscopio, entre otros.

## **Recomendaciones**

Dentro de la construcción de todas las escenas con las cuales se desean trabajar es recomendable activar la opción de autoajustado de tamaño con el fin de poder apreciar la misma calidad de imágenes sin importar la resolución de la pantalla del dispositivo.

El desarrollo de aplicativos multiplataforma se encuentra en su punto mas crucial, debido a esto se recomienda utilizar entornos que permitan realizar un único desarrollo y luego permita compilar para los diferentes sistemas operativos, ya que esta es una gran ayuda para el desarrollador al reducir notablemente el tiempo de trabajo.

Dentro del mercado existen un sinnúmero de herramientas que permiten realizar aplicativos de realidad aumentada, sin embargo se debe dar el tiempo de indagar un poco sobre las ventajas y desventajas de cada una de ellas, ya que no todas se adaptan a las necesidades de ese momento; Vuforia es una herramienta bastante buena y potente.

## Referencias

- Arquiénpolis. (Agosto de 2018). *Arquiénpolis*. Obtenido de Arquiénpolis: <http://arquinetpolis.com/autodesk-maya-000344/>
- Arroyo, N. (2012). *Información en el móvil*. UOC.
- Autodesk, K. (s.f.). *Maya User Guide*. Obtenido de Maya User Guide: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Maya/files/GUID-864BD203-C437-4481-8BFC-3A6C1D2C824C-htm.html>
- Basogain, X., Olabe, M., & Espinosa, K. (2016). *Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente*. Bilbao.
- BlinkLearning. (s.f.). *blinklearning*. Recuperado el 10 de Enero de 2018, de blinklearning: [https://www.blinklearning.com/Cursos/c498180\\_c28584799\\_\\_2\\_\\_Dibujo.php](https://www.blinklearning.com/Cursos/c498180_c28584799__2__Dibujo.php)
- Cabero Almenara, J., Leiva Olivencia, J., & Moreno Martínez, N. (2016). *Realidad aumentada y educación: innovación en contextos formativos*. Barcelona: OCTAEDRO, S.L.
- Calle Cabrero, J. (2013). *Diseño en 3D con SketchUp*. Ministerio de Educacion, Cultura y Deporte.
- Cantor, A. (11 de Octubre de 2017). *Ascenso*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2018, de Ascenso: <https://ascenso.org/instituto-marketing-digital/respuestas/que-es-la-realidad-aumentada/>
- Caro, J. (2012). Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. *IX Congreso Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, 15.
- Collingridge, P. (s.f.). *3D graphics tutorial*. Recuperado el 22 de Marzo de 2018, de 3D graphics tutorial: <http://petercollingridge.appspot.com/3D-tutorial>
- Developers, G. (21 de Marzo de 2018). *Prueba de bucle de juego de Firebase Test Lab for Android*. Obtenido de Prueba de bucle de juego de Firebase Test Lab for Android: <https://firebase.google.com/docs/test-lab/game-loop?authuser=0>
- Espinosa, C. (2015). *Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas*. Sevilla: Pixel-Bit.
- Firebase, G. (25 de Mayo de 2018). *Prueba Robo de Firebase Test Lab for Android*. Obtenido de Prueba Robo de Firebase Test Lab for Android: <https://firebase.google.com/docs/test-lab/robo-ux-test?authuser=0>
- GmbH, W. (s.f.). Obtenido de <https://www.wikitude.com/>

- González Morcillo, C., Vallejo Fernández, D., Albusac Jiménez, J., & Castro Sánchez, J. J. (2013). *Realidad Aumentada. Un Enfoque Práctico con ARToolKit y Blender*. Bukok Publishing.
- Jorquera Ortega, A. (2017). *Fabricación Digital: introducción al modelado e impresión 3D*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Khemani, H., & Stonecypher, L. (18 de Diciembre de 2008). *Bright Hub Engineering*. Obtenido de Bright Hub Engineering: <https://www.brighthubengineering.com/cad-autocad-reviews-tips/19623-applications-of-cad-software-what-is-solid-modeling/x>
- MAYA, A. (s.f.). *Help Maya*. Recuperado el 1 de Mayo de 2018, de Help Maya: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2018/ENU/?guid=GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017>
- Megali, T. (12 de Septiembre de 2016). *Envato Pty Ltd*. Obtenido de Envato Pty Ltd.: <https://code.tutsplus.com/es/tutorials/introducing-augmented-reality-with-vuforia--cms-27160>
- Ortiz Sanz, J. (2014). *Casos prácticos de modelado 3D de precisión a partir de fotografías*. Compostela: Univesidad de Santiago de Compostela.
- Prendes Espinosa, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Revista de Medios y Educación*, 187-203.
- Studio, A. (25 de Abril de 2018). *Developers*. Obtenido de Developers: <https://developer.android.com/studio/test/>
- Technologies, U. (s.f.). *Unity 3D*. Recuperado el 9 de enero de 2018, de Unity 3D: <https://unity3d.com/es/>
- Technologies, U. (s.f.). *Unity Documentacion*. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de Unity Documentacion: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/class-PlayerSettings.html>
- Torres Ruiz, D. (2013). *La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural*. Asturias: EDICIONES TREA.
- Urdaneta, M. G. (9 de Mayo de 2016). *Netcurso*. Obtenido de Netcurso: <https://netcurso.net/blog/definiciones-autodesk-maya/>
- Vuforia. (s.f.). *Vuforia Developer Portal*. Recuperado el 10 de enero de 2018, de Vuforia Developer Portal: <https://developer.vuforia.com/>

## ANEXOS

### Manual de instalación Unity

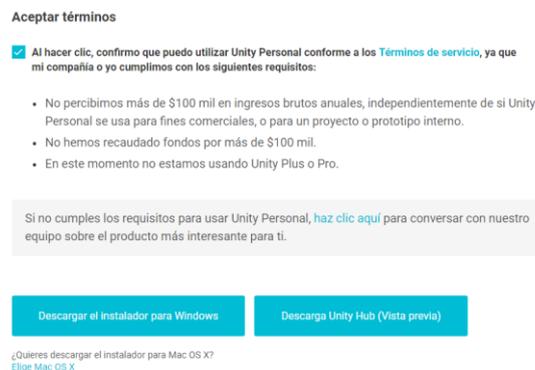
Para iniciar con la instalación de la plataforma Unity se debe dirigir directamente a la página web oficial del software <https://unity3d.com/es/unity>, en dicha página se podrá observar las diferentes opciones para la obtención del producto como se observa en la siguiente figura, ya sea que se opte por una versión de paga o la versión gratuita.



Una vez seleccionada la versión que se desea, en este caso la versión gratuita, el sitio web se re-direcciona hacia la página de descarga, y se da clic sobre el botón Descargar.



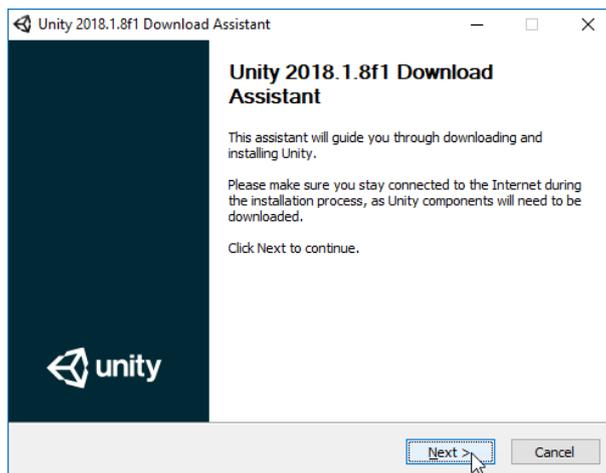
Luego de realizar dicho proceso se debe aceptar los términos y seleccionar el sistema operativo para la cual se desea adquirir el producto ya sea este Windows o Mac.



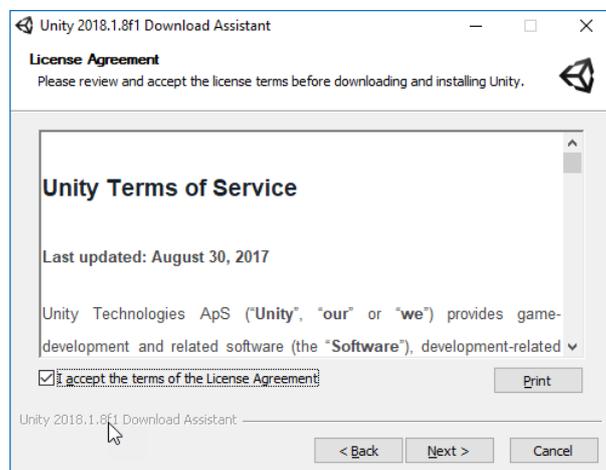
Se debe esperar a que la descarga finalice, ésta se realiza de manera muy rápida ya que únicamente se descarga un asistente de instalación.



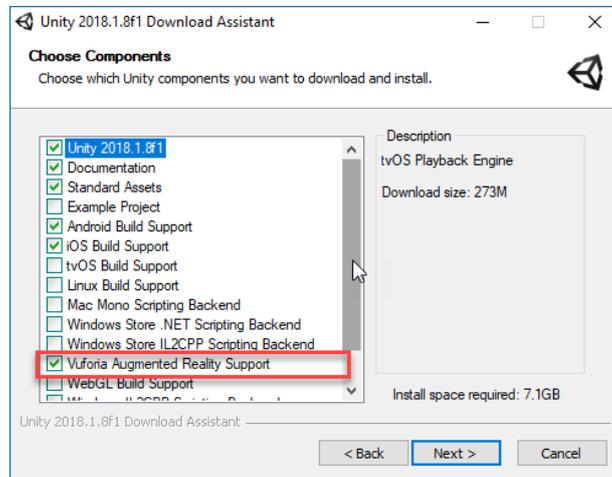
Es necesario ejecutar el instalador que se ha descargado y se presenta el asistente de descarga de Unity . Clic en Siguiente.



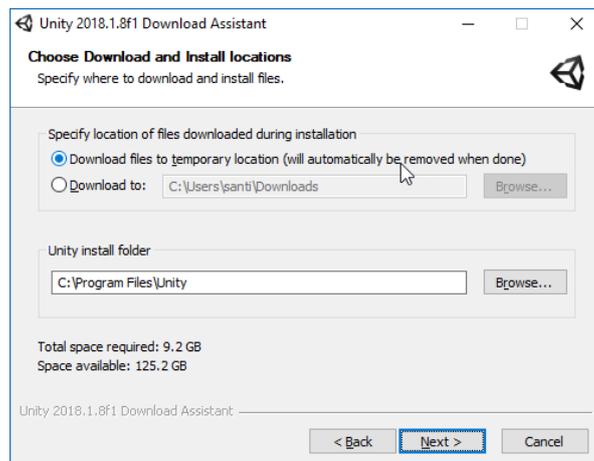
Se debe aceptar los términos de licencia y clic en Next



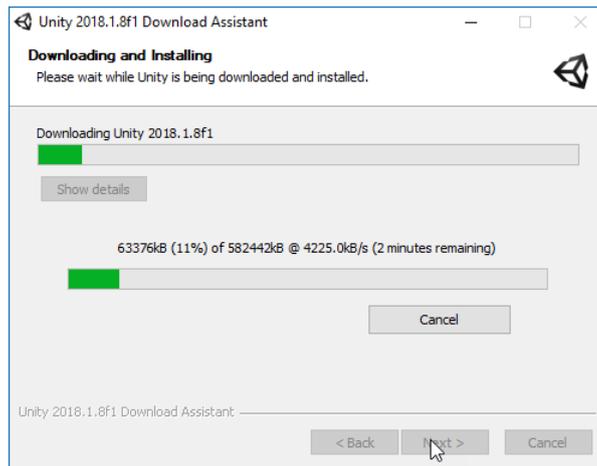
Al realizar una instalación desde cero de Unity se tiene la posibilidad de añadir los complementos de la herramienta de realidad aumentada de forma automática, caso contrario más adelante se explicará cómo hacerlo. En caso de ya tener instalado Unity previamente, se debe activar la casilla Vuforia Augmented Reality Support y clic en Next.



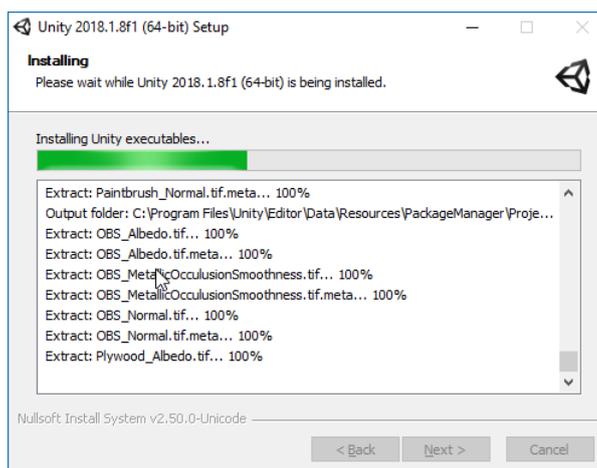
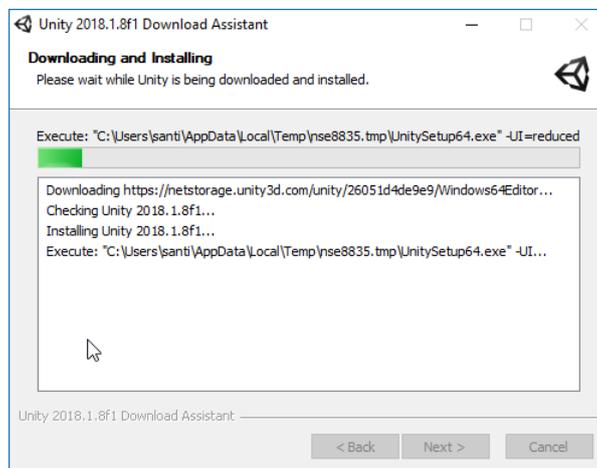
En la pantalla siguiente se define la ruta de descarga e instalación de Unity, una vez configurados estos parámetros, hacer clic en Next .



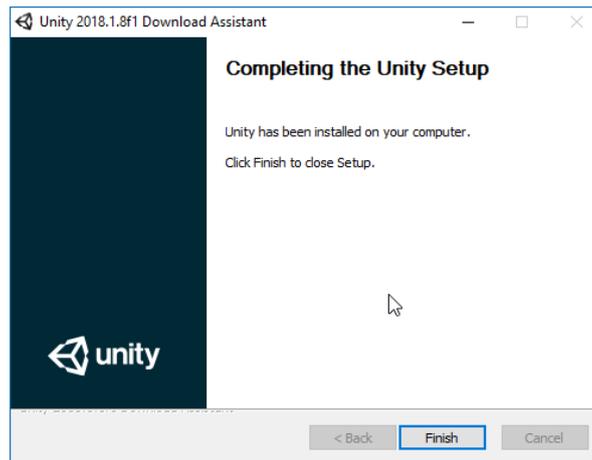
Finalmente es necesario esperar a que la descarga de todos los complementos seleccionados se ejecute. El tiempo de espera en este proceso dependerá de la velocidad de internet con la que se cuenta.



Una vez terminada la descarga, la instalación comenzará de forma automática por lo cual se podrá ver una pantalla similar a esta.



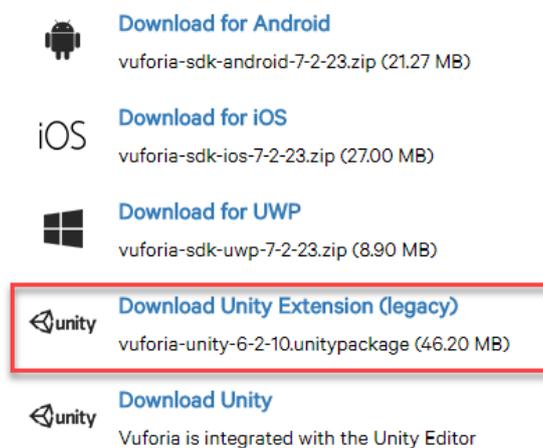
Una vez terminada la descarga e instalación de todos los complementos aparecerá una pantalla la cual indica que la instalación a finalizado, solo resta dar clic en el botón Finish para cerrar y terminar el proceso de instalación.



## Manual de Instalación y configuración Vuforia

Si se tiene una instalación previa del entorno de desarrollo Unity y se desea añadir el sdk de Vuforia, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Ingresar al sitio web oficial de Vuforia en <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>, una vez en la página web se debe escoger el sdk para la plataforma que se desea, en este particular caso se escogerá la opción “Download Unity Extension (legacy)”.



2. En caso de tener una cuenta de desarrollador de Vuforia se debe iniciar sesión y aceptar los términos de licencia en el cuadro de dialogo que aparece.

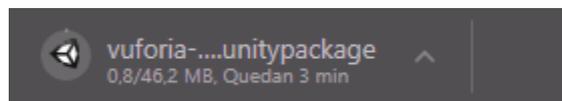
### Software License

In order to continue downloading, you need to agree to the terms below.

Use of this Vuforia™ Software Development Kit or extension (the "Software") is subject in all respects to all of the terms and conditions of the Vuforia Developer Agreement, which may be found at <https://developer.vuforia.com/legal/vuforia-developer-agreement>. If you do not agree to all the terms and conditions of the Vuforia Developer Agreement, then you must not retain or in any manner use any of the Software.

[Print](#)
[Decline](#)
[I Agree](#)

3. Una vez aceptados los términos comienza la descarga



4. En caso de no tener una cuenta de desarrollador se podrá crear una en ese instante dando clic sobre la opción "Create account now".

### Login

Login with your Vuforia developer account to download software, get license keys and participate in the Vuforia community.

Not Registered? [Create account now](#)
Email Address is required

[Forgot password?](#)  
 Password is required

5. Debe completarse un formulario para la creación de nuestro usuario

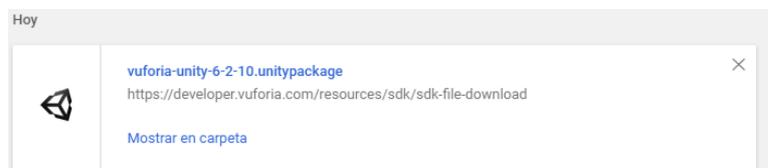
<input type="text" value="First Name"/>	<input type="text" value="Last Name"/>
<input type="text" value="Company"/>	<input type="text" value="Select Country of Residence"/>
<input type="text" value="Email Address"/>	<input type="text" value="Username"/>
<input type="password" value="Password"/>	<input type="password" value="Confirm Password"/>
	<input type="text" value="Captcha Code"/>

I agree to the terms of the [Vuforia Developer Agreement](#).

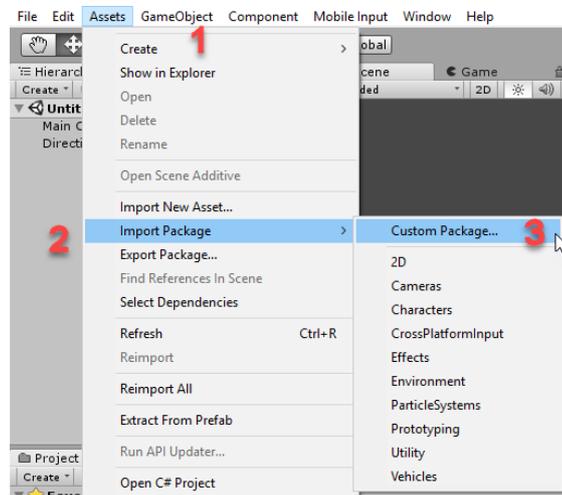
6. Una vez llenado el formulario se envía al correo electrónico de registro un mail con un enlace para confirmación y verificación de la cuenta creada.



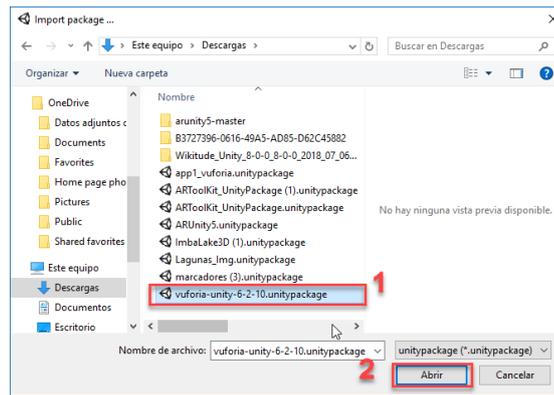
7. Una vez creada la cuenta se procede según el paso 2 y 3, y debe esperarse a que la descarga finalice.



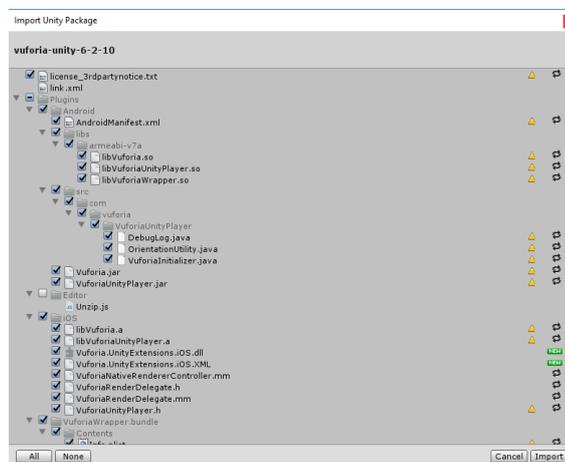
8. Una vez se haya finalizado la descarga, será momento de dirigirse al entorno de desarrollo Unity 3D sobre el proyecto que se desea trabajar e importar el paquete desde la barra de herramientas en la opción Assets → Import Package → Custom Package.



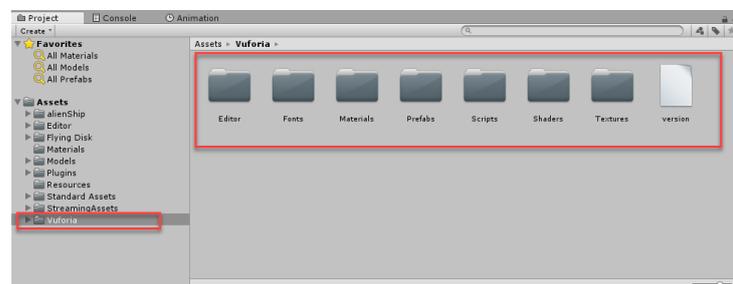
9. Seleccionar el archivo descargado y dar clic en el botón abrir.



10. Ya seleccionado y abierto el archivo se presenta una ventana indicando todos los archivos que se van a importar, en dicha pantalla se debe dar clic en Import.



11. Finalmente, cuando el proceso de importación haya finalizado aparecerá en el espacio de trabajo una carpeta la cual contendrá todos los archivos necesarios para empezar a trabajar.



## Manual de instalación y configuración de Maya

1. Seleccionar la opción gratuita desde el sitio web del AutoDesk Maya <https://latinoamerica.autodesk.com/products/maya/overview>.



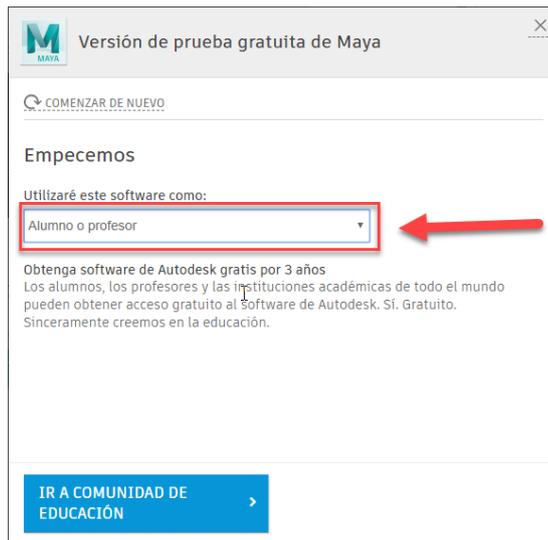
2. Al seleccionar la opción señalada en el paso anterior, se redirige a una página donde se establece que la versión de prueba que se va a descargar es válida por 30 días.



3. Al dar clic en el botón “Descargar Prueba Gratuita” se mostrará una ventana emergente en la cual se especifica los requerimientos mínimos para el funcionamiento del software.



4. Al dar clic en el botón siguiente se podrá apreciar la pantalla donde se debe seleccionar el tipo de uso que se le dará al software, al seleccionar la opción de Alumno o Profesor se activará la opción para ir a la comunidad de educación.

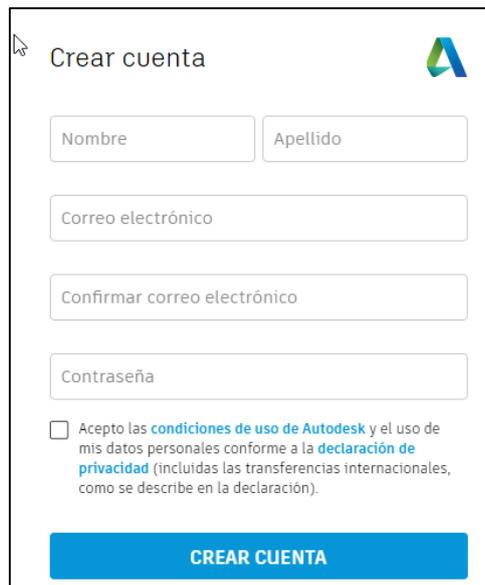


5. La ventaja de la comunidad de educación es que otorga a los alumnos una licencia de tres años, si se tiene una cuenta se inicia sesión para seleccionar las características del software del cual se va a descargar, caso contrario se deberá crear una cuenta.



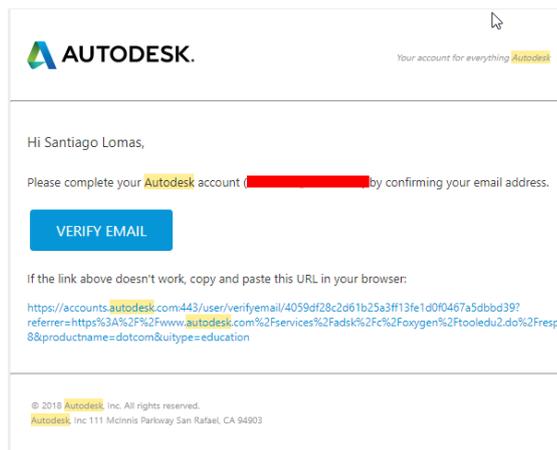
6. En caso de no tener la cuenta y dar clic en el botón “CREAR UNA CUENTA” y se abrirá un formulario, el cual pedirá datos de país, función y fecha de nacimiento.

7. Una vez ingresados los datos aparece el formulario para la creación de la cuenta.



The screenshot shows a web form titled "Crear cuenta" (Create account) with the Autodesk logo in the top right corner. The form contains several input fields: "Nombre" (Name) and "Apellido" (Last name) as separate boxes, "Correo electrónico" (Email), "Confirmar correo electrónico" (Confirm email), and "Contraseña" (Password). Below the fields is a checkbox with the text: "Acepto las condiciones de uso de Autodesk y el uso de mis datos personales conforme a la declaración de privacidad (incluidas las transferencias internacionales, como se describe en la declaración)." At the bottom of the form is a large blue button labeled "CREAR CUENTA".

8. Al llenar el formulario llegará un mensaje al correo de registro, el cual contendrá un enlace para la verificación del correo válido.



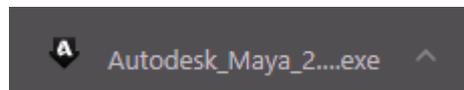
9. Una vez realizado el login se debe escoger la versión del software, el sistema para el cual se desea descargar, el idioma y se activará el botón "Instalar ahora".



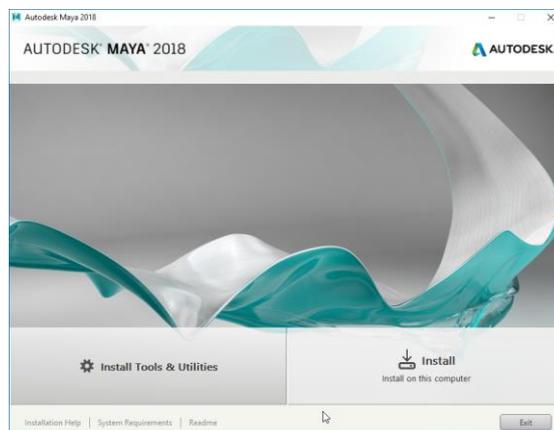
10. Al hacer clic sobre el botón “INSTALAR AHORA” se mostrará una ventana emergente en la cual se tendrá que aceptar los términos y dar clic sobre el botón “Instalar”.



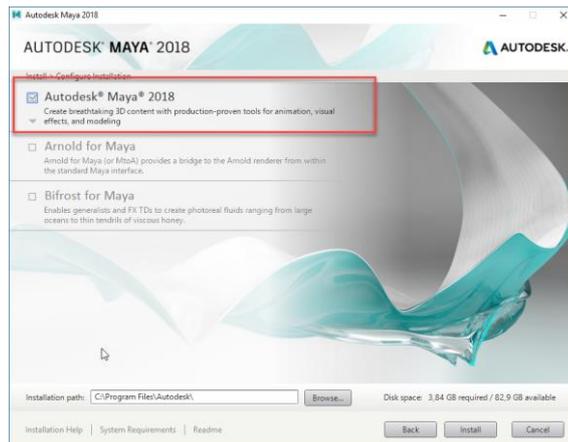
11. Se descargará un archivo el cual servirá la para gestionar la instalación del producto.



12. Una vez ejecutado el archivo descargado aparecerá una ventana con las opciones de instalación herramientas e instalación del producto completo, se debe seleccionar la opción de instalación del producto completo.



13. Luego de haber dado clic en instalar se deberá escoger las herramientas que se desea instalar, para este caso únicamente se dejará seleccionado Autodesk Maya 2018.

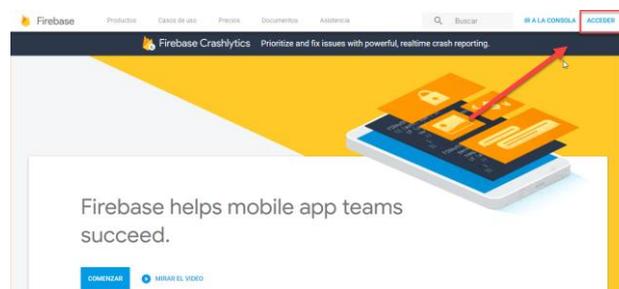


14. Luego de esto se deberá esperar a que el proceso de instalación termine

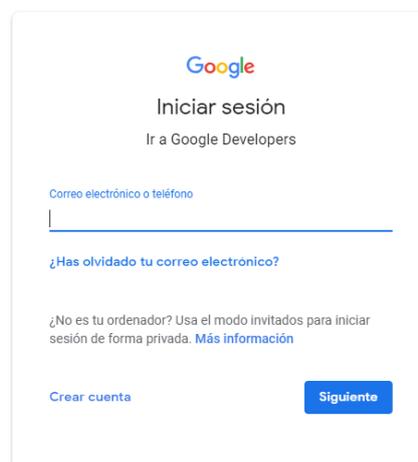
## Manual Firebase

Para el uso de la plataforma firebase se debe contar con una cuenta de correo electrónico de Google.

1. Desde el sitio oficial de firebase <https://firebase.google.com/> se procede a dar clic sobre el botón Acceder.



2. Este botón permite visualizar una pantalla donde se solicita un login con el correo electrónico de Google (gmail).

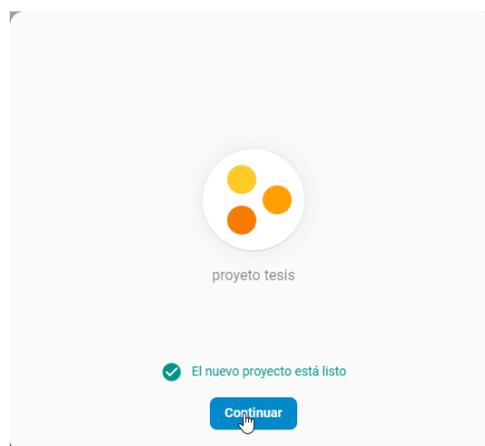


3. Una vez realizada la autenticación se presenta la pantalla inicial de firebase desde la cual se crea un nuevo proyecto, para lo cual se dará clic sobre la opción *Añadir proyecto*.

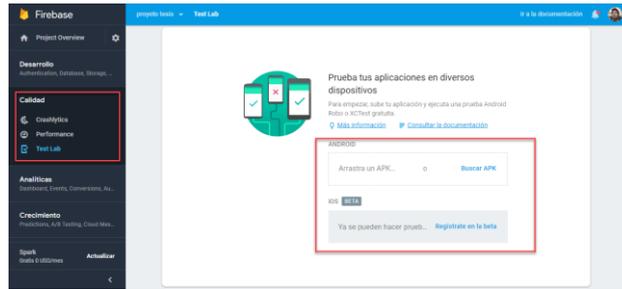


4. Al dar clic se presentará un formulario emergente en el cual se deberá detallar el algunos datos del proyecto.

5. Si el proyecto se ha creado satisfactoriamente se presentará una pantalla indicando este hecho y únicamente bastará con dar clic en continuar.



6. Una vez creado el proyecto se podrá apreciar en pantalla las diversas opciones que proporciona firebase, para realizar las pruebas se debe ir a la opción *Calidad*→*Test Lab*, allí se deberá realizar la carga del archivo apk desde el aplicativo.

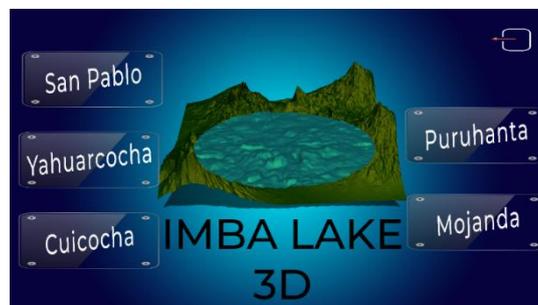


## Manual de usuario del aplicativo

A continuación, se detalla cada uno de los pasos a seguir para utilizar ImbaLake 3D, que es una aplicación con realidad aumentada que tiene como temática promocionar las cinco lagunas de la provincia de Imbabura: San Pablo, Yahuarcocha, Cuicocha, Puruhanta, Mojanda.

La aplicación consta de cuatro funcionalidades por cada laguna: leer un marcador y proyectar un modelo 3D de la laguna elegida, proyectar un video, visualizar una galería de imágenes y mostrar información sobre el sitio elegido.

1. Una vez instalada la aplicación en el dispositivo móvil, se procede a abrirla con lo que muestra primera pantalla que contiene el menú de funcionalidades de la misma. La primera vez es necesario otorgar permisos para acceder a la cámara.



2. Los marcadores que se van a utilizar son los siguientes:

- San Pablo



- Yahuarcocha



- Cuicocha



- Puruhanta



- Mojanda



- Al dar clic sobre el botón que corresponde a una de las lagunas, se abrirá otra pantalla donde se mostrarán 4 botones con las funcionalidades ya especificadas al inicio. Cada nueva pantalla que se abra cuenta con un botón que permite regresar a la pantalla anterior.



- Al elegir la opción de “Realidad Aumentada” se abrirá la cámara del dispositivo para leer el marcador y sobreponer el modelo 3D de la laguna seleccionada.



- Al elegir la opción de “Video” se reproducirá un video promocional de la laguna seleccionada como destino turístico; además, la pantalla cuenta con botones de control para pausar, reproducir y detener el video.



- Al elegir la opción de “Galería”, se mostrará una serie de imágenes que describen el paisaje de San Pablo.



7. Y la última opción de “Información”, muestra una pantalla de datos informativos relevantes acerca del sitio turístico San Pablo.

El lago San Pablo, se encuentra a 10,7Km de la ciudad de Otavalo, específicamente en la parroquia de González Suárez, éste se encuentra situado a una altura de 2660 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una temperatura promedio de 12°C, además tiene una profundidad en sus orillas de 35 metros y de 48 metros en el centro, su superficie es de 7 kilómetros cuadrados.

Se debe repetir el proceso para cada una de las lagunas consideradas en el proyecto.