

APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA  
APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD

GERMÁN RICARDO MORALES CASTRO  
ANA BEATRIZ MOJICA BOHÓRQUEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA

2021

APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA  
APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD

ANA BEATRIZ MOJICA BOHÓRQUEZ  
GERMÁN RICARDO MORALES CASTRO

CARLOS HUMBERTO CARREÑO DÍAZ  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA

2021

## CONTENIDO

	pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
2.1. SITUACIÓN PROBLEMA .....	8
2.2. ANTECEDENTES.....	8
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>4. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>5. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. REALIDAD AUMENTADA .....</b>	<b>12</b>
4.1.1. Realidad aumentada basada en ubicación.....	12
4.1.2. Realidad aumentada basada en triggers .....	12
4.2. ARCORE .....	13
4.3. UNITY .....	13
4.3.1. Conexión con la base de datos .....	13
4.3.2. Vuforia Engine .....	14
4.4. TEORÍA DE GRAFOS .....	14
4.4.1. Problema del camino más corto .....	14
4.4.2. Algoritmo de Dijkstra.....	14
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
5.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE .....	16
5.1.1. Evaluación de prototipos .....	17
<b>6. PROPIEDAD INTELECTUAL .....</b>	<b>18</b>
<b>7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>19</b>

7.1.	CAMBIOS REALIZADOS AL CRONOGRAMA.....	20
<b>8.</b>	<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>22</b>
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS.....</b>	<b>23</b>
9.1.	ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	23
9.1.1.	Requerimientos funcionales: .....	23
9.1.2.	Requerimientos no funcionales: .....	24
9.2.	DEFINICIÓN DEL MODELO DE DATOS PARA SITIOS DE INTERÉS .....	24
9.3.	PLANEACIÓN DE PRUEBAS .....	25
9.3.1.	Visita al campus universitario .....	25
<b>10.</b>	<b>DISEÑO.....</b>	<b>26</b>
10.1.	ESTRATEGIA DE REALIDAD AUMENTADA.....	26
10.2.	DISEÑO DEL GRAFO .....	26
10.3.	DEFINICIÓN Y DISEÑO DE TRIGGERS PARA REALIDAD AUMENTADA .....	27
10.4.	IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ DE USUARIO.....	29
10.4.1.	Cambios a la interfaz de usuario .....	30
10.5.	DISEÑO DE OBJETOS DE REALIDAD AUMENTADA .....	33
<b>11.</b>	<b>CODIFICACIÓN .....</b>	<b>35</b>
11.1.	ALGORITMO DE CAMINO MÁS CORTO .....	35
11.2.	TRABAJO EN UNITY .....	36
11.2.1.	<b>Construcción del grafo en Unity .....</b>	<b>36</b>
<b>12.</b>	<b>VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>42</b>
12.1.	VIDEO .....	47
12.2.	DESPLIEGUE.....	47
12.3.	CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS.....	49
12.3.1.	Requerimientos Funcionales .....	49
12.3.2.	Requerimientos No Funcionales.....	52
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>	<b>55</b>
<b>14.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD

**AUTOR(ES):** Ana Beatriz Mojica Bohórquez  
Germán Ricardo Morales Castro

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

**DIRECTOR(A):** Carlos Humberto Carreño Diaz

### RESUMEN

El presente documento explora el desarrollo de un software para dispositivos móviles que presenta como objetivo ser una herramienta de navegación para aquellas personas que se encuentren en un lugar con el cual no estén familiarizados mediante el uso de la tecnología de Realidad Aumentada, y tomando como referencia el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Esto se realiza teniendo en cuenta la distribución los distintos edificios que conforman el campus, la teoría de grafos y el uso de algoritmos de camino más corto y la importancia de una interfaz de usuario que presente información relevante sin llegar a ser abrumadora, todos estos elementos siendo integrados con las funcionalidades que brinda la Realidad Aumentada basada en marcadores mediante el uso del motor Unity y el SDK Vuforia Engine.

### PALABRAS CLAVE:

Realidad Aumentada, Aplicación Móvil, Teoría Grafos, Unity, Algoritmo Camino Corto



V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** MOBILE APP IMPLEMENTING AUGMENTED NAVIGATION INSIDE THE COLLEGE CAMPUS

**AUTHOR(S):** Ana Beatriz Mojica Bohórquez  
Germán Ricardo Morales Castro

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

**DIRECTOR:** Carlos Humberto Carreño Díaz

### ABSTRACT

This here document describes the development of a smartphone software with the objective of being a navigation tool for people that are not familiarized with the campus of the UPB (Universidad Pontificia Bolivariana) by utilizing Augmented Reality. This is done by considering the physical layout of the various building in campus, graph theory, shortest path algorithms, efficient UI, and Augmented Reality based on triggers using Unity and the Vuforia Engine SDK.

### KEYWORDS:

Augmented Reality, Mobile App, Unity, Graph Theory, Shortest Path Algorithm



V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento explora el desarrollo de un software para dispositivos móviles que presenta como objetivo ser una herramienta de navegación para aquellas personas que se encuentren en un lugar con el cual no estén familiarizados mediante el uso de la tecnología de Realidad Aumentada, y tomando como referencia el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Esto se realiza teniendo en cuenta la distribución los distintos edificios que conforman el campus, la teoría de grafos y el uso de algoritmos de camino más corto y la importancia de una interfaz de usuario que presente información relevante sin llegar a ser abrumadora, todos estos elementos siendo integrados con las funcionalidades que brinda la Realidad Aumentada basada en marcadores mediante el uso del motor Unity y el SDK Vuforia Engine.

Aquí van a estar detallados los procesos llevados a cabo en las fases de análisis, diseño, codificación, y validación del sistema; y al final se mostrarán los resultados obtenidos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. SITUACIÓN PROBLEMA**

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga cuenta con un campus universitario conformado en la actualidad por doce edificios nombrados en orden alfabético según fueron construidos, contando con oficinas, facultades, laboratorios, cafeterías y demás sitios de interés. El orden en el que los edificios son presentados puede llegar a no ser intuitivo, con edificios como el J y el K, cuyos nombres están uno tras de otro a nivel alfabético, pero no siendo reflejado en su ubicación a nivel físico. Además de esto, también puede haber confusión en la enumeración de los salones, debido a que este tiende a variar dependiendo de la infraestructura del edificio.

Los estudiantes nuevos, estudiantes de secundaria interesados en la institución o personas invitadas, podrían requerir orientación para encontrar algunas ubicaciones. Por ejemplo, los tres auditorios de la universidad de los cuales dos cuentan con puntos de acceso distintos a aquellos que se tienen para las aulas u oficinas del mismo edificio en el que se encuentran. El uso de una herramienta interactiva para facilitar este proceso no solo agilizaría la movilización de personas en escenarios como inducciones, sino que también se presentaría llamativa para aquellos estudiantes de secundaria que estén considerando la universidad o la carrera de ingeniería de sistemas e informática, y sería una demostración del potencial con el que cuenta la universidad en esta área.

También se pueden considerar a los miembros de la comunidad educativa que necesiten acercarse a algún punto de interés al que nunca hayan ido y que no conozcan su ubicación en el campus universitario. A estos escenarios se puede sumar el de personas con limitaciones auditivas y/o del habla que podrían visitar la universidad y que requieran encontrar por su cuenta un lugar en específico.

### **2.2. ANTECEDENTES**

Para realizar el proyecto se puede tener en cuenta trabajo que haya sido realizado antes y la información que se haya obtenido de proyectos similares. De esta manera, se puede hacer un análisis de la necesidad y utilidad que tiene el proyecto para resolver una problemática de la vida real.

GeoEPN es una aplicación móvil que utiliza realidad aumentada para guiar a los usuarios a través de un campus universitario y fue desarrollada por un equipo de la universidad de Alicante, localizada en España en 2016 [8]. Los desarrolladores de GeoEPN expresan en el documento de investigación que se evaluaron las siguientes variables para analizar el éxito de la aplicación: Efectividad, eficiencia, tolerancia a errores y facilidad de aprendizaje. Haciendo una encuesta con los usuarios de la aplicación se pudo concluir efectividad de la herramienta en cuestión a unas preguntas.

Preguntas como ¿Considera eficaz el tiempo necesario para encontrar un lugar con ayuda de la realidad aumentada?, ¿Se le hizo más fácil encontrar un sitio utilizando realidad aumentada comparado con un mapa normal?, ¿Fueron claros los elementos de realidad aumentada? Y ¿Fue intuitivo aprender con realidad aumentada? Retornaron respuestas favorables a la aplicación. Lo que sugeriría que usar esta tecnología para ubicación y dirección en un espacio como una universidad sí es efectivo y vale la pena de realizar.

En el año 2019, la Universidad Tecnológica de Malasia hizo un experimento para comparar los resultados que muestra un grupo de sesenta (60) estudiantes aprendiendo con el apoyo de la realidad aumentada. Treinta (30) estudiantes aprendieron de manera convencional y treinta (30) con el apoyo de realidad aumentada. Después de esto, se realizaron pruebas en los dos grupos de sus habilidades de rotación mental y visuales. El estudio concluyó mostrando una mejora significativa en el grupo de realidad aumentada en su capacidad de retención y sus habilidades visuales comparados con el grupo que aprendió convencionalmente [11]. Este estudio demuestra que la realidad aumentada permite recibir información en un contexto que promueve las habilidades visuales y de ubicación en un espacio.

Otra aplicación que ha utilizado la realidad aumentada para presentar información a los usuarios es el caso de Arc, una aplicación de realidad aumentada usada para enseñar historia a un grupo de estudiantes. Un grupo de treinta (30) estudiantes de décimo grado en una escuela secundaria tomaron una prueba de historia antes y después de haber aprendido con la aplicación para comparar sus resultados y observar si estos mejoraron después de haber usado la realidad aumentada como método de aprendizaje. La aplicación mostró resultados favorables sobre las puntuaciones de los estudiantes y se concluyó que la realidad aumentada fue eficaz como medio de aprendizaje [12]. Los resultados de este proyecto nos dan a entender que la realidad aumentada permite aumentar la percepción visual de un sistema debido a que el presentar objetos en 3D puede aclarar conceptos abstractos. Además de que la información se presenta de manera rápida y permite ser recordada más fácilmente.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una aplicación móvil apoyada en realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos, tomando como referencia el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar una estrategia de detección, referenciación y visualización de componentes de realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos.
- Diseñar el modelo de datos para el manejo de la información de sitios de interés del campus universitario utilizando tecnologías de libre distribución.
- Implementar la estrategia de detección, referenciación y visualización previamente identificada, a través de interfaces basadas en realidad aumentada para una interacción con los usuarios.
- Implementar un algoritmo de búsqueda de camino más corto para guiar al usuario de un sitio de interés a otro.
- Evaluar la calidad de la aplicación móvil a través de un conjunto de pruebas de software realizadas durante el proceso de desarrollo.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Por lo general, cuando las personas se encuentran en un lugar nuevo del cual desconocen su estructura, como lo puede ser un museo o campus universitario, se presentan problemas de navegación y confusión a la hora de recorrer los lugares o llegar a un sitio específico dentro de estos. En el caso de las instalaciones de la universidad, personas con poco conocimiento de esta tienden a presentar dificultades encontrando el aula u oficina al que desean llegar, teniendo que detenerse constantemente a pedir indicaciones o contar con recursos poco intuitivos, y a veces desactualizados, debido a que no están seguros de la dirección en la que van, esto resulta en la pérdida de tiempo, lo cual puede llegar a ser grave en casos donde hay una reunión programada o un estudiante necesita llegar a clase.

Más allá de las personas que poco frecuentan o conocen las instalaciones de la universidad, problemas de navegación pueden darse en estudiantes o miembros que llevan más tiempo en la comunidad universitaria cuando se presentan casos en los que es necesario ir a un edificio u oficina al cual no frecuentan o conocen, haciendo de una herramienta intuitiva de navegación algo necesario para la comunidad universitaria.

La realidad aumentada es una tecnología que está recibiendo aceptación por las posibilidades que ofrece de integrarse en las actividades humanas del mundo moderno. De esta forma, la posibilidad de interactuar con el mundo real ofreciendo información adicional que facilite la realización de tareas, hace de la realidad aumentada una herramienta útil que sirva como apoyo a la información obtenida con los sentidos para la toma de decisiones y ha mostrado resultados favorables para ayudar a la navegación en espacios cerrados y abiertos [9]. Un proyecto que involucre realidad aumentada permite tener una visión del mundo real más didáctica y fácil de entender, y esto permite determinar su efectividad y usabilidad para la navegación de espacios [10].

Si bien existen aproximaciones al respecto (tanto en el ámbito privado como comercial) se busca analizar diferentes enfoques existentes que permitan determinar un mecanismo que facilite la navegación en escenarios mixtos, tomando como punto de referencia un entorno externo con espacios abiertos y definiendo la información necesaria para la navegación en espacios interiores. Finalmente, aunque se toma como escenario y punto de referencia a la Universidad Pontificia Bolivariana, este proyecto tiene el potencial de aplicarse en diferentes escenarios como lo pueden ser distintos campus universitarios, museos, galerías, bibliotecas y demás.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1. REALIDAD AUMENTADA**

Teniendo en cuenta la intención de que la aplicación se base en información del mundo físico para guiar al usuario la realidad aumentada resulta una herramienta útil debido a que es una tecnología con la cual se busca que objetos de la vida real sean reforzados (o aumentados) por información generada virtualmente. La realidad aumentada permite una combinación del mundo real con el virtual y permite interactuar en tiempo real por medio de un registro de aspectos 3D del mundo real e integrándolo con lo virtual. La realidad aumentada pretende generar una experiencia inmersiva que mejore ambientes o situaciones naturales para el usuario. Si bien puede presentarse confusión entre la realidad aumentada con la virtual, la primera se diferencia de la segunda debido a que no reemplaza completamente el mundo real con un mundo virtual, sino que utiliza el mundo real para mejorarlo por medio de esta tecnología [5]. Haciendo uso de esta herramienta, se le pueden dar indicaciones al usuario sobre elementos que encuentren en el mundo real por medio de avisos que aparezcan en la aplicación, brindando una mejor experiencia de aquella que tendrían de no contar con la aplicación.

#### **4.1.1. Realidad aumentada basada en ubicación**

Este tipo de realidad aumentada es especialmente útil en situaciones donde se está en un espacio que no es familiar para el usuario, situación que se puede presentar en caso de visitas al campus realizadas por estudiantes del colegio u otro tipo de idas ocasionadas por situaciones particulares. Se reconoce la ubicación del dispositivo y en base a esto se muestra una información específica en la aplicación, como lo puede ser el nombre de la calle o edificio en la que se encuentra la persona o la proyección del camino a seguir para llegar a un lugar determinado [6].

#### **4.1.2. Realidad aumentada basada en triggers**

En estos casos el mundo digital está conectado al físico mediante marcadores específicos que puede detectar el dispositivo. Este marcador puede consistir en una imagen o figura determinada y cuando el dispositivo lo reconoce mediante la cámara este reacciona de la manera que se le es especificada. Así se mueva la cámara o marcador, la imagen digital queda anclada al marcador una vez lo ha reconocido, permitiendo leer indicaciones incluso si el marcador ya no se encuentra en pantalla y el usuario cambia de posición, y es recomendable que los marcadores sean figuras con bastantes esquina

o bordes, parecido a un logo, para que no sea confundido por el dispositivo fácilmente [6].

## **4.2. ARCORE**

ARCore es una plataforma diseñada por Google la cual mejora la experiencia de realidad aumentada para aquellos dispositivos que sean compatibles. Esta le permite a un dispositivo móvil reconocer y analizar mejor el entorno, lo que permite una mayor interacción por parte del usuario y mayor facilidad de desarrollo a la hora de hacer aplicaciones relacionadas con realidad aumentada. Entre las mejoras que ofrece está el rastreo de movimiento, el entendimiento de luz y sombras y el entendimiento del entorno, estas características permiten que aquello que sea sobrepuesto de manera digital se mantenga en la misma posición relativa con respecto al entorno físico que detecta, a diferencia de la inconsistencia de posición que es bastante notable en la realidad aumentada más desactualizada en la cual, sin importar el movimiento de la cámara, el despliegue digital permanece en la misma ubicación en pantalla, sin adaptarse al entorno físico [5], resultando que en el caso de que dicho despliegue se muestre muy grande en pantalla no haya forma de ver las partes que quedan por fuera.

## **4.3. UNITY**

Unity es una herramienta para desarrollar experiencias interactivas en 2D y 3D, y si bien es principalmente conocida como plataforma para crear videojuegos, en este caso va a ser utilizada para el desarrollo de la aplicación móvil debido a que esta consistirá en una experiencia más interactiva con los usuarios y la herramienta posee las capacidades necesarias para el desarrollo de una aplicación con estas características mediante el uso de SDKs (Software Development Kit) que permitan la implementación de realidad aumentada [4].

### **4.3.1. Conexión con la base de datos**

Unity presenta compatibilidad para conexión con una variedad de motores de bases de datos, esto le permite usar la información almacenada en estos motores e implementarla como el desarrollador guste. En el caso de este proyecto, permitiría recoger la información como el orden de los edificios o las distancias entre ellos para poder implementarla en la aplicación de forma que sea fácil de entender para el usuario.

### **4.3.2. Vuforia Engine**

Vuforia es un SDK para Unity que permite implementar realidad aumentada en aplicaciones móviles. Utilizando este SDK se puede implementar realidad aumentada por triggers, permitiendo el mostrar imágenes específicas dependiendo de qué imagen logra identificar la cámara del dispositivo móvil y mostrándolas con respecto a la posición de esta [12].

## **4.4. TEORÍA DE GRAFOS**

Para organizar la información que se recoja de la distribución de los edificios y demás sitios que conforman el campus de la universidad de forma que se puedan tener en cuenta las distancias y por consiguiente encontrar el camino más conveniente para el usuario, se va a representar la distribución física de la universidad como un grafo, esto siendo un conjunto de puntos o “nodos” que se entre conectan por medio de líneas llamadas “aristas”. En este caso, cada sitio demarcado va a cumplir la función de un nodo y los diferentes caminos que se pueden tomar serán representados por aristas, además de esto, y teniendo en cuenta la estructura de las instalaciones de la universidad, el grafo resultante será ponderado sin valores negativos, es decir se le asignarán a cada arista un valor correspondiente mayor a cero que sea equivalente a la longitud del camino, va a ser no dirigido, lo que significa que no se tendrá en consideración la dirección de la arista o que el “camino” podrá recorrerse en cualquier sentido, y ningún vértice va a estar aislado del resto del grafo [19].

### **4.4.1. Problema del camino más corto**

Este es un problema comúnmente planteado en la teoría de grafos que consiste en hallar el recorrido de menor valor que pueda realizarse entre dos nodos cualquiera de un grafo, los diferentes algoritmos propuestos como posibles soluciones deben mostrar consistencia al momento de establecer el camino correcto frecuentemente sin excederse en la complejidad computacional y dependiendo de las características del grafo determinados algoritmos resultan óptimos sobre otros [17][19].

### **4.4.2. Algoritmo de Dijkstra**

Siendo de los algoritmos más útiles para generar soluciones óptimas a el problema del camino más corto, el algoritmo de Dijkstra consiste en recorrer todos los posibles caminos que hay entre dos nodos, siempre guardando el que presenta el menor valor en la suma de la longitud de las aristas tomadas y el resultado siendo determinado después de examinar todas las posibilidades [17]. A nivel de complejidad el algoritmo de Dijkstra presenta relativamente un buen desempeño [15][17] teniendo en cuenta la escala en la

que se encontrará el grafo que represente el campus universitario y la falta de aristas con ponderación negativa.

## **5. METODOLOGÍA**

Este proyecto va a ser llevado a cabo teniendo como base la comunicación entre las partes y la asignación de tareas por capacidades. De esta manera, la realización del proyecto se lleva a cabo teniendo siempre la visión del producto final en cuenta, y se cumplen los objetivos llevando un reporte de los avances.

En la fase de investigación y planeación del proyecto se va a llevar a cabo una investigación exploratoria en torno a los diferentes factores que se deben tener en cuenta al navegar la universidad, como lo pueden ser la distancia entre edificios, las diferentes rutas que se pueden tomar entre estos, la organización de los edificios y salones, o variantes en el camino en forma de escaleras o ascensores. Esto es para tener en cuenta tanta información como sea posible en el momento que se diseñe y condense la base de datos.

En cuanto a las instalaciones de la universidad, se recogerá principalmente información de los espacios externos de esta con mínima profundización sobre los espacios internos, es decir, se centrará en la navegación entre edificios, con una recolección menos detallada sobre la navegación dentro de estos.

### **5.1. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE**

En cuanto al desarrollo de software se va a tener una metodología de prototipado, esta se basa en un plan de modelado rápido, en el cual se van construyendo diferentes prototipos que demuestran las funcionalidades básicas de la aplicación para tener una rápida evaluación de los resultados obtenidos y así seguir con el desarrollo haciendo ajustes al diseño a medida que se va avanzando [14].

Mediante el uso de prototipos se pueden evaluar individualmente los resultados obtenidos para los diferentes objetivos específicos, contando al principio prototipos enfocados en probar individualmente la realidad aumentada, la conexión a la base de datos o la experiencia de usuario, mientras que aquellos prototipos presentados más adelante en el ciclo de desarrollo pueden centrarse en cómo estas diferentes características son implementadas de manera simultánea dentro de la aplicación, las complicaciones que surgen a partir de esto y qué cambios son necesarios al tener en cuenta el sistema en su totalidad.

### **5.1.1. Evaluación de prototipos**

Se tiene como población de estudio a la Comunidad de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. A lo largo del ciclo del desarrollo se va a ir aumentando la cantidad de “*testers*” que prueben la aplicación en el estado en que se encuentre en ese momento, iniciando con pruebas internas en el equipo de trabajo para confirmar el estado de las funcionalidades, progresando con pruebas hechas sobre la experiencia de usuario las cuales pueden realizarse a un grupo reducido de entre cinco (5) a diez (10) estudiantes y finalizando con pruebas generales de la aplicación cuando esta se acerque a su versión beta, realizadas a un grupo entre veinte (20) y treinta (30) estudiantes que pertenezcan a diferentes facultades y semestres.

## 6. PROPIEDAD INTELECTUAL

Los autores del Proyecto de Grado titulado: **APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD**, se declaran como los autores morales de los productos derivados de su ejecución, y en lo correspondiente a la Propiedad Patrimonial, determinan no ceder los derechos de los productos del proyecto a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

En señal de aceptación y para constancia, se firma en el municipio de Floridablanca (Santander) el día: 01 de octubre de 2020.



Estudiante

Firma:

Nombre: Ana Beatriz Mojica Bohórquez

CC. 1098814876



Estudiante

Firma:

Nombre: Germán Ricardo Morales Castro

CC. 1098816169

VoBo del Director

Firma:

Nombre: Carlos Humberto Carreño Díaz

CC. 91511336

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

<b>TÍTULO DE LA PROPUESTA:</b>	<b>APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD</b>				
<b>AUTOR</b>	Ana Beatriz Mojica Bohórquez, Germán Ricardo Morales Castro				
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	¿Cómo apoyar la navegación en espacios externos e internos mediante un enfoque interactivo?				
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Desarrollar una aplicación móvil apoyada en realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos, tomando como referencia el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.				
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>DURACIÓN (SEMANAS)</b>	<b>FECHA INICIO</b>	<b>FECHA FIN</b>	<b>ENTREGABLES</b>
Objetivo 1: Identificar una estrategia de detección, referenciación y visualización de componentes de realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos.	Actividad 1.1. : Investigar estrategias de aplicación de realidad aumentada para determinar la que más se ajuste a las necesidades del proyecto.	1	17/08/2020	22/08/2020	Documento que reúna la información necesaria para el proyecto en un marco tecnológico y de referencia
	Actividad 1.2. : Profundizar en la documentación de la herramienta de realidad aumentada escogida para adquirir conocimientos sobre su funcionamiento	1	24/08/2020	29/08/2020	
Objetivo 2: Diseñar el modelo de datos para el manejo de la información de sitios de interés del campus universitario utilizando tecnologías de libre distribución.	Actividad 2.1. : Recopilación de información del campus universitario necesaria para facilitar la navegación.	1	31/08/2020	5/9/2020	Documento de recopilación de información del campus y sus edificios. Representación gráfica de la distribución de la universidad en un grafo.
	Actividad 2.2. : Representar en un grafo la distribución física de la universidad.	2	7/9/2020	19/09/2020	
	Actividad 2.3. : Agregar e implementar la información encontrada a la aplicación.	1	21/09/2020	26/09/2020	
Objetivo 3: Implementar la estrategia de detección, referenciación y visualización previamente identificada, a través de interfaces basadas en realidad aumentada para una interacción con los usuarios	Actividad 3.1. : Aplicar y programar los métodos para el manejo de realidad aumentada y el encontrar el camino más corto a la aplicación.	3	28/09/2020	17/10/2020	Prototipo funcional de la aplicación. Señales físicas instaladas en el campus para reconocimiento de AR.
	Actividad 3.2. : Ubicar imágenes que sirvan como marcadores de realidad aumentada en el campus universitario.	1	19/10/2020	24/10/2020	
	Actividad 3.3. : Diseño y desarrollo de las interfaces de usuario.	3	26/10/2020	14/11/2020	

Objetivo 4: Evaluar la calidad de la aplicación móvil a través de un conjunto de pruebas de software realizadas durante el proceso de desarrollo.	Actividad 4.1. : Llevar a cabo pruebas de usuario.	2	16/11/2020	28/11/2020	Aplicativo Funcional. Documento Final. Documentación de los resultados obtenidos y análisis realizado en las pruebas de software.
	Actividad 4.2. : Análisis y corrección de errores.	1	30/11/2020	5/12/2020	
	Actividad 4.3. : Subirlo a la plataforma de playstore para que sea accesible al público general.	1	7/12/2020	12/12/2020	

Tabla 1. Versión original del cronograma planteado

## 7.1. CAMBIOS REALIZADOS AL CRONOGRAMA

Debido a imprevistos que se presentaron durante la realización del proyecto a causa de la pandemia COVID-19, fue necesario hacer cambios en el cronograma, específicamente las fechas para llevar a cabo las actividades 2.2, 2.3, 3.2 y todas las actividades del objetivo 4. El nuevo cronograma establecido se muestra a continuación.

<b>TÍTULO DE LA PROPUESTA:</b>	<b>APLICACIÓN MÓVIL CON IMPLEMENTACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA APOYAR LA NAVEGACIÓN DENTRO DE LA UNIVERSIDAD</b>				
<b>AUTOR</b>	Ana Beatriz Mojica Bohórquez, Germán Ricardo Morales Castro				
<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	¿Cómo apoyar la navegación en espacios externos e internos mediante un enfoque interactivo?				
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Desarrollar una aplicación móvil apoyada en realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos, tomando como referencia el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.				
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>DURACIÓN (SEMANAS)</b>	<b>FECHA INICIO</b>	<b>FECHA FIN</b>	<b>ENTREGABLES</b>
Objetivo 1: Identificar una estrategia de detección, referenciación y visualización de componentes de realidad aumentada para la navegación en espacios internos y externos.	Actividad 1.1. : Investigar estrategias de aplicación de realidad aumentada para determinar la que más se ajuste a las necesidades del proyecto.	1	17/08/2020	22/08/2020	Documento que reúna la información necesaria para el proyecto en un marco tecnológico y de referencia
	Actividad 1.2. : Profundizar en la documentación de la herramienta de realidad aumentada escogida para adquirir conocimientos sobre su funcionamiento	1	24/08/2020	29/08/2020	
Objetivo 2: Diseñar el modelo de datos para el manejo de la información de sitios de interés del	Actividad 2.1. : Recopilación de información del campus universitario necesaria para facilitar la navegación. Representar en un grafo la	1	31/08/2020	5/9/2020	Documento de recopilación de información del campus y sus edificios.

campus universitario utilizando tecnologías de libre distribución.	distribución física de la universidad.				Representación gráfica de la distribución de la universidad en un grafo.
	Actividad 2.2. : Visitas al campus universitario para recopilación de información.	2	18/1/2021	01/02/2021	
	Actividad 2.3. : Agregar e implementar la información encontrada a la aplicación.	1	1/02/2021	8/02/2021	
Objetivo 3: Implementar la estrategia de detección, referenciación y visualización previamente identificada, a través de interfaces basadas en realidad aumentada para una interacción con los usuarios	Actividad 3.1. : Aplicar y programar los métodos para el manejo de realidad aumentada y el encontrar el camino más corto a la aplicación.	3	28/09/2020	17/10/2020	Prototipo funcional de la aplicación. Señales físicas instaladas en el campus para reconocimiento de AR.
	Actividad 3.2. : Ubicar imágenes que sirvan como marcadores de realidad aumentada en el campus universitario.	1	25/01/2021	1/02/2021	
	Actividad 3.3. : Diseño y desarrollo de las interfaces de usuario.	3	26/10/2020	14/11/2020	
Objetivo 4: Evaluar la calidad de la aplicación móvil a través de un conjunto de pruebas de software realizadas durante el proceso de desarrollo.	Actividad 4.1. : Llevar a cabo pruebas de usuario.	2	08/02/2021	22/02/2021	Aplicativo Funcional. Documento Final. Documentación de los resultados obtenidos y análisis realizado en las pruebas de software.
	Actividad 4.2. : Análisis y corrección de errores.	1	15/02/2021	22/02/2021	
	Actividad 4.3. : Subirlo a la plataforma de playstore para que sea accesible al público general.	1	15/02/2021	22/02/2021	

*Tabla 2. Nueva versión del cronograma, tras haber hecho los cambios necesarios*

## 8. PRESUPUESTO

Descripción	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Fuente		
				Recursos propios	Contrapartida UPB	Total
Desarrollo del proyecto (estudiante)	Meses	\$ 877.803	6	\$ 5.266.818	\$ 0	\$ 5.266.818
Dirección del proyecto	Horas	\$ 38.359	24	\$ 0	\$ 920.616	\$ 920.616
Inscripción de Desarrollador en la PlayStore	Inscripción	\$ 100.000	1	\$ 100.000	\$0	\$ 100.000
Inscripción de Desarrollador en ios store	Año	\$ 400.000	1	\$ 400.000	\$0	\$ 400.000
Licencias de Software	Licencia	\$ 280.000	1	\$ 280.000	\$0	\$ 280.000
TOTAL				5,716,818	\$ 920.616	6,636,818

*Tabla 3. Presupuesto planteado para la realización del proyecto*

## 9. ANÁLISIS

### 9.1. ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para la realización de este proyecto se definieron una lista de requisitos funcionales y no funcionales. Durante el desarrollo, estos requisitos se tuvieron en cuenta para seguir con la dirección del proyecto.

#### 9.1.1. Requerimientos funcionales:

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES		
CÓDIGO	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
RF1	Manejo de Datos	La aplicación debe tomar puntos específicos del campus universitario como nodos en un grafo, guardando datos como conexiones, direcciones y coordenadas
RF2	Grafo	La aplicación debe tener un grafo ponderado y no dirigido que represente los sitios físicos del campus teniendo en cuenta posiciones y distancias
RF3	Camino más corto	La aplicación tiene que encontrar el camino más corto entre cualquiera dos puntos dentro del campus y mostrar al usuario el camino que debe seguir
RF4	Definir Destino y Origen	La aplicación debe permitir al usuario definir los sitios de origen y destino para aplicar el algoritmo
RF5	Triggers y Realidad Aumentada	Reconocer imágenes (triggers) para ubicar el usuario en un nodo del grafo y presentar aspectos de realidad aumentada

Tabla 4. Requerimientos Funcionales

### 9.1.2. Requerimientos no funcionales:

REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES		
CÓDIGO	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
RNF1	Información en Realidad Aumentada	La aplicación debe mostrar información detallada del nodo en el que se encuentre el usuario por medio de realidad aumentada
RNF2	Disponibilidad en versiones de Android	La aplicación debe poder ser usada en dispositivos Android de mínimo versión 7 (Nougat)
RNF3	Acceso desde PlayStore	La aplicación debe ser accesible desde la Play Store
RNF4	Permitir Actualizaciones	La aplicación debe permitir actualizaciones para que se puedan agregar más nodos al grafo sin afectar significativamente su funcionamiento
RNF5	Interfaz de Usuario compacta	La interfaz de usuario debe priorizar la presentación de datos de manera compacta

Tabla 5. Requerimientos No Funcionales

## 9.2. DEFINICIÓN DEL MODELO DE DATOS PARA SITIOS DE INTERÉS

Para la realización de este proyecto fue necesario hacer un proceso de obtención de la información relevante del campus universitario y su estructura física. En primer lugar, se redactó un documento que definiera los principales sitios de interés de la universidad como lo son todos los edificios junto con la información relevante de los mismos. Fueron definidos entonces veinticinco (25) puntos de interés en el campus, de los cuales doce (12) fueron los edificios de la "A" a la "L", seis (6) fueron sitios importantes como el templo y el teatro mayor, y siete (7) fueron puntos medios entre sitios importantes, definidos para ayudar con la navegación en el campus.

Para poder obtener la información que va a ser mostrada al usuario por medio de realidad aumentada se tomó información como el nombre del sitio, sus características importantes, sus conexiones a otros sitios, sus sitios de interés en cada piso y fotos para apoyar la navegación. Esta información es guardada en la aplicación en cada objeto de Unity que representan los puntos de interés.

Con esta información y con el grafo realizado en la fase de diseño se presenta el modelo de datos para el manejo de la información de sitios de interés del campus universitario. El documento en que se tomaron estos datos se encuentra entre los anexos como “Documento de Recopilación de Información del campus universitario de la UPB”.

### **9.3. PLANEACIÓN DE PRUEBAS**

Teniendo en cuenta que un objetivo es garantizar la calidad del software, se establecieron las siguientes pruebas a las que debe ser sometido para que sea cuantificable.

- Que funcione en cinco (5) dispositivos móviles con distintas versiones de Android compatibles con la aplicación
- Que pueda encontrar el camino más corto entre veinte (20) diferentes combinaciones de nodos
- Que identifique los triggers y muestre la información de realidad aumentada en el primer intento de escaneo por lo menos el 80% de las veces

Con esto se pone a prueba la codificación, rendimiento, y la confiabilidad de la aplicación. Y de demostrar resultados satisfactorios, se puede decir con certeza que cumple con los estándares de calidad propuestos para esta aplicación.

#### **9.3.1. Visita al campus universitario**

Debido a que el proyecto requiere de visitas a las instalaciones físicas de la universidad, y teniendo en cuenta el proceso de contingencia en el que entró la universidad por la pandemia COVID-19, el avance del proyecto se vio afectado negativamente durante las semanas que se tenían planteadas en el cronograma para la recopilación de información y la preparación de triggers en el campus universitario, resultando en la falta de avances significativos durante el mes de diciembre, a raíz de esto se han hecho los cambios pertinentes en el cronograma y se espera en enero retomar con las actividades planteadas.

## **10. DISEÑO**

### **10.1. ESTRATEGIA DE REALIDAD AUMENTADA**

Existen diferentes maneras de aplicar realidad aumentada a un proyecto, entre las más populares está la realidad aumentada basada en ubicación, la realidad aumentada basada en proyección, y la realidad aumentada basada en marcadores o triggers. La realidad aumentada basada en ubicación utiliza las señales GPS de los dispositivos móviles para determinar en qué sitio se encuentra el usuario y según esto ajustar los elementos de realidad aumentada. Debido a que se propone una aplicación para apoyar la navegación, esta estrategia fue considerada en el proceso de planeación, pero fue descartada debido a que el campus universitario no es lo suficientemente grande para que sea necesario obtener la información GPS del usuario, múltiples edificios y sitios de interés están a muy corta distancia entre sí y la señal GPS no sería lo suficientemente exacta para discernir el sitio en el que se encuentra, y además sería información semi privada que necesitaría de autorización del usuario. La realidad aumentada por proyección no fue considerada para el proyecto debido a que no se tendría una manera clara de saber dónde se encuentra el usuario. Para poder cumplir con los objetivos que fueron definidos se decidió tomar una estrategia de realidad aumentada basada en triggers utilizando Vuforia en un proyecto de Unity, dado que los marcadores permiten determinar el dónde se va a presentar los aspectos de realidad aumentada y el dónde se encuentra el usuario en el momento de escaneo.

### **10.2. DISEÑO DEL GRAFO**

Una vez estos sitios estuvieron definidos, se empezó a hacer un mapa lógico de la universidad en el que se toma cada uno de los sitios de interés como nodos en un grafo, y cada conexión de estos nodos como caminos que puede tomar el usuario. Esto se hizo para poder encontrar el camino más corto entre dos puntos cualquiera, dados por el usuario. El grafo necesario para este proceso es un grafo no dirigido (debido a que se puede usar cualquier camino para ir o volver), y ponderado (debido a que no todos los puntos de interés son equidistantes). El grafo resultante se muestra a continuación y también está presente en los anexos del proyecto:

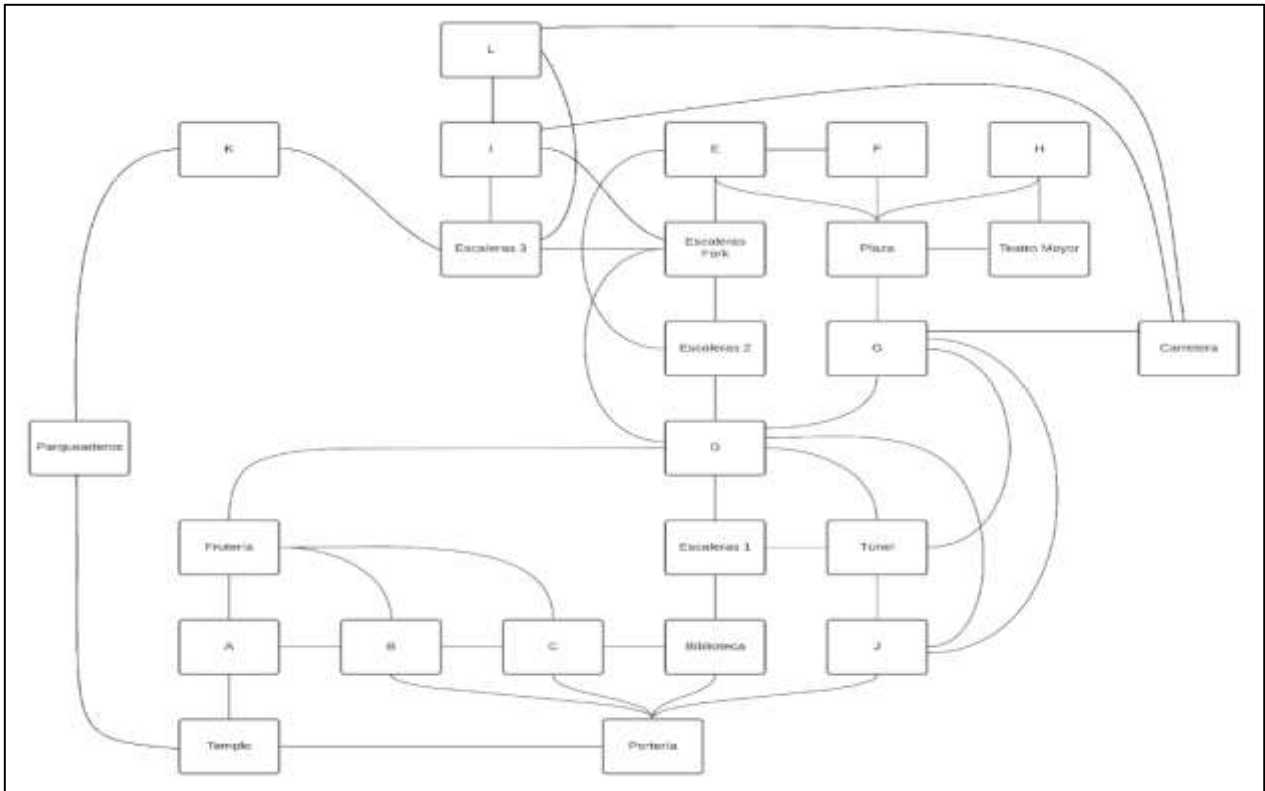


Ilustración 1. Grafo de la universidad, organizado visualmente según la distribución física de los edificios

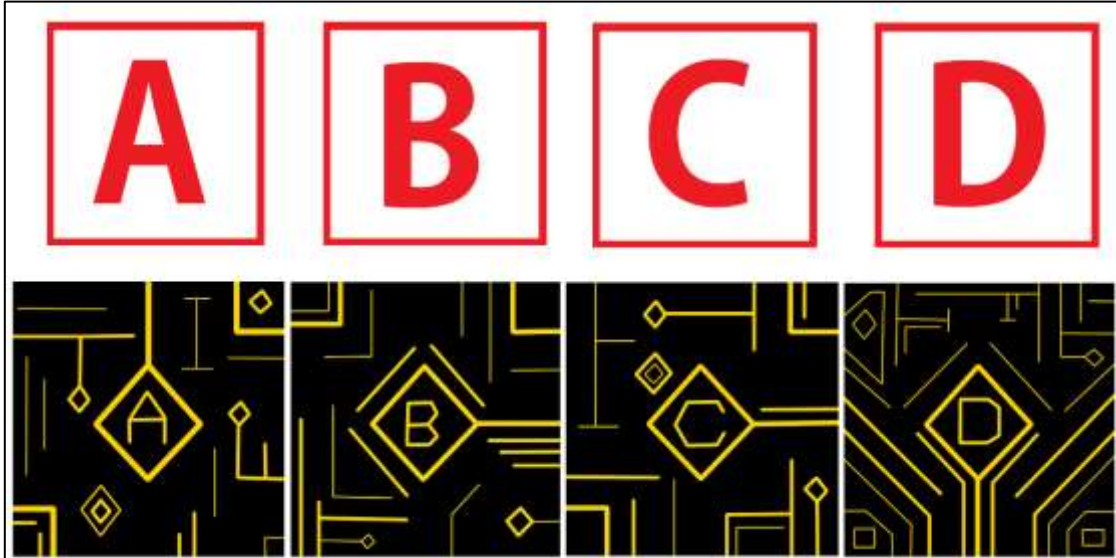
Para definir los pesos de las aristas de cada nodo se utilizó un método en Unity que calcula la distancia de dos nodos puestos en la escena, y de esta manera, se puede seguir añadiendo o quitando nodos y conexiones manteniendo la integridad del grafo. Todo esto llevó a tener un grafo que representa el espacio físico de la universidad que puede ser entendido por un algoritmo de camino más corto.

### 10.3. DEFINICIÓN Y DISEÑO DE TRIGGERS PARA REALIDAD AUMENTADA

Debido a que el tipo de realidad aumentada que maneja Vuforia Engine es basado en triggers, fue necesario diseñar estos de manera que fueran fácilmente reconocibles tanto para el usuario como el dispositivo.

Originalmente se tenían planteados triggers que consistían en mostrar las iniciales de los diferentes sitios dentro de un recuadro rojo, los cuales serían fácilmente reconocidos por los usuarios, pero estos se mostraron difíciles de identificar para la aplicación, la cual demoraba en identificarlos e incluso los distinguía de manera incorrecta en distintas ocasiones. A causa de esto, fue necesario volver a referirse a la documentación del SDK

para determinar los cambios que deberían realizarse a los triggers de manera que presentaran un mejor rendimiento.



*Ilustración 2. comparación entre los diseños antiguos y actuales de los triggers para los edificios A, B, C y D*

De la lectura realizada se pudo determinar que se requerían de triggers que contaran con una mayor cantidad de detalles, alto contraste e hicieran uso de esquinas y figuras con ángulos marcados, evitando círculos y curvas los cuales tienden a no ser reconocidos por la herramienta [13]. Después de rediseñar los triggers basado en esto, las nuevas imágenes fueron calificadas mediante la herramienta Target Manager del Vuforia Engine Developer Portal, la cual permitió establecer la calidad de los nuevos triggers, los cuales presentaron resultados de cuatro o cinco estrellas, y la mejora significativa que representaban frente a los triggers originales, los cuales no obtenían ninguna estrella.

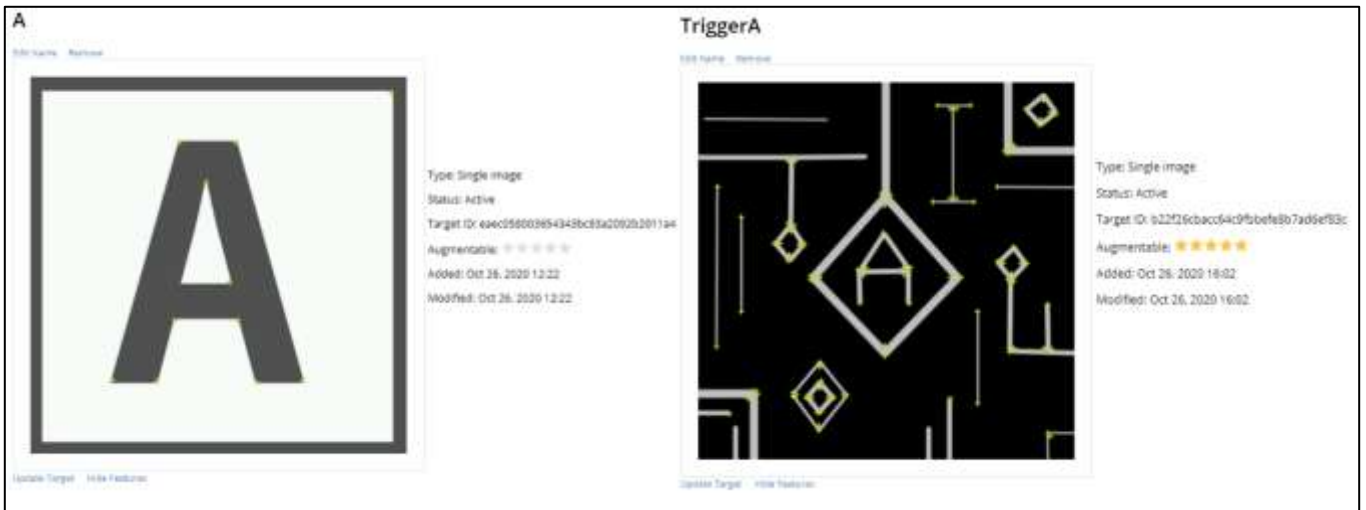


Ilustración 3. Comparación de los resultados obtenidos en el Target Manager entre el trigger antiguo del edificio A y el actual

#### 10.4. IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ DE USUARIO

Más allá de la implementación de grafo, fue necesario tener en cuenta la manera en la que el usuario puede interactuar con la aplicación y cómo la interfaz debe acomodarse de acuerdo con la función del programa. Debido al gran enfoque que tiene la cámara en este caso, fue necesario plantear una interfaz que en lo posible no dificultara la interacción que el usuario tiene con su entorno mediante el dispositivo móvil.



Ilustración 4. Menú principal

Al iniciar la aplicación el usuario se encuentra con 4 botones en el lado derecho de la pantalla, yendo de arriba abajo, las funciones de estos son: abrir la ventana de ayuda, abrir el menú para escoger el destino al que se quiere llegar, cancelar el destino/recorrido y cambiar la visibilidad de los dos botones anteriores. Esto permite que la imagen que se muestra en pantalla no sea bloqueada de manera significativa y el usuario cuente inicialmente con las acciones necesarias.



*Ilustración 5. Ventanas que conforman el menú para escoger el destino deseado*

Al seleccionar el botón de escoger destino se abre una ventana en pantalla, ya que es necesario darle más información al usuario y este probablemente no está haciendo uso de la cámara en el momento, es posible cubrir más espacio en pantalla sin afectar su experiencia. En esta ventana se le da la posibilidad al usuario de escoger entre edificios o auditorios como destino, dependiendo de lo que se escoja, se muestra una lista desplegable con los distintos edificios y un botón para confirmar la elección, o dos botones que hacen referencia a los auditorios. Cuando este menú está abierto, el principal pasa a estar inactivo. En cualquier momento el usuario puede cerrar la ventana y esto llevaría a que se volviera a ver únicamente el menú principal.

#### **10.4.1. Cambios a la interfaz de usuario**

A medida fue avanzando el proyecto se pudo notar que hay nodos que no entran en la categoría de edificios o auditorios, pero aun así podían resultar de interés para el usuario,

lo que los convertiría en posibles destinos, por lo tanto, fue necesario dar la opción de poder escoger estos. A partir de esta situación se define una nueva categoría denominada “Sitios de Interés” la cual incluye lugares como la biblioteca, los parqueaderos, la portería, entre otros. Más allá de esto, se decidió quitar la categoría de auditorios debido a que esta solo contaba con dos elementos y sus opciones se establecieron como parte de los sitios de interés.

A partir de estos cambios realizados a las categorías se acomodó la interfaz de usuario, cambiando el nombre de la segunda opción que se presenta en la ventana de escoger destino y haciendo que el botón dirija ahora a una lista desplegable para poder mostrar la mayor cantidad de opciones con la que se cuenta en este momento.



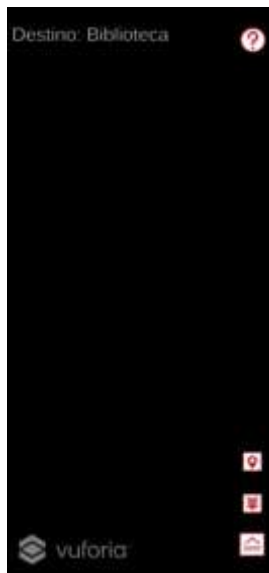
Ilustración 6. Segunda versión del menú para escoger el destino deseado, presentado la categoría de Sitios de Interés

Otro cambio realizado a la interfaz de usuario es el contenido agregado a la ventana de ayuda, la cual cuenta con seis paneles, cada uno con una breve descripción de los pasos pertinentes para hacer uso de la aplicación. Todos los paneles cuentan con botones de anterior y siguiente, en caso de seleccionar anterior en el primer panel se irá al último y en caso de seleccionar siguiente en el último panel se llegará al primero.



*Ilustración 7. Primer panel de la ventana de ayuda*

Por último, se vio necesario mostrar claramente el destino escogido por el usuario, pues este le genera confianza de que se dirige al lugar correcto. Esto se hace porque, si bien mediante los paneles de realidad aumentada se pueden ver indicaciones para ir al siguiente nodo del camino, no había forma de que el usuario estuviera al tanto de si se había determinado el destino correctamente, y por lo tanto se presentaría la posibilidad de que siguiera un camino que no le fuera de utilidad. El texto de destino se muestra en la esquina superior izquierda, debido a que es un espacio que estaba anteriormente vacío y permite que los nombres de los nodos, los cuales pueden llegar a ser extensos en el caso de los sitios de interés, se muestren sin afectar la visibilidad del resto de la interfaz.



*Ilustración 8. Segunda versión del menú principal con texto de destino puesto en Biblioteca*

## **10.5. DISEÑO DE OBJETOS DE REALIDAD AUMENTADA**

Para presentar la información al usuario con realidad aumentada, se tomó en cuenta los beneficios de visualizar objetos virtuales en el mundo real. Para cada nodo representando un sitio de interés en el campus, se muestran tres (3) paneles en realidad aumentada. En el panel de la izquierda se muestran fotos cercanas al punto de interés para que el usuario pueda ubicar estos sitios en el mundo real visualmente, en el panel de la mitad se muestra el nombre del punto de interés junto con una descripción breve, y en el panel de la derecha se listan los sitios significativos que se encuentran en este punto, como salones o laboratorios, y dónde se ubican en cada piso.

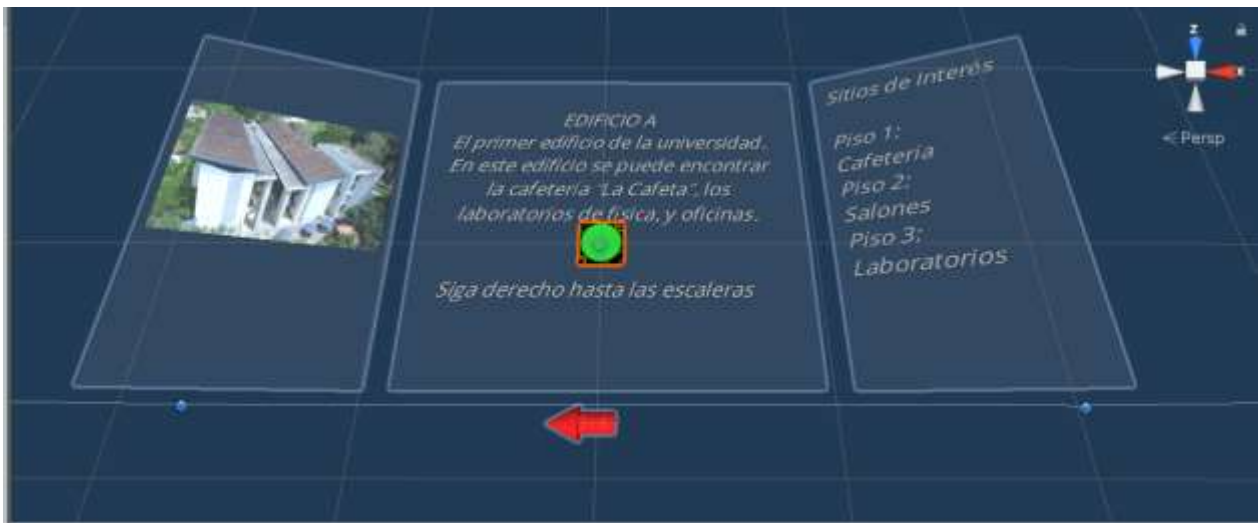


Ilustración 9. Distribución de paneles de un nodo

Para el aspecto de navegación y seguimiento de direcciones, se agregan dos (2) objetos que corresponden a una descripción corta del camino que debe seguir el usuario para ir a su destino, y una flecha en tres (3) dimensiones que apunta directamente al siguiente nodo en el camino. De esta manera, se complementan las direcciones dadas con un aspecto virtual observado en el mundo real, haciendo provecho de la tecnología de realidad aumentada.

Este fue diseñado con el objetivo de presentar al usuario con la información necesaria de la manera más concisa posible, separando en paneles diferentes el tipo de información recibida. De esta manera no se le presenta al usuario con una pantalla abrumadora de texto, sino de una manera dinámica, justificando la necesidad de la realidad aumentada en la aplicación.

## 11. CODIFICACIÓN

### 11.1. ALGORITMO DE CAMINO MÁS CORTO

Para permitir que la aplicación actúe como una herramienta para apoyar la navegación, se implementó un algoritmo que encuentre el camino más corto entre dos nodos cualquiera, dados por el usuario. Se hizo un proceso de investigación para determinar cuál algoritmo de camino más corto se acomoda más a las necesidades del proyecto. Entre los algoritmos que garantizan retornar el camino más corto, “Bellman Ford” no fue aplicado debido a que es más lento que Dijkstra y no es necesario debido a que el grafo no cuenta aristas negativas [18]. El algoritmo de Dijkstra es aplicado a grafos con pesos en sus aristas que garantiza encontrar el camino más corto entre dos nodos [17], y aunque es de alta complejidad [15] a comparación de otros [16], se acomoda al grafo del proyecto debido a su relativamente baja cantidad de nodos.

Para implementar el algoritmo en Unity, se tomó como base un proyecto de GitHub titulado “unity-dijkstras-pathfinding” por el usuario “EmpireWorld”, que aplica el algoritmo a un conjunto de objetos y hace que un objeto se mueva a través del grafo. Este proyecto cuenta con una licencia de MIT, se modificó el código para la implementación en la aplicación de manera que se adaptara a las necesidades del proyecto. [13]

Para aplicar el algoritmo al proyecto se adaptaron los scripts “Node”, “Graph”, y “Path”. En el script “Node” se guarda la información básica de cada punto de interés, y además se guardan las conexiones que tiene con otros nodos en el grafo. En el script “Graph” se guardan lógicamente todos los nodos junto con sus conexiones y también se guarda el método del algoritmo. El script “Path” es llamado cuando se hace el método de Dijkstra, éste va guardando la información de los nodos ya recorridos y es usado para retornar el camino más corto que haya encontrado. De esta manera, se tomaron los aspectos básicos del algoritmo desarrollado en “unity-dijkstras-pathfinding” y se desarrollaron nuevos métodos (ilustrados en la sección 11.2) para que cumpla con la funcionalidad del proyecto.

En el script “Graph” se guardan los métodos que van a ser usados para guiar al usuario. En primer lugar, se activa el algoritmo de Dijkstra para el camino más corto, una vez ha terminado, localiza el segundo nodo en la lista del camino más corto y hace que la flecha mostrada en realidad aumentada al usuario apunte hacia ese segundo nodo. Esto se repite cada vez que el usuario escanee un “trigger” para poder hacer un proceso de guía paso a paso hacia su destino, al mismo tiempo que va aprendiendo sobre los nombres y ubicaciones de otros sitios importantes en el campus universitario.

## 11.2. TRABAJO EN UNITY

### 11.2.1. Construcción del grafo en Unity

Una vez establecidos los sitios de la universidad que deben tomarse en cuenta para conformar el grafo de navegación fue necesario determinar qué información de estos resulta de utilidad para el usuario y cómo poder presentarla mediante la aplicación. Se empezó teniendo el nodo del edificio A como referencia y de ahí se empezaron a agregar los distintos elementos que se consideraron pertinentes.



Ilustración 10. Primera ideación del nodo

Debido a la importancia que tiene la realidad aumentada en el proyecto la prioridad principal fue asegurarse de que la aplicación reconociera el trigger y presentara la información relacionada a este. Originalmente esto consistía en un texto con el nombre de la ubicación y una breve descripción, un cilindro que servía como placeholder de la flecha que apunta al usuario en la dirección del destino, y un círculo verde que se muestra con una animación cuando el trigger es reconocido.

A medida que se fue avanzando en el proyecto se empezó a considerar más información que podría ser de utilidad para el usuario como instrucciones de navegación, un video que muestre fotos de la ubicación desde diferentes perspectivas y mención de los sitios de interés que se encuentran dentro de la ubicación. Al aumentar la cantidad de información fue necesario rediseñar su presentación para que fuera más cómoda para el usuario, especialmente teniendo en cuenta que por la naturaleza de la aplicación el texto ocupa gran parte del espacio en pantalla. Con el constante aumento de la cantidad de nodos implementados y cambios realizados a su diseño, se presentó la necesidad de crear un “prefab” de Unity llamado “Node” que recogería todas las características de un nodo para que cambios futuros en el diseño del nodo se realizan de manera más ágil,

puesto que cualquier cambio que se haga en la estructura del prefab se va a ver reflejado en todos los nodos.



Ilustración 11. Prefab Node utilizado para representar los distintos puntos específicos de la universidad

Para que cada nodo responda al trigger que le corresponde, desde el prefab se les asigna a los nodos un componente que forma parte del SDK de Vuforia Engine llamado "Image Target Behaviour" y después de esto se le asigna individualmente a cada nodo la imagen a la cual va a responder. Además de esto, el nodo cuenta con un "Event Handler" de Unity en el que se determinan las acciones a realizar una vez detectado el trigger, en el caso de este proyecto se realiza una animación para confirmar que el trigger fue detectado y se define el nodo correspondiente a la imagen como punto de origen para el algoritmo de Dijkstra. La visibilidad del objeto es manejada en una opción aparte.

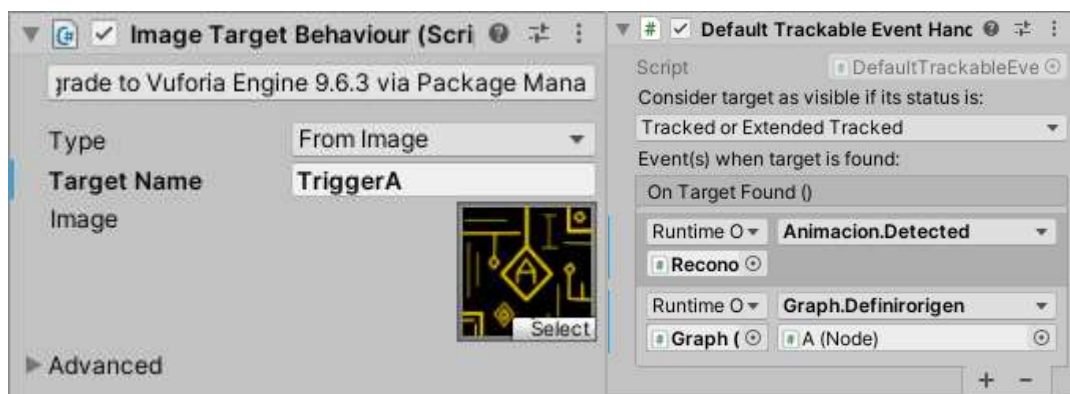


Ilustración 12. Componentes para definir el trigger y acciones correspondientes del nodo A

Para integrar los aspectos de realidad aumentada con el algoritmo de Dijkstra se tienen todos los objetos que representan las ubicaciones como hijos de un GameObject vacío de nombre “Graph”, el cual cuenta con un script del mismo nombre donde se establece qué nodos lo componen y se pueden definir las variables que hacen la función de nodo de origen y nodo de destino, además de esto se le agregó que recibiera una variable que corresponde al texto en la interfaz de usuario donde se muestra el destino escogido.

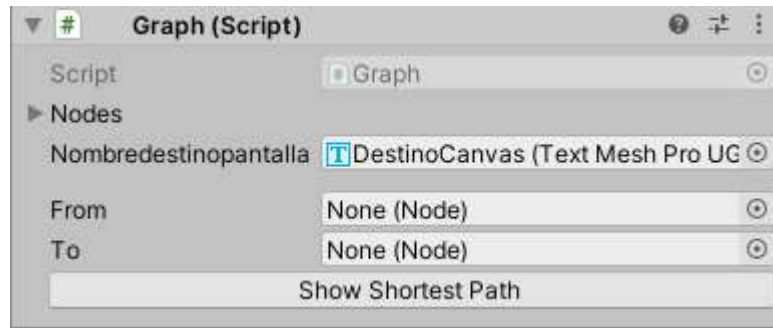


Ilustración 13. Componente Graph(Script) agregado al GameObject “Graph”

A cada objeto que hace la función de nodo se le asigna el script de nombre “Node” donde se define la cantidad de conexiones que tiene y con qué nodos es con los que está conectado. A esto se le agregó una variable tipo String de nombre “apodo”, necesaria a partir del hecho de que el texto utilizado en la lista para escoger el destino deseado es el que se usaba para encontrar el nodo que se define como destino a partir del nombre del objeto, por lo tanto en el caso de los sitios de interés se presentaban situaciones donde faltaban tildes, espacios o el nombre no era claro desde el punto de vista del usuario y era necesario tener un texto alternativo con el que se pudiera identificar el nodo.

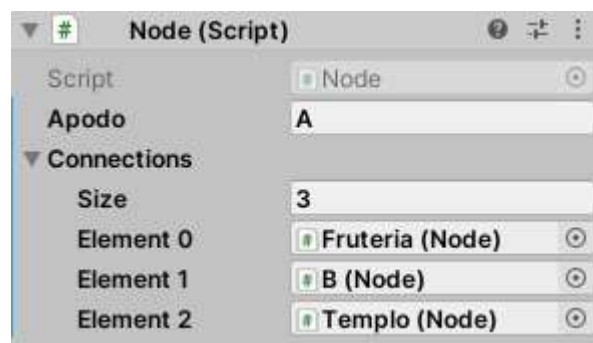


Ilustración 14. Componente Node(Script) agregado al GameObject “A” que hace función de nodo

Ya con los objetos contando con los componentes necesarios para llevar a cabo el algoritmo de Dijkstra, en el script de "Graph" se agregaron los métodos "DefinirOrigen" y "DefinirDestino" donde se definen las variables "origen" y "destino" mediante el menú y los triggers respectivamente para luego usarlos en el método de "ObtenerCamino" que ya se encontraba en el script implementado, el cual devuelve el camino más corto, información la cual es usada luego en el método "RealizarCambios" del script "UbicacionScript" que se encarga de pasar a los objetos la información que hace la función de indicaciones de navegación para mostrar en los paneles, como lo son la rotación de la flecha, el siguiente punto en la ruta y las instrucciones para llegar a este.

```

Método DefinirDestino (texto)

// Este método define el nodo de destino tomando como entrada el texto seleccionado en una
lista desplegable de la interfaz de usuario

opcion = texto;
lista = FindObjectsOfType<Nodo>();
Mientras i<lista.Length Hacer
    Si lista[i].nombre == opción Hacer
        destino = lista[i];
        Si origen !=null y origen != destino Hacer
            //Si ya se encontró el origen y este es diferente al destino, buscar el
camino más corto
                camino = ObtenerCamino( origen, destino );
                RealizarCambios( camino[1] );
                //Realizar cambios a las indicaciones mostradas al usuario
        Fin Si
    Fin Si
Fin Mientras
Fin Método

Método DefinirOrigen (nodo)

// Este método define el nodo de origen tomando como entrada el nodo que se activó al
escanearse determinado marcador

origen = nodo;
Si destino != null y destino != origen Hacer
    //Si ya se encontró el destino y este es diferente al origen, buscar el
camino más corto
        camino = ObtenerCamino( origen, destino );
        RealizarCambios( camino[1] );
        //Realizar cambios a las indicaciones mostradas al usuario
    Fin Si
Fin Método

```

Ilustración 15. Pseudocódigo de los métodos "DefinirOrigen" y "DefinirDestino" encontrados en el script "Graph"

Además de ser llamado desde el script “Graph”, el script de “UbicacionScript” es también un componente presente en todos los objetos que hacen función de nodo, en este hay una lista de las ubicaciones a las que conecta el nodo, estas cuentan con nombre, apodo, direcciones de navegación y coordenadas de rotación, además de referenciar la flecha del panel del medio al igual que el texto de indicación. Este script no afecta en el funcionamiento del algoritmo y existe para que la información se le pueda dar al usuario de manera más clara.

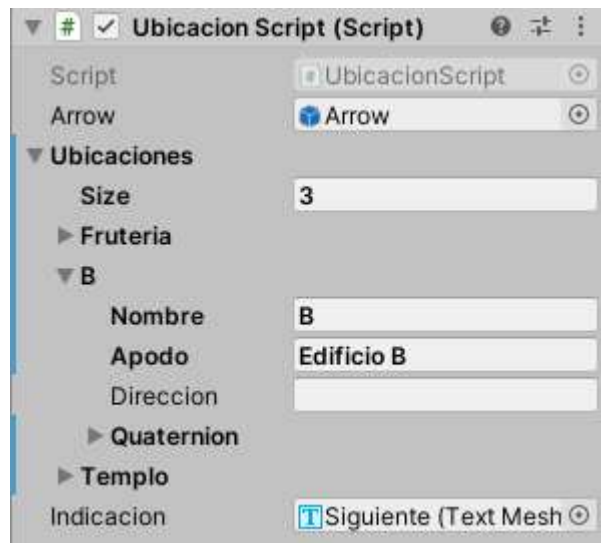


Ilustración 16. Componente “UbicacionScript” agregado al GameObject “A”

```

Método RealizarCambios (nodo)

//Este método cambia las indicaciones que se le muestran al usuario dependiendo de qué nodo es
el siguiente en el recorrido

//El nodo que tiene de entrada es parte del grafo mientras que la lista nodosAdyacentes guarda
información para darle al usuario como nombre, dirección y demás

siguienteNodo = nodo;

longitudLista = nodosAdyacentes.Count;

Mientras i<longitudLista Hacer
    Si siguienteNodo.nombre == nodosAdyacentes[i].nombre Hacer
        Flecha.SetActive(true);
        Flecha.rotacion = nodosAdyacentes[i].rotacion;
        Indicacion.text = "Siguiendo Punto: \n" + nodosAdyacentes[i].apodo
        + "\n" + nodosAdyacentes[i]. direccion;
        //Flecha e Indicacion son objetos de Unity que forman parte de la interfaz
        de usuario
    Fin Si
Fin Mientras
Fin Método

```

*Ilustración 17. Pseudocódigo del método "RealizarCambios" encontrado en el script "UbicacionScript"*

## 12. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Para garantizar la calidad de la aplicación se llevaron a cabo las pruebas establecidas en la fase de análisis. Los resultados de las pruebas fueron favorables en cada caso.

“Que funcione en 5 dispositivos móviles con distintas versiones de Android compatibles con la aplicación.” Para esta prueba se mandó una versión de la aplicación a 5 personas con 5 dispositivos móviles de diferente modelo y se les pidió que siguieran las siguientes instrucciones:

- Instale la aplicación en su dispositivo
- Verifique que la aplicación empiece correctamente
- Entre a los menús e interactúe con cada botón
- Apunte la cámara a al menos cinco (5) marcadores
- Verifique que el marcador es reconocido observando si aparece la animación de reconocimiento (Que aparezca un círculo verde encima del marcador)
- Verifique que se muestre información en realidad aumentada
- Verifique que puede mover la cámara lejos del marcador y la información en realidad aumentada no desaparece
- Seleccione un destino
- Verifique que cuando tenga un destino seleccionado, se muestre una flecha con indicaciones en realidad aumentada
- Verifique que se le indique correctamente el siguiente punto al que se debe dirigir

Después se llevó a cabo una encuesta en la que se hicieron las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el modelo de su dispositivo móvil?
- ¿Qué versión de Android tiene su dispositivo?
- ¿Pudo instalar la aplicación en su dispositivo?
- ¿La aplicación empezó correctamente?
- ¿Pudo interactuar correctamente con todos los aspectos de la interfaz de usuario?
- ¿Qué tan frecuentemente fueron reconocidos los marcadores al primer intento de escaneo?
- ¿Pudo observar con comodidad la información en realidad aumentada?
- ¿Pudo seleccionar un destino?
- ¿Pudo ver la flecha y las indicaciones al escanear un marcador con un destino seleccionado?
- ¿Las direcciones y el siguiente punto son coherentes?
- ¿Cómo observó el rendimiento de la aplicación?

Estas encuestas fueron realizadas en Google Forms, y los resultados obtenidos se guardaron en un documento titulado "EncuestaaUsuarios.pdf" y se encuentra en los anexos. Con estos resultados se determinó que se cumplen las pruebas "Que funcione en 5 dispositivos móviles con distintas versiones de Android compatibles con la aplicación" y "Que identifique los triggers y muestre la información de realidad aumentada en el primer intento de escaneo por lo menos el 80% de las veces."

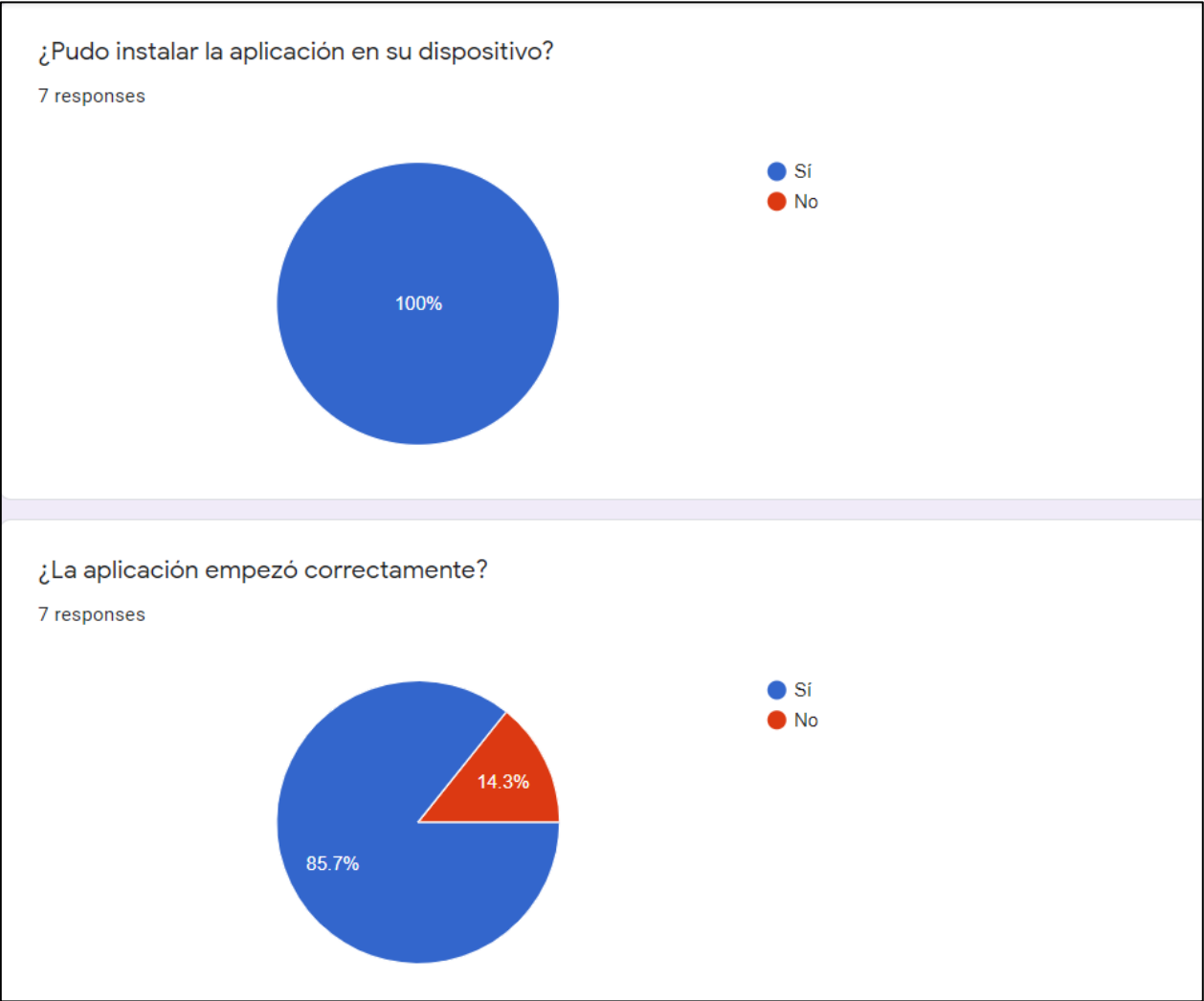


Ilustración 18. Resultados de instalación e inicio de la aplicación

En la imagen anterior se muestran los resultados de las encuestas realizadas a los usuarios que instalaron la aplicación en su dispositivo móvil. Según estos resultados, la aplicación fue instalada y corría correctamente en los dispositivos de seis (6) de los siete (7) usuarios encuestados. El motivo por el que la aplicación falla en un dispositivo fue investigado, pero no se llegó a encontrar la solución.

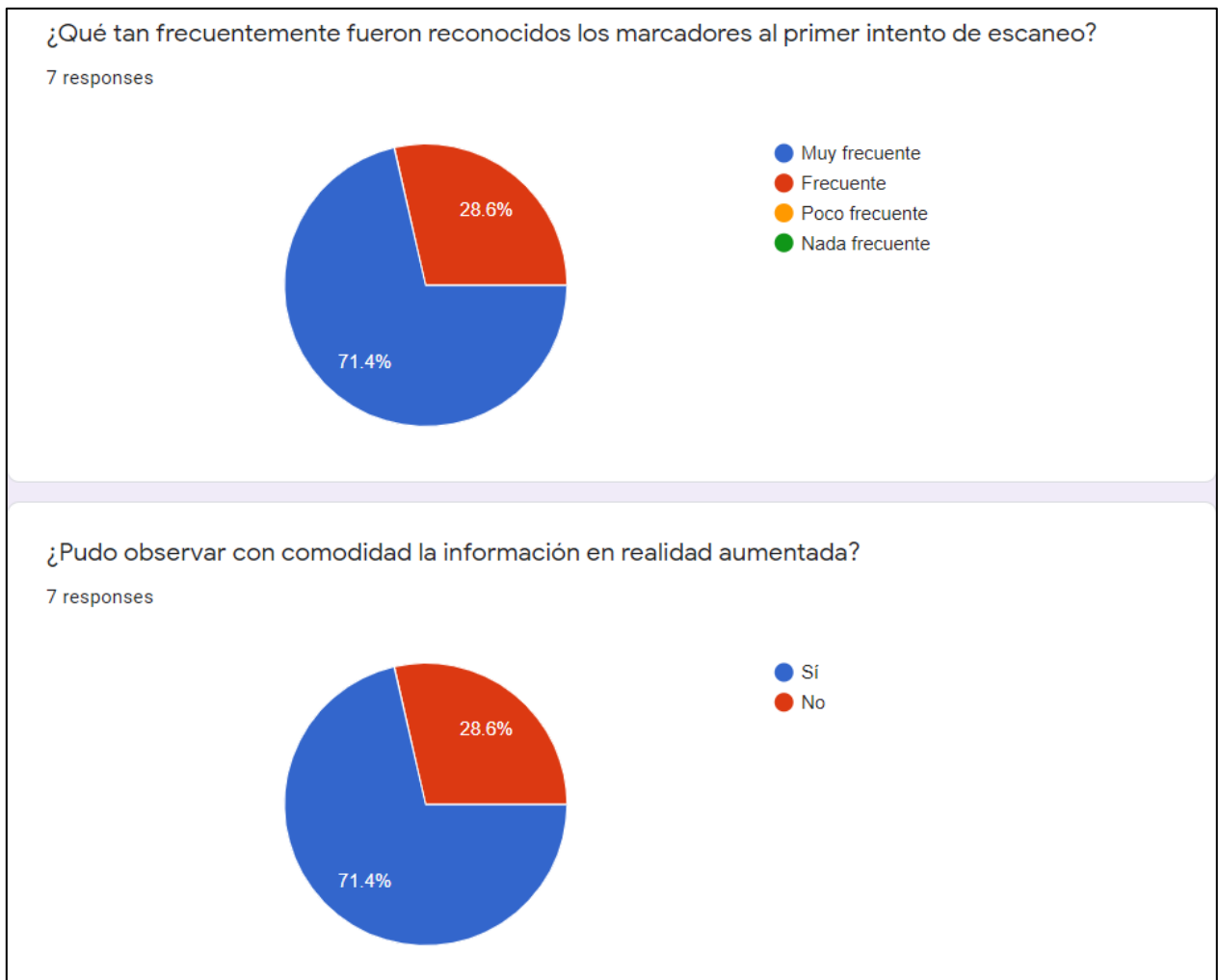


Ilustración 19. Resultados de interacción con realidad aumentada

Las gráficas anteriores muestran las respuestas de los usuarios a las preguntas sobre la rapidez con la que la aplicación reconoce los marcadores. Cinco (5) personas contestaron que la aplicación reconocía el marcador al primer intento “muy frecuentemente”, y dos (2) personas contestaron “frecuentemente”. Con estos resultados podemos determinar que el marcador es reconocido en el primer intento de escaneo por encima del 80% de las veces, dado que:

Rangos de Respuesta		
	Rango de Porcentajes	Porcentaje Promedio
Muy Frecuente	75% - 100%	87,5%
Frecuente	50% - 75%	62,5%
Poco Frecuente	25% - 50%	37,5%
Nada Frecuente	0% - 25%	12,5%

Tabla 6. Interpretación de opciones de respuesta

Asumiendo que la respuesta del usuario se asimile al porcentaje promedio de la opción, se determina que las cinco (5) personas que respondieron “Muy Frecuentemente” presentan un porcentaje de reconocimiento del 87,5% y las dos (2) que respondieron “Frecuentemente” presentan un 62,5%, el promedio resultante de esto es de un 80,35% de escaneo exitoso.

“Que pueda encontrar el camino más corto entre veinte (20) diferentes combinaciones de nodos.” Estas fueron realizadas como pruebas caja negra, en la que se dieron entradas al algoritmo y se evaluaron las salidas reales con las esperadas.

PRUEBAS ALGORITMO					
No PRUEBA	NODO INICIAL	NODO FINAL	CAMINO TOMADO	MEJOR CAMINO	RESULTADO
1	Portería	K	Porteria, Biblioteca, Escaleras1, D, EscalerasFork, Escaleras3, K	Porteria, Biblioteca, Escaleras1, D, EscalerasFork, Escaleras3, K	Toma el mejor camino
2	Frutería	F	Fruteria, D, G, Plaza, F	Fruteria, D, G, Plaza, F	Toma el mejor camino
3	Parqueaderos	J	Parqueaderos, Templo, Porteria, J	Parqueaderos, Templo, Porteria, J	Toma el mejor camino

Tabla 7. Pruebas de Algoritmo

La tabla anterior muestra tres (3) de las 20 pruebas que fueron llevadas a cabo, los resultados de todas las pruebas se encuentran en el documento de Excel con el nombre de “PruebasAlgoritmo.xlsx” incluido en los anexos.

Los resultados de las pruebas llevadas a cabo son los siguientes:

Resultados de Pruebas	
Prueba	Resultado
Que funcione en 5 dispositivos móviles con distintas versiones de Android compatibles con la aplicación	Probado en 7 dispositivos y funcional en 6. Aplicación aprobada en la Play Store
Que pueda encontrar el camino más corto entre 20 diferentes combinaciones de nodos	Encontró el camino más corto correctamente todas las veces que fue probado
Que identifique los triggers y muestre la información de realidad aumentada en el primer intento de escaneo por lo menos el 80% de las veces	Identifica correctamente el trigger más del 80% de las veces escaneadas

Tabla 8. Resultados de Pruebas





*Ilustración 21 Aplicación funcional en dispositivo Android 9*

La ilustración 20 demuestra la aplicación funcionando en un Motorola One Macro con versión de Android 9. Al hacer las pruebas se tuvo en cuenta el rendimiento, el funcionamiento, y la confiabilidad de la aplicación. Se examinó que la aplicación se mantuviese mostrando una cantidad de cuadros por segundo constante (que no se ralentice), que no presentara fallas o se cerrara por sí sola, y que cumpliera con todas las funcionalidades programadas.

## **12.1. VIDEO**

Para ilustrar los resultados del proyecto se hizo un video que demuestra la aplicación en funcionamiento y el cómo es usada. Este video explica las características de la aplicación y muestra un usuario interactuando con la misma. Este video se encuentra en los anexos del proyecto y subido en la plataforma de YouTube y se titula “VISITAR UPB VIDEO”.

Link del video: <https://www.youtube.com/watch?v=2ANMTr7jnms>

## **12.2. DESPLIEGUE**

Uno de los objetivos previstos en la fase de análisis fue el permitir que la aplicación sea fácilmente accesible para los estudiantes de la universidad, y, por ende, se subió a la Play Store de dispositivos Android.

Para esto se creó una cuenta de desarrollador de Google Play, y después de seguir los pasos y llenar las encuestas, se subió la aplicación a la Play Store.

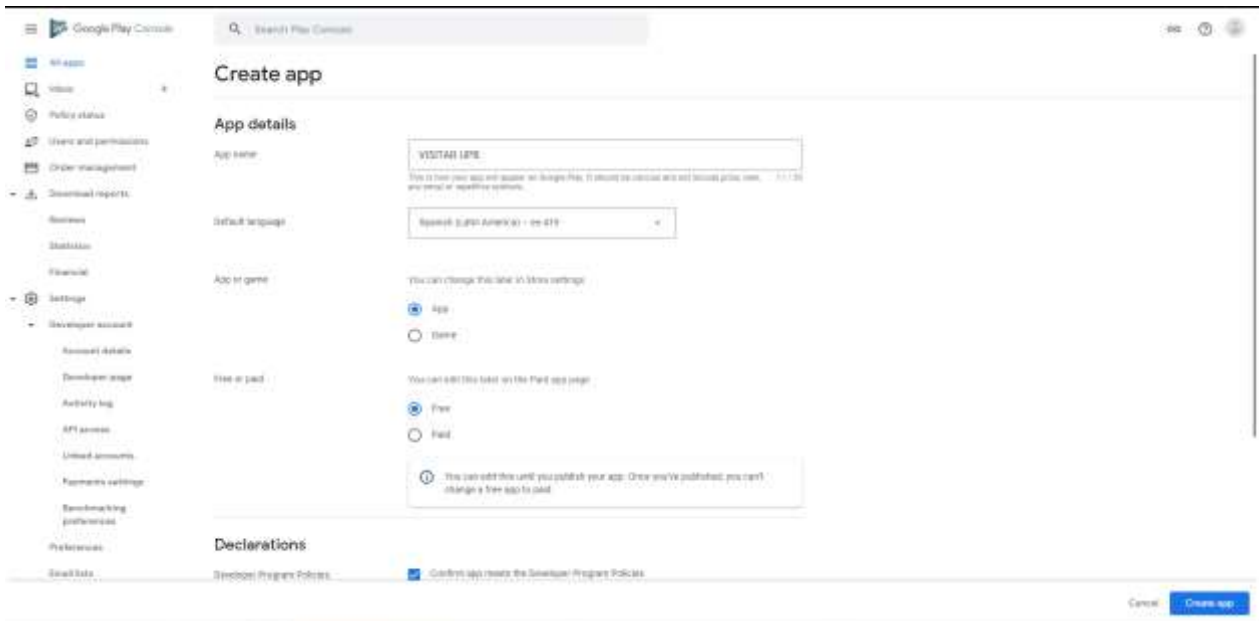


Ilustración 22 Vista desde la consola de Google Play

Además de esto, se habilitó el repositorio en GitHub para que fuese accesible a cualquier persona. El repositorio que se manejó tuvo su primer commit el 3 de agosto del año 2020, y hasta la fecha, lleva sesenta y nueve (69) commits de dos colaboradores.

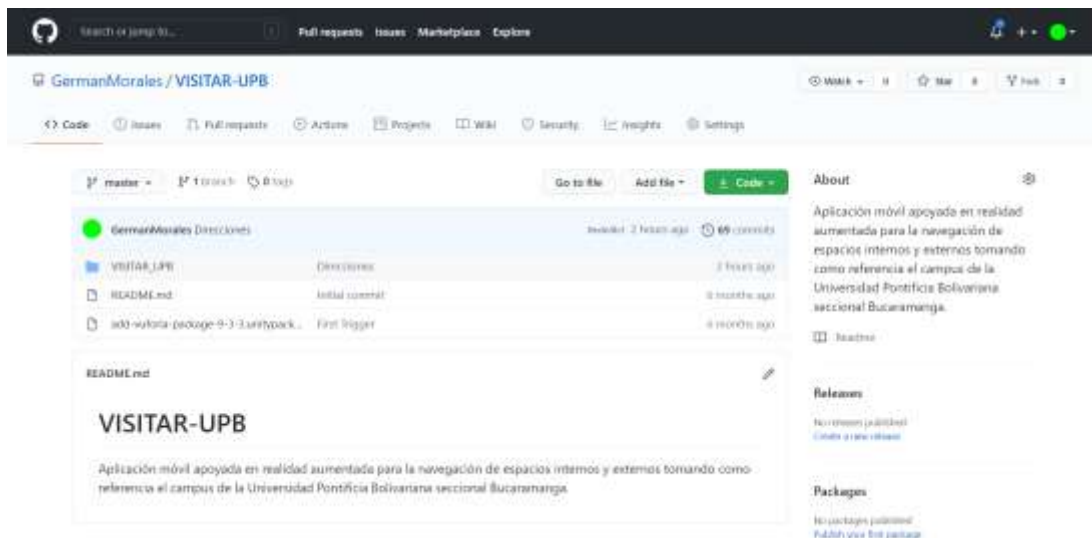


Ilustración 23. Página del repositorio

El link del repositorio es el siguiente: <https://github.com/GermanMorales/VISITAR-UPB>

### 12.3. CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS

Analizando la aplicación con los requerimientos funcionales y no funcionales que fueron descritos en la fase de diseño se puede afirmar que el producto final cumple con lo siguiente.

#### 12.3.1. Requerimientos Funcionales

“La aplicación debe tomar puntos específicos del campus universitario como nodos en un grafo, guardando datos como conexiones, direcciones y coordenadas” La aplicación muestra utilizando realidad aumentada la información necesaria para poder desplazarse por el campus universitario, esto se consiguió creando un objeto que representara un nodo en el grafo para cada punto de interés en el campus, incluyendo edificios, auditorios, escaleras, templo, y parqueaderos.

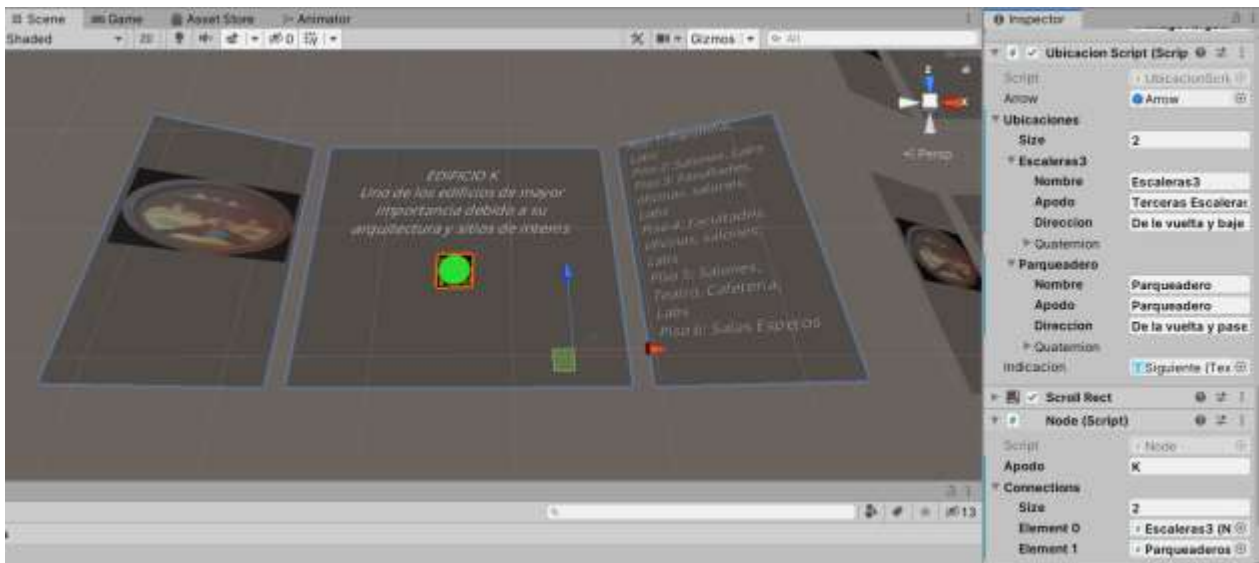


Ilustración 24 Objeto Edificio K con sus atributos

“La aplicación debe tener un grafo ponderado y no dirigido que represente los sitios físicos del campus teniendo en cuenta posiciones y distancias” Con los objetos creados y tomados como nodos, se creó el grafo que represente a la universidad teniendo en cuenta las distancias y las conexiones que existen con cada punto de interés.

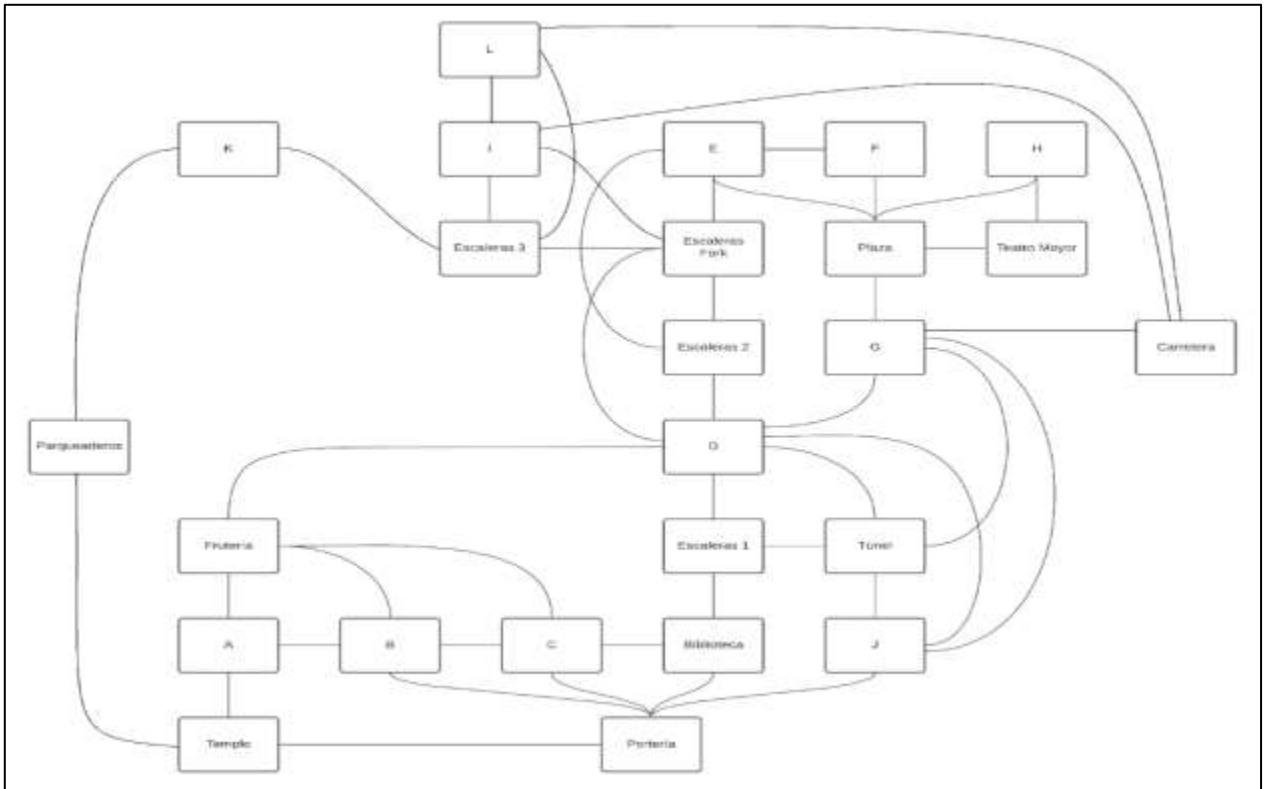


Ilustración 25 Grafo propuesto en fase de Análisis

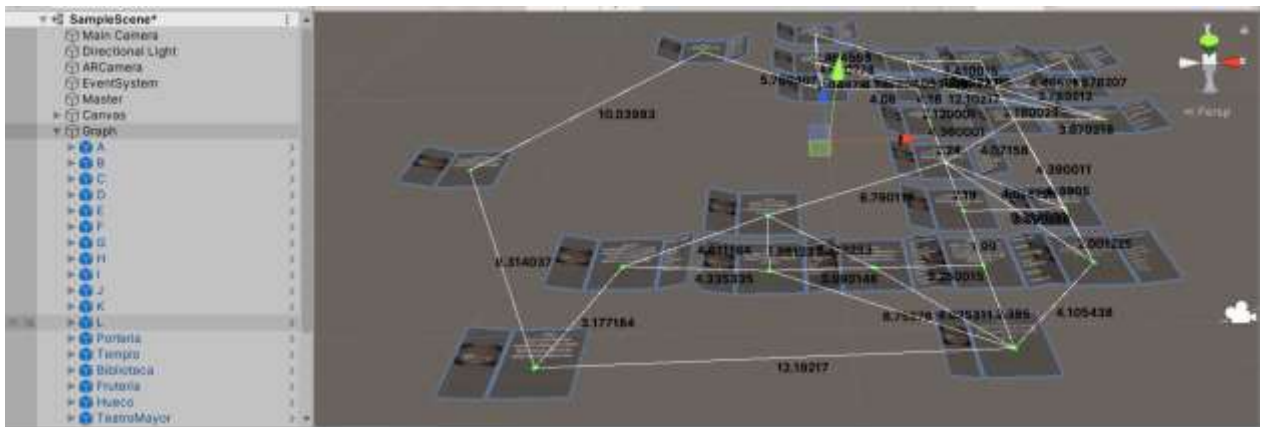


Ilustración 26 Grafo con objetos en Unity

“La aplicación tiene que encontrar el camino más corto entre cualquiera dos puntos dentro del campus” Aplicando un algoritmo de Dijkstra se encuentra la distancia más corta entre dos puntos cualquiera en el grafo.



Ilustración 27 Grafo ilustrando en verde el camino más corto entre los nodos Templo y Teatro Mayor

“Reconocer imágenes (triggers) para ubicar el usuario en un nodo del grafo y presentar aspectos de realidad aumentada” Se diseñaron imágenes que funcionen como triggers y se implementó la función de reconocimiento en la aplicación utilizando Vuforia.



Ilustración 28 Aplicación reconociendo el trigger K

### 12.3.2. Requerimientos No Funcionales

“La aplicación debe mostrar información detallada del nodo en el que se encuentre el usuario por medio de realidad aumentada” Aprovechando la capacidad de la realidad aumentada, se muestra al usuario 3 paneles con información importante del sitio de interés.



Ilustración 29 Panel de Sitios de Interés del edificio K

“La aplicación debe poder ser usada en dispositivos Android de mínimo versión 7 (Nougat)” La aplicación fue probada en los siguientes dispositivos:

- Samsung A7 con Android 8
- Motorola OneMacro con Android 9
- Samsung S8 con Android 9
- Samsung S6 con Android 7

De estos dispositivos, la aplicación no corrió correctamente en el Samsung A7, continuamente se cerraba y no quedaba abierta por más de unos segundos, la causa de esto no fue encontrada. Se encontró que en los dispositivos de Android 7 y 8 se presentan problemas de framerate por algunos momentos, pero en general la aplicación es funcional.



Ilustración 30 Aplicación Funcional en Motorola OneMacro Android 9

“La aplicación debe ser accesible desde la Play Store” Se creó una cuenta de desarrollador para la Play Store de Google y se subió la aplicación después de haber respondido las encuestas de contenido. Actualmente la aplicación está en la fase de revisión y una vez haya pasado se podrá acceder a la aplicación desde la Play Store en Colombia.

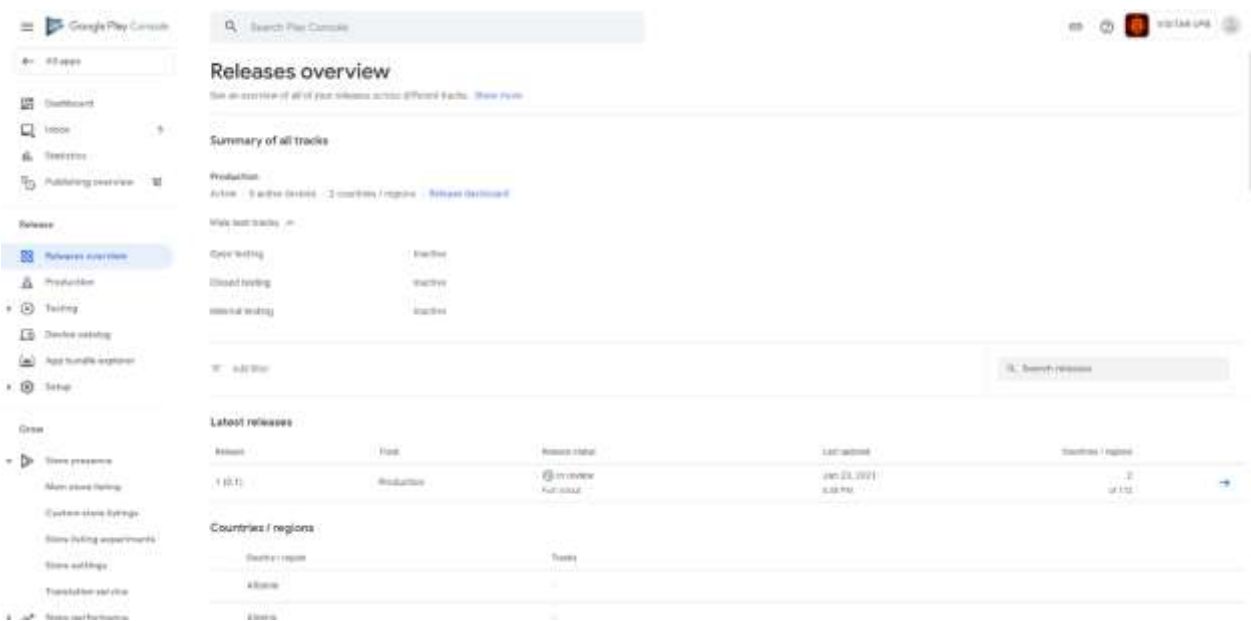


Ilustración 31 Captura de pantalla de la consola de Google Play mostrando la app en revisión

“La aplicación debe permitir actualizaciones para que se puedan agregar más nodos al grafo sin afectar significativamente su funcionamiento” Esto fue probado en fase de desarrollo, se cambiaron las conexiones del grafo y se agregaron 2 nuevos nodos y el algoritmo de camino más corto funcionó correctamente y el grafo se actualizó sin problemas.

“La interfaz de usuario debe priorizar la presentación de datos de manera compacta” la interfaz de usuario, tanto en Canvas de Unity como en realidad aumentada, fue diseñada de manera que la presentación de información se dé de forma concisa y clara.



Ilustración 32 Interfaz de usuario en realidad aumentada

### 13. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Si la realidad aumentada sigue en desarrollo y se vuelve comúnmente usada en la tecnología, la experiencia de haber trabajado en una aplicación con esta tecnología puede resultar útil en el futuro. La realidad aumentada puede ser usada en muchos contextos, como museos, teatros, o tiendas, y esto muestra el potencial de la RA en el futuro, y su posible aceptación como herramienta para solucionar problemas.

En cuanto al Vuforia Engine, este se presentó accesible para ser integrado con otros aspectos del programa como el algoritmo de Dijkstra y la interfaz de usuario, cumpliendo con los requerimientos que se tenían planteados y siendo útil para la realización de la aplicación.

El producto final cumple con los requerimientos funcionales y no funcionales que fueron previstos al principio del desarrollo, y, sin embargo, no se acomoda a la visión inicial propuesta en la fase de planeación. Durante el desarrollo era necesario hacer visitas al campus universitario para tomar datos como las posiciones de las flechas, fotos, distancias, y la información de cada edificio, pero debido al estado de contingencia al que entró el país por la pandemia del Covid 19 en el primer y segundo semestre del 2020 y primer semestre del 2021, no se nos permitió hacer esta fase integral para la aplicación.

Se espera que el producto final pueda ser usado por su público objetivo y pueda ser de utilidad para sus usuarios, y de esta manera, presentar una solución real a una problemática por medio del proceso de ingeniería que se llevó a cabo con la realización de este proyecto.

Durante el desarrollo se presentaron ideas que no pudieron ser alcanzadas durante el tiempo previsto, pero que se describen en este documento para mostrar la escalabilidad del proyecto y el potencial de la aplicación si se llegara a expandir.

- Añadir más triggers y puntos en el grafo para que la navegación sea más detallada. Añadiendo más triggers sería posible tener un trigger afuera de un edificio y otro en alguno de los pisos que conecte o lleve a otros puntos de interés.
- Expandir a navegación de espacios internos. Tomando este proyecto como base se podrían crear aplicaciones de realidad aumentada para navegación en la biblioteca, auditorios, laboratorios, o salones de clase. Ajustando la funcionalidad para que funcionen en estos sitios.
- Búsqueda de sitios de interés más extensa. Se podría implementar una búsqueda de un salón específico en un edificio o una oficina por nombre. De esta manera la aplicación guiaría hasta el edificio y luego hasta el sitio específico.
- Profundizar la experiencia con realidad aumentada basada en ubicación, la cual permitiría dar información como distancia restante antes de llegar al destino.

Agregando esto sobre la implementación actual de realidad aumentada basada en triggers permitiría mejorar aspectos en los que el modelo actual presenta limitaciones.

- Profundizar la experiencia con realidad aumentada basada en proyección, haciendo que la flecha se mueva por el campus o mostrando el camino en el piso para que lo pueda seguir el usuario.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Perey, C. (2011). Print and publishing and the future of Augmented Reality. *Information Services & Use*, 31(1/2), 31–38. Available: <https://doi-org.consultaremota.upb.edu.co/10.3233/ISU-2011-0625>
  
- [2] Toledo-Morales, P., & Sanchez-Garcia, J. M. (2018). Use of Augmented Reality in Social Sciences as Educational Resource. *Turkish Online Journal of Distance Education (TOJDE)*, 19(3), 38–52.
  
- [3] Madrigal, E. (2018). Commentary: What Can Augmented Reality Do for You? *Journal of Pathology Informatics*, 1–2. Available: [https://doiorg.consultaremota.upb.edu.co/10.4103/jpi.jpi\\_22\\_18](https://doiorg.consultaremota.upb.edu.co/10.4103/jpi.jpi_22_18)
  
- [4] Unity. Unity User Manual [En línea] Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html> [Último acceso: 17 de junio 2020]
  
- [5] Kiko Ostalé Rueda. (2019). Que es ARCore, la herramienta de realidad aumentada de Google. *Android Ayuda*. Available: <https://androidayuda.com/android/que-es/arc-core/> [Último acceso: 18 de junio 2020]
  
- [6] Marco Paladini. (2018). 3 Different Types of AR Explained: Markerbased, Markerless & Location. *Blippar*. Available: <https://www.blippar.com/blog/2018/08/14/marker-based-markerless-or-location-basedar-different-types-of-ar> [Último acceso: 19 de junio 2020]
  
- [7] Tenemaza, M., Mena-Maldonado, E., Ledesma, F., Llumiquinga, M., & Luján-Mora, S. (2016). Augmented Reality in Limited Environment, Analysis of Usability. *IADIS International Journal on Computer Science & Information Systems*, 11(2), 277–279.

- [8] Dexiang Yao, Dong-Won Park, Syung-Og An, & Soo Kyun Kim. (2019). Development of Augmented Reality Indoor Navigation System based on Enhanced A\* Algorithm. *KSII Transactions on Internet & Information Systems*, 13(9), 4606–4623.
- [9] Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2018). Why one big picture is worth a thousand numbers: measuring intangible benefits of investments in augmented reality based assistive technology using utility effect chains and system dynamics. *Information Systems & E-Business Management*, 16(2), 407–441.
- [10] Omar, M., Ali, D. F., Mokhtar, M., Zaid, N. M., Jambari, H., & Ibrahim, N. H. (2019). Effects of Mobile Augmented Reality (MAR) towards Students' Visualization Skills when Learning Orthographic Projection. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(20), 106–119.
- [11] Utami, I. W. P., & Lutfi, I. (2019). Effectivity of Augmented Reality as Media for History Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(16), 83–96.
- [12] Vuforia Developer Library. Best Practices for Designing and Developing Image-Based Targets. Available: <https://library.vuforia.com/features/images/image-targets/best-practices-for-designing-and-developing-image-based-targets.html> [Último acceso: 18 de octubre 2020]
- [13] H, Bayat. (2019, Junio 7). Unity Dijkstra's Pathfinding [Online]. Available: <https://github.com/EmpireWorld/unity-dijkstras-pathfinding> [Último acceso: 24 de enero 2021]
- [14] J, Volchko. (2017, Junio 1). Prototyping Methodology: Steps on How to Use It Correctly. Available: <https://www.lumitex.com/blog/prototyping-methodology> [Último acceso: 19 de junio 2020]

- [15] B, Miller & D, Ranum. (2017). Análisis del Algoritmo de Dijkstra. Available; <https://runestone.academy/runestone/static/pythoned/Graphs/AnalisisDelAlgoritmoDeDijkstra.html> [Último Acceso 19 de junio 2020]
- [16] J, Jiménez. (2019). Análisis de la Complejidad de Algoritmos. Available: <http://www.cs.us.es/~jalonso/cursos/i1m-19/temas/tema-28.html#jerarqu%C3%ADa-de-complejidad> [Último Acceso 19 de junio 2020]
- [17] M, Sniedovich. (2006). Dijkstra's algorithm revisited: the dynamic programming connexion. Available: <http://matwbn.icm.edu.pl/ksiazki/cc/cc35/cc3536.pdf> [Último Acceso 19 de junio 2020]
- [18] A. Weber, M. Kreuzer & A. Knoll. (2020) A generalized Bellman-Ford Algorithm for Application in Symbolic Optimal Control. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9143743> [Último Acceso 19 de junio 2020]
- [19] M, Álvarez & J, Parra. (2013) Teoría de Grafos. Available: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1953/3/Alvarez\\_Nunez\\_Marcelino.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1953/3/Alvarez_Nunez_Marcelino.pdf) [Último Acceso 19 de junio 2020]