



## PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito final para  
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

Desarrollo de una aplicación móvil para museos utilizando  
Realidad Aumentada en el marco de una Ciudad Inteligente

Por

Br. Golfredo Flores

Tutor: Prof. Domingo Hernández

Febrero 2021

©2021 Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

C.C. Reconocimiento

# **Desarrollo de una aplicación móvil para museos utilizando Realidad Aumentada en el marco de una Ciudad Inteligente**

Br. Gólfredo Flores

Proyecto de Grado — Sistemas Computacionales, 77 páginas

**Resumen:** Las Ciudades Inteligentes son aquellas que hacen uso de las tecnologías de información y comunicación para un uso más eficaz de recursos y servicios y así promover un desarrollo que permita mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos.

En cuanto a la faceta de cultura y bienestar en una ciudad inteligente, la provisión de información relacionada con la ciudad se puede realizar incorporando aplicaciones con tecnologías como la Realidad Aumentada, que consiste en el enriquecimiento de la percepción del mundo real a través de la superposición, de imágenes, marcadores o información virtual.

En la ciudad de Mérida, los museos no cuentan hasta ahora con herramientas tecnológicas de avanzada como la realidad aumentada que contribuyan a la explotación de su potencial turístico, histórico, cultural y patrimonial.

De igual forma en la Universidad de Los Andes, específicamente en la Escuela de Ingeniería de Sistemas, la creación de aplicaciones haciendo uso de esta tecnología ha sido un área poco explorada. Esto queda evidenciado en el hecho de que hasta la presente fecha no se encuentran trabajos referentes al tema que involucren de una forma detallada el diseño y desarrollo de este tipo de aplicaciones destinados a dispositivos móviles con enfoque y utilización al campo turístico, cultural, histórico y educacional. En el presente proyecto se desea mostrar una descripción y análisis detallados de los procesos y experiencias obtenidos a lo largo del desarrollo de esta aplicación.

Todo esto se podrá tomar como un aporte al turismo regional, así como un apoyo a la preservación del patrimonio histórico y cultural con miras a que la ciudad de Mérida de un paso más a convertirse en una ciudad inteligente.

**Palabras clave:** Realidad aumentada, Ciudad inteligente, Museo, Patrimonio cultural, Aplicación móvil

**C.C. Reconocimiento**

# Índice general

Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
Agradecimientos	x
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.2. Definición del problema . . . . .	3
1.3. Justificación . . . . .	3
1.4. Objetivos . . . . .	4
1.4.1. Objetivo general . . . . .	4
1.4.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.5. Metodología . . . . .	5
1.6. Estructura de presentación del proyecto . . . . .	6
1.7. Alcance . . . . .	6
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>8</b>
2.1. Realidad Aumentada . . . . .	8
2.2. Historia de la Realidad Aumentada . . . . .	9
2.3. Funcionamiento de la Realidad Aumentada . . . . .	10
2.4. Tipos de Realidad Aumentada . . . . .	13
2.5. Diferencias entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual . . . . .	16
2.6. Ciudad Inteligente . . . . .	17
2.7. Características de una Ciudad Inteligente . . . . .	18

2.8. Ciudades Inteligentes en la actualidad . . . . .	19
2.9. Relación entre la tecnología de Realidad Aumentada y Ciudades Inteligentes . . . . .	19
2.10. Comparación de herramientas de desarrollo de Realidad Aumentada . .	20
2.11. Comparación de herramientas de modelado en 3D . . . . .	22
2.12. Unity 3D como software para desarrollo de aplicaciones. . . . .	25
2.13. Adaptación de un Método de desarrollo Iterativo e Incremental en el desarrollo de la aplicación . . . . .	27
<b>3. Diseño conceptual</b>	<b>29</b>
3.1. Actores . . . . .	29
3.2. Requisitos . . . . .	30
3.2.1. Requisitos funcionales . . . . .	30
3.2.1.1. Requisitos funcionales de la aplicación móvil . . . . .	30
3.2.1.2. Requisitos funcionales del sitio web . . . . .	30
3.2.2. Requisitos no funcionales . . . . .	31
3.2.2.1. Requisitos no funcionales de la aplicación móvil . . . . .	31
3.2.2.2. Requisitos no funcionales del sitio web . . . . .	31
3.3. Estilo estructural . . . . .	31
3.3.1. Arquitectura . . . . .	32
3.3.1.1. Arquitectura en aplicación móvil . . . . .	32
3.3.1.2. Arquitectura en sitio web . . . . .	33
3.4. Vistas arquitectónicas . . . . .	34
3.4.1. Casos de uso . . . . .	36
3.4.1.1. Casos de uso en Aplicación móvil. . . . .	36
3.4.1.2. Casos de uso en Sitio web. . . . .	39
3.4.2. Modelos de clases . . . . .	44
3.4.2.1. Modelo de clases en Aplicación Móvil . . . . .	44
3.4.3. Modelos de interacción . . . . .	45
3.4.3.1. Modelo de interacción en Aplicación Móvil . . . . .	46
3.4.3.2. Modelo de interacción en Sitio Web . . . . .	46
3.5. Diseño de la interfaz . . . . .	47

3.5.1. Diseño de interfaz de Aplicación móvil . . . . .	47
3.5.2. Diseño de interfaz de Sitio web . . . . .	49
<b>4. Desarrollo y Pruebas</b>	<b>51</b>
4.1. Diseño y modelado de objetos y texturas . . . . .	51
4.1.1. Modelado de objetos 3D . . . . .	53
4.1.2. Selección de texturas . . . . .	54
4.1.3. Renderizado . . . . .	54
4.1.4. Diseño de Marcas . . . . .	55
4.2. Desarrollo de la aplicación . . . . .	57
4.2.1. Implementación de Realidad Aumentada . . . . .	57
4.2.1.1. Mejoras de implementación . . . . .	58
4.2.2. Interfaz de usuario . . . . .	61
4.3. Desarrollo del sitio web . . . . .	62
4.4. Pruebas de funcionamiento . . . . .	66
4.4.1. Caso 1: Pruebas de navegación en la aplicación . . . . .	66
4.4.2. Caso 2: Pruebas de realidad aumentada en la aplicación . . . . .	68
4.4.3. Análisis de resultados . . . . .	70
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>71</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	71
5.2. Recomendaciones . . . . .	73
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>74</b>

# Índice de cuadros

2.1. Comparación de herramientas de desarrollo de realidad aumentada. . . . .	21
2.2. Comparación de herramientas de modelado en 3D. . . . .	23
3.1. Actor principal en aplicación móvil y sitio web. . . . .	29
3.2. Caso de uso Capturar Marca. . . . .	37
3.3. Caso de uso Ver información. . . . .	37
3.4. Caso de uso Ver Ayuda. . . . .	38
3.5. Caso de uso Salir de la Aplicación. . . . .	38
3.6. Caso de uso Ver información de Aplicación Móvil. . . . .	40
3.7. Caso de uso Descargar Aplicación Móvil. . . . .	41
3.8. Caso de uso Acceder Experiencia AR. . . . .	42
3.9. Caso de uso Ver Contacto. . . . .	43
4.1. Pruebas de navegación: Vista de información . . . . .	66
4.2. Pruebas de navegación: Vista de ayuda . . . . .	67
4.3. Pruebas de navegación: Salir de la aplicación . . . . .	67
4.4. Pruebas de realidad aumentada: Modelo 01 . . . . .	68
4.5. Pruebas de realidad aumentada: Modelo 02 . . . . .	68
4.6. Pruebas de realidad aumentada: Modelo 03 . . . . .	69
4.7. Pruebas de realidad aumentada: Modelo 04 . . . . .	69

# Índice de figuras

2.1. Proceso de Realidad Aumentada. . . . .	11
2.2. Tecnología OST. . . . .	12
2.3. Tecnología VST. . . . .	13
2.4. Realidad Aumentada basada en marcadores. . . . .	14
2.5. Realidad Aumentada basada en localización. . . . .	14
2.6. Realidad Aumentada basada en proyecciones. . . . .	15
2.7. Realidad Aumentada por superposición. . . . .	15
2.8. Ejemplos de Realidad Aumentada . . . . .	16
2.9. Ejemplos de Realidad Virtual . . . . .	17
2.10. Interfaz de desarrollo en Blender 3D. . . . .	24
2.11. Interfaz de desarrollo en Unity 3D. . . . .	26
3.1. Arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC). . . . .	32
3.2. Arquitectura Cliente-servidor. . . . .	33
3.3. Modelo de vista 4+1. . . . .	35
3.4. Diagrama de casos de uso Aplicación móvil. . . . .	36
3.5. Diagrama de casos de uso Sitio Web. . . . .	39
3.6. Diagrama de clases Aplicación Móvil. . . . .	44
3.7. Diagrama de secuencia Aplicación Móvil. . . . .	46
3.8. Diagrama de secuencia Sitio Web. . . . .	46
3.9. Diseño de vista principal de Aplicación Móvil. . . . .	47
3.10. Diseño de vista “Realidad Aumentada” de Aplicación Móvil. . . . .	47
3.11. Diseño de vista “Información” de Aplicación Móvil. . . . .	48
3.12. Diseño de vista “Ayuda” de Aplicación Móvil. . . . .	48

3.13. Diseño de vista “Inicio” de Sitio Web . . . . .	49
3.14. Diseño de vista “Experiencia AR” de sitio web . . . . .	50
3.15. Diseño de vista “Contacto” de sitio web . . . . .	50
4.1. Fotografías obras prehispánicas seleccionadas. . . . .	52
4.2. Vistas imágenes guías en coordenadas en Blender. . . . .	53
4.3. Modelo poligonal y suavizado en Blender. . . . .	53
4.4. Texturas de objetos. . . . .	54
4.5. Renderizado de modelos 3D en Blender. . . . .	55
4.6. Marcas para proyección de Realidad Aumentada . . . . .	56
4.7. Escena con modelo en 3D y marca en Unity . . . . .	57
4.8. Realidad Aumentada de los modelos 3D importados. . . . .	58
4.9. “ExtendedTracker.cs”, script de retardo de proyección en pantalla . . . . .	59
4.10. “Rotate.cs”, script de rotación de modelo 3D . . . . .	59
4.11. “Gesture.cs”, script de zoom en pantalla . . . . .	60
4.12. Vista de carga de la Aplicación . . . . .	61
4.13. Vista principal de la Aplicación con realidad aumentada . . . . .	61
4.14. Vista de información de la Aplicación . . . . .	62
4.15. Vista de ayuda de la Aplicación . . . . .	62
4.16. Vista principal del sitio web . . . . .	63
4.17. Vista de “Experiencia AR” del sitio web . . . . .	64
4.18. Vista de Realidad Aumentada en sitio web tomada desde la aplicación . . . . .	65
4.19. Vista de contacto del sitio web . . . . .	65

# Capítulo 1

## Introducción

Las ciudades inteligentes son aquellas que hacen uso de las tecnologías de información y comunicación para un uso más eficaz de recursos y servicios y de esta forma, promover un desarrollo sostenible que mejore la calidad de vida de sus ciudadanos.

Según Cano, L. [8]: “Las ciudades y las comunidades deben de ser inclusivas, resilientes, seguras y sostenibles, por tal motivo, las ciudades deben de estar construidas y enfocadas en servir a sus habitantes”.

En cuanto a la faceta de cultura y bienestar en una ciudad inteligente, la provisión de información relacionada con la ciudad, en lo relativo a ocio y tiempo libre en general se puede realizar incorporando aplicaciones con tecnologías como la realidad aumentada que faciliten la interacción de usuarios con atracciones locales.

“La realidad aumentada es la combinación de datos digitales y percepción humana del mundo real en tiempo real que aparentan estar adheridos al espacio físico” Linowes, J y otros [25, p. 40].

Es decir, la realidad aumentada es una tecnología en la cual la información del mundo real se integra con lo digital a través de la superposición, en tiempo real, de imágenes, marcadores o información virtual, ofreciendo una experiencia tal para el usuario, que puede llegar a pensar que forma parte la vida cotidiana.

Hoy en día, con el enorme desarrollo de dispositivos portátiles (como teléfonos inteligentes y tabletas) cada vez más potentes, se ha experimentado un auge en el

desarrollo de este tipo de aplicaciones, así como su comercialización, extendiéndose a usuarios comunes un concepto que hasta la fecha se consideraba restringido a entornos de laboratorio.

Este trabajo muestra a manera de descripción y análisis, lo relacionado al diseño y desarrollo de una aplicación con realidad aumentada para dispositivos móviles, ofreciendo una experiencia y referencia en cuanto al adentramiento en esta novedosa tecnología y servir como aporte a museos en una ciudad que tiene potencial y miras a convertirse en ciudad inteligente.

## 1.1. Antecedentes

De un primer acercamiento al estudio del tema de la realidad aumentada y su aplicación en ciudades inteligentes se pueden encontrar gran cantidad de referentes enfocadas al turismo, historia y patrimonio, en representación, se citan las siguientes:

La ciudad de Santander en España, en el marco del proyecto de ciudad inteligente SmartSantander desarrolló “SmartSantanderRA”, una aplicación basada en realidad aumentada que incluye información de alrededor de 2700 lugares en la ciudad que contienen desde parques y jardines hasta tiendas, galerías de arte, museos, entre otros. La aplicación muestra en la pantalla del dispositivo móvil una superposición sobre la cámara de los puntos de interés cercanos a la ubicación del usuario [32].

El portal inglés Daily Mail [40] reseñó la creación por parte del Museo de Londres, Inglaterra, una aplicación con nombre “Streetmuseum app” que reconoce la locación actual mostrada y la intercala con imágenes históricas antiguas referentes a la misma.

En Argentina, la Universidad Nacional de La Matanza desarrolló una aplicación móvil llamada “Histora” la cual permite conocer la historia argentina a través de recorridos por GPS<sup>1</sup> y haciendo uso de contenido en Realidad Aumentada (fachadas de edificios antiguos, modelos en 3D<sup>2</sup> y videos) para generar una experiencia inmersiva [20].

La empresa de tecnología Google presentó “Google Arts & Culture”[24], como su nombre lo indica, es una aplicación que se dedica al fomento de la cultura y el arte,

---

<sup>1</sup>Sistema de posicionamiento global.

<sup>2</sup>Tres dimensiones.

haciendo uso de realidad aumentada en su apartado “The Art of Color”, una galería de bolsillo al alcance de una pantalla. Detrás de esta galería, se puede observar una colección de cuadros digitalizados de aproximadamente 33 instituciones y diferentes artistas reconocidos, los cuales se pueden visualizar a través de las paredes virtuales que ofrece la experiencia.

En el plano regional, en la ciudad de Mérida, estado Mérida, no se encuentra hasta la fecha ningún antecedente en aplicaciones que hagan uso de la realidad aumentada enfocadas al ámbito turístico como histórico, de igual forma en la Universidad de Los Andes, concretamente en la facultad de Ingeniería, en la Escuela de Ingeniería de Sistemas no se han elaborado hasta el momento estudios relativos al tema de investigación que se propone.

## 1.2. Definición del problema

Las ciudades inteligentes requieren de aplicaciones donde la información esté al alcance de todos en una plataforma digital.

Mérida, una urbe universitaria con potencial turístico, histórico y patrimonial, debe mantenerse a la vanguardia de la tecnología, sin embargo, en la actualidad, los museos de esta ciudad no disponen de herramientas tecnológicas como la realidad aumentada que permitan explotar dicha aptitud.

En la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Los Andes, la creación de aplicaciones haciendo uso de realidad aumentada ha sido un área poco explorada. Esto queda evidenciado en el hecho de que hasta la presente fecha no se han realizado trabajos referentes al tema que involucren de una forma detallada el diseño y desarrollo de este tipo de aplicaciones destinados a dispositivos móviles.

## 1.3. Justificación

La realidad aumentada permite una experiencia más directa y enriquecedora del usuario con el entorno, en la actualidad es utilizado en diversas áreas que van destinadas desde la educación e información hasta el entretenimiento.

El desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada se podría representar como un paradigma en cuanto al desarrollo de software, ya que necesariamente engloba una serie de conocimientos computacionales, los cuales se adquieren a lo largo de la carrera de Ingeniería de Sistemas, conocimientos que abarcan la ingeniería del software, así como los conocimientos más básicos de lógica en programación informática.

Cabe agregar que la realización de este proyecto contemplaría la descripción y estudio detallado de toda la experiencia obtenida en lo relacionado al desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada para dispositivos móviles. Sirviendo como una primera referencia para futuros estudios en éste ámbito.

Todo esto se podrá tomar como un aporte al turismo regional, así como un apoyo a la preservación del patrimonio histórico y cultural con miras a que la ciudad de Mérida de un paso más a convertirse en una ciudad inteligente.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Desarrollar una aplicación móvil que implemente la tecnología de realidad aumentada en museos en el marco de Mérida, Ciudad Inteligente.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la tecnología de la Realidad Aumentada.
- Establecer los vínculos entre la realidad aumentada y su aporte en la adecuación de una ciudad inteligente.
- Elaborar un estudio sobre las herramientas actuales que permiten la implementación de realidad aumentada en aplicaciones móviles.
- Recolectar información sobre el museo y sus obras para la implementación en la aplicación.

- Adaptar un método de desarrollo de software iterativo incremental a la construcción de una aplicación con realidad aumentada.
- Desarrollar una versión de prueba de la aplicación para posteriormente ser evaluada por usuarios finales.
- Construir un sitio web contentivo de información para la presentación y demostración de la aplicación.

## 1.5. Metodología

El enfoque para implementar la elaboración de este proyecto se basa en un método iterativo incremental. Este método consiste en la planificación por bloques o iteraciones, incluyendo en cada una de ellas planificación, desarrollo y pruebas. En la utilización de esta técnica se aprecia el desarrollo de una versión inicial para ser mostrada y revisada por clientes, la cual se irá mejorando hasta llegar a materializar un producto final adecuado.

Según Sommerville, I. [33, p. 33] “El desarrollo incremental refleja la forma en que se resuelven problemas. Rara vez se trabaja por adelantado una solución completa del problema, más bien se avanza en una serie de pasos hacia una solución y se retrocede cuando se detecta que se cometieron errores.”.

Este método de desarrollo contempla distintas características, tales como:

- Mayor facilidad en adaptar cambios realizados por el cliente.
- Acepta realización de cambios realizados a corto plazo.
- Sencillez en la comunicación con el cliente respecto al trabajo desarrollado, ya que los clientes pueden realizar observaciones en cuanto a software desarrollado y no solo a través de documentos de diseño.
- Al finalizar cada iteración, con la experiencia obtenida se pueden realizar cambios que mejoren en el desarrollo de iteraciones posteriores.
- Rapidez en la entrega de software utilizable.

- Se pueden perder los recursos invertidos en una iteración realizada, pero no los de todo el proyecto.

La realización de este proyecto toma adicionalmente la función del tutor como cliente del proyecto, manteniendo una interacción constante con el estudiante en cada iteración a realizar.

Asimismo, la implementación de este método de desarrollo en el diseño y construcción de la aplicación será descrita en el capítulo subsecuente de este documento.

## 1.6. Estructura de presentación del proyecto

La construcción del manuscrito final concerniente a toda la descripción del desarrollo de este proyecto se llevará a cabo en cinco capítulos principales, definidos como:

1. Introducción.
2. Marco Teórico.
3. Diseño conceptual.
4. Desarrollo y pruebas.
5. Conclusiones y recomendaciones.

## 1.7. Alcance

Se contempla el diseño y desarrollo de una aplicación con realidad aumentada para ser implementada a dispositivos móviles (teléfonos y tablets) con sistema operativo Android<sup>3</sup>, de manera análoga se realizará la implementación de un sitio web contentivo de información de interés y ayuda con respecto a la aplicación móvil desarrollada, así como de los lugares turísticos e históricos de la ciudad de Mérida que interactúen con la misma, tomando como caso de estudio, en un primer

---

<sup>3</sup>Sistema operativo para dispositivos móviles desarrollado por Google Inc.

acercamiento, al Museo Arqueológico “Gonzalo Rincón Gutiérrez” de la Universidad de Los Andes. Contemplando que el uso e interacción de ambas herramientas enriquezcan la experiencia del usuario.

En el presente proyecto se desea mostrar una descripción y análisis detallados de los procesos y experiencias obtenidos a lo largo del desarrollo de esta aplicación, desde su fase inicial como lo es el estudio de herramientas para la construcción de la misma, pasando por el diseño conceptual de la aplicación hasta su fase final que culminaría con su lanzamiento para ser usada por usuarios finales.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

# **Capítulo 2**

## **Marco Teórico**

El marco teórico tiene como función primordial el esclarecimiento al lector de la situación previa del trabajo a desarrollar, dando una referencia inicial acerca de los conceptos tratados en el estudio, para así comprender el problema y tener una concepción global del mismo. Es evidente entonces, la importancia de contextualizar y describir nociones sobre la Realidad Aumentada, Ciudades Inteligentes, así como las distintas herramientas usadas y el porqué de su escogencia para el desarrollo de este proyecto.

### **2.1. Realidad Aumentada**

En un primer acercamiento para definir la Realidad Aumentada, el diccionario de la Real Academia Española nos dice que realidad es la existencia real y efectiva de algo[15], y aumentar, es dar mayor extensión, número o materia a algo[14]. Tomando un momento para analizar estas definiciones se indica de una forma simple y sencilla que la Realidad Aumentada, es tomar lo que es real y ampliarlo o mejorarlo.

Sobre la Realidad Aumentada, Schmalstieg D. y Hollerer T. [31, p. 25] dicen: “La realidad aumentada tiene la promesa de crear enlaces directos, automáticos y accionables entre el mundo físico e información electrónica. Proporcionando una interfaz de usuario simple e inmediata a un mundo físico mejorado electrónicamente.” .

Es así, como de una manera más concreta y técnica se puede definir a la Realidad

Aumentada como una tecnología en la cual la información física del mundo real es modificada a través de la superposición de información digital, enriqueciendo la experiencia del usuario en cuanto a su percepción de la realidad, cambiando la forma en la que se puede obtener educación, entretenimiento y comunicación con el entorno.

## 2.2. Historia de la Realidad Aumentada

Las primeras anotaciones sobre la realidad aumentada se remontan al año 1968, cuando Ivan Sutherland y Bob Sproull presentaron un dispositivo de cabeza llamado The Sword of Damocles, un aparato rudimentario que contaba con un sistema de rastreo y un visor transparente en el cual se proyectaba una figura predeterminada. Ivan Sutherland fue acreditado como el precursor de las tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual.

Más tarde, en el año 1975, Myron Krueger desplegó un laboratorio de realidad aumentada, permitiendo al usuario una experiencia interactiva con el entorno a través de sus movimientos corporales, haciendo uso de cámaras, proyectores y hardware especializado.

Seguidamente, Steve Mann desarrolló en el año 1980 un dispositivo llamado EyeTap, el cual consistía en unas gafas proporcionadas con una cámara que luego de grabar su entorno usaba un visor para mostrar información superpuesta y generada por computadora.

Ya en la década de los años noventa del siglo pasado, marcó el nacimiento del término de Realidad Aumentada; siendo en 1992, el trabajo realizado por Thomas Caudell y David Mizell, investigadores de la empresa estadounidense de aviación Boeing, con un sistema de visualización que mostraba los esquemas de cableado en aviones el cual ayudaba a los trabajadores en la planta de ensamblaje.

De forma posterior, en 1998, Frank Delgado y Mike Abernathy junto a un grupo de científicos, crearon un software de navegación que proyectaba datos de autopistas y calles tomados desde un video grabado por helicóptero.

Para el año 2008, la empresa austriaca Wikitude desarrolló la aplicación para dispositivos móviles Android llamada AR Travel Guide que consistía en mostrar en

la pantalla contenido turístico basado en la localización del usuario. Más tarde en 2013, Google presentó Glass, un dispositivo de gafas de realidad aumentada, el cual mostraba información de los usuarios de teléfonos móviles sin necesidad de usar las manos.

Luego, la empresa de desarrollo de software Niantic Inc. lanzó al público en el año 2016 el juego para dispositivos móviles PokéMon Go, posicionándose hasta la actualidad como unos de los juegos más exitosos que hacen uso de este tipo de tecnologías.

Actualmente, con la introducción al mercado de equipos móviles cada vez más avanzados y con mayores prestaciones, se ha extendido el uso de esta nueva tecnología. Grandes compañías como Google, Apple, Microsoft, Facebook están haciendo apuestas en desarrollar sus propias aplicaciones haciendo uso de la Realidad Aumentada para diversos usos.

Es así como Google, nuevamente ha incursionado en esta tecnología para presentar a principios del año 2019 una nueva característica para Google Maps (actualmente disponible en versión beta para una pequeña gama de dispositivos móviles) que permite al usuario una guía interactiva a través de una versión en realidad aumentada de direcciones para peatones, resolviendo un problema que muchas personas encuentran al usar mapas en línea: la dirección a seguir, por ejemplo, un giro a la derecha o izquierda no siempre es evidente. Al mismo tiempo, para evitar accidentes que pudieran ocurrir, la aplicación anima a los usuarios a bajar el teléfono y prestar atención a su entorno después de que esta proporciona la información por pantalla.

## 2.3. Funcionamiento de la Realidad Aumentada

Para entender el funcionamiento de esta tecnología, es necesario tener presente su principio básico: enriquecer la realidad a través de la proyección de ciertos elementos en un dispositivo predeterminado. La realidad es capturada por una cámara o sensores tomando en cuenta marcas, objetos o localizaciones especificadas, para luego, el contenido virtual<sup>1</sup>, ser superpuesto en el mundo real, ya sea usando pantallas que muestran el contenido real obtenido junto al superpuesto o en algunos casos a través

---

<sup>1</sup>Mayormente imágenes generadas por computadora (CGI por sus siglas en inglés).

de proyecciones que muestran las imágenes directamente en el entorno y así, permitir la experiencia al usuario. Cabe decir que estas aplicaciones funcionan de distintas formas dependiendo del escenario y de la forma en que fueron desarrolladas. (ver figura 2.1)

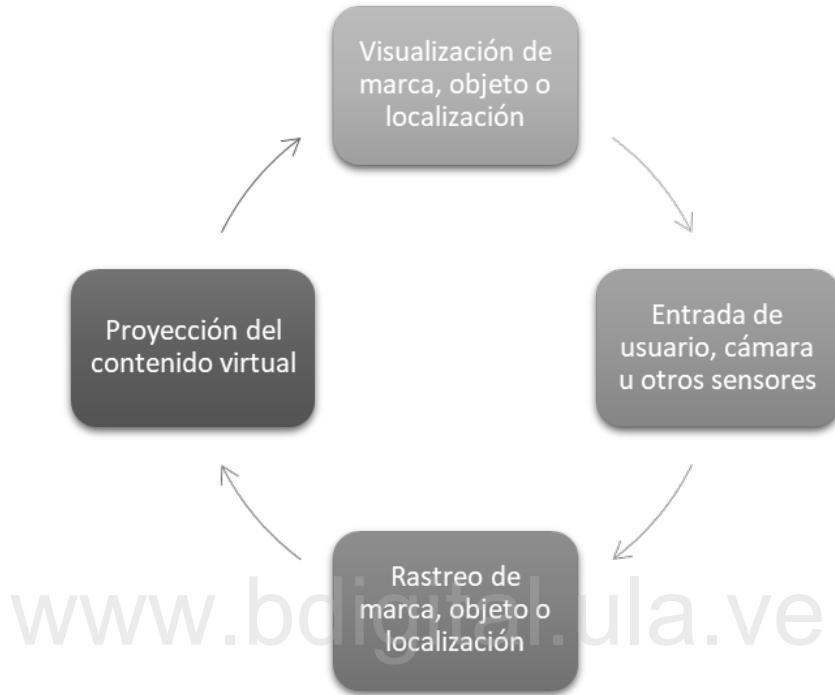


Figura 2.1: Proceso de Realidad Aumentada. Fuente: Elaboración Propia.

En el proceso que involucra la realidad aumentada, existe una serie de componentes clave que permite la realización del mismo:

- **Cámaras y sensores:** Permiten la recolección de las interacciones entre los usuarios con el mundo real y permiten la obtención de datos con el área circundante para luego ser procesados. Pueden ir en un rango desde cámaras y sensores especializados, hasta cámaras, micrófonos, acelerómetros y giroscopios contenidos en dispositivos móviles como teléfonos o tablets.
- **Procesamiento:** En la tecnología de realidad aumentada es necesaria de capacidad de procesamiento computacional independiente del tipo de dispositivo ya que es primordial para realizar mediciones como velocidad, proximidad y

orientación en el espacio. Estos componentes internos incluyen CPU, GPU, RAM, Almacenamiento, Bluetooth, Wifi, GPS, entre otros.

- Proyección: Se refiere a los proyectores, pantallas y monitores utilizados para mostrar al usuario el contenido virtual superpuesto sobre el contenido real resultado del procesamiento anterior y así garantizar al usuario la experiencia de realidad aumentada.

Existen varios tipos de proyección que permiten la sensación de fusión visual de lo digital con lo real:

1. Tecnología OST<sup>2</sup>: Se basa en la proyección de los elementos a través de un panel de cristal semi-transparente, haciendo que la fusión de los elementos sean realizados directamente en el ojo del usuario (ver figura 2.2).

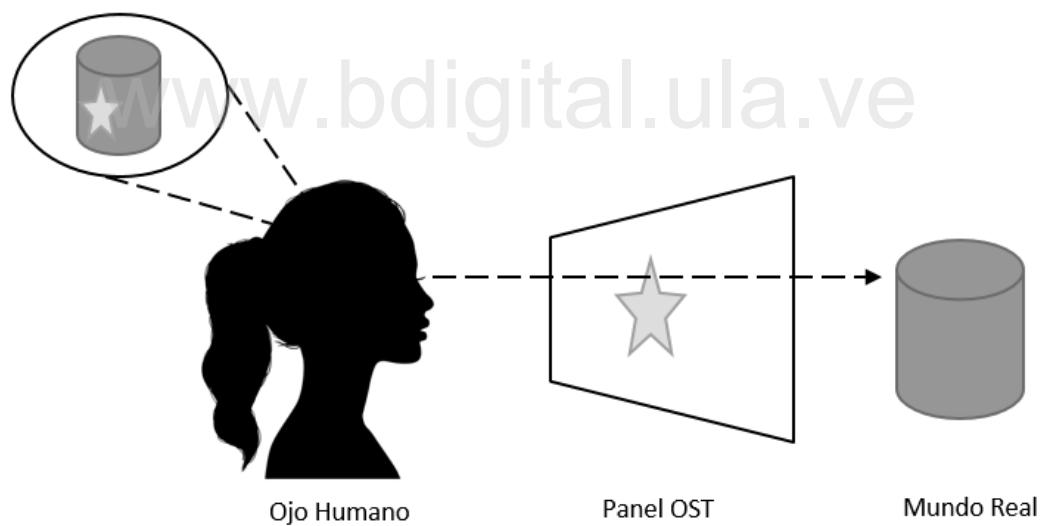


Figura 2.2: Tecnología OST. Fuente: Elaboración Propia.

2. Tecnología VST<sup>3</sup>: Se basa en la percepción de la realidad a través de una cámara o sensores para de forma posterior hacer la fusión de los elementos

<sup>2</sup>Siglas de Optical See-Through.

<sup>3</sup>Siglas de Video See-Through.

virtuales con los reales obtenidos en video a través de procesamiento interno del dispositivo y esta ser mostrada en una pantalla o monitor (ver figura 2.3).

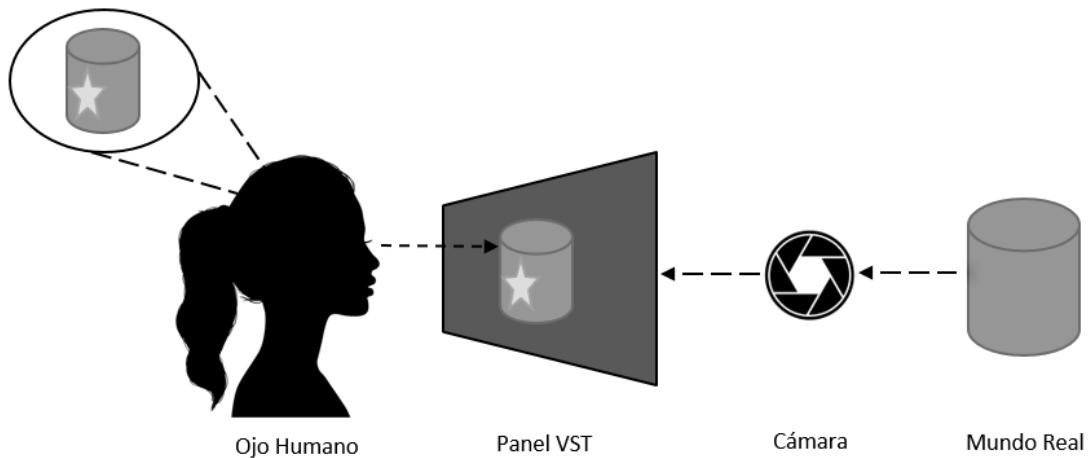


Figura 2.3: Tecnología VST. Fuente: Elaboración Propia.

- Reflexión: Algunos dispositivos de realidad aumentada hacen uso de espejos que ayudan al ojo humano en la visualización del contenido virtual, realizando una mejor alineación del contenido superpuesto con el entorno.

## 2.4. Tipos de Realidad Aumentada

La tecnología de la realidad aumentada puede ser catalogada principalmente de acuerdo a la forma en que el contenido virtual es integrado mediante un dispositivo específico a la realidad.

Esta clasificación se divide en cuatro categorías básicas:

- Realidad Aumentada basada en marcadores: Consta del uso de cámaras y una serie de marcas visuales las cuales pueden ser desde imágenes predefinidas, códigos QR a señales especiales que, al ser escaneadas por el dispositivo, activan el proceso de superposición con objetos o animaciones digitales y, en consecuencia, trasmitir la experiencia al usuario. (ver figura 2.4)

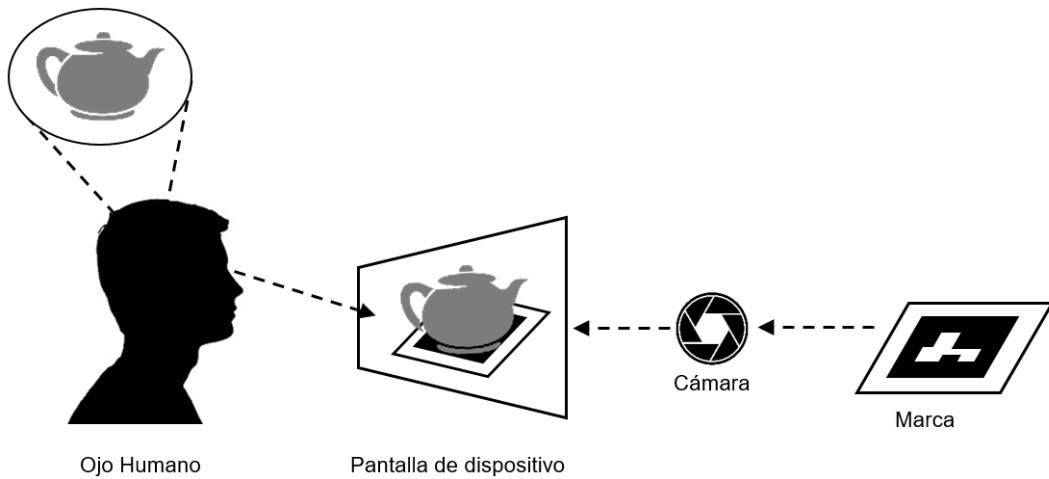


Figura 2.4: Realidad Aumentada basada en marcadores. Fuente: Elaboración Propia.

- Realidad Aumentada sin marcadores o basada en localización: Emplea herramientas y sensores como GPS, acelerómetro y giroscopio embebidos en el dispositivo para proveer datos u objetos virtuales de acuerdo a la localización del usuario. La falta de marcadores hace que estas aplicaciones sean más exigentes en cuanto capacidad de procesamiento, lo que hace necesario el uso de aparatos de mayor potencia para mantener el rendimiento en ejecución. (ver figura 2.5)

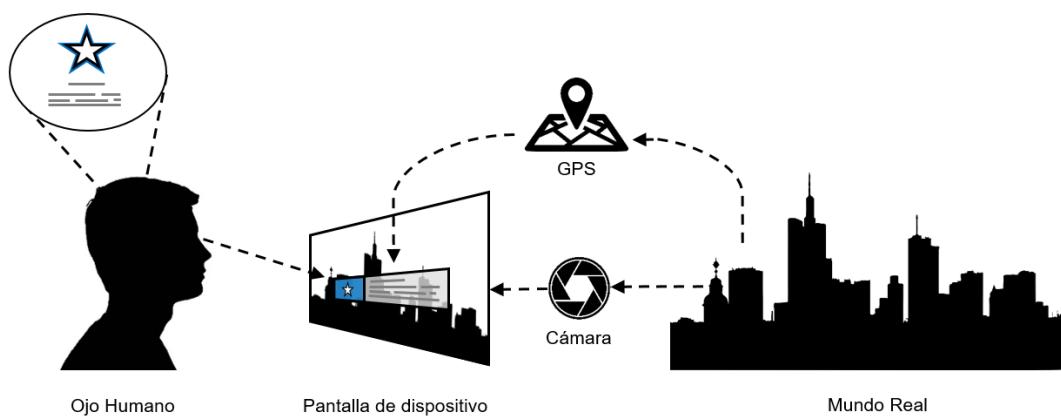


Figura 2.5: Realidad Aumentada basada en localización. Fuente: Elaboración Propia.

- Realidad Aumentada basada en proyecciones: Este tipo de tecnología hace uso de hologramas, es decir, proyección de luz artificial y, por ende, el objeto virtual, directamente sobre una superficie real o panel de proyección, creando una sensación de tridimensionalidad mayor. (ver figura 2.6)

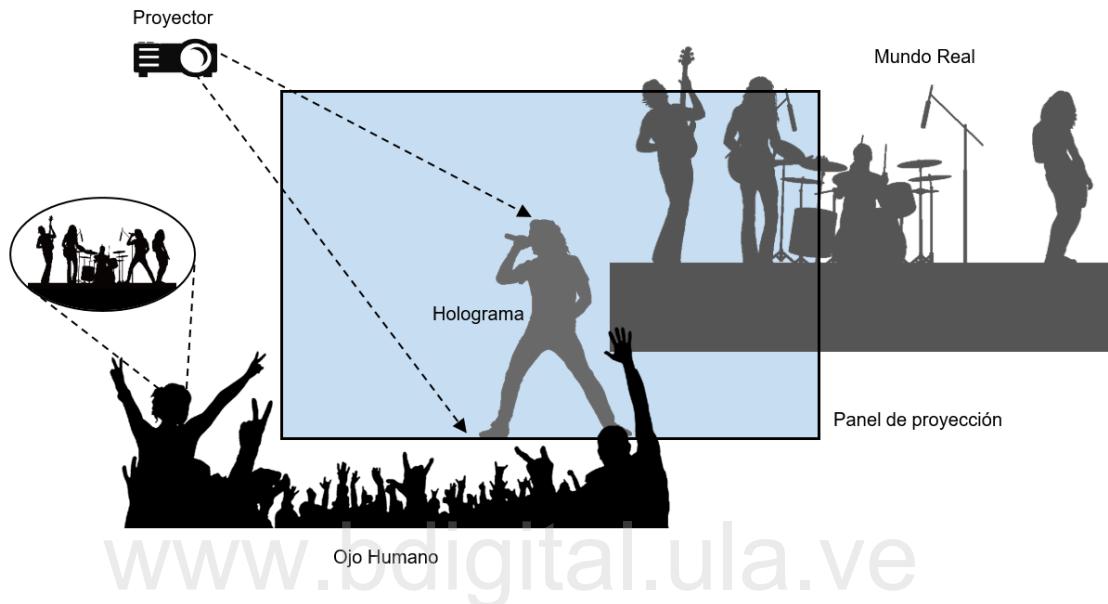


Figura 2.6: Realidad Aumentada basada en proyecciones. Fuente: Elaboración Propia.

- Realidad Aumentada por superposición: Realiza la superposición de un objeto virtual sobre una superficie reconocida previamente, sin hacer uso de una marca o localización. Es comúnmente usado por aplicaciones desarrolladas para probar elementos en un entorno sin necesidad de obtenerlo de forma real. (ver figura 2.7)

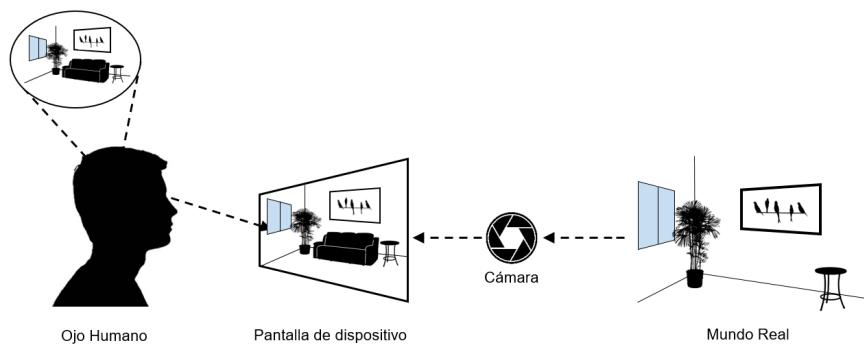


Figura 2.7: Realidad Aumentada por superposición. Fuente: Elaboración Propia.

## 2.5. Diferencias entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual

El hombre en su constante descubrimiento de cosas nuevas, lo ha llevado a desarrollar tecnologías que trasformen su realidad según sus gustos y exigencias. Esto ocurre con la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual, tecnologías hermanas que, aunque puedan tener muchas similitudes en un primer plano, tienen importantes rasgos que las diferencian completamente.

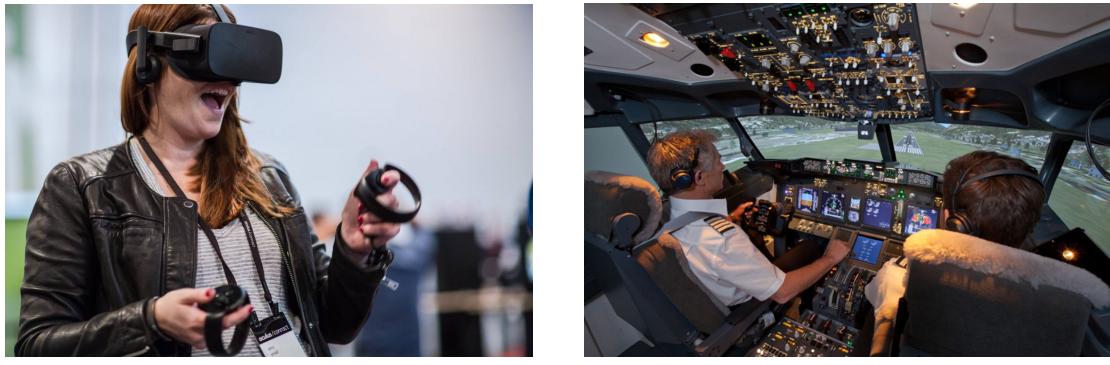
La Realidad Aumentada, según se ha explicado anteriormente, integra la realidad con objetos digitales, de esta forma, permite al usuario observar todo a su alrededor, mientras agrega, mediante un dispositivo, elementos adicionales con información útil y/o necesaria.



(a) Aplicación de Amazon “AR View”. Fuente: [41] (b) Característica de realidad aumentada en Google Maps. Fuente: [13]

Figura 2.8: Ejemplos de Realidad Aumentada

Hablando de Realidad Virtual, como su nombre lo indica, traslada al usuario a un ambiente artificial completamente distinto al existente en el exterior, alterando su percepción real. Para el desenvolvimiento de esta tecnología es necesario el uso de lentes especializados y auriculares, o en su defecto, de cabinas cerradas provistas de pantallas, altavoces y elementos adicionales que crean un entorno adecuado para permitir una experiencia sensorial óptima.



(a) Equipo de realidad virtual “Oculus Rift”. (b) Cabina de simulación de vuelo. Fuente: [23]  
Fuente: [36]

Figura 2.9: Ejemplos de Realidad Virtual

Por consiguiente, se puede inferir que la realidad aumentada enriquece la realidad existente, mientras que la realidad virtual genera una realidad paralela artificial.

Ambas tecnologías pueden coexistir sin necesidad de caer en competitividad, ya que cada una de ellas ofrece una experiencia distinta y ser atractiva a diversos grupos de usuarios con diversas necesidades.

## 2.6. Ciudad Inteligente

Las ciudades son el futuro de la humanidad. Previsiones apuntan que para el año 2050, casi un 70% de la población mundial, habitará una urbe. Esta rápida transición hacia una población altamente urbanizada ha presentado un desafío entre urbanistas, arquitectos, entes públicos, y recientemente, desarrolladores de tecnologías de información.

Actualmente, se ha debatido de una forma continua la delimitación de lo que es o debe ser una ciudad inteligente, pero llegando siempre a una misma conclusión, las ciudades inteligentes son aquellas que hacen uso de las tecnologías de información y comunicación, así como de la innovación para hacer un uso más eficaz de sus recursos, y a su vez mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, a través de servicios públicos cada vez más interactivos y eficientes.

Cabe agregar, las ciudades van avanzando poco a poco en sus distintas facetas y

hoy son cada vez más comunes las plataformas integrales destinada a la prestación de servicios, aplicaciones destinadas a turistas y locales para descubrir y mostrar los atractivos del entorno, al igual que la instalación de iniciativas más respetuosas con el medio ambiente.

## 2.7. Características de una Ciudad Inteligente

La noción que se tiene sobre ciudades inteligentes comprende una extensa variedad de aspectos que son relacionados de alguna forma con el desarrollo sostenible. Por ese motivo, su delimitación dependerá de diversos factores y de la óptica que se tome para su evaluación, tomando en cuenta en todo momento a la sostenibilidad en su máxima expresión.

Así mismo, Bouskela M. y otros [7, p. 35], en una primera instancia dicen que: “El camino a la modernización y transparencia de los gobiernos exige fundamentalmente evolucionar del modelo de gestión tradicional a un modelo de gestión inteligente, combinando tecnología, personas y procesos de formas innovadoras”.

Dicho esto, para que una ciudad sea considerada como ciudad inteligente, debe cumplir con una serie de parámetros y reunir una serie de condiciones, dentro de los cuales se pueden conseguir:

- Incorporación de tecnologías de información, a través de infraestructuras provistas de soluciones tecnológicas para hacer la vida de los ciudadanos más sencilla.
- Servicios públicos altamente eficientes (recolección de desechos, transporte público, sistemas de salud pública, servicio de agua, electricidad, gas, internet, entre otros).
- Desarrollo económico, social y medioambiental sostenible.
- Planificación urbana.
- Seguridad pública.

- Independencia financiera.
- Gobernanza y gestión pública.
- Capital humano y cohesión social por parte de los ciudadanos, contribuyendo activamente en el uso e implementación de estas alternativas.

## 2.8. Ciudades Inteligentes en la actualidad

Existen diferentes parámetros por los que se valora más a una ciudad que otra, pero, en general, entre las principales ciudades catalogadas como ciudades inteligentes se pueden encontrar Tokio, París, Londres, Nueva York y Zúrich, ciudades que destacan por su capital humano, gestión pública, gestión del medioambiente, transporte y movilidad, así como por su economía y vanguardia tecnológica.

Al mismo tiempo, otras ciudades de menor renombre, pero con excelentes ejemplos en materia de innovación urbana, así como en calidad de vida destacan: Oslo, Viena, Copenhague, Berlín, Ámsterdam, Singapur, Seúl, entre otras.

## 2.9. Relación entre la tecnología de Realidad Aumentada y Ciudades Inteligentes

Las ciudades, en la búsqueda de convertirse en ciudades inteligentes ha requerido del uso de las tecnologías de información para el mejoramiento de diferentes aspectos de la vida de sus ciudadanos, así como de sus visitantes, con mejoras a través de aplicaciones adaptadas a los intereses particulares de cada individuo, que faciliten visitas, guías y consumo por parte de los mismos.

Grevtsova I. [17, p. 36] sostiene que: “El lanzamiento de apps creadas para contextos urbanos es tan diversa y multifacética como la ciudad misma. Esta tendencia corresponde, por una parte, a la creciente demanda de la nueva generación digital”.

Los usos de una tecnología como la Realidad Aumentada en una ciudad inteligente son prácticamente ilimitados en cuanto a su aplicación en distintas vertientes de la cotidianidad, consolidándose a través de herramientas visuales y de acceso rápido,

para cambiar la forma en que se percibe información y entretenimiento, se expresa creatividad y se comunica.

A medida que esta tecnología avanza, se continuará viendo una integración cada vez mayor en nuestras vidas. Una vez pasada su fase temprana de entretenimiento y novedad se comenzará a ver una mayor utilidad en el uso diario. Facilitando la colaboración y conexión ciudadana, y relacionando su uso con el bien común.

## 2.10. Comparación de herramientas de desarrollo de Realidad Aumentada

Actualmente, con el crecimiento de aplicaciones que hacen uso de la tecnología de Realidad Aumentada, así como el lanzamiento de dispositivos cada vez más potentes, han hecho que la oferta de herramientas destinadas a este tipo de implementación sea numerosa, satisfaciendo todo tipo de necesidades por parte del desarrollador o equipo de desarrollo y a su vez permitiendo que estos elementos se encuentren al alcance de todos.

Dentro de la extensa cantidad de herramientas que se encuentran disponibles, tomando en cuenta las necesidades y recursos para la elaboración de este proyecto, se seleccionaron principalmente (cuadro 2.1):

- EasyAR: Es un SDK<sup>4</sup> para desarrollo de realidad aumentada, publicada su primera versión en el año 2015 por parte de la empresa china VisionStar Information Technology Co. A pesar de que al comienzo contaba sólo con documentación en idioma chino, al pasar de los años su comunidad internacional se ha ido ampliando cada vez más, permitiendo su uso a nivel global. Con el lanzamiento de cada versión ha venido mejorando y agregando funcionalidades extras a sus capacidades, convirtiéndolo en un SDK bastante atractivo actualmente.
- ARToolkit: Es una biblioteca que permite la creación de aplicaciones con realidad aumentada en distintos tipos de dispositivos. Siendo desarrollada en 1999 por

---

<sup>4</sup>Kit de desarrollo de software, por sus siglas en inglés.

Hirokazu Kato, fue lanzada al público en general en el año 2001. Aunque fué una herramienta de desarrollo robusta y bastante reconocida, en el año 2015 fue adquirida por la empresa de realidad aumentada Daqri, privatizándola y dejando pequeños grupos de desarrollo alternativos. Actualmente, tuvo un resurgimiento llamado ARToolkitX, pero hasta la fecha no ha publicado una versión estable de desarrollo para la plataforma Unity3D.

- Vuforia: Es uno los SDK para desarrollo de realidad aumentada más usados en la actualidad. Siendo uno de los kits de desarrollo más robustos y con gran cantidad de herramientas disponible, su versión gratuita incluye una marca de agua lo cual lo hace poco atractivo para aplicaciones emergentes que no cuenten con los recursos monetarios para adquirir su versión comercial.
- ARCore: Es el SDK de realidad aumentada presentado por Google. Hoy en día es uno de los kits más atractivos para el desarrollo de este tipo de aplicaciones, uno de sus inconvenientes actuales es su estrecha disponibilidad para solo un selecto grupo de modelos de smartphones de gama media-alta, lo que hace que disminuya el rango de usuarios objetivos de la aplicación desarrollada.

	EasyAR	ARToolkit	Vuforia	ArCore
Licencia:	Gratis, Comercial	Gratis	Gratis, Comercial	Gratis
Soporte con Unity3D:	Sí	Sí	Sí	Sí
Geo-localización:	-	-	-	Sí
Reconocimiento 2D:	Sí	Sí	Sí	Sí
Reconocimiento 3D:	-	-	Sí	Sí
Reconocimiento en la nube:	Sí	-	Sí	Sí
Marca de agua propietaria en la aplicación:	-	-	Sí (versión gratuita)	-

Cuadro 2.1: Comparación de herramientas de desarrollo de realidad aumentada.

Seguidamente, tras realizar un análisis exhaustivo de las diferentes herramientas mencionadas anteriormente, revisar sus características principales y evaluar las ventajas y desventajas de cada una, se optó por la herramienta de desarrollo de realidad aumentada EasyAR.

## 2.11. Comparación de herramientas de modelado en 3D

Los modelos 3D son cruciales para el desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada, ya que contribuye en parte a garantizar una experiencia óptima en el usuario. Es por ello que se debe elegir el programa de modelado en 3D de una forma adecuada. Entre las herramientas disponibles actualmente para el diseño de objetos 3D, se eligieron las siguientes (cuadro 2.2):

- Blender 3D: Programa gratuito de diseño en 3D multiplataforma, desarrollado en lenguaje Python. Disponible al público desde el año 2000, y bajo licencia GNU GPLv2 desde el año 2002.
- 3DS Max: Programa de diseño en 3D desarrollado por Autodesk en 1990, desarrollado en lenguaje C#. Es uno de las herramientas de modelado en 3D entre los desarrolladores de videojuegos, así como artistas de efectos visuales y diseño arquitectónico.
- Maya: Programa de diseño en 3D desarrollado también por la empresa anteriormente mencionada Autodesk.

	Blender 3D	3DS Max	Maya
Sistema Operativo:	Windows, Linux, y Mac	Windows	Windows, Linux, y Mac
Equipo mínimo necesario:	Procesadores de media gama (2 núcleos) con 4GB de RAM.	Procesadores de media-alta gama (4 núcleos) con 8GB de RAM.	Procesadores de media-alta gama (4 núcleos) con 8GB de RAM.
Nivel de desarrollo:	Profesional	Profesional	Profesional
Licencia:	Gratis	Comercial (licencias educativas disponibles)	Comercial (licencias educativas disponibles)
Calidad de renderizado:	Alta	Alta	Alta
Exportación de mayas (modelos 3D):	Sí	Sí	Sí
Compatibilidad con Unity 3D:	Sí	Sí	Sí

Cuadro 2.2: Comparación de herramientas de modelado en 3D.

Después de haberse realizado un estudio de las diferentes herramientas mencionadas, evaluando ventajas y desventajas de cada una, y tomando en cuenta experiencias y conocimientos previos con los programas anteriores, se seleccionó a Blender 3D (figura 2.10) como herramienta para modelado de objetos en 3D.

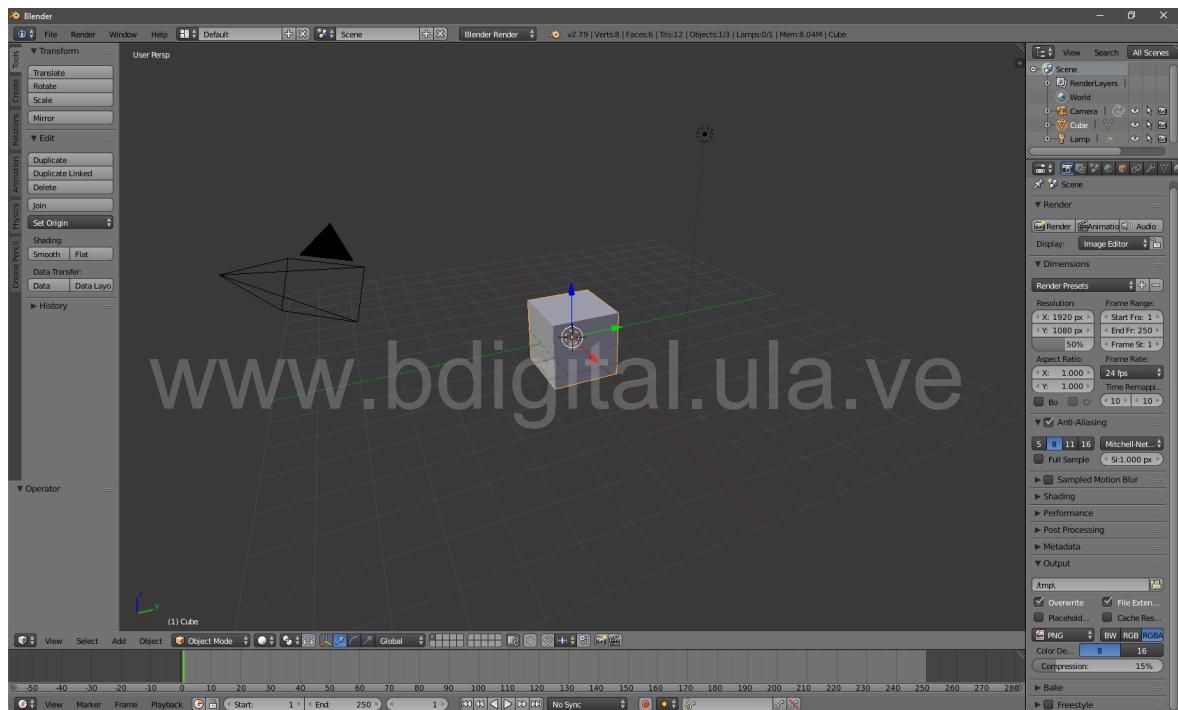


Figura 2.10: Interfaz de desarrollo en Blender 3D.

## 2.12. Unity 3D como software para desarrollo de aplicaciones.

Unity 3D (figura 2.11) es un motor de videojuegos y apps, basado en los lenguajes C#, C y C++, desarrollado por Unity Technologies en la ciudad de Copenhague en el año 2005.

Esta plataforma de desarrollo presenta una variedad de herramientas útiles que van desde scripting, audio y video, hasta animación y físicas en 2D y 3D, posibilitando un fácil desenvolvimiento a la hora de la creación de trabajo, permitiendo la confluencia entre diseñadores y programadores para un óptimo aprovechamiento de creatividad.

Además, Unity 3D permite la implementación y desenvolvimiento de las aplicaciones creadas en una gran variedad de plataformas finales como dispositivos móviles, computadoras, consolas, televisores y web, por nombrar algunas de ellas.

Su sistema de licencias actuales está catalogada según el monto en ingresos que se perciban por aplicación desarrollada, empezando desde una licencia gratuita personal (Unity Personal), hasta una licencia profesional (Unity Pro). Parte de su éxito ha sido también por su permisibilidad de desarrollos independientes de manera gratuita o a un muy bajo costo inicial.

En la elaboración de este proyecto se escogió a esta herramienta para la elaboración de la aplicación, ya que es una de las más usadas en la actualidad, así como una de las principales en permitir la integración de la tecnología de realidad aumentada. Asimismo, tomando en cuenta su característica de multiplataformas para posteriores desarrollos e investigaciones.

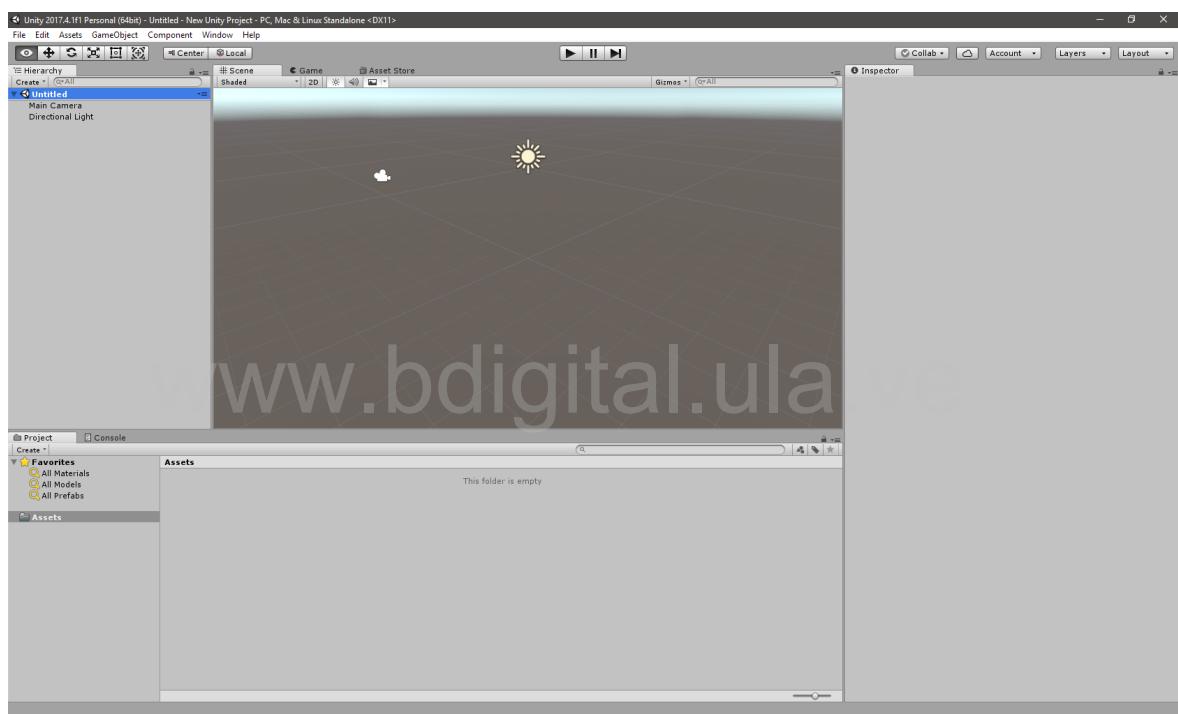


Figura 2.11: Interfaz de desarrollo en Unity 3D.

## 2.13. Adaptación de un Método de desarrollo Iterativo e Incremental en el desarrollo de la aplicación

Para llevar a término una construcción de software de una forma ordenada y eficiente, se ha escogido un método iterativo e incremental de desarrollo, tal como se planteó y describió en el capítulo anterior de este proyecto. Este método se verá contemplado de forma intrínseca desde la fase inicial de desarrollo, como es el diseño conceptual, hasta su fase final, que consiste en la realización de pruebas funcionales.

Para cada iteración, se planificarán actividades, se desarrollarán y se efectuarán pruebas, para posteriormente, en caso de encontrar errores o desperfectos, realizar correcciones necesarias en dicha etapa.

Al completar el desarrollo del producto general, se diseñarán y ejecutarán pruebas finales para garantizar su correcto funcionamiento y óptimo desempeño.

Estas iteraciones se verán contempladas en una serie de actividades principales e internas descritas a continuación:

### 1. Diseño conceptual de la aplicación:

- Descripción de actores.
- Descripción de requisitos.
- Descripción de estilo estructural.
- Descripción de vistas arquitectónicas.
- Prototipo de interfaz.

### 2. Diseño y modelado de objetos y texturas:

- Modelado de Objetos 3D.
- Diseño de marcas.

### 3. Desarrollo de la aplicación:

- Implementación de realidad aumentada.

- Interfaz de usuario.
4. Desarrollo del sitio web.
  5. Pruebas de funcionamiento.
  6. Análisis de resultados obtenidos.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

# Capítulo 3

## Diseño conceptual

Este capítulo reseña todo el proceso de ingeniería de requisitos anterior al desarrollo de un software, es de gran importancia ya que tiene como objetivo identificar, especificar y documentar cada uno de los requerimientos que el mismo debe satisfacer, así como los detalles de diseño de su arquitectura y cada uno de los componentes que la integran.

Para la realización de este proyecto es necesario dividir el sistema general en dos partes fundamentales, el desarrollo de una aplicación móvil que involucre la tecnología de la realidad aumentada basada en marcadores y, de forma análoga, la construcción de una página web informativa que sirva de complemento en la experiencia del usuario final.

### 3.1. Actores

Los actores describen a todos los tipos de usuarios que harán interacción de alguna forma con el sistema desarrollado.

Nombre:	Visitante.
Descripción:	Es el usuario externo que hace uso y manipulación de la aplicación y de la página web.
Rol:	No tiene.

Cuadro 3.1: Actor principal en aplicación móvil y sitio web.

## 3.2. Requisitos

Dentro de los objetivos de diseño de la aplicación, se debe llevar a cabo el cumplimiento de una serie de requisitos para garantizar una correcta experiencia al usuario final.

Dichos requisitos pueden ser catalogados en dos tipos principales, requisitos funcionales y no funcionales:

### 3.2.1. Requisitos funcionales

#### 3.2.1.1. Requisitos funcionales de la aplicación móvil

- **RF01:** La aplicación debe reconocer mediante la cámara del dispositivo móvil la marca asignada.
- **RF02:** La aplicación debe permitir la visualización de objetos 3D.
- **RF03:** Debe realizar la superposición del objeto 3D sobre la marca reconocida.
- **RF04:** El objeto 3D mostrado en pantalla debe realizar una animación de rotación para garantizar una completa observación del mismo.
- **RF05:** La aplicación debe permitir zoom del objeto 3D mostrado por pantalla.
- **RF06:** La interfaz de la aplicación debe proveer opciones de navegación, como información, ayuda y salida.

#### 3.2.1.2. Requisitos funcionales del sitio web

- **RF07:** Debe proveer secciones con información de la aplicación, ayuda, y contacto.
- **RF08:** El sitio debe contener un menú de navegación que permita acceder a las distintas secciones del mismo.
- **RF09:** El sistema permitirá consultar información sobre el museo seleccionado en el caso de estudio.

- **RF10:** Debe implementar una vista que muestre al usuario fotografías originales de las piezas seleccionadas a ser digitalizadas
- **RF11:** Debe mostar las distintas marcas asignadas a las piezas modeladas en 3D para ser usadas en conjunto con la aplicación de realidad aumentada.

### 3.2.2. Requisitos no funcionales

#### 3.2.2.1. Requisitos no funcionales de la aplicación móvil

- **RNF01:** La aplicación debe ejecutarse en dispositivos móviles con sistema operativo Android.
- **RNF02:** El diseño de la interfaz debe ser sencillo, intuitivo y minimalista.
- **RNF03:** Se debe permitir su ejecución sin necesidad de conexión a internet.

#### 3.2.2.2. Requisitos no funcionales del sitio web

- **RNF04:** El sitio web debe contener un diseño responsive<sup>1</sup>
- **RNF05:** El diseño debe ser sencillo, intuitivo y minimalista.
- **RNF06:** Debe estar acorde con el diseño de la aplicación móvil (paleta de colores, tipografías, logos, entre otros).
- **RNF07:** El sitio web debe ser un complemento de la aplicación móvil, para permitir una experiencia óptima de realidad aumentada al usuario.

## 3.3. Estilo estructural

En la selección del estilo arquitectónico a implementar en el diseño de este proyecto, se debe tomar en cuenta a las dos partes principales que lo componen, La aplicación móvil principal y el sitio web que la complementa.

<sup>1</sup>Diseño web que se adapte de forma armónica a distintos tamaños de pantalla de dispositivos y distintos navegadores web para garantizar una experiencia óptima del usuario.

### 3.3.1. Arquitectura

#### 3.3.1.1. Arquitectura en aplicación móvil

Tomando en cuenta el flujo de acción que sigue a este tipo de aplicaciones, se ha optado por la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC) (ver figura 3.1), tipo de diseño que efectúa una separación entre datos, interfaz y lógica interna.

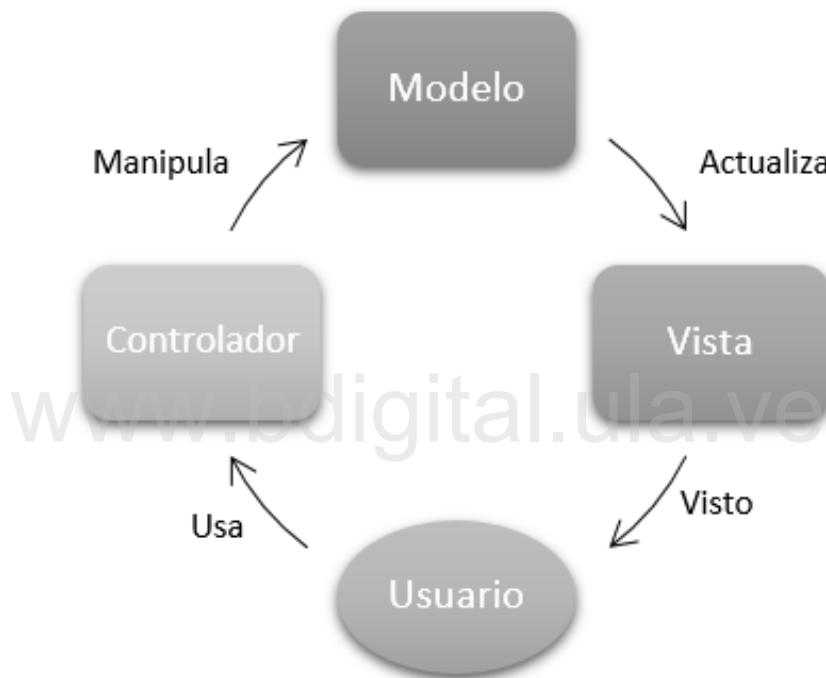


Figura 3.1: Arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC). Fuente: Elaboración Propia.

- El Modelo es el encargado del almacenamiento de toda la información con la que operará la aplicación, permitiendo el manejo de datos a través de consultas, búsquedas y actualizaciones. En contexto, contiene toda la información concerniente a los modelos en 3D, marcas e imágenes, así como de su vinculación.
- La Vista muestra la interfaz de la aplicación al usuario, desde botones para acceder a las distintas acciones y funciones del sistema, así como el proceso de superposición en pantalla de los objetos en 3D acordes a la marcas obtenidas por

la cámara del dispositivo, generando la experiencia de la realidad aumentada. Por consiguiente, la vista es el vínculo de interacción entre el usuario y el sistema.

- El Controlador es el encargado de tomar de la interfaz información de acciones y peticiones realizadas por el usuario o algún componente de hardware del sistema (cámara, sensores, micrófonos). Realiza la comparación o modificación del modelo, para posteriormente delegar a la vista el despliegue de los resultados obtenidos.

### 3.3.1.2. Arquitectura en sitio web

Para la construcción del sitio web requerido, se ha considerado al patrón arquitectónico Cliente-servidor, modelo comúnmente usado en este tipo de desarrollos, basado principalmente en la distribución de tareas entre un proveedor de servicios (servidor) y usuarios que interactúen con el anterior, permitiendo la implementación de un sistema de información de forma distribuida (ver figura 3.2).

Dentro de las ventajas en el uso de este tipo de arquitectura se encuentra el evitar la duplicidad en la información y, a su vez, la pérdida de coherencia en la misma, permite que el cliente pueda ejecutar el software en computadoras y dispositivos de menor potencia y recursos limitados casi sin afectar su rendimiento.

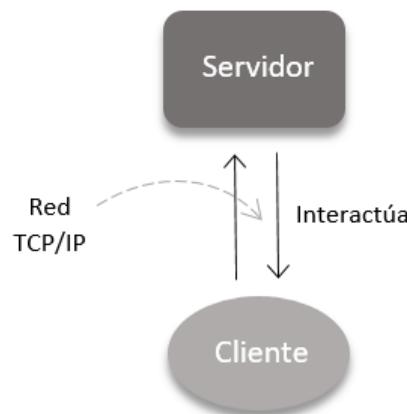


Figura 3.2: Arquitectura Cliente-servidor. Fuente: Elaboración Propia.

- El Cliente es el usuario que hace interacción con el sistema fundado en el servidor, mediante peticiones al sistema a través de procesos sobre una interfaz gráfica.
- El Servidor es el que dispone de una variedad de recursos y servicios, que van desde lógicos como físicos, a una cantidad de clientes objetivo, en la interacción con el software. Por ejemplo, espacio de almacenamiento, procesamiento, bases de datos, entre otros. Este puede ser localizado de forma remota.
- El Middleware es el encargado del transporte de los mensajes contentivos de las peticiones y respuestas entre el cliente y el servidor, y por ende garantizar su interconexión, interacción y correcto funcionamiento del sistema. Suele ser usado el conjunto de protocolos de Red TCP/IP<sup>2</sup>.

## 3.4. Vistas arquitectónicas

Las vistas arquitectónicas de un software describen de una forma específica el comportamiento y composición del sistema, así como la interacción que usuarios puedan tener con el mismo.

Las principales decisiones de diseño se muestran a manera de abstracción de la estructura general del software, en forma de una descripción simplificada, ya que una representación única tendría una complejidad mucho mayor, con una enorme cantidad de información. Estas elecciones de diseño están anexas a los Requisitos previamente definidos, tanto funcionales como no funcionales, así como a otros tipos de restricciones iniciales. Sin embargo, estas a su vez, pueden añadir mayores delimitaciones, afectando las próximas decisiones de diseño en un nivel posterior.

Cada vista de la arquitectura trata un conjunto concreto de problemas, especificado particularmente para cada equipo involucrado en el proceso de desarrollo del sistema. Tomando como referencia a Philippe Kruchten [22] en su modelo de vistas 4+1, describiendo la arquitectura de sistemas de software, basados en el uso de múltiples vistas concurrentes, conformadas por una vista lógica, de desarrollo, de procesos, física y de escenarios (ver figura 3.3).

---

<sup>2</sup>Protocolo de control de transmisión/Protocolo de internet, respectivamente.

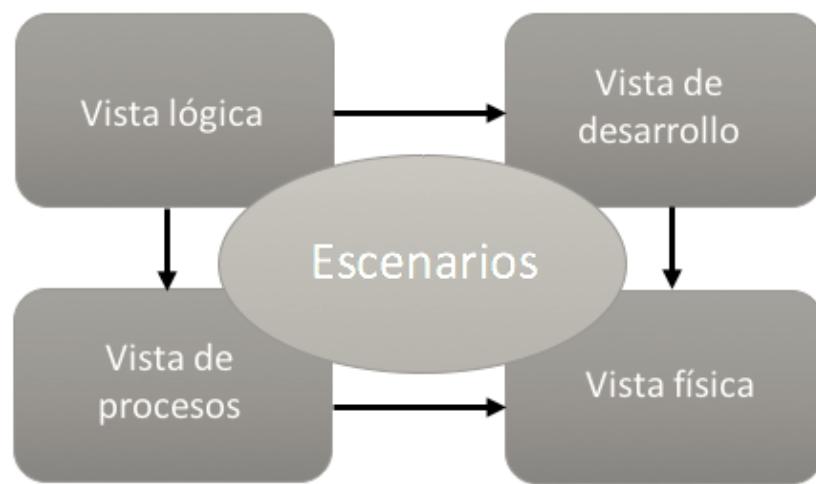


Figura 3.3: Modelo de vista 4+1. Fuente: [22].

www.bdigital.ula.ve

C.C. Reconocimiento

### 3.4.1. Casos de uso

Los casos de usos especifican situaciones o procesos interactivos de usuarios (previamente definidos) con el sistema. Describen tareas coherentes y con cierta independencia, que los actores realizan de forma habitual al utilizar el software.

#### 3.4.1.1. Casos de uso en Aplicación móvil.

En la aplicación móvil se maneja un escenario único, el cual consiste en la interfaz de usuario principal, donde se lleva a cabo el proceso de realidad aumentada, así como de las distintas opciones del menú de navegación. En el diagrama se pueden ver las distintas actividades que realiza el usuario visitante con la app (ver figura 3.4).

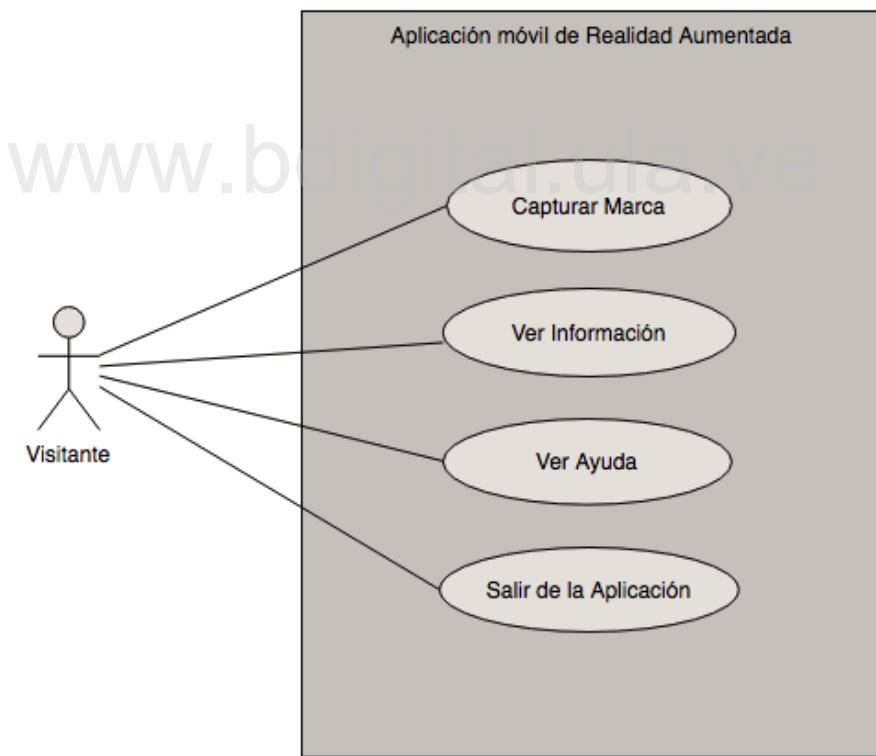


Figura 3.4: Diagrama de casos de uso Aplicación móvil.

Nombre:	Capturar Marca.
Descripción:	El usuario captura una marca específica para proyectar el objeto asociada a ella.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Abrir la aplicación móvil.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario enfoca la cámara del dispositivo hacia la marca seleccionada.</li> <li>2. El sistema reconoce la marca seleccionada.</li> <li>3. El sistema proyecta en pantalla el objeto 3d asociado a la marca.</li> </ol>
Flujo alternativo:	El sistema no proyecta nada en pantalla.
Poscondición:	El objeto es mostrado en pantalla hasta que el usuario desenfoque la cámara de la marca seleccionada.

Cuadro 3.2: Caso de uso Capturar Marca.

Nombre:	Ver información.
Descripción:	Información adicional de la aplicación móvil y créditos.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Abrir la aplicación móvil.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario presiona el botón de información.</li> <li>2. El sistema muestra en pantalla información detallada de la aplicación y créditos.</li> </ol>
Flujo alternativo:	No tiene.
Poscondición:	El panel de información es cerrado al presionar el botón de cerrar.

Cuadro 3.3: Caso de uso Ver información.

Nombre:	Ver Ayuda.
Descripción:	Información de ayuda de la aplicación móvil.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Abrir la aplicación móvil.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario presiona el botón de ayuda.</li> <li>2. El sistema muestra en pantalla de ayuda de la aplicación.</li> </ol>
Flujo alternativo:	No tiene.
Poscondición:	El panel de ayuda es cerrado al presionar el botón de cerrar.

Cuadro 3.4: Caso de uso Ver Ayuda.

Nombre:	Salir de la aplicación.
Descripción:	Cierre de la aplicación móvil hasta su próxima ejecución.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Abrir la aplicación móvil.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario presiona el botón de salir.</li> <li>2. El sistema cierra la aplicación.</li> </ol>
Flujo alternativo:	No tiene.
Poscondición:	Se termina la ejecución de la aplicación.

Cuadro 3.5: Caso de uso Salir de la Aplicación.

### 3.4.1.2. Casos de uso en Sitio web.

Para el sitio web se contempla la interfaz de vista principal, sus secciones, así como las distintas opciones del menú de navegación. A continuación se puede observar las distintas actividades que realiza el usuario visitante con el sitio (ver figura 3.5).

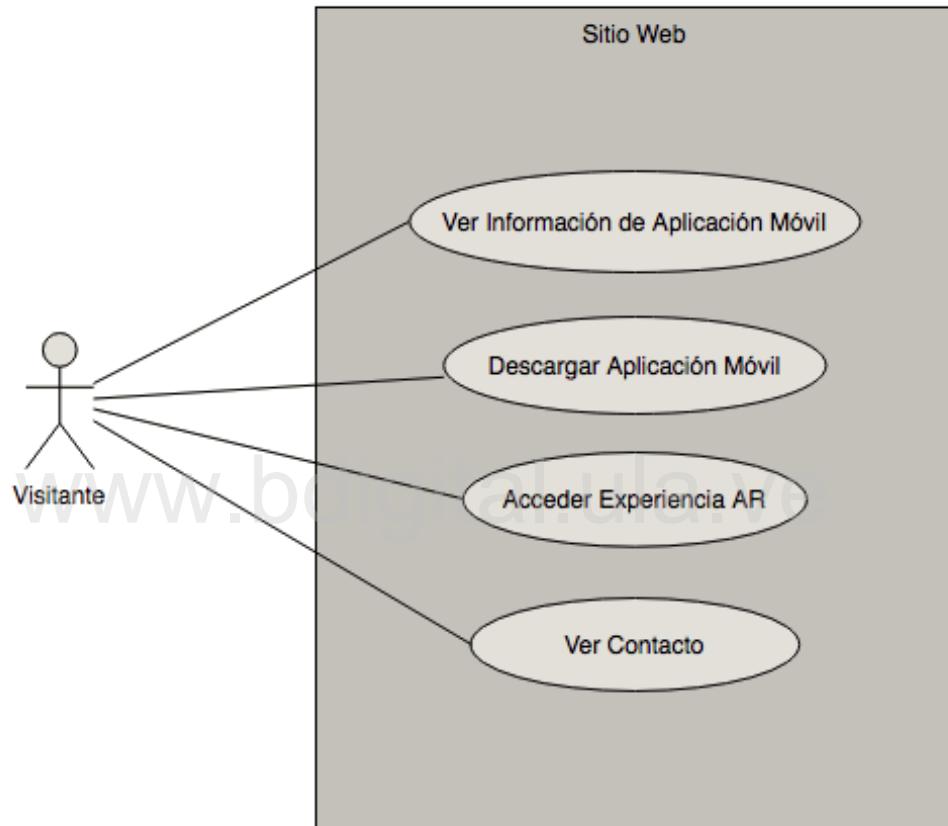


Figura 3.5: Diagrama de casos de uso Sitio Web.

Nombre:	Ver información de Aplicación Móvil.
Descripción:	Sección en la vista de inicio del sitio web que contiene información de la aplicación móvil de Realidad Aumentada.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Acceder al sitio web.
Flujo normal:	<p>1. El usuario presiona el botón información en el menú principal.</p> <p>2. El servidor desplaza la vista de inicio hasta mostrar en pantalla la sección con información de la aplicación móvil.</p>
Flujo alternativo:	El servidor no hace nada.
Poscondición:	La información es mostrada en pantalla hasta que el usuario realice alguna acción de desplazamiento o selección en menú.

Cuadro 3.6: Caso de uso Ver información de Aplicación Móvil.

Nombre:	Descargar Aplicación Móvil.
Descripción:	Sección en la vista de inicio del sitio web que contiene el botón de descarga de la aplicación móvil de Realidad Aumentada.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Acceder al sitio web.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario presiona el botón Descargar en el menú principal.</li> <li>2. El servidor desplaza la vista de inicio hasta mostrar en pantalla la sección de descarga de la aplicación móvil.</li> <li>3. El usuario presiona el botón de descargar aplicación.</li> <li>4. El servidor descarga al sistema el archivo de instalación de la aplicación.</li> </ol>
Flujo alternativo:	El servidor no hace nada.
Poscondición:	La sección es mostrada en pantalla hasta que el usuario realice alguna acción de desplazamiento o selección en menú.

Cuadro 3.7: Caso de uso Descargar Aplicación Móvil.

Nombre:	Acceder Experiencia AR.
Descripción:	Vista del sitio web que contiene información del museo, algunas obras del mismo, así como de sus respectivas marcas para ser utilizada por la aplicación móvil y ofrecer la experiencia de la tecnología de Realidad Aumentada.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Acceder al sitio web.
Flujo normal:	<p>1. El usuario presiona el ítem de Experiencia AR en el menú principal.</p> <p>2. El servidor muestra la vista de Experiencia AR con información del museo y marcas para ser usadas en conjunto con la aplicación móvil.</p>
Flujo alternativo:	El servidor no hace nada.
Poscondición:	La vista es mostrada en pantalla hasta que el usuario realice alguna selección en menú.

Cuadro 3.8: Caso de uso Acceder Experiencia AR.

Nombre:	Ver Contacto.
Descripción:	Vista del sitio web que contiene información y un formulario de contacto con el equipo de desarrollo de la aplicación móvil.
Actores:	Visitante.
Precondición:	Acceder al sitio web.
Flujo normal:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario presiona el ítem de Contacto en el menú principal.</li> <li>2. El servidor muestra la vista de contacto con información y un formulario de contacto.</li> <li>3. El usuario rellena el formulario de contacto y presiona enviar.</li> <li>4. El servidor envía la información contenida en el formulario al correo electrónico predeterminado.</li> </ol>
Flujo alternativo:	El servidor no hace nada.
Poscondición:	La vista es mostrada en pantalla hasta que el usuario realice alguna selección en menú.

Cuadro 3.9: Caso de uso Ver Contacto.

### 3.4.2. Modelos de clases

El Modelado de clases se utiliza para representar el diseño físico y lógico de un sistema y mostrar sus clases, atributos, operaciones y/o métodos, para así describir y validar el entendimiento de un problema dentro del paradigma de programación orientada a objetos.

#### 3.4.2.1. Modelo de clases en Aplicación Móvil

El modelo para la aplicación móvil se ha realizado tomando en cuenta los requerimientos del sistema y la forma en que este se conecta con la plataforma de desarrollo y el SDK de Realidad Aumentada, el cual si bien trabajan con lenguajes orientado a objetos, su funcionamiento se basa mayormente en la manipulación de componentes dentro de escenas (ver figura 3.6).

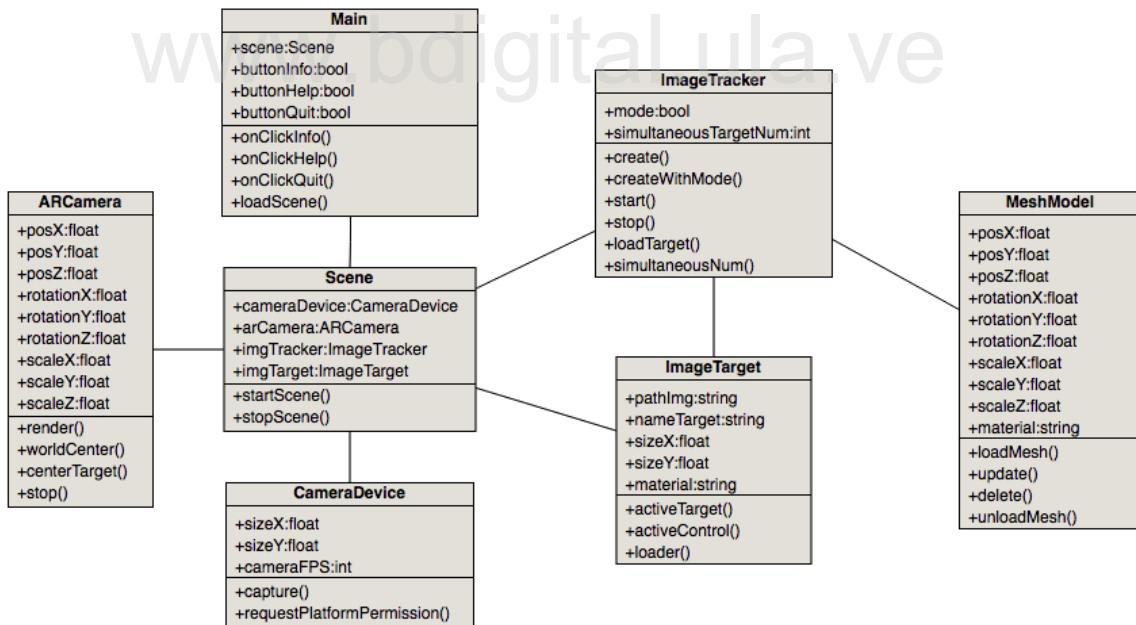


Figura 3.6: Diagrama de clases Aplicación Móvil.

- **Main:** Describe la interfaz principal de la aplicación, aquella con la cual interactúa el usuario, permitiendo acceder a las distintas opciones del menú así como de la proyección del objeto 3d en realidad aumentada.

- **Scene:** Es el backend de la aplicación, encargada de la conexión y ejecución entre la cámara del dispositivo, con las distintas clases y objetos del SDK de realidad aumentada.
- **CameraDevice:** Implementa los parámetros de la cámara, así como de su conexión con el sistema operativo del dispositivo móvil.
- **ARCamera:** Contiene las variables de la cámara a nivel de renderizado del objeto 3D dentro de la escena.
- **ImageTracker:** Es la clase encargada de implementar la detección de las distintas marcas, así como de su rastreo en el espacio y posicionamiento del modelo 3D a través de la cámara del dispositivo.
- **ImageTarget:** Representa la imagen planar de la marca que puede ser detectada y rastreada por el ImageTracker.
- **MeshModel:** Son los parámetros de tamaño, posición y rotación del modelo 3D en cuestión, para ser utilizados por el image tracker en escena.

### 3.4.3. Modelos de interacción

En los modelos de interacción, específicamente los diagramas de secuencia, se describe la interacción en un sistema a través de una sucesión temporal de eventos, destacando la interrelación entre las acciones, roles, y los objetos, y facilitando la comprensión de la ejecución de un determinado proceso, sea el caso de la aplicación móvil y el sitio web (ver figuras 3.7 y 3.8).

### 3.4.3.1. Modelo de interacción en Aplicación Móvil

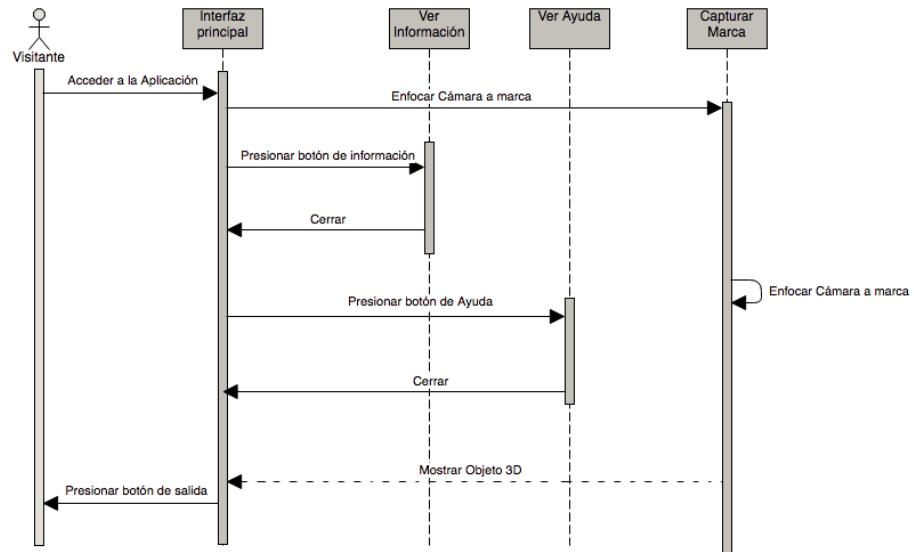


Figura 3.7: Diagrama de secuencia Aplicación Móvil.

### 3.4.3.2. Modelo de interacción en Sitio Web

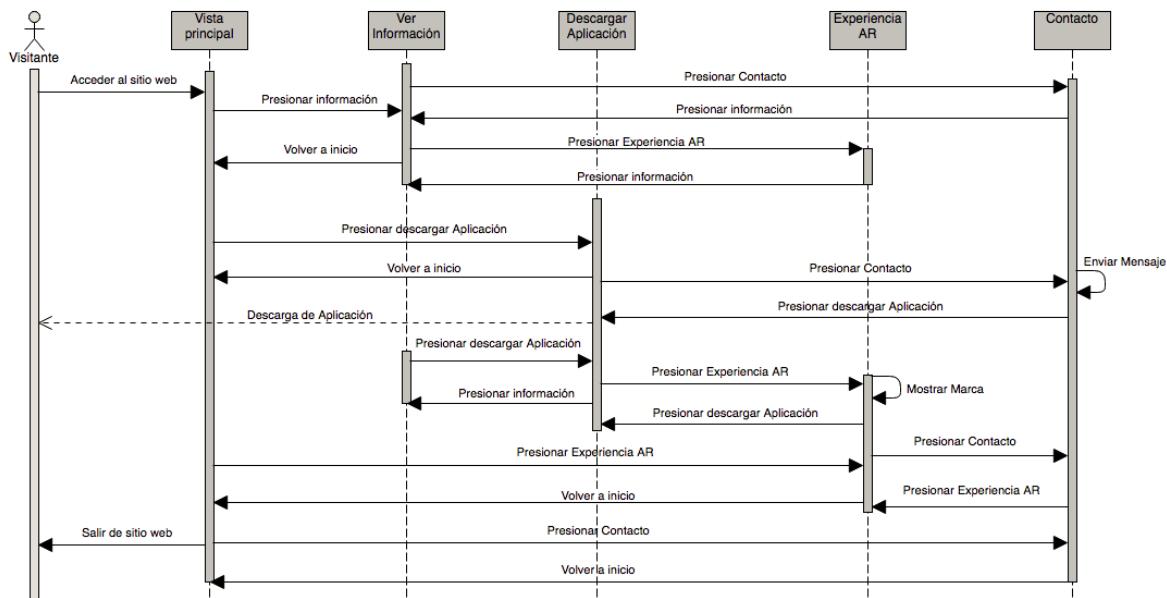


Figura 3.8: Diagrama de secuencia Sitio Web.

### 3.5. Diseño de la interfaz

Teniendo en cuenta la estructura general de la aplicación y el sitio web, así como los flujos de interacción descritos anteriormente y los requisitos y lineamientos de diseño planteados inicialmente, se presenta un conjunto de bocetos preliminares que describe, a modo de guía de desarrollo e información, la interfaz gráfica con la que interactuará el usuario final.

#### 3.5.1. Diseño de interfaz de Aplicación móvil

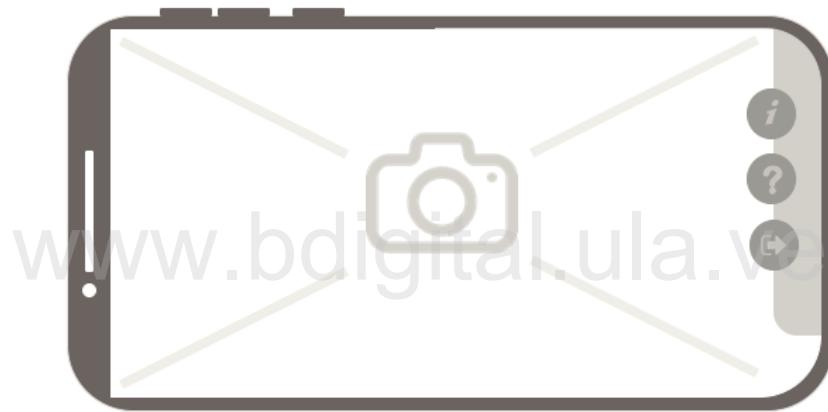


Figura 3.9: Diseño de vista principal de Aplicación Móvil.

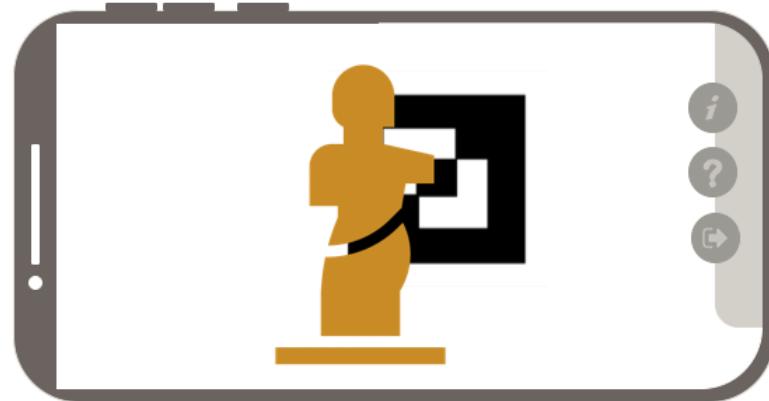


Figura 3.10: Diseño de vista “Realidad Aumentada” de Aplicación Móvil.

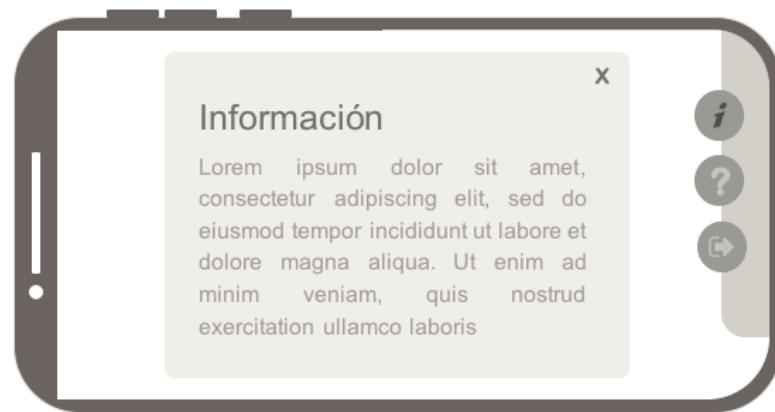


Figura 3.11: Diseño de vista “Información” Aplicación Móvil.



Figura 3.12: Diseño de vista “Ayuda” de Aplicación Móvil.

### 3.5.2. Diseño de interfaz de Sitio web



Figura 3.13: Diseño de vista “Inicio” de Sitio Web.



Figura 3.14: Diseño de vista “Experiencia AR” de sitio web

Figura 3.15: Diseño de vista “Contacto” de sitio web

# **Capítulo 4**

## **Desarrollo y Pruebas**

Este capítulo describe a mayor detalle el desarrollo y pruebas de la aplicación móvil y sitio web, tomando en cuenta los requisitos previamente obtenidos así como los lineamientos de diseño y las herramientas seleccionadas para ello.

### **4.1. Diseño y modelado de objetos y texturas**

Para llevar a cabo el diseño y modelado de los distintos objetos 3D y texturas, se seleccionaron y fotografiaron, bajo autorización, algunas obras en exposición del Museo Arqueológico Gonzalo Rincón Gutiérrez de la ciudad de Mérida para su posterior digitalización e implementación en Realidad Aumentada (ver figura 4.1).



(a) Figura antropomorfa masculina.

Material: cerámico.

Procedencia: Mérida.



(b) Figura antropomorfa.

Material: cerámico.

Procedencia: Mérida.



(c) Placa.

Material: litico.

Procedencia: desconocida.



(d) Placa alada.

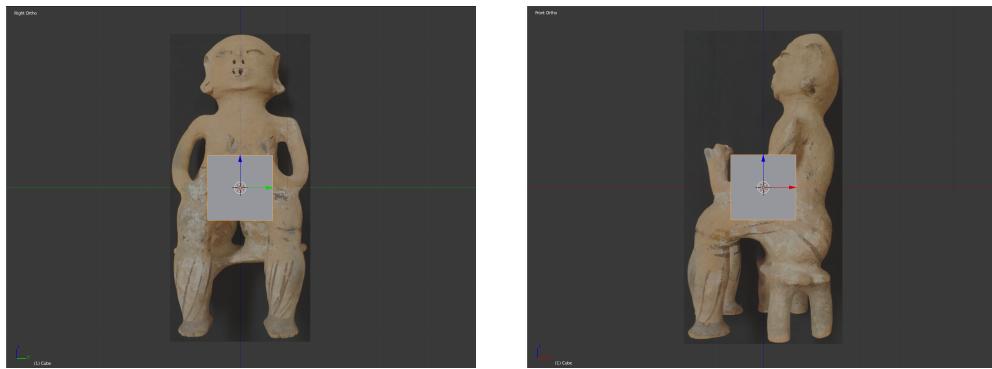
Material: litico.

Procedencia: Trujillo.

Figura 4.1: Fotografías obras prehispánicas seleccionadas.

#### 4.1.1. Modelado de objetos 3D

A fin de realizar el modelado de los objetos seleccionados, se tomaron fotografías en distintos ángulos de cada pieza para luego ser utilizadas a modo de guías en cada eje de coordenadas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) en el programa de modelado Blender y facilitar la construcción de los mismos (ver figura 4.2).

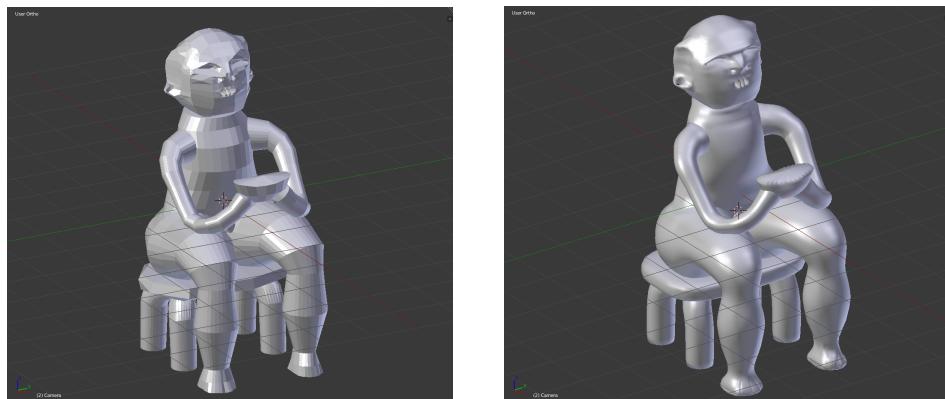


(a) Vista frontal.

(b) Vista lateral.

Figura 4.2: Vistas imágenes guías en coordenadas en Blender.

Se procede al modelado de los objetos, inicialmente en una forma poligonal para posteriormente ser suavizados mediante herramientas propias del programa, como lo es la subdivisión de superficies (ver figura 4.3) y obtener un modelo más cercano a la realidad.



(a) Modelo poligonal.

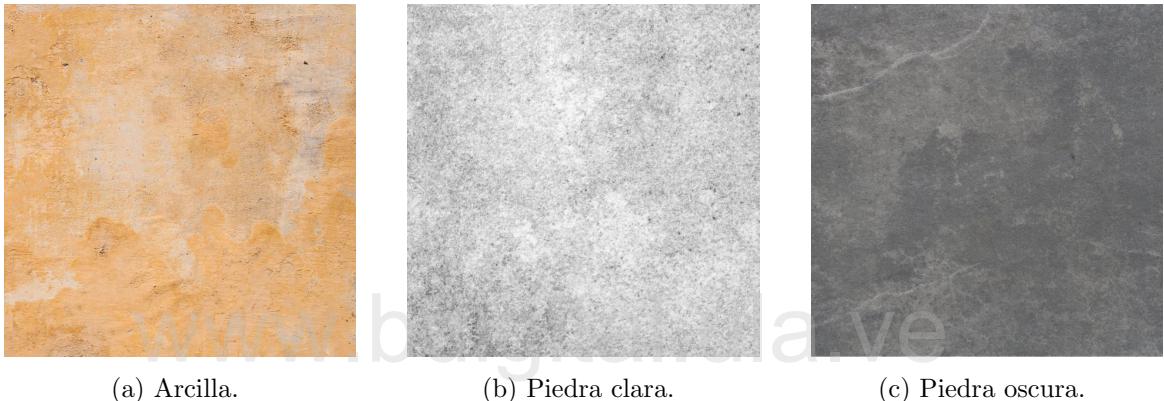
(b) Modelo suavizado.

Figura 4.3: Modelo poligonal y suavizado en Blender.

#### 4.1.2. Selección de texturas

Para la obtención de un modelo de mayor fidelidad al real, no solamente depende de un modelado detallado del objeto sino tambien de una buena escogencia y diseño de la textura que lo cubre, ya que con ella se logra una mayor impresión al observante.

Las distintas texturas para cada modelo fueron seleccionadas de acuerdo a su similitud a los materiales con los que están construidos las figuras reales, destacando materiales como la arcilla y la piedra en este caso (ver figura 4.4).



(a) Arcilla.

(b) Piedra clara.

(c) Piedra oscura.

Figura 4.4: Texturas de objetos.

#### 4.1.3. Renderizado

Luego del modelado en 3D de los objetos, selección y aplicación de las texturas, se procede a realizar un renderizado rápido del modelo final para obtener una imagen de referencia (ver figura 4.5) con respecto a la figura real, y a su vez verificar el correcto diseño para su posterior uso en la aplicación de Realidad aumentada.



Figura 4.5: Renderizado de modelos 3D en Blender.

#### 4.1.4. Diseño de Marcas

Una marca conforma uno de los componentes esenciales en la tecnología de la Realidad Aumentada, ya que con ella permite al dispositivo la orientación del modelo a proyectar en el entorno, es por eso que es de gran importancia su correcto diseño.

Para la construcción de la aplicación se tomó un formato clásico habitual de

diseño de marca, de uso frecuente en este tipo de desarrollos, al cual se realizaron modificaciones y adaptaciones en base a las distintas figuras de museo seleccionadas inicialmente.

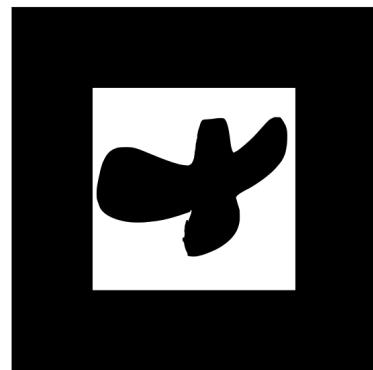
Para garantizar unicidad y legibilidad al momento de la ejecución de la realidad aumentada, se tomaron y posprocesaron digitalmente las imágenes renderizadas obtenidas de cada objeto 3D (ver figura 4.6) para posteriormente ser incluidas en el diseño de las marcas, previniendo así, futuros problemas de confusión en la proyección de cada modelo en la aplicación.



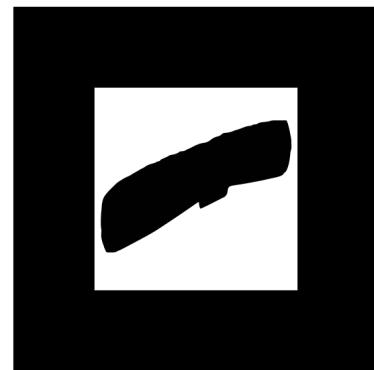
(a) Marca 1



(b) Marca 2



(c) Marca 3



(d) Marca 4

Figura 4.6: Marcas para proyección de Realidad Aumentada

## 4.2. Desarrollo de la aplicación

La construcción de la aplicación móvil con Realidad Aumentada se puede dividir en dos fases principales, la implementación de la tecnología como tal y la construcción de su interfaz de usuario, tomando las distintas herramientas seleccionadas al igual que el material anteriormente desarrollado.

### 4.2.1. Implementación de Realidad Aumentada

Al inicio del proceso de implementación se deben realizar las distintas configuraciones iniciales necesarias entre el SDK EasyAR y el entorno de trabajo y motor gráfico Unity. Se realiza la obtención del SDK key obligatorio para su ejecución y posteriormente se procede a su activación.

Luego de la configuración inicial, se realiza la importación al entorno de trabajo de los objetos 3D modelados anteriormente, las texturas seleccionadas, así como de las diferentes marcas diseñadas para cada uno de los mismos.

En la creación de la escena principal, donde se sitúan los distintos modelos con sus respectivas marcas, se realiza también la configuración de otros componentes como lo son la luz de escena y los ajustes predeterminados de cámara (ver figura 4.7).

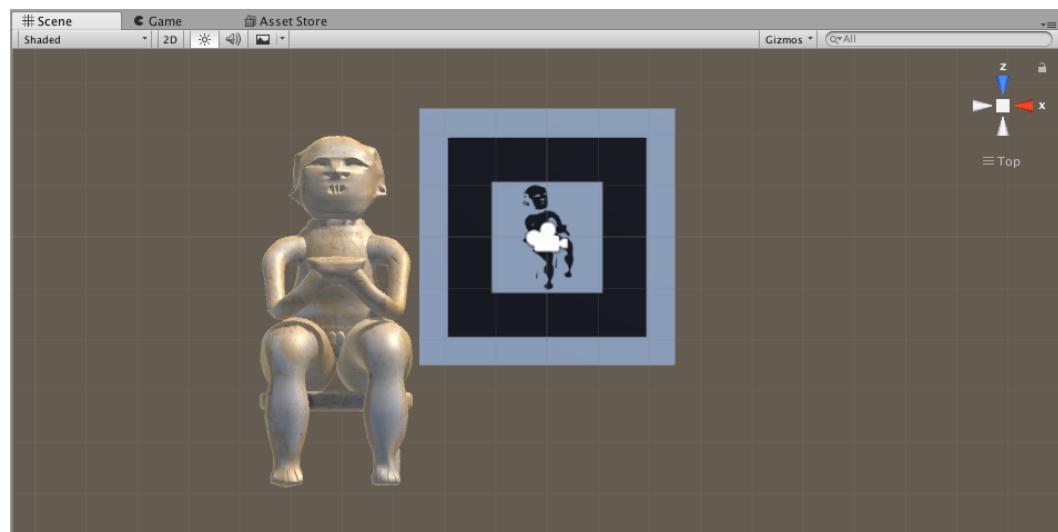


Figura 4.7: Escena con modelo en 3D y marca en Unity

Se realizan los ajustes concernientes a cada modelo (posición en el espacio y tamaño), la implementación de la marcas y su conexión con los mismos, la selección del rastreador (tracker) y su configuración con multiples marcas, para así poder ejecutar la aplicación y finalmente percibir visualmente lo que se conoce como Realidad Aumentada (ver figura 4.8).

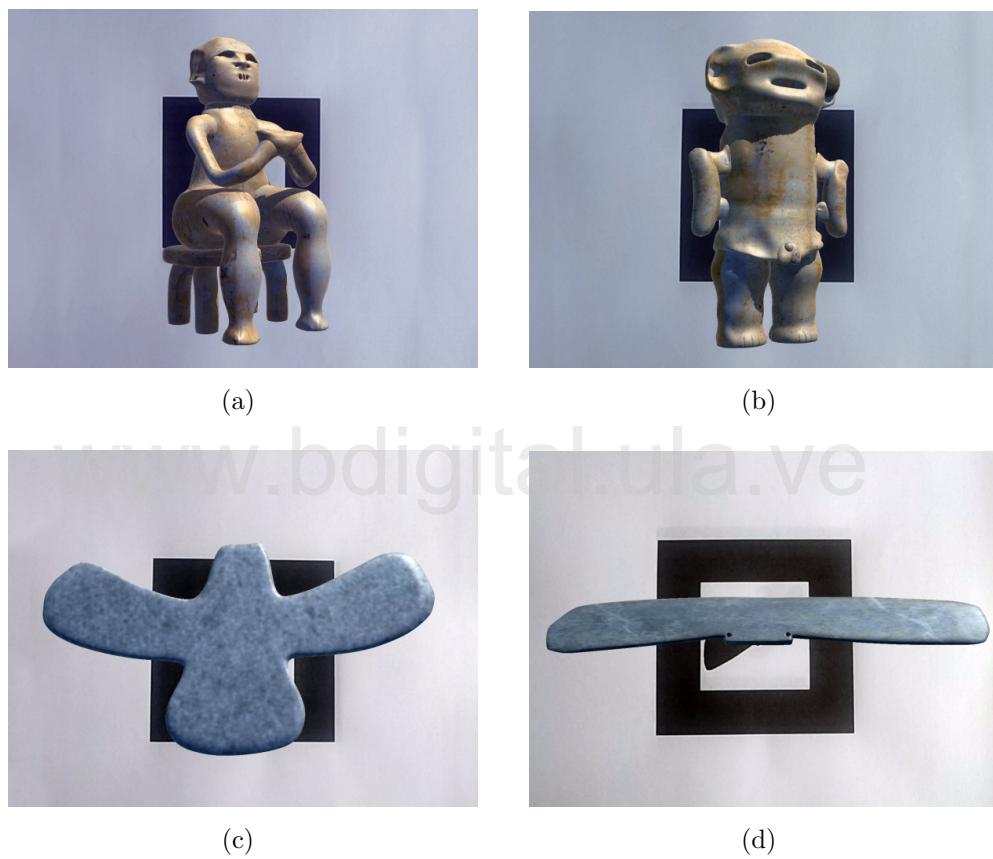


Figura 4.8: Realidad Aumentada de los modelos 3D importados.

#### 4.2.1.1. Mejoras de implementación

Para mejorar la experiencia de usuario en cuanto a la realidad aumentada, se agregaron una serie de scripts de ejecución al diseño principal que realizan algunas trasformaciones de comportamiento sobre los objetos proyectados en pantalla.

Un bug bastante común en el desarrollo de realidad aumentada es el “flickering” o parpadeo en el objeto, esto se debe a que la cámara del dispositivo puede perder el

enfoque de la marca por una fracción muy pequeña de tiempo haciendo que se pierda la proyección, dando una sensación de intermitencia. El script “ExtendedTracker.cs” (ver figura 4.9) agrega un retardo de tiempo definido por el desarrollador en la proyección del objeto, para prevenir en lo posible este fallo.

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using EasyAR;
5
6 public class ExtendedTracker : MonoBehaviour {
7     public GameObject Target;
8     public GameObject ContainerTarget;
9     bool detected = false;
10    float timer = 0f;
11    public float timeActiveOnTargetLose = .5f; //Tiempo de retardo sin enfocar marca
12
13    // Inicializar
14    void Start () {
15
16    }
17
18    // Actualizar una vez por frame
19    void Update () {
20        if (Target.activeSelf == true) {
21            detected = true;
22            timer = 0f;
23        } else {
24            detected = false;
25        }
26
27        //Si el modelo está activo en pantalla y pierde enfoque de marca,
28        //y se encuentra dentro del tiempo de retardo sin enfocar marca,
29        //seguir mostrando modelo en pantalla.
30
31        if (Target.activeSelf == false && timer < timeActiveOnTargetLose) {
32            ContainerTarget.transform.SetParent (this.transform);
33            timer += Time.deltaTime;
34        } else if(Target.activeSelf == false){
35            ContainerTarget.transform.SetParent (Target.transform);
36        }
37    }
38 }
```

Figura 4.9: “ExtendedTracker.cs”, script de retardo de proyección en pantalla

Un script bastante sencillo pero de bastante utilidad es “Rotate.cs” (ver figura 4.10), el cual se encarga de rotar el modelo seleccionado sobre un eje cartesiano a una velocidad constante predefinida, garantizando una completa observación y apreciación del objeto.

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class Rotate : MonoBehaviour {
6
7     void Update () {
8         transform.Rotate(new Vector3(0f,0f,30f) * Time.deltaTime);
9     }
10 }
```

Figura 4.10: “Rotate.cs”, script de rotación de modelo 3D

Realizar zoom sobre un objeto es una característica muy común en aplicaciones gráficas, que permite al usuario un mayor detalle de aquello que se observa en pantalla. “Gesture.cs” (ver figura 4.11) se encarga de tomar los puntos de toque en pantalla, verificar si cumple con el gesto de aumento (dos dedos en pantalla) y realizar los cálculos de distancia entre cada toque para posteriormente, de acuerdo al resultado y movimiento, realizar el aumento o disminución del tamaño del objeto en proyección.

```
1 using System.Collections;
2 using UnityEngine;
3
4 public class Gesture : MonoBehaviour {
5
6     private Touch oldTouch1; //Último punto 1 presionado (puntero 1).
7     private Touch oldTouch2; //Último punto 2 presionado (puntero 2).
8
9     void Update()
10    {
11        //No hay toque, el punto de toque es 0.
12        if (Input.touchCount <= 0)
13        {
14            return;
15        }
16
17        Touch newTouch1 = Input.GetTouch(0);
18        Touch newTouch2 = Input.GetTouch(1);
19
20        //El segundo punto es presionado en pantalla, solo guarda, no procesa.
21        if (newTouch2.phase == TouchPhase.Began)
22        {
23            oldTouch2 = newTouch2;
24            oldTouch1 = newTouch1;
25            return;
26        }
27
28        //Cálculo de la distancia entre los últimos dos puntos y los nuevos dos puntos,
29        //alargando el modelo si es mayor, o encogiéndolo si es menor.
30
31        float oldDistance = Vector2.Distance(oldTouch1.position, oldTouch2.position); //Vector2 representa vectores bidimensionales.
32        float newDistance = Vector2.Distance(newTouch1.position, newTouch2.position);
33
34
35        //Diferencia entre dos distancias, positiva significa gesto de aumento y negativa de disminución.
36        float offset = newDistance - oldDistance;
37
38        //Factor de magnificación.
39        float scaleFactor = offset / 100f;
40
41        //Vector3 representa vectores tridimensionales y sus puntos. Transform.localScale representa su propia escala.
42        Vector3 localScale = transform.localScale;
43        Vector3 scale = new Vector3(localScale.x + scaleFactor,
44            localScale.y + scaleFactor,
45            localScale.z + scaleFactor);
46
47        //Límites mínimos y máximos de tamaños aumento y disminución.
48        if (scale.x >= 0.08f && scale.x <= 0.18f && scale.y >= 0.08f && scale.y <= 0.18f && scale.z >= 0.08f && scale.z <= 0.18f)
49        {
50            transform.localScale = scale;
51        }
52
53        //Almacena los últimos puntos de toque para el siguiente uso.
54        oldTouch1 = newTouch1;
55        oldTouch2 = newTouch2;
56    }
57 }
58 }
```

Figura 4.11: “Gesture.cs”, script de zoom en pantalla

#### 4.2.2. Interfaz de usuario

Para la construcción de la interfaz de usuario de la aplicación móvil, se tomaron los diseños de prototipo descritos en el capítulo anterior, basados en estilos minimalistas habituales en aplicaciones de realidad aumentada. Además se realizó el diseño de un logo representativo (ver figura 4.12) en conjunto al nombre seleccionado para la App: “Mérida Smart” como imagen corporativa.

En la vista de carga de la aplicación (ver figura 4.12) se puede apreciar el logo de la app, junto a los logos propietarios de las herramientas y tecnologías usadas en la misma. Seguidamente se observa la vista principal 4.13) donde se realiza la proyección del objeto por realidad aumentada, así como del menú con las opciones de información, ayuda y salida.



Figura 4.12: Vista de carga de la Aplicación



Figura 4.13: Vista principal de la Aplicación con realidad aumentada

Adicionalmente, las figuras 4.14 y 4.15 muestran las vistas referentes a las distintas opciones de menú de la aplicación, a modo de soporte para el usuario.



Figura 4.14: Vista de información de la Aplicación



Figura 4.15: Vista de ayuda de la Aplicación

### 4.3. Desarrollo del sitio web

El sitio web viene a ser la tarima de presentación de la aplicación con realidad aumentada (ver figura 4.16). Se tomó para ello los lineamientos de diseño de prototipo descritos en el capítulo 3.5.2 y la paleta de colores implementadas en la App. Asimismo, se muestra información detallada de la aplicación móvil, información del museo y exposición de algunas obras con una breve reseña y enlace a la marca de realidad aumentada (ver figura 4.17), dando así una experiencia más cercana e interactiva al usuario (ver figura 4.18). De igual forma, se agregó una sección de contacto (ver figura 4.19) para brindar al visitante la oportunidad de interactuar con los desarrolladores.



Figura 4.16: Vista principal del sitio web

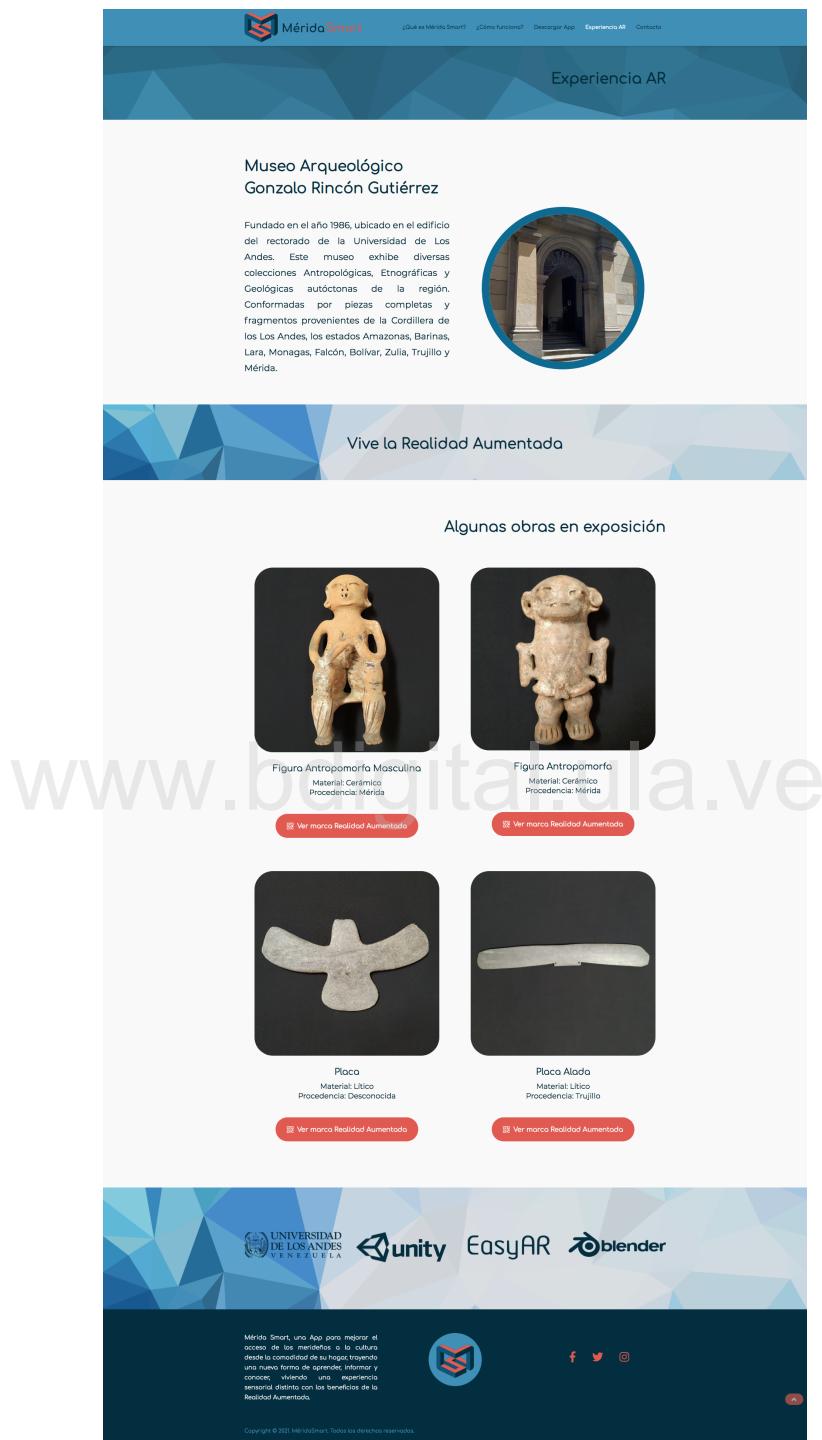


Figura 4.17: Vista de “Experiencia AR” del sitio web

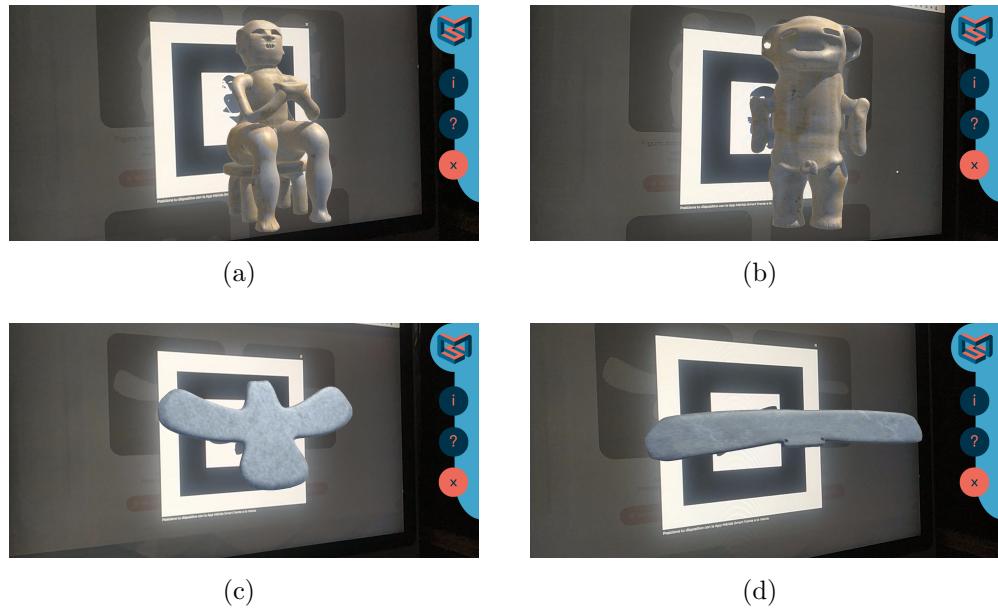


Figura 4.18: Vista de Realidad Aumentada en sitio web tomada desde la aplicación

Figura 4.19: Vista de contacto del sitio web

## 4.4. Pruebas de funcionamiento

A lo largo de la construcción de la aplicación móvil y sitio web, se han realizado pruebas de caja blanca en los componentes desarrollados e implementados, ingresando diferentes valores, rangos, y configuraciones, tanto válidas como inválidas para así observar el comportamiento de los mismos y realizar cualquier ajuste o reparar cualquier fallo que pudiera surgir, garantizando su correcta ejecución.

Luego de finalizado el desarrollo de este proyecto, se han construido distintas pruebas de caja negra sobre la interfaz de la aplicación, para ser evaluadas en distintas marcas, modelos y versiones de sistema operativo Android de dispositivos y comprobar aspectos de compatibilidad, usabilidad y experiencia de usuario final.

### 4.4.1. Caso 1: Pruebas de navegación en la aplicación

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Presionar botón de información	Ver vista de información	Scroll en panel de información	Presionar botón de cerrar vista
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto	correcto	correcto	correcto
Observaciones: Ninguna.				

Cuadro 4.1: Pruebas de navegación: Vista de información

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Presionar botón de ayuda	Ver vista de ayuda	Scroll en panel de ayuda	Presionar botón de cerrar vista
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	correcto	correcto	correcto	correcto
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto	correcto	correcto	correcto
Observaciones: Ninguna.				

Cuadro 4.2: Pruebas de navegación: Vista de ayuda

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Presionar botón Salir aplicación
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	correcto
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto
Observaciones: Ninguna.	

Cuadro 4.3: Pruebas de navegación: Salir de la aplicación

#### 4.4.2. Caso 2: Pruebas de realidad aumentada en la aplicación

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Proyección de modelo 3D 01	Rotación de modelo 3D 01	Zoom en Modelo 3D 01
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	fallo	fallo	fallo
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	fallo	fallo	fallo

Observaciones:

- En dispositivo Asus se observa fondo negro.
- En dispositivo Ipro no se realiza proyección del modelo.

Cuadro 4.4: Pruebas de realidad aumentada: Modelo 01

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Proyección de modelo 3D 02	Rotación de modelo 3D 02	Zoom en Modelo 3D 02
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	fallo	fallo	fallo
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto	correcto	correcto

Observaciones: - En dispositivo Asus se observa fondo negro.

Cuadro 4.5: Pruebas de realidad aumentada: Modelo 02

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Proyección de modelo 3D 03	Rotación de modelo 3D 03	Zoom en Modelo 3D 03
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	fallo	fallo	fallo
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto	correcto	fallo
Observaciones:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- En dispositivo Asus se observa fondo negro.</li> <li>- En dispositivo Ipro no se realiza correctamente zoom del modelo.</li> </ul>			

Cuadro 4.6: Pruebas de realidad aumentada: Modelo 03

Marca, modelo y versión S.O. de dispositivo	Proyección de modelo 3D 04	Rotación de modelo 3D 04	Zoom en Modelo 3D 04
Xiaomi MI A2 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Samsung A12 (v10.0)	correcto	correcto	correcto
Asus Zenfone 2 (v6.0)	fallo	fallo	fallo
Alcatel One touch idol 2 (v5.1)	correcto	correcto	correcto
Ipro Wave 4.0 II (v4.2)	correcto	correcto	correcto
Observaciones: - En dispositivo Asus se observa fondo negro.			

Cuadro 4.7: Pruebas de realidad aumentada: Modelo 04

#### 4.4.3. Análisis de resultados

En la realización de las pruebas de funcionamiento de la aplicación móvil se corroboró el correcto funcionamiento del mismo. Sin embargo, se pudo observar dos errores particulares en algunos dispositivos específicos.

En el primer caso: Luego de cargar la aplicación, no se aprecia nada en la interfaz, quedando la pantalla en negro y mostrando solamente los elementos del menú. Después de realizar los análisis respectivos se encontró, que dicho fallo es debido a la incompatibilidad del SDK de realidad aumentada con la arquitectura x86 del procesador del dispositivo. Lo cual no representa un problema de gran relevancia debido a que dispositivos construidos con dicha arquitectura de procesador representa un porcentaje muy pequeño en el mercado y actualmente está yendo en desuso.

En el segundo caso: Se presentaron algunos inconvenientes de reconocimiento y proyección debido a la baja calidad de la cámara y la pantalla, lo que tampoco representa un problema considerable en vista de que los dispositivos actuales son de mayor calidad en su construcción.

# **Capítulo 5**

## **Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

Esta aplicación pretende ser un impulso para acercar al ciudadano común a la rica cultura local, con una experiencia distinta, novedosa y mas directa desde la comodidad de su dispositivo.

Desde su nacimiento, la Realidad Aumentada en cualquiera de sus tipologías ha sido una herramienta que mejora la percepción de la realidad, teniendo un gran carácter utilitario y no solo de entretenimiento.

Luego de una extensa revisión bibliográfica, se comprobó el estrecho vínculo entre la Realidad Aumentada y una ciudad inteligente, y es que si duda alguna, una ciudad que brinde a sus ciudadanos el acceso a la educación, cultura y recreación con una experiencia mas cercana y real al alcance de la mano, dará como resultado ciudadanos con mayor nivel académico y fomentará la curiosidad de continuar investigando de una manera creativa.

Existe actualmente en el mercado tecnológico una gran oferta de herramientas de las que se pueden hacer uso para aplicaciones de Realidad Aumentada, en el caso concreto, se hizo la escogencia del SDK EasyAr, el software de modelado Blender y el entorno de desarrollo y motor gráfico Unity, para el desarrollo de este software en particular, tomando sus cualidades de versatilidad y economía.

La implementación de la realidad aumentada en alguna obras del Museo

Arqueológico Gonzalo Rincón Gutiérrez de Mérida, tomado como caso de estudio, cambiaron la percepción estática que tiene el ciudadano común de los museos en general; brindando, en el caso particular, mayor interés del usuario por el tema arqueológico.

Con el desarrollo del sitio web, se permite promocionar la aplicación Mérida Smart y sus atributos, llamando la atención del usuario común.

En la construcción tanto de la aplicación móvil, como del sitio web, plataforma para la demostración de algunas obras del Museo Arqueológico Gonzalo Rincón Gutiérrez de Mérida, a través de la realidad aumentada, permitió un paseo por las diferentes técnicas y herramientas que exigen el uso del conocimiento adquirido a lo largo de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la ilustre Universidad de Los Andes.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

C.C. Reconocimiento

## 5.2. Recomendaciones

- La aplicación móvil aquí desarrollada, se presenta con la intención de hacerse extensiva para la implementación en otros museos o instituciones.
- La ciudad de Mérida tiene un alto potencial de Ciudad Inteligente, su cultura, educación, gente, paisajes, ofrecen un escenario que junto a la implementación de tecnologías como la Realidad Aumentada, brindarían una muy agradable experiencia de aprendizaje a los usuarios.
- La implementación de la Realidad Aumentada debe ser considerada en las políticas locales como un medio de ahorro, pues su uso permite un contacto directo desde la comodidad de un dispositivo, representando un ahorro de recursos de todo tipo (humanos, económicos, naturales, etc.).
- Sin duda, desde el comienzo de la pandemia por Covid-19, ha puesto de manifiesto la necesidad de utilizar herramientas como la Realidad Aumentada, que permiten el acceso a la información de una manera mas directa y segura.

# Referencias Bibliográficas

- [1] 3DSMax. Software de renderización, animación y modelado en 3D, 2019. <https://www.autodesk.es/products/3ds-max/overview>, accedido 11-06-2019.
- [2] ARCore. Build the future, 2019. <https://developers.google.com/ar/>, accedido 28-09-2019.
- [3] ArtoolkitX. We are open-source, multi-platform augmented reality, 2018. <http://www.artoolkitx.org/>, accedido 20-08-2019.
- [4] Augment. How augmented reality works, 2018. <http://www.augment.com/how-augmented-reality-works/>, accedido 28-11-2019.
- [5] BBVA. Diferencias entre la realidad virtual y la realidad aumentada, 2018. <https://www.bbva.com/es/diferencias-realidad-virtual-realidad-aumentada/>, accedido 17-08-2019.
- [6] Blender. Open Source 3D creation. Free to use for any purpose, forever, 2019. <https://www.blender.org/>, accedido 10-06-2019.
- [7] M. Bouskela and Otros. *La ruta hacia las Smart Cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente*. Banco Interamericano de Desarrollo, 2016.
- [8] L. Cano. ¿Cómo debe funcionar una ciudad inteligente?, 2018. <https://news.sap.com/latinamerica/2018/01/04/como-debe-funcionar-una-ciudad-inteligente-bl0g/>, accedido 12-01-2020.
- [9] J. Carazo. Ciudad inteligente, 2018. <http://economipedia.com/definiciones/ciudad-inteligente-smart-city.html>, accedido 28-09-2019.

- [10] Cisco. What Is a Smart City?, 2018. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/smart-connected-communities/what-is-a-smart-city.html>, accedido 02-10-2019.
- [11] W. Damien. Google Maps AR walking directions launches today on Google Pixel smartphones, 2019. <https://9to5google.com/2019/05/07/google-maps-ar-walking-directions-now-on-pixel/>, accedido 04-12-2019.
- [12] EasyAR. More amazing than you think, 2018. <https://www.easyar.com/>, accedido 10-06-2019.
- [13] P. Emily. Google Debuted AR Navigation in Maps For Some Users Today. Here's What It's Like, 2019. <https://fortune.com/2019/02/11/google-maps-ar-navigation/>, accedido 04-12-2019.
- [14] R. A. Española. Diccionario de la Lengua Española - Aumentar, 2019. <https://dle.rae.es/?id=4OYaoOU>, accedido 13-10-2019.
- [15] R. A. Española. Diccionario de la Lengua Española - Realidad, 2019. <https://dle.rae.es/?id=VH7cofQ>, accedido 13-10-2019.
- [16] Geekflare. Augmented Reality (AR): Trends, Frameworks, and Tools, 2019. <https://geekflare.com/augmented-reality-trends/>, accedido 02-12-2019.
- [17] I. Grevtsova. El patrimonio urbano al alcance de la mano: arquitectura, urbanismo y apps. *HER&MUS*, V(2):36 – 43, 2013.
- [18] J. Grubert and R. Grasset. *Augmented Reality for Android Application Development*. Packt, Reino Unido, 1ra edition, 2013.
- [19] C. Harrison and I. Abbott. *A Theory Of Smart Cities*. IBM Corporation, Estados Unidos, 2007.
- [20] Histora, 2018. <http://www.histora.com.ar/>, accedido 16-08-2019.
- [21] T. F. Institite. The science of augmented reality, 2018. <https://www.fi.edu/science-of-augmented-reality>, accedido 29-11-2019.

- [22] P. Kruchten. Architectural Blueprints - The “4+1” View Model of Software Architecture. *IEEE Software*, 12(6):42 – 50, 1995.
- [23] Learntofly. Flight Simulation, 2019. <https://learntofly.edu.au/flight-simulation/>, accedido 17-08-2019.
- [24] I. Linares. Google lleva a tu móvil la mejor colección de arte en realidad aumentada, 2019. <https://elandroidelibre.elespanol.com/2019/07/google-lleva-a-tu-movil-la-mejor-coleccion-de-arte-en-realidad-aumentada.html>, accedido 15-08-2019.
- [25] J. Linowes and K. Bablinsky. *Augmented Reality for Developers*. Packt, Reino Unido, 1ra edition, 2017. “AR is the combination of digital data and real-world human sensory input in real-time that is apparently attached (registered) to the physical space”. Traducción propia.
- [26] H. López. Análisis y Desarrollo de Sistemas de Realidad Aumentada, 2010. Proyecto fin de Máster en Sistemas Inteligentes. Universidad Complutense de Madrid.
- [27] S. Prabhu. What is Augmented Reality and How Does It Work?, 2017. <http://www.arreverie.com/blogs/how-ar-work/>, accedido 02-09-2019.
- [28] Reality. The Ultimate Guide to Understanding Augmented Reality (AR) Technology, 2018. <https://www.realitytechnologies.com/augmented-reality/>, accedido 28-11-2019.
- [29] L. Rialto. ¿Se puede construir una smart city desde cero?, 2017. <http://www.futurosostenible.elmundo.es/transformacion/se-puede-construir-una-smart-city-desde-cero>, accedido 27-09-2019.
- [30] M. Rueda. ¿Qué son las “Smart Cities”? , 2017. <https://www.bbva.com/es/las-smart-cities/>, accedido 27-09-2019.
- [31] D. Schmalstieg and T. Höllerer. *Augmented reality: principles and practice*. Addison-Wesley, Estados Unidos, 1ra edition, 2016. “Augmented reality holds the

promise of creating direct, automatic, and actionable links between the physical world and electronic information. It provides a simple and immediate user interface to an electronically enhanced physical world". Traducción propia.

- [32] SmartSantander. SmartSantanderRA: Santander Augmented Reality Application, 2014. <http://www.smartsantander.eu/index.php/blog/item/174-smartsantanderra-santander-augmented-reality-application>, accedido 12-08-2019.
- [33] I. Sommerville. *Ingeniería de Software*. Pearson, 9na edición, 2009.
- [34] F. Telefónica. *Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas*. Number 16. Ariel, España, 2011.
- [35] D. Titov. 7 Best Augmented Reality SDK To Start AR Development, 2019. <https://invisible.toys/best-augmented-reality-sdk/>, accedido 20-08-2019.
- [36] Uniat. Oculus Rift y otros productos geniales para la realidad virtual, 2016. <https://www.uniat.com/oculus-rift/>, accedido 17-08-2019.
- [37] Unity3D. Imagina, compila y obtén el éxito que deseas con Unity, 2019. <https://unity3d.com/es>, accedido 11-06-2019.
- [38] Visuartech. Diferencia entre realidad aumentada y realidad virtual, 2019. <http://www.visuartech.com/diferencia-entre-realidad-aumentada-y-realidad-virtual/>, accedido 17-08-2019.
- [39] Vuforia. Unlock the Value of Augmented Reality, 2018. <https://www.vuforia.com/>, accedido 10-06-2019.
- [40] E. ZolfaghariFard. Streets of London now... and then: Stand still and picture yourself in history with app that creates hybrid images of present and past, 2014. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2567739/Streetmuseum-app-creates-hybrid-images-London.html>, accedido 14-01-2020.
- [41] ZonaMovilidad. Amazon decora el hogar a través de realidad aumentada, 2018. <https://www.zonamovilidad.es/amazon-decora-el-hogar-a-traves-de-realidad-aumentada.html>, accedido 17-08-2019.