



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INFORMÁTICA  
Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN  
MÓVIL CON REALIDAD AUMENTADA  
PARA EXPLORACIÓN HISTÓRICA DEL  
CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE  
CONCEPCIÓN

POR  
ESTEBAN MISAEL IBACA DEL PINO

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de  
Concepción para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil Informático

Profesor Guía: Gonzalo Rojas Durán

Abril 2019  
Concepción, Chile

# Tabla de Contenidos

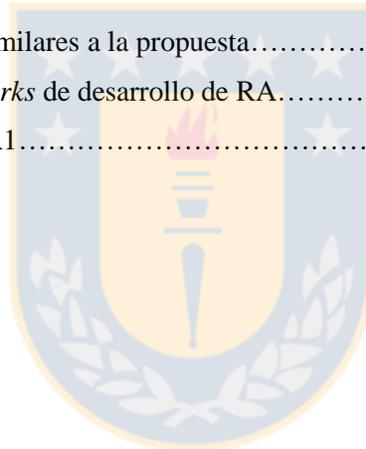
Índice de Tablas .....	3
Índice de Figuras .....	4
Resumen.....	6
1.Introducción .....	7
1.1 Contexto y Problemática.....	7
1.2 Descripción de la Solución Propuesta.....	8
1.3 Objetivo General.....	9
1.4 Objetivos Específicos.....	10
1.5 Metodología de Trabajo.....	10
1.6 Estructura del Informe .....	10
2. Discusión Bibliográfica .....	11
2.1 Patrimonio Cultural.....	11
2.2 Realidad Aumentada.....	12
2.2.1 Definición .....	12
2.2.2 Historia.....	12
2.2.3 Usos de la Realidad Aumentada .....	14
2.2.4 Realidad Aumentada y Realidad Virtual.....	15
2.2.5 Realidad Mixta .....	15
2.2.6 Hardware Asociado a Realidad Aumentada .....	17
2.3 Sistemas de Información Geográficos .....	17
2.4 Ejemplos de aplicaciones software de RA y SIG.....	18
2.4.1 Time Traveler Augmented The Berlin Wall .....	19
2.4.2 City Guide Tour .....	20
2.4.3 University of Auckland Campus Tour .....	21
2.4.4 You Visit College .....	22
2.4.5 Aplicación Móvil Pinacoteca Universidad de Concepción .....	23
2.4.6 Comparación de las Aplicaciones Software.....	23
2.5 Frameworks de Desarrollo para Realidad Aumentada.....	24
2.5.1 LayAR .....	24
2.5.2 Wikitude .....	25

2.5.3	ArKit .....	26
2.5.4	ARCore .....	26
2.5.5	Vuforia .....	26
2.5.6	ARToolKit .....	27
2.5.7	Comparativa.....	27
2.5.8	Conclusiones .....	28
3.	Descripción y Diseño del Software.....	29
3.1	Visión global del software .....	29
3.2	Requerimientos del Sistema.....	30
3.2.1	Requerimientos Aplicación Móvil.....	31
3.2.2	Requerimientos Plataforma Web .....	32
3.2.3	Requerimientos Modelo de Datos y de Arquitectura.....	32
3.3	Diagramas de Casos de Uso.....	33
3.3.1	Diagrama Casos de Uso Aplicación Móvil.....	33
3.3.2	Diagrama Casos de Uso Plataforma Web .....	34
3.4	Arquitectura de Software .....	35
3.5	Storyboards Aplicación Móvil.....	37
3.6	Modelo de Datos .....	38
4.	Método de Desarrollo .....	40
4.1	Herramientas Utilizadas.....	40
4.1.1	Plataforma de desarrollo Aplicación Móvil .....	40
4.1.2	Herramientas de Desarrollo .....	40
4.1.3	Tipo de Mapa Utilizado .....	41
4.1.5	Hardware de Pruebas .....	42
4.2	Desarrollo de Prototipos .....	43
4.2.1	Prototipo 1.....	43
4.2.2	Prototipo 2.....	45
4.2.3	Prototipo 3.....	46
4.2.4	Prototipo 4.....	47
4.2.5	Prototipo 5.....	48
5.	Demostración de la Implementación.....	48
5.1	Aplicación Móvil .....	49
5.2	Plataforma Web .....	53

6. Pruebas de Usuarios .....	56
7. Conclusiones .....	61
8. Referencias.....	63
9. Anexos .....	67
9.1 Storyboards Aplicación Móvil .....	67
9.1.1 Modo Mapa.....	67
9.1.2 Modo Realidad Aumentada .....	69

## Índice de Tablas

Tabla 1: Comparativa de software similares a la propuesta.....	24
Tabla 2: Comparativa entre <i>frameworks</i> de desarrollo de RA.....	27
Tabla 3: Ficha Técnica Xiaomi Mi A1.....	42



# Índice de Figuras

Figura 1: Vista del Tour Virtual UdeC.....	8
Figura 2: Ilustración del Sensorama de Heilig .....	13
Figura 3: HMD de Sutherland .....	13
Figura 4: Videoplace creado por Myron Krueger .....	13
Figura 5: Escala de Continuidad de la Virtualidad .....	14
Figura 6: Realidad Mixta en el uso de Skype con HoloLens. ....	16
Figura 7: Parque Temático The Void.....	16
Figura 8: Ejemplo de Capas en un SIG. ....	18
Figura 9: Funcionalidades de Time Traveler Augmented The Berlin Wall.....	20
Figura 10: Información de un Punto de Interés en aplicación móvil City Guide Tour.....	21
Figura 11: Exploración de Puntos de Interés en aplicación móvil City Guide Tour.....	21
Figura 12: Pantallas de Aplicación UoA Campus Tour.....	22
Figura 13: Pantallas de Aplicación You Visit College.....	22
Figura 14: Pantallas de Aplicación Pinacoteca.....	23
Figura 15: Esquema de Arquitectura Layar. ....	25
Figura 16: Diagrama Casos de Uso Aplicación Móvil.....	33
Figura 17: Diagrama Casos de Uso para la plataforma web. ....	34
Figura 18: Diagrama de la arquitectura propuesta para el sistema. ....	35
Figura 19: Flujo de datos para la actualización de Base de Datos local. ....	36
Figura 20: Diagrama de Clases UML del modelo de datos.....	39
Figura 21: Mapa del campus UdeC provisto por Google (izquierda) y provisto por Open Street Maps (derecha).....	42
Figura 22: Esquema de cumplimiento de hitos para cada prototipo. ....	43
Figura 23: Mapa con puntos de interés.....	44
Figura 24: Pista asociada a un POI del campus Universitario.....	45
Figura 25: Superposición de los marcadores asociados a los POI.....	45
Figura 26: Pistas asociadas a los POI cambian el tamaño de acuerdo a la distancia. ....	46
Figura 27: Lista de lugares desplegable en el modo de realidad aumentada.....	46
Figura 28: Mapa implementado en la vista de realidad aumentada.....	46
Figura 29: Cambio de iconos utilizados como pistas en la exploración con RA.....	47
Figura 30: Línea de tiempo del POI Campanil. ....	47
Figura 31: Detalle de una fotografía asociada al Campanil. ....	47

Figura 32: Mapa del campus con POI identificados. ....	49
Figura 33: Descripción de un POI. ....	49
Figura 34: Lista de elementos multimedia asociados a un POI. ....	49
Figura 35: Línea de Tiempo asociada a un POI en formato vertical. ....	49
Figura 36: Línea de Tiempo asociada a un POI en formato horizontal. ....	49
Figura 37: Listado de fotos asociadas a un POI. ....	50
Figura 38: Vista más detallada de una fotografía. ....	50
Figura 39: Detalle de un vídeo asociado a un POI. ....	50
Figura 40: Detalle de una fotografía al ser consultado desde la línea de tiempo ....	50
Figura 41: Descubrimiento de POIs en las cercanías del Edificio de Sistemas. ....	51
Figura 42: Descubrimiento de POIs en el área próxima a la Facultad de Derecho. ....	51
Figura 43: Lista de lugares disponible en el modo de RA. ....	52
Figura 44: Mapa del campus universitario disponible en el modo de RA. ....	52
Figura 45: Ruta en el mapa hacia un POI. ....	52
Figura 46: Información del POI desplegada al momento de presionar la pista asociada a este. ....	52
Figura 47: Listado de Puntos de Interés y mapa. ....	53
Figura 48: Vista de los datos del POI. ....	53
Figura 49: Vista resumen de la multimedia asociada al POI. ....	54
Figura 50: Formulario para agregar un punto de interés. ....	54
Figura 51: Formulario para edición de un POI. ....	55
Figura 52: Formulario para agregar una imagen a POI. ....	55
Figura 53: Gráfico de puntajes obtenidos por la aplicación móvil en base a las tareas realizadas. ....	57
Figura 54: Promedios de la evaluación general del software realizada por los usuarios. ....	59
Figura 55: Vista del funcionamiento de la aplicación Waze al momento de entregar instrucciones al usuario. ....	60
Figura 56: Sketch de la pantalla de inicio de la aplicación. ....	67
Figura 57: Sketch del mapa de la aplicación con los POI. ....	67
Figura 58: Comportamiento del sistema al presionar un marcador de POI en el mapa. ....	68
Figura 59: Sketch de la presentación de la información asociada al POI. ....	68
Figura 60: Interacción del usuario con la línea de tiempo de un POI. ....	69
Figura 61: Exploración del campus por parte de un usuario utilizando RA. ....	69
Figura 62: Detección de pista asociada a un punto de interés. ....	70
Figura 63: Sketch de la presentación de la información asociada al POI. ....	70

# Resumen

La Universidad de Concepción posee una vasta historia y riqueza patrimonial que muchas veces es desconocida por la propia comunidad estudiantil y los penquistas en general. Para contribuir a la difusión de estas características patrimoniales y proveer facilidad de acceso a esta información se propone el desarrollo de una aplicación móvil que, utilizando realidad aumentada, permita explorar el campus universitario en base a una perspectiva histórica. Para ello se identificarán puntos de interés pertenecientes al campus universitario, los cuales estarán asociados a información multimedia. Los elementos multimedia como fotografías, vídeos, documentos y otros, permitirán a las personas observar cómo ha cambiado con el pasar del tiempo uno de los símbolos más importantes de la ciudad de Concepción.

Adicionalmente, se considera el desarrollo de una plataforma web que permita gestionar la información patrimonial del campus, con un modelo de datos que pueda ser apropiado no solo a contenido histórico, sino que pueda ser reutilizado en otros contextos y para diversas capas de información. Esto, siendo soportado por una arquitectura que permita escalabilidad y un buen desempeño de la aplicación. Como resultado del trabajo, se obtiene un prototipo funcional del sistema descrito, incluyendo una funcionalidad que permite a la comunidad aportar contenido multimedia, construyendo de manera colaborativa una memoria histórica de la Universidad de Concepción.



# 1.Introducción

## 1.1 Contexto y Problemática

Las ciudades o espacios urbanos son una gran fuente de información, que puede estar relacionada a aspectos turísticos, históricos, comerciales, conectividad, entre otros. La difusión y facilidad de acceso a esta es un elemento fundamental y que tradicionalmente ha sido abordado utilizando elementos físicos como letreros, folletos, imágenes, esculturas conmemorativas y exposiciones en museos como principales alternativas. Otro factor importante en esta materia es la actualización de la información presentada, que está muy limitada en las soluciones tradicionales, siendo algo relevante para contextos como, por ejemplo, el área turística.

Por otra parte, en Chile durante los últimos años ha surgido una preocupación por la preservación de aquellos elementos asociados al patrimonio cultural, histórico y arquitectónico. Esto, haciendo énfasis en actividades de promoción y difusión que involucren a la ciudadanía evitando sean olvidados elementos propios de una zona, una ciudad o bien, de una cultura específica [1].

La Universidad de Concepción, declarada Monumento Nacional en el año 2016 en la categoría de Monumento Histórico, destaca por ser una de las primeras ciudades universitarias de Chile y América Latina debido a que está diseñada con un campus. Inspirado en universidades de Alemania, Estados Unidos y Francia, el campus universitario está abierto al público y en él conviven estudiantes de distintas áreas del conocimiento [2].

La universidad posee un gran valor histórico y patrimonial para Concepción siendo destacada por el Consejo de Monumentos Nacionales como “parte relevante y detonante de la identidad sociocultural de la ciudad” y en palabras de su vicepresidente Ángel Cabezas como “parte de la memoria social y la vida cotidiana de los penquistas, formando parte de su historia reciente y constituyéndose como un símbolo de la ciudad” [2].

A pesar de lo anterior muchos penquistas e incluso estudiantes de la casa de estudios desconocen la riqueza patrimonial e histórica del campus universitario. Esto no ocurre por la inexistencia de la información, sino que la difusión de esta se restringe a actividades de exposición y muestras fotográficas en ocasiones puntuales. Instancias que muchas veces no logran captar el interés de los alumnos o su realización es desconocida para la gente de la zona que no está asociada directamente a la casa de estudios.

Actualmente una de las mayores fuentes de información acerca del campus se encuentra en el Archivo Fotográfico de la Universidad de Concepción [3]. Este fue creado el año 2001 con el propósito de gestionar y difundir el Patrimonio Documental / Fotográfico de la universidad. Por otra parte, existe un sistema de Tour Virtual [4] que, mediante imágenes en 360° permite explorar de forma virtual las dependencias del campus y conocer acerca de los edificios y las diversas carreras que se encuentran en la Universidad de Concepción. Sin embargo, no incluye información o fotografías históricas que permitan conocer, por ejemplo, cómo se veían las instalaciones en los inicios del campus universitario.



*Figura 1: Vista del Tour Virtual UdeC*

En el marco de la conmemoración del centenario de la Universidad de Concepción, están en marcha una serie de actividades asociadas a difundir el quehacer universitario a la comunidad y fortalecer la vinculación con el medio, conforme al espíritu fundacional de esta casa de estudios al servicio de la investigación y la divulgación del conocimiento y la cultura. Por ello, es pertinente buscar nuevas alternativas para potenciar la interacción con la comunidad y compartir la riqueza patrimonial presente en el campus universitario.

## 1.2 Descripción de la Solución Propuesta

Se propone como solución el desarrollo de una aplicación móvil que incluya un sistema de información geográfico asociado a la infraestructura de la Universidad de Concepción. Este, almacenará información acerca de los edificios y zonas del campus de la casa de estudios penquista. La información acerca de los lugares considera textos descriptivos y elementos multimedia como fotografías o vídeos.

Además, esta aplicación incorporará tecnología de Realidad Aumentada para realizar la exploración en las distintas zonas del campus universitario, desplegando la información en correlación con la interacción que realice el usuario en el entorno físico.

Con ello, se propone incluir diferentes “vistas” de la información, pudiendo consultar elementos actuales, o bien registros históricos como fotografías o eventos relevantes. Además, se busca incorporar en el software la posibilidad de realizar recorridos guiados por el campus, apoyados con Realidad Aumentada, y que tengan un significado relevante, como por ejemplo recorrer los primeros edificios que fueron construidos.

También, con esta solución se busca contrarrestar el problema de la disgregación de la información, haciendo una recopilación de ésta que permita a las personas, por medio de una aplicación ejecutada en sus propios dispositivos, visualizarla de forma ordenada y con facilidad de acceso.

Por último, se ofrecerá una plataforma en que las personas puedan contribuir con elementos multimedia propios como fotografías, videos, artículos web, entre otros.

Dentro de los beneficios asociados a la implementación del sistema se encuentran los siguientes:

- **Beneficios Tangibles**
  - Aumento de la cantidad de información histórica en base al aporte de la comunidad.
  - Disminución de gastos asociados a implementos de difusión como folletos, afiches, pendones, impresiones, etc.
  - Disminución de gastos asociados a recursos humanos para actividades de difusión.
  - Aumento de las visitas de turistas al campus universitario.
- **Beneficios No Tangibles.**
  - Aumento en el interés en la comunidad por el patrimonio histórico del campus.
  - Acercamiento de la Universidad a la comunidad, como partícipe de su historia
  - Disminución del esfuerzo en la recopilación y publicación de la información.
  - Mayor alcance en la difusión de la historia de la universidad.

## 1.3 Objetivo General

Desarrollar una solución software que, mediante el uso de Realidad Aumentada, permita explorar el campus central de la Universidad de Concepción y acceder a información y elementos multimedia asociados a los edificios y lugares relevantes del campus. Esto con el propósito de contribuir a la difusión de la historia y valor patrimonial de la infraestructura presente en el campus universitario.

## 1.4 Objetivos Específicos

- Explorar el estado del arte en soluciones software que involucren el uso de Realidad Aumentada.
- Desarrollar una aplicación móvil que permita explorar el campus de la Universidad de Concepción incluyendo elementos de Realidad Aumentada.
- Diseñar un modelo de datos que estructure la información histórica asociada al campus universitario y, a su vez, permita la inclusión posterior de otras capas de información.
- Proveer una instancia de colaboración con la comunidad en que las personas puedan aportar a la memoria patrimonial del campus de la Universidad de Concepción.

## 1.5 Metodología de Trabajo

Se adopta un enfoque iterativo e incremental, en base a prototipos, enfocando cada uno de estos a una funcionalidad específica del sistema software. La retroalimentación asociada a estos fue provista por el profesor patrocinante.

## 1.6 Estructura del Informe

A continuación, se explican brevemente las diferentes secciones incluidas en el informe.

El Capítulo 2 de Discusión Bibliográfica presenta los conceptos de patrimonio cultural y Realidad Aumentada. Se incluye una revisión del estado del arte, su historia, conceptos relevantes asociados y ejemplos de uso. Además, se explora el concepto de Sistema de Información Geográfico (SIG) y junto con ello, se presentan varios ejemplos de aplicaciones software que incluyen el uso de este tipo de sistemas o elementos de Realidad Aumentada, para luego finalizar con una comparativa de las diferentes herramientas disponibles para el desarrollo de software con este tipo de características y cuál de ellas será escogida para realizar el proyecto.

En el Capítulo 3 de Descripción y Diseño se detalla el sistema software a construir, indicando los requerimientos identificados, explicando la arquitectura escogida, el modelo de datos diseñado y las interacciones entre el sistema y el usuario mediante diagramas de Casos de Uso e Storyboards.

El Capítulo 4 (Método de Desarrollo) describe el método utilizado para el desarrollo, enumera las herramientas utilizadas y muestra los diferentes prototipos obtenidos durante el proceso de desarrollo. Luego, el Capítulo 5 describe las características del software que fueron implementadas en el proceso de desarrollo. El Capítulo 6 expone los resultados de las pruebas realizadas con usuarios y la apreciación que tienen estos del uso de la aplicación software.

Finalmente, en los Capítulos 7, 8 y 9 se incluyen las conclusiones del trabajo realizado, las referencias bibliográficas y el anexo respectivamente.

## 2. Discusión Bibliográfica

### 2.1 Patrimonio Cultural

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) en los indicadores de cultura para el desarrollo, aborda el concepto de patrimonio cultural definiéndolo en su más amplio sentido como un “un producto y un proceso que suministra a las sociedades un caudal de recursos que se heredan del pasado, se crean en el presente y se transmiten a las generaciones futuras para su beneficio” [5]. Esto no abarca tan solo elementos materiales, sino que también está incluido el patrimonio natural e inmaterial.

La terminología de patrimonio histórico también es utilizada para referirse a los elementos patrimoniales de un determinado contexto. Sin embargo, debido a que los conceptos de historia y cultura poseen varios elementos en común, se utilizan ambos términos como sinónimos en lo que refiere al patrimonio, dependiendo de cada país la terminología utilizada.

Bajo la guía provista por la Unesco [5] para identificar el patrimonio cultural, se entiende que los elementos que conciernen a este son:

- Los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia
- Los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia;
- Los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza, así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico.

Junto con ello, se plantea que la noción de patrimonio es importante para la cultura y el desarrollo en cuanto constituye el “capital cultural” de las sociedades contemporáneas. Contribuye a la revalorización continua de las culturas y de las identidades, y es un vehículo importante para la transmisión de experiencias, aptitudes y conocimientos entre las generaciones. Además, es fuente de inspiración para la creatividad y la innovación, que generan los productos culturales contemporáneos y futuros.

El patrimonio cultural encierra el potencial de promover el acceso a la diversidad cultural y su disfrute. Puede también enriquecer el capital social conformando un sentido de pertenencia, individual y colectivo, que ayuda a mantener la cohesión social y territorial.

Por último, el patrimonio cultural ha adquirido una gran importancia económica para el sector del turismo en muchos países, y junto con ello, surgen nuevos retos relacionados a la conservación y uso de forma

sostenible de estos elementos, buscando el equilibrio entre obtener beneficios del patrimonio y a su vez, preservar su “riqueza frágil” para las generaciones futuras.

## 2.2 Realidad Aumentada

### 2.2.1 Definición

La *Realidad Aumentada* (RA) es el resultado de utilizar diferentes elementos tecnológicos para “superponer” información virtual (textos, imágenes, sonidos) en el entorno real [6]. Es decir, se refiere a una interacción en tiempo real con un entorno físico al que se la han agregado elementos virtuales de información generados por computador.

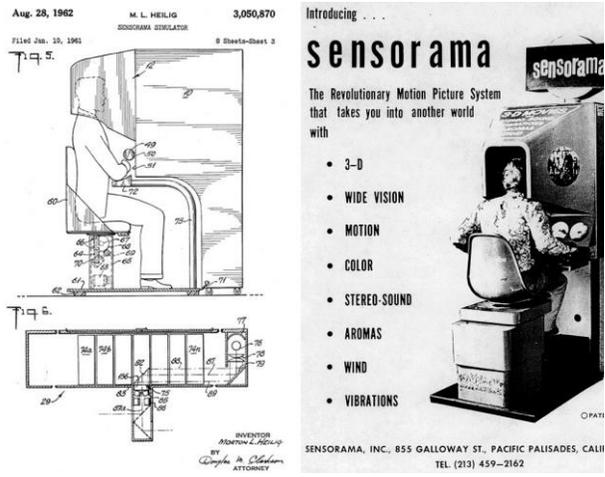
La realidad aumentada no está circunscrita a alterar la percepción del usuario del entorno utilizando el sentido de la visión, potencialmente puede enfocarse a otros sentidos del ser humano como el olfato, la audición o el tacto. Algunos autores [6] consideran que la Realidad Aumentada también abarca aquellas aplicaciones en que es requerido eliminar objetos del mundo real, lo que es conocido como *Realidad Mediada*

El objetivo del uso de realidad es entregarle al usuario un conjunto virtual de fuentes de información, de manera que estos objetos añadidos al entorno real puedan ayudar al usuario al realizar actividades de distinta índole.

### 2.2.2 Historia

La primera aparición de Realidad Aumentada (RA) se remonta a la década de 1950 cuando Morton Heilig, un cinematógrafo, planteó la idea de que el cine pudiera integrar al espectador a la actividad que se mostraba en la pantalla. En 1962, Heilig construyó un prototipo de su visión llamado *Sensorama* (Fig. 2), junto con filmes cortos que permitían aumentar la experiencia del espectador a través de sus sentidos (vista, olfato, tacto, y oído).

Luego Ivan Sutherland inventó el primer visor de montado en la cabeza (HMD). Posteriormente, en 1968 Sutherland creó un sistema de realidad aumentada utilizando un HMD con un visor transparente (Fig. 3). En 1975 Myron Krueger crea Videoplace, una sala que permite a los usuarios interactuar con objetos virtuales por primera vez (Fig. 4). Más adelante, en los años 90 Tom Caudell y David Mizell, investigadores de la compañía Boeing, acuñaron por primera vez la frase de Realidad Aumentada mientras diseñaban una forma de ayudar a los trabajadores a ensamblar los cables de un avión. Casi en simultáneo L.B. Rosenberg desarrollo uno de los primeros sistemas funcionales con RA, llamado *Virtual Fixes* mientras que Steven Feiner, Blair MacIntyre y Doree Seligmann presentaron la primera publicación de relevancia en un prototipo de RA llamado KARMA.

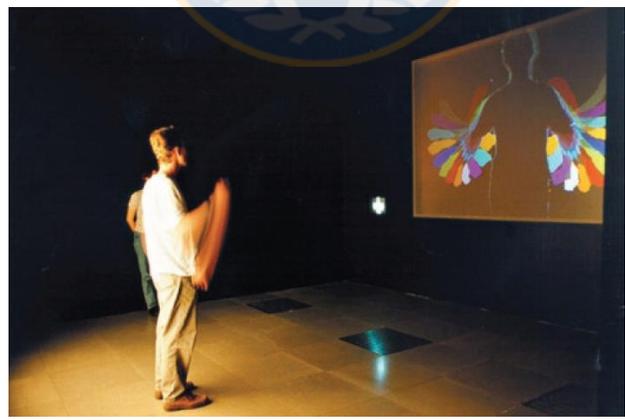


*Figura 2:  
Ilustración del Sensorama de Heilig*

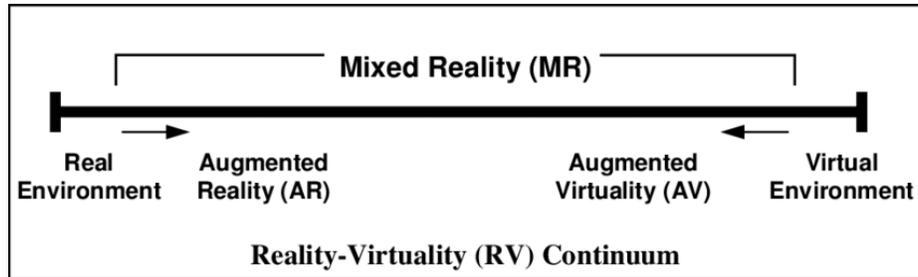


*Figura 3:  
HMD de Sutherland.*

En 1994 Paul Milgram y Fumio Kishino definen la Continuidad de la Virtualidad [7] (Virtually Reality Continuum como una escala continua que oscila entre lo que se define como lo completamente virtual (Realidad Virtual) hasta lo que es completamente del entorno real, abarcando todas las instancias posibles de interacción de objetos virtuales y reales (Fig. 5). Luego, en 1997 Ronald Azuma provee una reconocida definición de RA identificando como una combinación de elementos reales y virtuales que son registrados en 3 dimensiones y proveen una interacción en tiempo real.



*Figura 4:  
Videoplaza creado por Myron Krueger*



*Figura 5:  
Escala de Continuidad de la Virtualidad*

Desde esa fecha en adelante, se han desarrollado y lanzado al mercado diferentes productos y kits de desarrollo relacionados con RA [8]:

- 1999: Hirokazu Kato desarrolla ARToolKit en el HitLab y se presenta en SIGGRAPH ese año.
- 2000: Bruce H. Thomas desarrolla el primer juego al aire libre con dispositivos móviles de realidad aumentada, y se presenta en el International Symposium on Wearable Computers.
- 2008: AR Wikitude Guía sale a la venta el 20 de octubre de 2008 con el teléfono Android G1.
- 2009: AR Toolkit es portado a Adobe Flash (FLARToolkit) por Saqoosha, con lo que la realidad aumentada llega al navegador Web.
- 2009: se crea el logo oficial de realidad aumentada con el fin de estandarizar la identificación de la tecnología aplicada en cualquier soporte o medio por parte del público general.
- 2012: Google presenta GLASS, un dispositivo de visualización de tipo gafas enfocado a realidad aumentada.
- 2013: Sony muestra la realidad aumentada en PS4 con The Playroom.
- 2013: Niantic en colaboración con Google lanza al mercado Ingress, un juego para móviles de RA.
- 2016: Microsoft comienza la comercialización de HoloLens, que consiste en un sistema de gafas inteligentes.
- 2016: Niantic lleva a cabo el lanzamiento del videojuego Pokémon Go, un juego de RA para móviles.
- 2017: Apple y Google lanzan sus propios kits de desarrollo de realidad aumentada. ARKIT y ARCore respectivamente.
- 2017: Google lanza la segunda versión de sus Glass, dirigidas al mundo empresarial.

### 2.2.3 Usos de la Realidad Aumentada [6]

Existe una gran cantidad de contextos en los que es posible y beneficioso incorporar la tecnología de Realidad Aumentada. No obstante, es posible identificar 4 categorías que abarcan la mayoría de los contextos en que se pueden encontrar este tipo de soluciones.

1. Publicidad y comercio.
2. Entretenimiento y educación.
3. Aplicaciones en el área de la medicina.
4. Aplicaciones para dispositivos móviles inteligentes.

## 2.2.4 Realidad Aumentada y Realidad Virtual

El continuo de la virtualidad (Fig. 5), presenta una escala con diferentes estados para identificar el tipo de realidad con la que se interactúa, dependiendo del grado y el tipo de interacción con los objetos virtuales generados por computador. De allí, se distinguen los siguientes conceptos:

- Realidad Virtual (RV).
- Virtualidad Aumentada (VA).
- Realidad Mixta (RM).

La Realidad Virtual es una experiencia interactiva generada mediante computación que ocurre en un entorno simulado en que el usuario está inmerso, esto se consigue mediante entornos en 3 dimensiones, sonidos y otros estímulos asociados al tacto o el olfato.

Las diferencias entre la RA y la RV están dadas principalmente por el tipo de interacción con el entorno físico en que se encuentra el usuario [9]. En el caso de la primera el entorno físico es necesario y se utiliza como la base para superponer los objetos virtuales, mientras que en el caso de la RV se busca aislar al usuario de su entorno físico y presentar al usuario un mundo virtual en el que la inmersión es total y no está condicionado ni guarda relación con el lugar real en que se encuentra.

## 2.2.5 Realidad Mixta [10]

En lo que concierne al concepto de Realidad Mixta o Realidad Híbrida, este inicialmente contenía todo el espectro comprendido entre ambos extremos de la escala presentada por el Continuo de la Virtualidad. No obstante, con los avances en el desarrollo de la tecnología relacionada a la virtualidad se ha posicionado como una escala intermedia entre los conceptos de RA y RV, manteniendo elementos de ambas, pero aún lo suficientemente diferenciable de ellos.

Es posible diferenciar dos tipos de experiencias de RM. La primera tiene como característica que los objetos virtuales no solo se superponen al entorno físico, sino que también estos interactúan de cierta forma con el mundo real y junto ello, existe una mayor interacción el usuario con los elementos virtuales, constituyéndose como una experiencia más inmersiva e interactiva que la RA (Fig. 6).



Figura 6:  
*Realidad Mixta en el uso de Skype con HoloLens.*

La segunda categorización, también es mencionada en la literatura como Virtualidad Aumentada [6]. En esta, el punto de partida es el mundo virtual en el que el usuario se encuentra inmerso, pero elementos y estímulos del mundo físico son utilizados para potenciar esta experiencia. Un ejemplo de este tipo de experiencias son el Parque Temático The Void (Fig.7) [11], en el que los usuarios reciben retroalimentación de parte del entorno físico debido a las interacciones que realizan en el entorno virtual.



Figura 7:  
*Parque Temático The Void*

## 2.2.6 Hardware Asociado a Realidad Aumentada

Los elementos principales para aplicaciones de Realidad Aumentada son los siguientes:

- Pantalla (Monitor): Este elemento es el que entrega la información virtual al usuario. Puede ser una pantalla de tipo *Head Mounted*, una portátil como las provistas por un smartphone o bien pantallas instaladas en el entorno físico.
- Dispositivos de entrada: existe una gran variedad, desde guantes, pulseras inalámbricas o incluso la pantalla táctil de un dispositivo portátil como un celular.
- Elementos de seguimiento: en esta categoría se encuentran las cámaras digitales, acelerómetros, giroscopios, brújula, sensores inalámbricos, GPS, entre otros.
- Computador: es el elemento de procesar las imágenes provistas por la cámara y los datos recibidos desde los sensores y elementos de seguimiento, para luego generar la experiencia de Realidad Aumentada para el usuario.

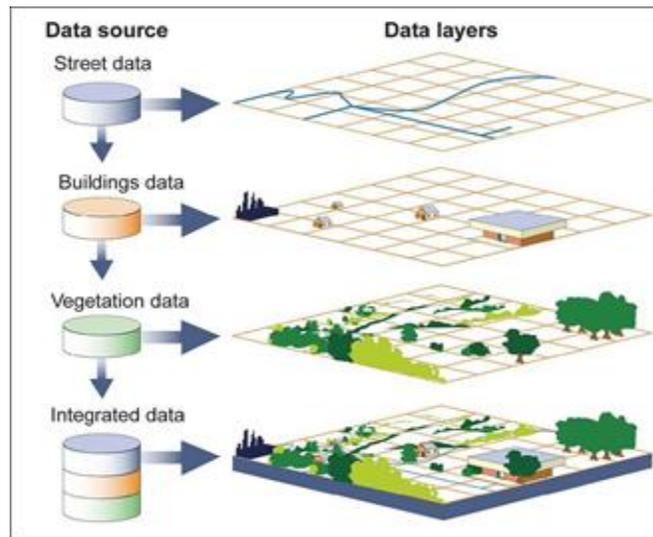
## 2.3 Sistemas de Información Geográficos

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema que provee un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten capturar, almacenar, manipular, analizar y generar modelos en base datos procedentes del mundo real y que se encuentran están georreferenciados.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. Estos sistemas ofrecen la posibilidad separar la información en diferentes capas temáticas y almacenarlas independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera sencilla.

Las principales cuestiones que puede resolver un sistema de información geográfica son las siguientes:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: Encontrar lugares que cumplan una o más condiciones asociadas a las variables registradas.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica. Permite conocer la variación de algunas características a través de un determinado periodo.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales. Busca determinar en una zona específica, las relaciones que pudieran existir entre dos o más variables.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas. Si un sistema planteado se somete a determinadas modificaciones de sus variables como queda definido el nuevo sistema, cuánto ha cambiado, etc.



Source: GAO.

*Figura 8:  
Ejemplo de Capas en un SIG.*

## 2.4 Ejemplos de aplicaciones software de RA y SIG

En base a las características presentes en la propuesta de proyecto, como el uso de realidad aumentada, la exploración de entornos físicos y la visualización de información histórica, se investigó la existencia de soluciones software o prototipos que tuvieran relación con estos conceptos y que permitiesen conocer el estado del arte en lo que respecta a sistemas de información geográficos que proporcionan experiencias de realidad aumentada.

Con el propósito de comparar las diferentes aplicaciones software identificadas se definió un conjunto de criterios. Estos indican características o funcionalidades que son incluidas en el proyecto de memoria de título o podrían ser funcionalidades deseables. Los criterios son los siguientes:

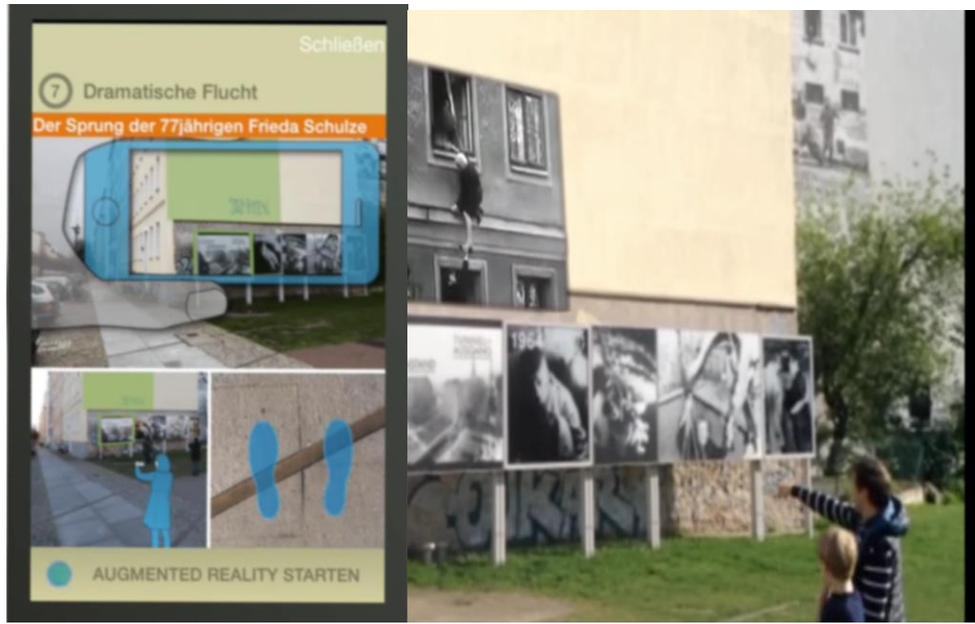
- Relación con Campus Universitarios: Si el dominio de los datos involucrados en el software tiene relación con uno o más campus universitarios.
- Realidad Aumentada: Presencia de elementos virtuales generados a partir del entorno físico en que se encuentra el usuario.
- Mapas con Puntos de Interés: Identificar si la aplicación software incluye un mapa con puntos geográficos de interés para el usuario.

- Uso de localización: uso de conectividad, redes móviles o GPS para identificar la ubicación geográfica del usuario y mostrar información acorde a ésta.
- Detección de escenas por imagen y superposición de objetos virtuales: uso de la cámara del dispositivo para reconocer escenas o lugares, generando la aparición de objetos virtuales sobre el lugar identificado.
- Contenido de carácter patrimonial: Información provista al usuario tiene un valor patrimonial o bien, es de carácter histórico.
- Presencia de elementos multimedia: Se incluyen fotografías, videos, documentos u otros elementos asociados a puntos de interés.

#### 2.4.1 Time Traveler Augmented The Berlin Wall [16]

La aplicación móvil Time Traveler Augmented The Berlin Wall fue desarrollada en Alemania y publicada el año 2014. Disponible para los dispositivos Android como para iOS, tiene la capacidad de, mediante el uso de la posición del usuario y de la cámara del dispositivo móvil, identificar lugares históricos en el Muro de Berlín y mostrar elementos multimedia asociados a sucesos ocurridos en el pasado.

Para funcionar, el sistema utiliza GPS e imágenes del entorno para indicar al usuario el lugar y la orientación en que debe posicionarse para encontrar puntos de interés histórico. Al apuntar con la cámara en el lugar indicado, el modo de RA permite al usuario presenciar sucesos históricos frente a él, entregando una experiencia similar a haber presenciado aquel suceso en el instante en que ocurrió. Actualmente esta aplicación móvil ya no se encuentra disponible para su descarga.



*Figura 9:  
Funcionalidades de Time Traveler Augmented The Berlin Wall*

#### 2.4.2 City Guide Tour [17]

City Guide Tour consiste en un grupo de aplicaciones móviles disponibles para las ciudades de Dubai, Praga y Toruń. Utilizando la cámara de un smartphone o tablet, ofrece una experiencia de RA en que el turista recibe avisos de los puntos de interés que se encuentran cercanos a su ubicación y también, recibe indicaciones para llegar a ellos.

Los puntos de interés registrados en el sistema tienen una descripción asociada, horarios de apertura y cierre, tarifas, y otros tipos de datos, de manera que los turistas tienen disponible toda la información que podrían necesitar durante su estancia.

Junto con ello, esta aplicación mantiene un registro de la cantidad de lugares que han sido visitados por el usuario, con lo que forma un ranking de los turistas que han explorado más puntos de interés y entrega recompensas en base a la actividad realizada.



*Figura 10:  
Información de un Punto de Interés en aplicación móvil  
City Guide Tour*



*Figura 11:  
Exploración de Puntos de Interés en aplicación móvil  
City Guide Tour*

### 2.4.3 University of Auckland Campus Tour [18]

La Universidad de Auckland ofrece esta aplicación que permite explorar el patrimonio y la cultura que se encuentra en el campus de esta casa de estudios en Nueva Zelandia.

Dentro de sus funcionalidades ofrece 2 recorridos virtuales. El primero denominado Heritage Tour permite explorar la historia detrás de los edificios, esculturas y paisajes del entorno universitario. Por otra parte, el segundo se denomina Art Collection Tour y permite explorar obras de arte que se encuentra en el área del campus.

Ambos recorridos poseen un conjunto de estaciones, donde cada una de estas posee imágenes, información histórica y/o descriptiva y la voz de un narrador que describe la estación que ha sido seleccionada por el usuario.

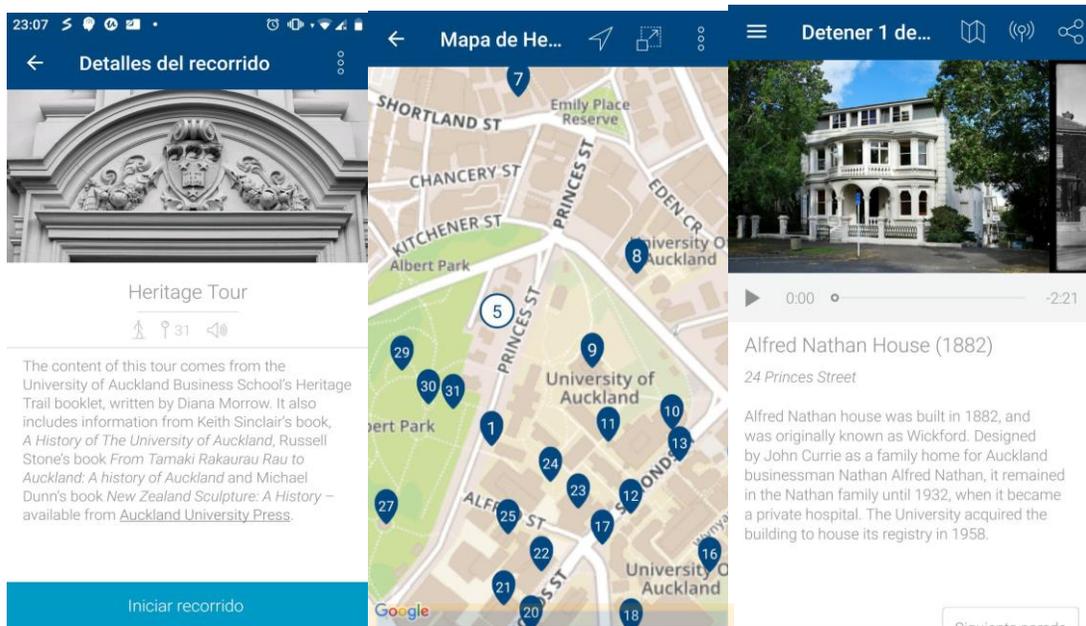


Figura 12: Pantallas de Aplicación UoA Campus Tour

#### 2.4.4 You Visit College [19]

Esta es una aplicación móvil que contiene información más de 500 campus de universidades, principalmente de Estados Unidos. Con ella los usuarios pueden, sin la obligación de usar un casco de RV, explorar lugares emblemáticos de las instalaciones asociadas a una universidad. Todo esto, mediante el uso de fotografías en 360 grados.

Junto con la anterior se ofrece la posibilidad de consultar un mapa con los lugares de interés de un campus específico y otros elementos multimedia como pista de audio con descripciones del lugar que se está consultando.



Figura 13: Pantallas de Aplicación You Visit College

## 2.4.5 Aplicación Móvil Pinacoteca Universidad de Concepción [20]

Desarrollada por la Dirección de Tecnologías de la Información (DTI) la aplicación móvil de la Pinacoteca ofrece una experiencia mucho más enriquecedora para los visitantes del lugar. Además de contener información general sobre la pinacoteca ofrece 2 perfiles diferentes para realizar la exploración: el primero es un perfil infantil que contiene juegos variados relacionados a las obras en exposición y el segundo, denominado perfil general, que contiene un recorrido guiado por las salas y también información, para quienes deseen saber más acerca de las obras exhibidas, como por ejemplo, datos técnicos, biografía del autor, y otros.

Esta aplicación permite que los usuarios o visitantes puedan realizar un recorrido guiado por la aplicación y eso enriquece totalmente la visita al lugar, llevándose información sobre algunas de las pinturas y sobre el mural, que es de interés masivo. Además cuenta con “realidad aumentada” asociada a esta última pieza de arte, que permite comprender iconográficamente el mural, mostrando al usuario zonas relevantes del mural junto con su significado, más audio explicativo, que refuerza el carácter inclusivo de la iniciativa.

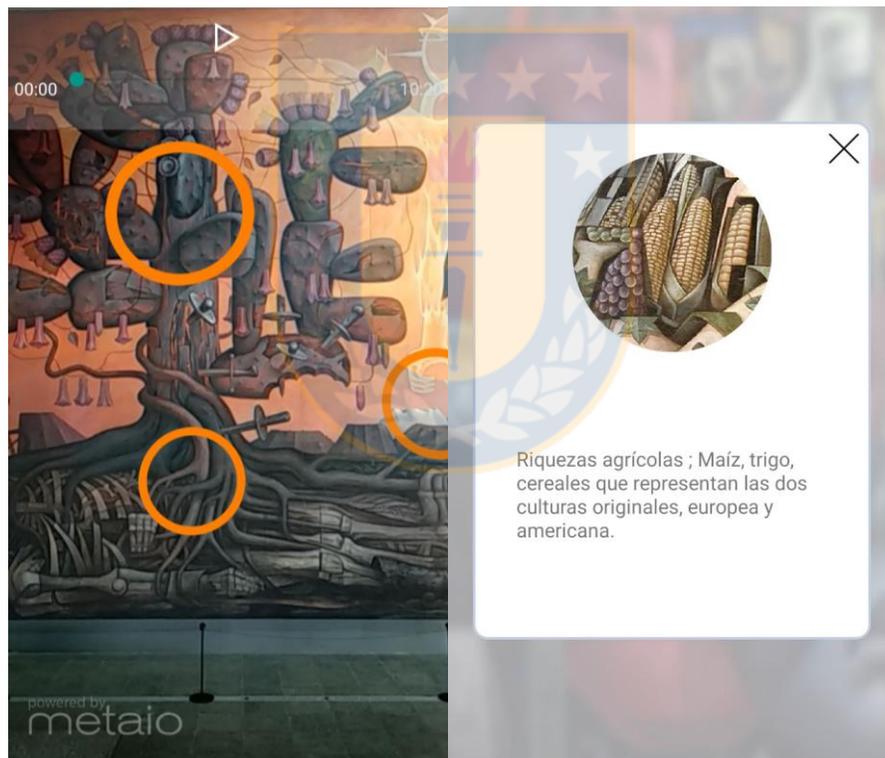


Figura 14: Pantallas de Aplicación Pinacoteca

## 2.4.6 Comparación de las Aplicaciones Software

A continuación, se presenta un cuadro comparativo de las diferentes soluciones software mencionadas anteriormente.

Criterios	The Berlin Wall	City Guide Tour	UoA Campus Tour	You Visit College	Pinacoteca
Relación con Campus Universitarios	No	No	Si	Si	No
Realidad Aumentada	Si	Si	No	No (RV)	Si
Presencia de mapas con Puntos de Interés	Si	No	Si	No	No
Uso de localización	Si	No	Si	No	Si
Detección de Escenas por imagen y superposición de objetos virtuales	Si	No	No	No	Si
Contenido de carácter patrimonial	Si	Si	Si	No	Si
Presencia de elementos multimedia	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 1: Comparativa de software similares a la propuesta.

## 2.5 Frameworks de Desarrollo para Realidad Aumentada

En esta sección se realizará una revisión de los principales frameworks o herramientas de desarrollo que se encuentran disponibles para construir aplicaciones con realidad aumentada. Para cada uno de estos, se hará mención de las características principales y el tipo de plataforma con las que son compatibles.

### 2.5.1 LayAR [22]

Consiste en gran plataforma de desarrollo basada en un navegador web llamado Layar. Esta plataforma de Realidad Aumentada busca facilitar a sus usuarios el conectar elementos digitales con elementos físicos y contenidos impresos. Para ello el navegador hace varios elementos como de la cámara del dispositivo, acelerómetro, brújula y sensor GPS.

Un elemento principal de Layar es lo denominado Layar Creator. Esta es una plataforma web que permite crear las capas de información a mostrar, pudiendo ser del tipo *Vision Layer* o *Geo Layer*.

La arquitectura de Layar tiene básicamente 5 componentes.

- *Layar reality browser*: cliente en el dispositivo móvil del usuario.
- *Layar Server*: elemento principal, que provee las interfaces al navegador, al sitio Layar Publishing y a proveedores externos de Layar Service Provider.

- *Layar Publishing Website* : plataforma web en que los desarrolladores crean nuevas capas, y administran tanto las capas de información disponibles como su cuenta de usuario.
- *Layar Service Providers*: creados por proveedores externos para suministrar información a las capas. (Ejemplo: Flickr)
- *Layer Content Sources* : Proveen contenido para ser visto en el navegador del cliente.

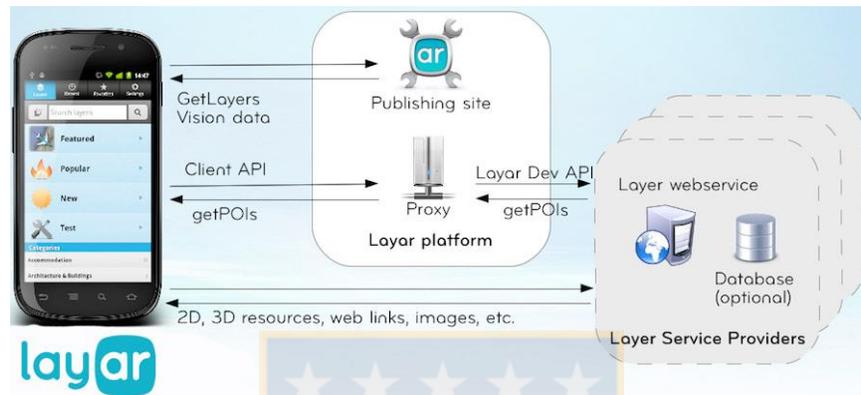


Figura 15: Esquema de Arquitectura Layar.

También se encuentra disponibles para los desarrolladores la posibilidad de utilizar un SDK e integrar las funcionalidades de Layar a su propio software.

Cabe destacar que este framework requiere el pago de una suscripción para utilizar las funcionalidades. El monto depende de la cantidad de funcionales a utilizar y el tiempo en que el contenido debe estar disponible. La creación de una página básica cuesta \$15.90 dólares, mientras que la suscripción premium está evaluada en \$500 dólares al mes.

### 2.5.2 Wikitude [23]

Consiste en un framework de desarrollo para desarrollar aplicaciones de Realidad Aumentada lanzando oficialmente el año 2008. Wikitude provee un SDK que permite crear experiencias de RA en 2D o 3D, provee soporte para diversas plataformas y sistemas operativos, es compatible para integrar con diferentes lenguajes de programación y, junto con ello, posee la capacidad de (principalmente) reconocer escenas, identificar objetos y hacerles seguimiento, crear entornos georeferenciados con puntos de interés y manipulación de objetos 3D virtuales.

Wikitude igual posee una licencia comercial, cuyo valor varía dependiendo de la cantidad de características requeridas por el desarrollador y de la frecuencia de pago. No obstante, es posible optar a una versión de prueba para comenzar a experimentar con el SDK y también, se encuentra disponible una licencia de tipo educacional que puede ser solicitada a través del sitio web con el propósito de usar la plataforma con fines académicos.

### 2.5.3 ArKit [24]

Arkit corresponde a la plataforma de desarrollo para realidad aumentada provista por Apple los dispositivos móviles con el sistema operativo iOS.

Dentro de sus capacidades la agregación de objetos en 3 dimensiones, escaneo de rostros, detección de imágenes, experiencias de RA compartidas por varios dispositivos, seguimiento de objetos en 2D y detección de objetos en 3D como esculturas, juguetes y muebles.

### 2.5.4 ARCore [25]

ARCore es un kit de desarrollo de software desarrollado por Google enfocado a la creación de aplicaciones de Realidad aumentada. Usando diferentes APIs, permite que el dispositivo móvil pueda ser utilizado para explorar el entorno e interactuar con él.

ARCore utiliza 3 elementos clave para integrar contenido virtual junto con el mundo real a través de la cámara de un teléfono.

- Sensor de movimiento: identificar la posición y hacer seguimiento de esta con respecto al entorno.
- Entender el entorno: detectar el tamaño y la ubicación de todos los tipos de superficie (horizontal, vertical, con inclinaciones, etc). Ejemplo: suelo, mesas, o murallas.
- Estimación lumínica: permite utilizar el dispositivo móvil para estimar las condiciones lumínicas del entorno.

ARCore ofrece soporte para una gran variedad de dispositivos Android, pero también tiene disponible un conjunto de funcionalidades para plataformas como Unity, Unreal e incluso iOS. No obstante, para esta última las funcionalidades están limitadas y depende del uso de la plataforma adicional denominada Cloud Anchors que permiten intercambiar información con el framework de ARkit.

### 2.5.5 Vuforia [26]

Vuforia es una de los frameworks más utilizado para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada. Si bien posee un SDK para diferentes plataformas como Android, iOS, Unity y plataformas de Microsoft como las Hololens, también provee una plataforma web en la que los usuarios pueden desarrollar experiencias de realidad aumentada.

Respecto al costo asociado al uso del framework, existe un cobro mediante suscripción mensual de 99 dólares o bien un cobro único de 499 dólares dependiendo del tipo de servicio y herramientas disponibles. Ahora bien, existe la posibilidad de solicitar una licencia gratuita para probar la plataforma y comenzar con el desarrollo.

### 2.5.6 ARToolKit [27]

ARToolKit es una biblioteca de código abierto para la creación de aplicaciones de realidad aumentada. Inicialmente fue lanzado el año 1999 por Hirokazu Kato. Ésta implementa toda la lógica necesaria para conseguir una experiencia de realidad aumentada, cómo reconocer marcadores en frames de vídeo, determinar la geometría de una escena, proyectar modelos 3D en una escena, crear un frame de video compuesto por elementos de la vista y virtuales.

La versión actual de este kit de desarrollo está disponible para Windows, Mac OS, Linux, iOS y Android. No obstante, existen versiones adaptadas para otros dispositivos y un plugin disponible para Unity.

### 2.5.7 Comparativa

A continuación, se presenta una tabla comparativa en la que se evalúan las ventajas y desventajas de los diferentes frameworks de desarrollo de ser considerados para la realización del proyecto. En la comparación se incluye también la opción de desarrollar los elementos de realidad aumentada sin utilizar ninguna de las herramientas mencionadas.

Herramienta	Ventajas	Desventajas
LayAR	<ul style="list-style-type: none"><li>● Plataforma de desarrollo sencilla.</li><li>● Fácil creación de Puntos de Interés y elementos multimedia</li><li>● Compatible con varias plataformas.</li><li>● Integrable en aplicaciones mediante el SDK</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Alojamiento de información en los servidores de Layar.</li><li>● Se requiere el pago de una licencia.</li></ul>
Wikitude	<ul style="list-style-type: none"><li>● Framework multiplataforma.</li><li>● Ofrece las funcionalidades de georeferenciar puntos de interés y detección de escenas.</li><li>● Tiene disponibles como ejemplo el código fuente de funcionalidades similares a las del proyecto.</li><li>● Posibilidad de utilizar una licencia educativa para el desarrollo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Aplicación móvil no publicable en la tienda de aplicaciones sin una licencia pagada.</li></ul>
Arkit	<ul style="list-style-type: none"><li>● No requiere licencia pagada.</li><li>● Framework nativo de iOS, lo que garantiza un buen rendimiento.</li><li>● Gran cantidad de funcionalidades asociadas a RA.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Exclusivo para dispositivos con iOS.</li><li>● Requiere de un equipo con OS X para realizar el desarrollo</li><li>● Requeriría implementar desde cero varias funcionalidades.</li></ul>
ARCore	<ul style="list-style-type: none"><li>● No requiere licencia pagada.</li><li>● Posibilidad de integración con Android y una aplicación para iOS.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Desarrollo requeriría implementar desde cero varias funcionalidades.</li></ul>
Vuforia	<ul style="list-style-type: none"><li>● Ofrece la posibilidad de licencia gratuita.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● No ofrece una api asociada a</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad para varias plataformas.</li> </ul>	la ubicación.
ARToolKit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biblioteca Open Source</li> <li>• Multiplataforma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un desarrollo desde cero en gran parte de las funcionalidades del proyecto</li> </ul>
Desarrollo Propio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere un gasto en licencias.</li> <li>• Todas las funcionalidades que fueran deseables para la aplicación podrían ser incluidas, ya que se construirían elementos de realidad aumentada específicos para soportar esas características.</li> <li>• Mayor control del código utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del tiempo necesario para el desarrollo de aplicación, ya que se requeriría implementar varias funcionalidades de la realidad aumentada desde cero.</li> <li>• Aumento de riesgo de fracaso del proyecto en implementar las características necesarias para la aplicación.</li> <li>• El trasladar el sistema a otra plataforma requeriría implementar nuevamente gran parte de las funcionalidades soportadas.</li> </ul>

Tabla 2: Comparativa entre Frameworks de Desarrollo de RA.

## 2.5.8 Conclusiones

Luego de la revisión de las distintas herramientas de desarrollo enfocadas a realidad aumentada disponibles, se decidió utilizar el SDK provisto por Wikitude. Esto, teniendo en consideración los siguientes aspectos del software a desarrollar y el contexto del trabajo en la memoria de título:

- El tiempo de desarrollo del proyecto de memoria de título esta acotado a un rango de tiempo. El llevar a cabo un desarrollo propio requiere invertir una cantidad de tiempo considerable a implementar funcionalidades asociadas a realidad aumentada, lo que puede retrasar de forma importante la obtención de prototipos y el producto final.
- La licencia con propósitos educacionales ofrecida por Wikitude no limitaba las capacidades del SDK, siendo la única limitante la prohibición de publicar la aplicación móvil en la tienda de aplicaciones de Android o iOS. El tiempo de vigencia de la licencia es de 1 año, lo cual se adapta a las condiciones del proyecto.
- Wikitude ofrece un SDK compatible con varias plataformas basado en HTML y Javascript. Este consta con las funcionalidades requeridas para construir el proyecto y, dado que está basado en lenguajes usados en el desarrollo web, permite portar de forma sencilla toda la experiencia de

Realidad Aumentada a varios sistemas operativos, siguiendo las guías entregadas por la misma API.

- Wikitude entrega la base para empezar a construir una experiencia personalizada a través de los ejemplos provistos en su documentación. Elementos como la inclusión de puntos de interés, superposición de objetos, reconocimiento de imágenes tienen ejemplos en que es posible explorar el código fuente.
- La API provee flexibilidad para obtener los datos desde la misma aplicación, desde un servidor o desde un archivo de texto en formato *JSON*. Además, permite cambiar entre las pantallas de *Wikitude* (basada en lenguajes web) a las pantallas pertenecientes a la aplicación de forma nativa, incluyendo un flujo de información. Esta funcionalidad permitiría que desde el modo de *RA* se pueda llegar a consultar la información de un *POI*, tal como se visualizaba en los storyboards.

### 3. Descripción y Diseño del Software

En este capítulo se da una explicación más en detalle de la aplicación a desarrollar, también se detallan las etapas iniciales del diseño que involucran la identificación de requerimientos, el diseño de la arquitectura del software, especificación del modelo de datos y la descripción de las interacciones entre el usuario y el sistema mediante diagramas de casos de uso y storyboards.

#### 3.1 Visión global del software

El software por desarrollar en este trabajo de memoria de título tiene por objetivo ayudar a la difusión del patrimonio cultural que está presente en el campus de la Universidad de Concepción utilizando la tecnología de realidad aumentada. Para ello, existen varios aspectos que corresponde mencionar, los cuales se exponen a continuación.

Para proveer una interacción de realidad aumentada es necesario contar con un dispositivo que muestre información al usuario a partir del entorno en que éste se encuentre. Dentro de las diferentes opciones, se identifica que los celulares inteligentes (smartphones) se posicionan como una opción muy atractiva debido a que la mayoría de las personas en Chile tienen al menos uno de estos dispositivos [27]. Además, cuentan con una gran variedad de sensores, GPS, cámaras y, adicionalmente, poseen una capacidad de computo que hace viable la ejecución de aplicaciones asociadas con Realidad Aumentada.

Teniendo en consideración lo anterior, el primer gran componente del sistema software a desarrollar será una aplicación móvil. Está tendrá dentro de sus funcionalidades el proveer la experiencia de realidad aumentada a los usuarios, de modo que mientras la persona va recorriendo el campus universitario de manera física, verá en la pantalla de su dispositivo móvil objetos virtuales que aparecerán de acuerdo con el lugar en que se encuentre. Estos elementos virtuales serán pistas gráficas que le indicarán al usuario en qué lugar se encuentra un punto de interés. Estos puntos de interés estarán almacenados en un sistema de información geográfico, que almacenará información histórica y elementos multimedia asociados a los

lugares georreferenciados. Estos elementos multimedia serán fotografías, videos, documentos y enlaces a artículos web que podrán ser consultados por el usuario a través de la aplicación. Aparte de revisar cada uno de estos, los usuarios también podrán consultar una línea de tiempo de los diversos puntos de interés, construida a partir de las fotografías y vídeos, esto con el fin de entregar a las personas una perspectiva de cómo ha cambiado el lugar que tienen en frente con el paso del tiempo.

Dentro de las funcionalidades de la aplicación móvil se incluirá una alternativa a la experiencia de Realidad Aumentada, de manera que los usuarios puedan consultar la información sin necesariamente tener que estar en el campus. Para ello, se incluirá un mapa de la universidad con los puntos de interés de los que se tiene información.

El segundo componente de este sistema es una plataforma que permitirá gestionar la información asociada al SIG. Ésta será una plataforma web que permitirá administrar la información de los puntos de interés y también los elementos multimedia asociados a estos. Cabe destacar que la plataforma web no está enfocada al público general, por lo que el acceso a ésta estará restringido a aquellas personas que realicen la administración de los datos y la multimedia. Sin embargo, estará disponible un módulo que permitirá a las personas contribuir al proyecto subiendo elementos multimedia de su propiedad que, luego de ser revisados por un administrador, serán agregados al sistema.

Para almacenar de forma persistente la información del SIG será necesario implementar un repositorio de datos. Este tendrá estructurados los datos disponibles de manera apropiada y será el punto desde el cual han de interactuar la plataforma web con la aplicación móvil, manteniendo la información disponible para los usuarios actualizada a partir de las acciones realizadas en el sitio web de administración.

## 3.2 Requerimientos del Sistema

En base a la visión general del software, los objetivos planteados y en conjunto con el profesor patrocinante, se identificaron los requerimientos asociados al sistema. Para cada uno de estos, se realizó una clasificación en funcionales y no funcionales. Además, se identificó si correspondían a la aplicación móvil o a la plataforma web.

## 3.2.1 Requerimientos Aplicación Móvil

### 3.2.1.1 Requerimientos Funcionales

- R1. Ofrecer un sistema de exploración del entorno utilizando Realidad Aumentada, en que el usuario pueda descubrir puntos de interés ubicados en el campus de la Universidad de Concepción.
- R2. Proporcionar un mapa de la Universidad de Concepción, en el que se encuentren identificados los puntos de interés.
- R3. Almacenar y desplegar al usuario un conjunto de elementos multimedia asociados a un punto de interés. Estos medios pueden ser fotografías, videos, documentos, texto y enlaces a sitios web.
- R4. Generar para los puntos de interés almacenados una línea de tiempo utilizando los elementos multimedia que tienen asociados. Estos, deben ordenados según la fecha registrada.
- R5. Incluir la opción de cambiar el idioma a inglés, para facilitar el uso de la aplicación a potenciales turistas extranjeros.

### 3.2.1.1 Requerimientos No Funcionales

- R1. Obtener la ubicación en la que se encuentra el usuario utilizando GPS.
- R2. Utilizar técnicas y elementos asociados a Realidad Aumentada para desplegar información del campus universitario.
- R3. Utilizar una perspectiva de Realidad Aumentada, en que utilizando la cámara del dispositivo se puedan explorar pistas asociadas a los puntos de interés o, en su defecto, reconocer mediante imágenes espacios o edificios.
- R5. El mapa utilizado en la aplicación debe incorporar los caminos y calles existentes en el barrio universitario.

## 3.2.2 Requerimientos Plataforma Web

### 3.2.2.1 Requerimientos Funcionales

R1. La plataforma de administración debe proveer la funcionalidad de consultar, modificar, eliminar y agregar nuevos puntos de interés y elementos multimedia asociados al campus de la Universidad de Concepción.

R2. Proporcionar una forma en que las personas puedan subir contenido multimedia asociados a algún punto de interés, contribuyendo a ampliar la información disponible para la aplicación móvil.

R3. Implementar un sistema de filtro de contenidos publicados por la comunidad. Los medios e información publicados por la comunidad deben quedar en espera de la aprobación por parte de un moderador. La aprobación del moderador permite que el contenido sea visible de forma global.

### 3.2.2.1 Requerimientos No Funcionales

R1. La facultad de acceder a la plataforma para modificar la información debe estar restringida solo a los usuarios autorizados.

R2. Los cambios realizados en la plataforma deben reflejarse en un repositorio de datos que, a su vez, proveerá el contenido para la aplicación móvil.

## 3.2.3 Requerimientos Modelo de Datos y de Arquitectura

En lo que respecta al modelo de datos es requerido que el diseño de este considere la presencia de varias capas de información. Aun cuando el proyecto está limitado a trabajar una perspectiva histórica de la información del campus universitario, esto tiene propósito de dejar abierta la posibilidad de incluir en un trabajo futuro otras capas de información relacionadas a la Universidad o bien, utilizar la estructura de los datos para desarrollar un sistema similar enfocado a otros espacios urbanos como una ciudad.

Por otra parte, la arquitectura del sistema debe soportar la comunicación de información entre el repositorio de datos, la plataforma web y la aplicación móvil. Además, debe tener la capacidad de almacenar los diferentes elementos multimedia y proveer un desempeño apropiado para tipo de conexión a internet que dispondrán los usuarios al momento de recorrer el campus universitario, que probablemente será desde redes móviles 3G y 4G.

### 3.3 Diagramas de Casos de Uso

Con el fin de identificar de mejor forma las interacciones que realizarán los usuarios con el software, se confeccionaron los diagramas de casos de uso para la aplicación móvil como para la plataforma web del sistema.

En los diagramas se incluye un indicador del requerimiento funcionalidad que está relacionado con el caso de uso descrito.

#### 3.3.1 Diagrama Casos de Uso Aplicación Móvil

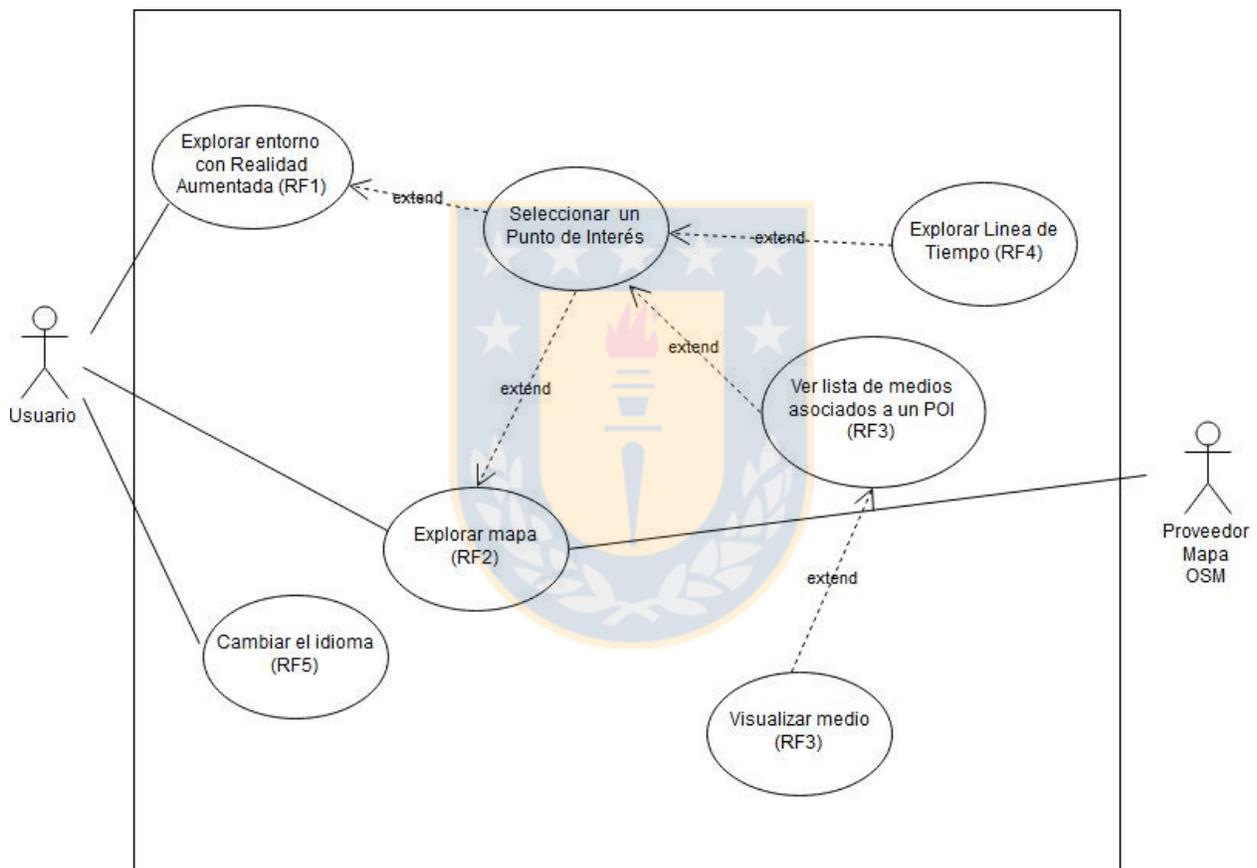


Figura 16: Diagrama Casos de Uso Aplicación Móvil

Del diagrama se identifica al actor “usuario” como el público general al que está destinada la aplicación móvil. También aparece en el diagrama el actor *Proveedor Mapa OSM* que hace referencia a un servicio externo a la aplicación utilizado para obtener un mapa basado en *Open Street Map*.

### 3.3.2 Diagrama Casos de Uso Plataforma Web

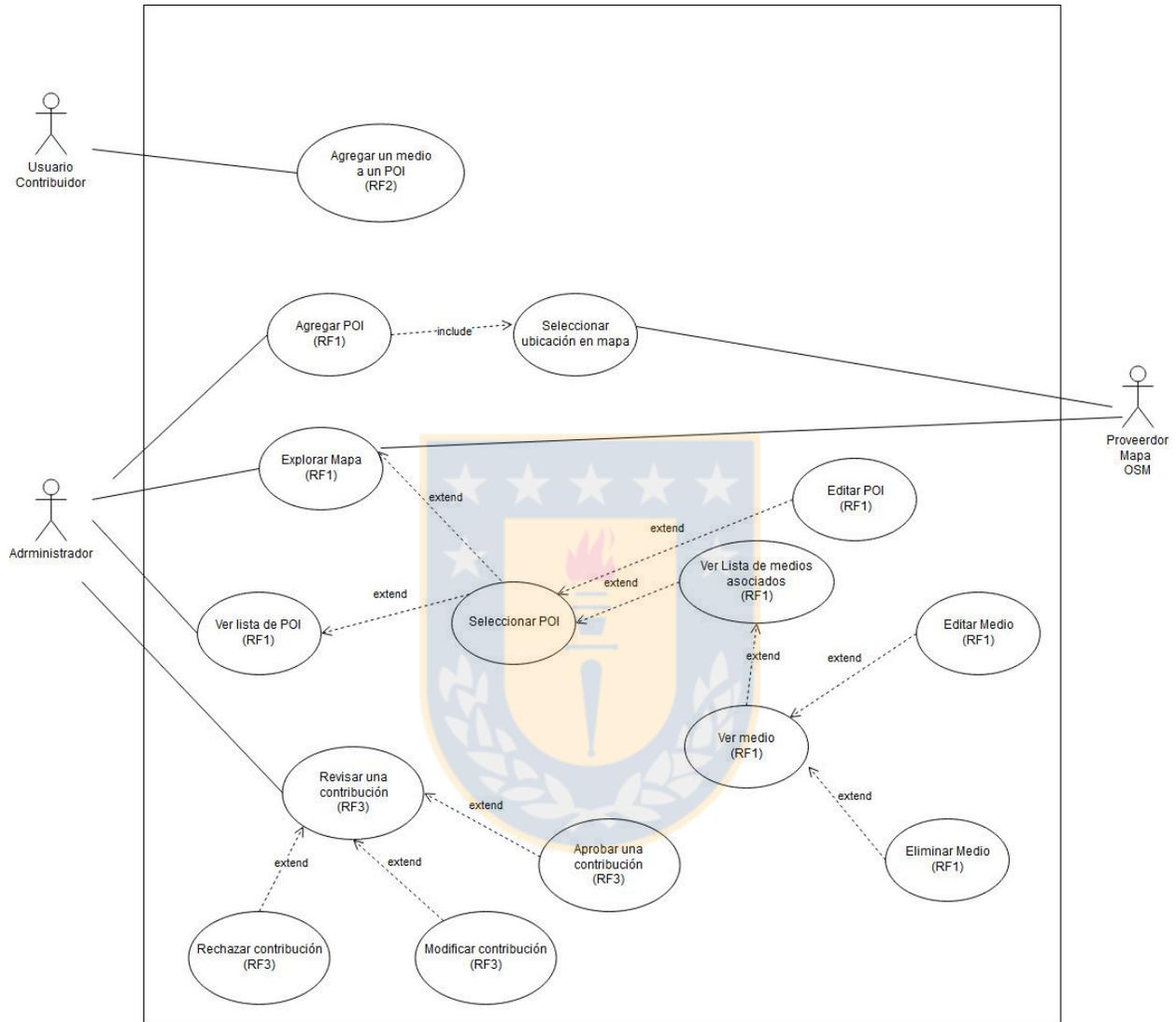


Figura 17: Diagrama Casos de Uso para la plataforma web.

Junto con el actor *Proveedor Mapa OSM*, aparecen en el diagrama dos tipos de usuario. El primero denominado *Usuario Contribuidor* está asociado a las personas que contribuirán con elementos multimedia. Por otra parte, el usuario *Administrador* hace referencia a aquellos responsables de gestionar la información almacenada y las contribuciones hechas por las personas de la comunidad.

### 3.4 Arquitectura de Software

En lo que concierne a la arquitectura del software y teniendo en cuenta los elementos que éste debe tener se decide utilizar como paradigma base una arquitectura de tipo *Cliente-Servidor*.

Este tipo de arquitectura provee una pauta de diseño bastante apropiada al proyecto, dado que la Aplicación Móvil en este caso operaría como cliente, solicitando la información a un servidor. La información de este servidor es actualizada de manera regular debido a la interacción de éste con otro cliente que sería la plataforma web de administración. Con los datos recibidos por la Aplicación Móvil del servidor, es posible construir el tour en Realidad Aumentada y ser desplegado al usuario para cumplir el propósito del software en discusión.

A continuación, se presenta un diagrama asociado a la arquitectura diseñada para el sistema.

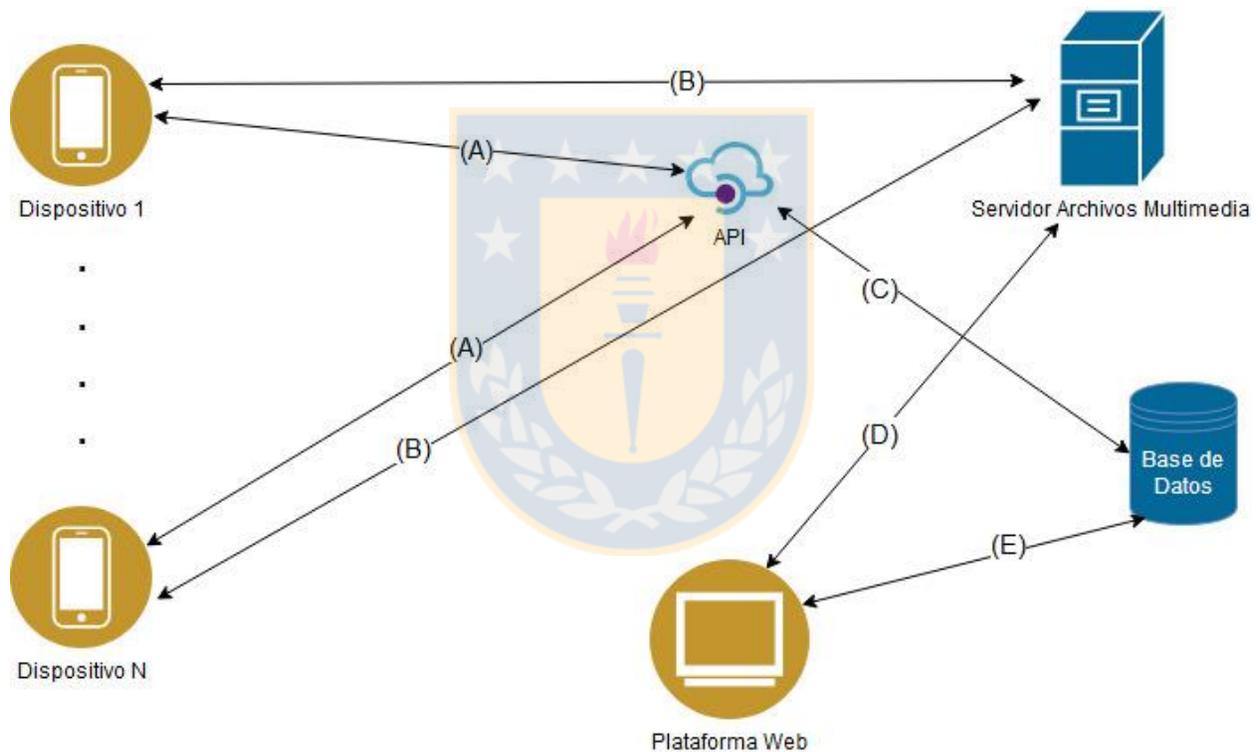


Figura 18: Diagrama de la arquitectura propuesta para el sistema.

Los elementos que interactúan dentro del esquema planteado son los siguientes:

- Dispositivos: Hace referencia a los diferentes smartphones sobre los que funcionará la aplicación móvil.
- Plataforma Web: Componente a través del cual se realizan operaciones sobre los datos asociados a los puntos de interés y multimedia.
- Servidor Archivos Multimedia: Almacena los archivos de imágenes, videos y documentos.

- Base de Datos: repositorio en el que se guarda la información provista por medio de la plataforma web. Para los archivos multimedia, se almacena la ruta del archivo en el servidor mencionado anteriormente.
- API: Permite la interacción entre la base de datos y la aplicación móvil. Es utilizada por esta última como intermediario para acceder a los datos almacenados en el repositorio.

Adicionalmente en la *Figura 15* se identifican varias instancias de comunicación entre los componentes de sistema, los cuales se detallan a continuación.

- (A): La aplicación móvil a través de una petición http solicita los datos almacenados. La API le responde enviando estos en formato JSON.
- (B): Transferencia de los archivos solicitados por la aplicación que se encuentran alojados en el servidor.
- (C): Consulta a la base de datos por parte de la API.
- (D): Transferencia de archivos entre la plataforma web y el servidor.
- (E): Consulta a la base de datos desde la plataforma web.

El diseño de la aplicación móvil considera el uso de un repositorio de datos local, el cual mantendrá una copia de los datos presentes en el repositorio remoto. Esto permitirá que la aplicación móvil solo deba conectarse a la API los datos presentes en su repositorio local, pudiendo realizar las demás operaciones sobre los datos sin requerir conectividad a internet. No obstante, sigue siendo necesaria la conectividad para poder descargar los archivos multimedia que el usuario desee consultar.

A continuación, se presenta un esquema con el flujo de información al realizar la sincronización entre las bases de datos local y remota.

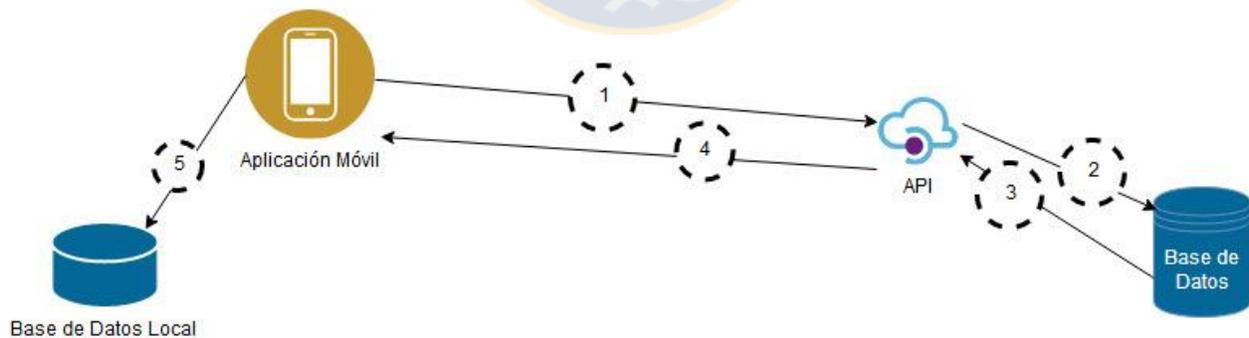


Figura 19: Flujo de datos para la actualización de Base de Datos local.

En la figura 16, se identifica el flujo de información para el proceso de sincronizar el repositorio local con los números del 1 al 5. Al empezar la ejecución de la aplicación envía una petición http a una API (1), luego la API realiza consultas a la base de datos (2) para obtener la información de los puntos de interés, las diferentes capas de información y los elementos multimedia registrados. El repositorio remoto retorna los resultados de las consultas (3) a la API que estructura los datos y los envía en formato JSON (4) hacia

la aplicación móvil. Estos datos son parseados y se compara con la información presente en el repositorio local (5), modificándolo según sea necesario.

La arquitectura propuesta posee varias virtudes que la constituyen como una opción apropiada para el tipo de software a desarrollar. La primera es que facilita el proceso de sincronización de los datos presentes en el repositorio con los utilizados en la aplicación móvil, independiente de la cantidad de dispositivos. Junto con ello, todas las modificaciones que se realicen a través de la plataforma web y los archivos subidos se incorporan de forma sencilla a la aplicación móvil sin necesidad de generar una nueva versión de ésta.

Otra de las ventajas del diseño propuesto tiene que ver con la escalabilidad del sistema. Uno de los elementos a considerar en caso de que aumente la cantidad de información y la cantidad de archivos es el espacio de disco necesario, debido a que un conjunto grande de fotografías o vídeos puede llegar a utilizar varios *gigabytes*. Sin embargo, al mantener los archivos de mayor tamaño como las imágenes, documentos y los vídeos en un servidor el problema del espacio es más fácil de abordar, ya que solo se requeriría proveer un servidor de mayor capacidad. En el caso de tener todos los archivos almacenados de forma local, la limitante estaría en la capacidad de almacenamiento de los teléfonos, que es mucho más limitada que la de un servidor.

Además, es destacable que el uso de un repositorio local puede favorecer el rendimiento de la aplicación, ya que no se requeriría consultar el repositorio de datos de forma constante para obtener la información de los puntos de interés. Esto ofrece una ventaja considerando que al estar al aire libre recorriendo el campus, los usuarios probablemente estarán en zonas en donde no habrá disponible una red wifi estable y se verán obligados a utilizar las redes de conectividad móvil. No obstante, seguirá siendo necesaria la conectividad para obtener la multimedia asociada a un POI.

Otras alternativas de arquitectura disponible como por ejemplo las arquitecturas de tipo monolíticas o *peer-to-peer* no son propicias para el tipo de desarrollo a utilizar, esto debido a sus rangos principales dificultan proveer las interacciones necesarias para el sistema. En el caso de la arquitectura monolítica no sería posible obtener información para la aplicación móvil desde un servidor remoto y, en caso de plantear un sistema *peer-to-peer*, la presencia de varios nodos que intercambian información no es compatible con el uso de una plataforma web para mantener actualizada la información para cada una de las instancias de la aplicación móvil.

### 3.5 Storyboards Aplicación Móvil

El módulo del software que corresponde a la aplicación móvil presenta un desafío importante para el desarrollo en lo que respecta a la interfaz de usuario. Ésta, debe proveer una dinámica de interacción que permita al usuario explorar su entorno mediante el uso de realidad aumentada, y también, conocer más acerca de los lugares del campus de la Universidad de Concepción y su historia respectiva. En las etapas iniciales del desarrollo se confeccionaron storyboards asociados a las interacciones del usuario con el sistema al momento de utilizar el mapa y también, para el contexto en que el usuario utiliza el modo de exploración del campus con realidad aumentada. Estos storyboards se incluyen en el anexo del informe.

## 3.6 Modelo de Datos

El modelo de datos de este software debe proveer el soporte necesario para almacenar la información asociada a los Puntos de Interés. Estos, se entienden como una ubicación geográfica que asociada a un lugar del *mundo real* que posee relevancia o información de interés para el usuario.

Los puntos de interés, que denominaremos *POI* utilizando las siglas en inglés para *Point of Interest*, tendrán asociados fotografías, vídeos, documentos y enlaces a sitios web que complementarán la información en texto asociada al lugar. El modelo de datos también debe permitir representar estos elementos de forma adecuada y organizarlos de una manera eficiente.

Si bien el tipo de información que busca almacenar el sistema es de carácter histórico, asociado a una dimensión temporal, dentro de los requisitos del diseño y objetivos del proyecto se encuentra el desafío de sentar las bases para una expansión del sistema a otras “capas de información” que podrían estar asociadas a servicios, admisión universitaria, horarios y asignación de salas, arte y cultura, etc. Por ello, el modelo debe aterrizar y organizar los conceptos de *POI*, capas de información y *Medios*, proveyendo una base sólida y escalable como punto de partida para la solución software propuesta.

A continuación, se presenta el diagrama de clases UML asociado al modelo de datos.



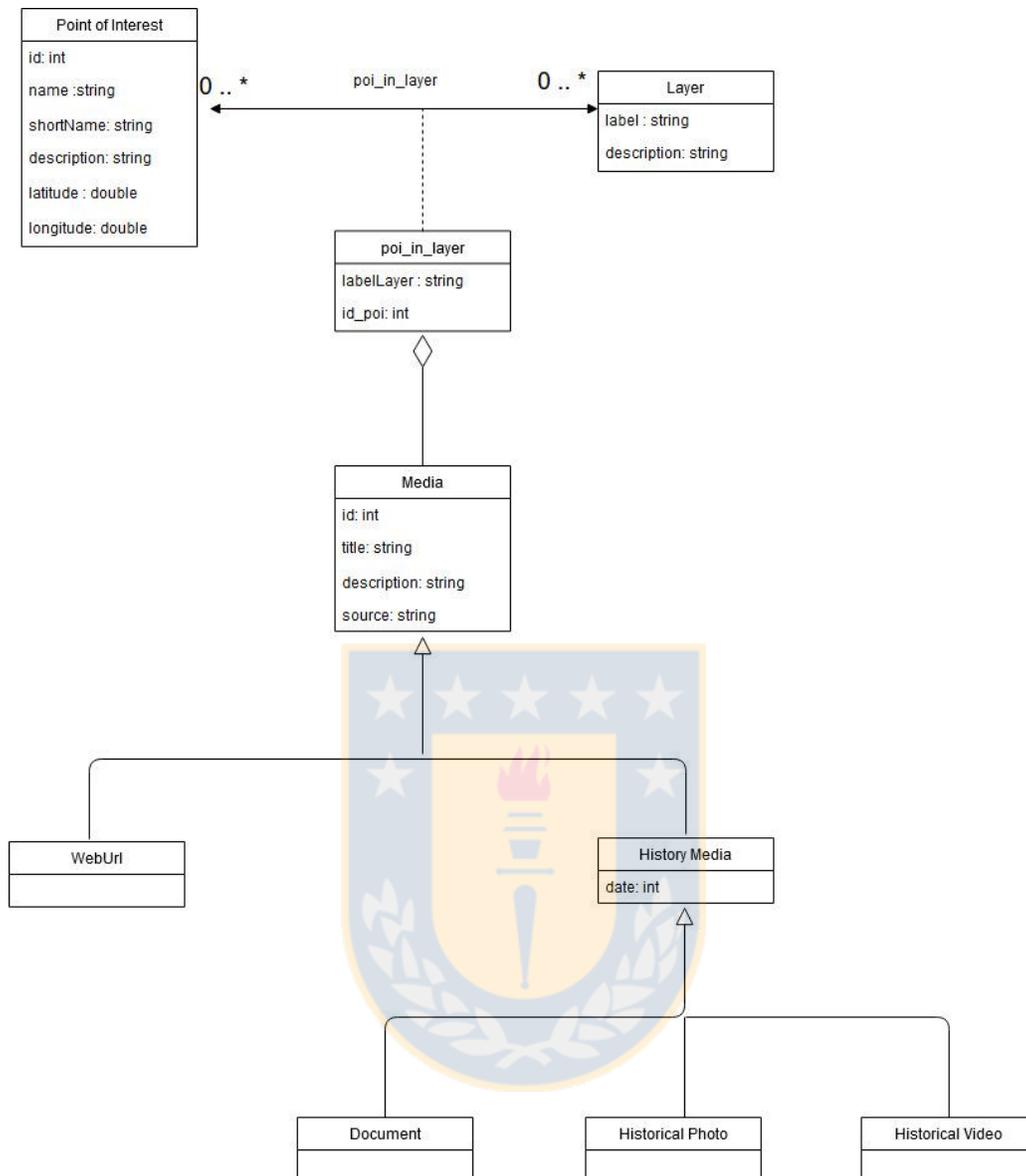


Figura 20: Diagrama de Clases UML del modelo de datos

Con el diseño propuesto, las capas de información (Layer), los *POI* (*Point of Interest*) y los elementos multimedia (*Media*) tienen las siguientes asociaciones y restricciones:

- Un *POI* puede estar asociado a diferentes capas de información. Por lo tanto, no es necesario almacenar posiciones geográficas duplicadas en caso de que un lugar pudiera estar considerado en más de una capa de información.
- Al consultar por los elementos multimedia de un *POI* es posible diferenciar a que capa de información pertenecen utilizando el identificador de cada instancia de capa.

- Los elementos multimedia a almacenar son enlaces web (WebUrl), documentos (Document), fotografías (Historical Photo) y videos (Historical Video). La única diferencia entre la clase Media con la clase History Media es la presencia del atributo fecha, que indica el año asociado a ese tipo de elementos multimedia.
- En el modelo los elementos multimedia solo puedan estar relacionados a un punto de interés y a una capa de información.

## 4. Método de Desarrollo

El método utilizado para el desarrollo de la aplicación software posee un enfoque iterativo e incremental. El plan de desarrollo estaba enfocado a construir una serie de prototipos, en lo que cada uno de estos debía cumplir con un conjunto de objetivos asociados a una funcionalidad del software. Esto, con la finalidad de ir consiguiendo módulos funcionales que pudieran ser integrados posteriormente para satisfacer de manera plena los requerimientos del sistema. Esta estrategia de desarrollo se adoptó teniendo en consideración el desconocimiento en el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada y, específicamente, de la plataforma Wikitude.

No se utilizó una metodología de desarrollo formal debido a que el equipo de desarrollo estaba compuesto solo por una persona.

En las siguientes secciones se especifican las herramientas utilizadas durante del proceso de desarrollo y el detalle de los prototipos obtenidos.

### 4.1 Herramientas Utilizadas

#### 4.1.1 Plataforma de desarrollo Aplicación Móvil

En lo que respecta a la aplicación móvil el desarrollo se realizó para el sistema operativo *Android*, utilizando Java como el lenguaje de programación principal. Esto debido a la disponibilidad de un smartphone con este sistema operativo, experiencia previa en el desarrollo de aplicaciones móviles para esta plataforma y el no contar con los implementos para realizar un desarrollo en iOS.

#### 4.1.2 Herramientas de Desarrollo

En el caso de la base de datos remota, se creó una utilizando MySQL, estando alojada en un servidor basado en Apache. La base de datos local, en cambio, utiliza SQLite.

La plataforma web, responsable de la gestión del contenido, está construida utilizando las siguientes herramientas:

- HTML.
- CSS.
- Javascript.
- Bootstrap 3.
- Vue JS 2 (framework front-end) .[29]
- Leaflet: librería javascript para el uso de mapas. [30]
- Plantilla de dashboard Octopus. [31]
- Tinify API: utilizada para compresión de imágenes.[32]

Para la aplicación móvil, se utilizaron las siguientes librerías para apoyar el desarrollo.

- Osmdroid. [33]
- Android Timeline view. [34]
- Discrete seekbar [35]
- PhotoView [36]
- Volley. [37]
- Picasso. [38]
- Android Videocache. [39].
- Leaflet Routing Machine [41]
- JQuery Mobile. [42]
- Leaflet Clustering. [43]



#### 4.1.3 Tipo de Mapa Utilizado

Se tomó la decisión de utilizar mapas basados en Open Street Map (*OSM*) debido a que poseen más información acerca de los caminos internos y la infraestructura del campus de la Universidad de Concepción. Estos, comparados con otros mapas disponibles como, por ejemplo, el provisto por Google, en que muchos de los caminos internos de la universidad no se encuentran registrados.

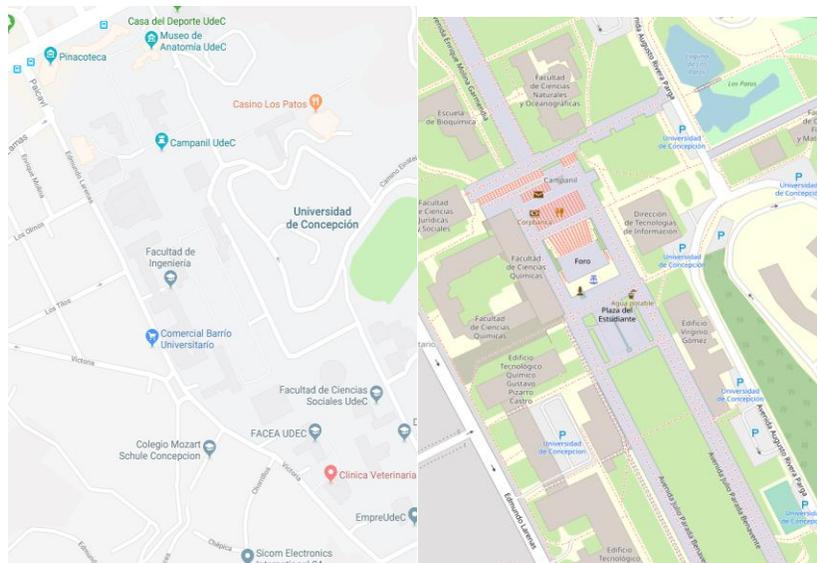


Figura 21: Mapa del campus UdeC provisto por Google (izquierda) y provisto por Open Street Maps (derecha).

Para trabajar con Open Street Maps es necesario un proveedor de *Tiles (mosaicos)*, que constituyen los elementos visuales del mapa. Existe un proveedor por defecto, pero posee una política estricta para evitar el abuso de recursos provistos por los servidores. Se decidió utilizar el servicio de Mapbox [44] que, dentro de sus ventajas, posee la opción de personalizar el estilo del mapa de forma sencilla. No obstante, al ser una solución comercial, tienen una cantidad límite de operaciones que se pueden realizar de manera gratuita.

#### 4.1.5 Hardware de Pruebas

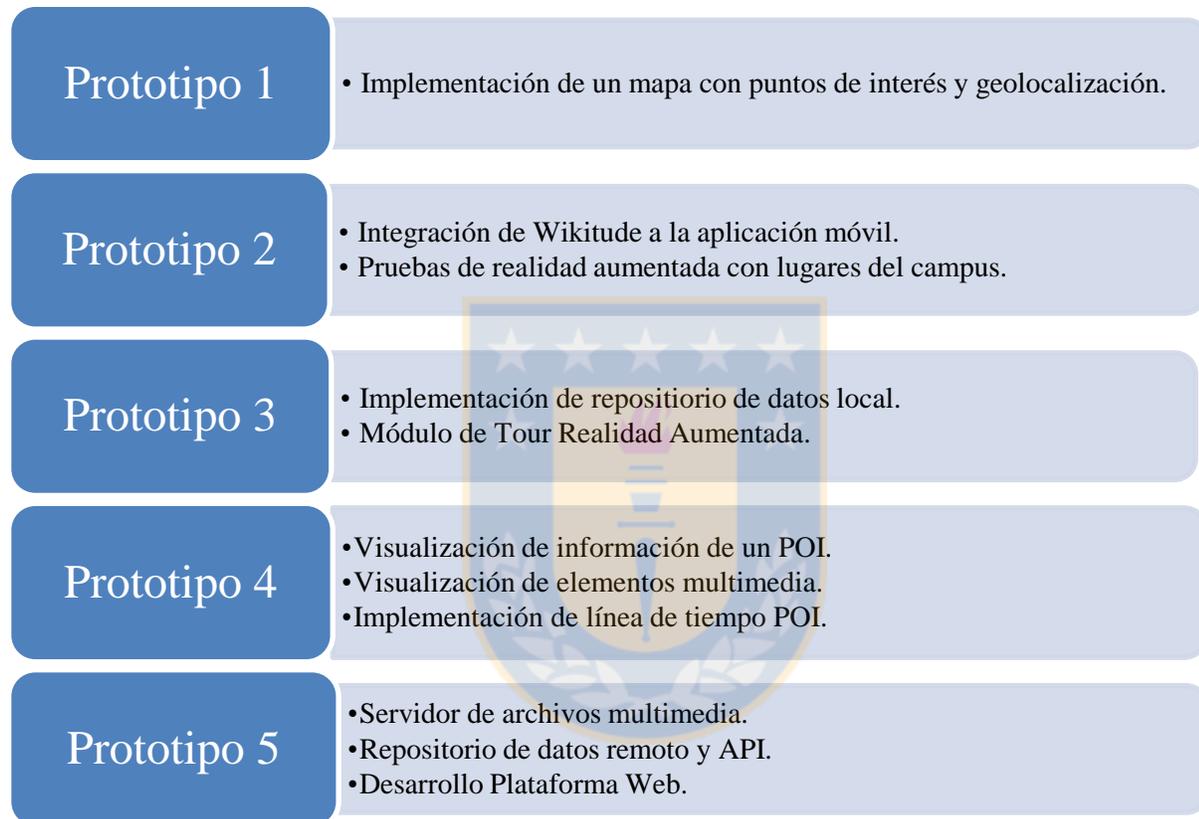
El dispositivo utilizado para el desarrollo de la aplicación corresponde al teléfono Xiaomi Mi A1, ejecutando Android 9.0 Pie. A continuación, una ficha técnica resumida del equipo [42]:

<b>Chipset</b>	Qualcomm MSM8953 Snapdragon 625
<b>CPU</b>	Octa-core 2.0 GHz Cortex-A53
<b>GPU</b>	Adreno 506
<b>RAM</b>	4 GB
<b>GPS</b>	Si
<b>Sensores</b>	Acelerómetro, Giroscopio, Proximidad.

Tabla 3: Ficha Técnica Xiaomi Mi A1

## 4.2 Desarrollo de Prototipos

En esta sección se presentan los diversos prototipos obtenidos a partir del proceso de desarrollo. Se observa un esquema resumen del cumplimiento de hitos en la *Figura 22* y cada uno de los prototipos se detallan posteriormente



*Figura 22: Esquema de cumplimiento de hitos para cada prototipo.*

### 4.2.1 Prototipo 1

El primer prototipo generado tenía su enfoque en la implementación de un mapa junto con un conjunto de puntos de interés señalados sobre él. Esta iteración permitió explorar las capacidades de la librería Osmroid complementada con Open Street Maps. Por otra parte, se realizaron las primeras pruebas con relación al uso de la ubicación provista por los sensores del teléfono.

## Resultados

- Implementación de un mapa basado en *OSM*. El mapa tiene algunos puntos de interés registrados y está limitado al área de la universidad.
- Identificación del procedimiento para solicitar los permisos para utilizar una ubicación de alta precisión en Android.
- Modelo inicial de los Puntos de Interés. Se simula la obtención desde un proveedor de información.
- Al presionar el marcador en el mapa, se dirige a otra ventana de acuerdo con el lugar seleccionado.

## Dificultades Encontradas

- La solicitud de permisos resulta bastante engorrosa, ya que existen diferencias dependiendo de la versión de Android del dispositivo.
- El plan inicial era utilizar un mapa que no necesitará conectividad online, sin embargo, el proceso para mantener de manera local los archivos tiene complicaciones y tampoco es sencillo obtener mosaicos de calidad para el mapa.

Adicionalmente, se identifica que será necesario utilizar el perfil de ubicación de alta precisión de Android. Ya que, de lo contrario la precisión está dentro del rango de 100 metros, lo cual es insuficiente pensando en el tour de realidad aumentada.



*Figura 23: Mapa con puntos de interés*

## 4.2.2 Prototipo 2

Esta iteración tenía por objetivo aprender a utilizar el SDK provisto por Wikitude. Para ello se revisaron los diversos ejemplos provistos en la documentación para utilizarlos como punto de partida para el desarrollo de las funcionalidades de RA.

### Resultados

- Integración exitosa de la API de Wikitude y ejecución correcta de los ejemplos.
- Prueba exitosa de la funcionalidad de RA utilizando la ubicación del dispositivo y ubicando como puntos de interés georreferenciados lugares del campus universitario.

### Dificultades

- Si bien el código fuente de los ejemplos provistos por Wikitude está disponible, la documentación es poco clara lo que dificulta el aprendizaje de la plataforma y modificar los ejemplos.
- Los marcadores de los lugares en la realidad aumentada se ven muy grandes, aun cuando están lejos, y se superponen dificultando su identificación.



*Figura 24: Pista asociada a un POI del campus Universitario.*



*Figura 25: Superposición de los marcadores asociados a los POI.*

### 4.2.3 Prototipo 3

La siguiente iteración continuó centrada en los casos de uso asociados a la realidad aumentada. El objetivo general era incluir más elementos a la interfaz con el fin de apoyar al usuario en su exploración por el campus. Por otra parte, se implementó la base de datos local para que almacene la información de los POI.

#### Resultados

- Integración de un mapa desplegable con los POI en la pantalla de realidad aumentada.
- Elaboración de una lista de los lugares ordenados de mayor a menor distancia.
- Ajustes en la escala de los objetos virtuales, en base a la distancia a la que se encuentran del usuario.
- Construcción de una base de datos SQLite con las tablas de asociadas a los POI, elementos multimedia y capas de información.
- Poblamiento del repositorio de datos local con información de puntos de interés asociados al campus universitario.

#### Dificultades

- La interfaz del sistema de realidad aumentada está implementada con JQuery Mobile, lenguaje que no ofrece mucha variedad de elementos para diseñar la interfaz.
- Los marcadores de los puntos de interés se mueven bastante en la pantalla, aún no se encuentra una escala para modificar el tamaño de las pistas que funcione correctamente en todos los escenarios.



Figura 26: Pistas asociadas a los POI cambian el tamaño de acuerdo a la distancia.



Figura 27: Lista de lugares desplegable en el modo de realidad aumentada.

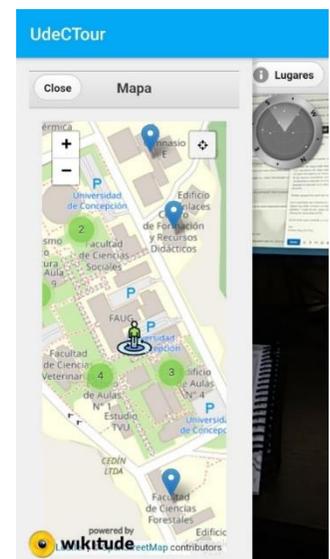


Figura 28: Mapa implementado en la vista de realidad aumentada.

## 4.2.4 Prototipo 4

Este prototipo estuvo centrado principalmente en la creación de las pantallas en el sistema Android que desplegaran la información del POI, los elementos multimedia asociados y la línea de tiempo. No obstante, también se realizó un revisado a la interfaz del módulo realidad aumentada, generando modificaciones para obtener una mejor experiencia de usuario.

### Resultados

- Pantallas asociadas a la información de un POI y elementos multimedia completadas.
- Inclusión de diferentes íconos para indicar la presencia de un POI.
- Visualización de elementos multimedia exitosa obteniendo los archivos de forma local.
- Diseño e implementación de la línea de tiempo de un lugar, construida dinámicamente a partir de las fotografías y videos con fecha.

### Dificultades

- Implementar la lectura de archivos almacenados en el dispositivo móvil, para luego ser desplegados al usuario en la aplicación.
- Encontrar valores apropiados para escalar el tamaño de las pistas asociadas a los POI en la vista de realidad aumentada.
- Diseñar la línea de tiempo de manera que funcionase tanto en orientación vertical como horizontal.



Figura 29: Cambio de iconos utilizados como pistas en la exploración con RA.



Figura 30: Línea de tiempo del POI Campanil.



Figura 31: Detalle de una fotografía asociada al Campanil.

## 4.2.5 Prototipo 5

El objetivo del prototipo apuntaba a trasladar al sistema desde un entorno local a la arquitectura diseñada con un servidor web y una base de datos remota que alimenta la base de datos local. Junto con ello se construye la plataforma web para manipular la base de datos y gestionar los elementos multimedia. Finalmente se vuelve a revisar el tour de realidad aumentada, probando diferentes configuraciones de escala y agregando nuevas funcionalidades.

### Resultados

- Levantamiento de un servidor de archivos.
- Implementación de la plataforma web de administración y una base de datos remota.
- Elementos multimedia mostrados en la aplicación móvil son obtenidos desde el servidor y ya no se almacenan de forma local.
- Subida de fotografías y medios obtenidos desde el sitio web del Archivo Fotográfico de la Universidad de Concepción y también de otras fuentes varias de información.
- Inclusión de rutas hacia el destino en el modo de Realidad Aumentada.
- Ajustes de tamaño de los marcadores en puntos de interés.

### Dificultades

- El diseño del algoritmo para actualizar la base de datos local manteniendo los datos que ya se encontraban ingresados.
- El sistema de rutas implementado en la realidad aumentada no funciona de manera correcta y en muchos casos las rutas entregadas son para automóvil.
- Mantener en caché del dispositivo elementos multimedia como un vídeo, de manera que al recorrer la interfaz no deba volver a descargarse.

## 5. Demostración de la Implementación

A continuación, se presentan una serie de capturas de pantalla que muestran el estado de implementación de algunas de las funcionalidades más representativas de la aplicación software desarrollada.

Para instalar la aplicación móvil en un dispositivo Android se debe descargar el archivo apk desde este enlace <https://goo.gl/JfY7FK>.

La plataforma web se encuentra en la dirección <http://157.230.155.244>. Para acceder se provee la siguiente cuenta:

- Usuario: “revision” (sin comillas).
- Clave: “dFwdVo8z” (sin comillas).

## 5.1 Aplicación Móvil

La aplicación móvil tiene implementados tanto la exploración mediante el mapa como la exploración con realidad aumentada del Campus de la Universidad de Concepción.

Al acceder al mapa aparecen sobre este un conjunto de marcadores que identifican los puntos de interés pertenecientes al campus (Fig. 32). Al interactuar con ellos el usuario accede a la información almacenada con respecto a ese POI, en la que se incluye una descripción (Fig. 33), una lista de elementos multimedia (Fig. 34) y a línea de tiempo asociada. (Fig. 35, 36).

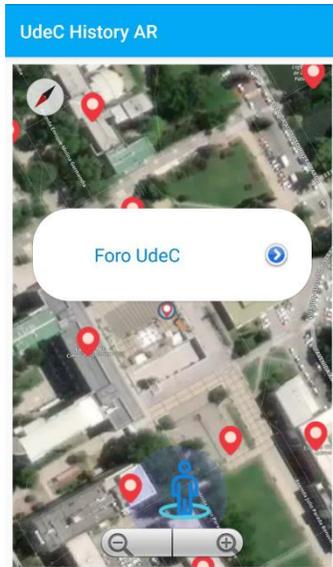


Figura 32: Mapa del campus con POI identificados.



Figura 33: Descripción de un POI.



Figura 34: Lista de elementos multimedia asociados a un POI.



Figura 35: Línea de Tiempo asociada a un POI en formato vertical.



Figura 36: Línea de Tiempo asociada a un POI en formato horizontal.

Al presionar el usuario algún objeto del listado de elementos multimedia (Fig. 37) o de la línea de tiempo se desplegará una vista más detallada de la información perteneciente a ese medio. La figuras ejemplifican esto mostrando el detalle de una fotografía (Fig. 38, 40) y de un vídeo (Fig. 39).



Figura 37: Listado de fotos asociadas a un POI



Figura 38: Vista más detallada de una fotografía.



Figura 39: Detalle de un vídeo asociado a un POI.



Figura 40: Detalle de una fotografía al ser consultado desde la línea de tiempo.

En el caso de utilizar la experiencia de realidad aumentada, el usuario verá en la pantalla de su dispositivo pistas que indican los POI que se encuentran en el campus universitario. Las pistas aparecen en base a ubicación provista por el GPS y la orientación en que se encuentra el teléfono.



*Figura 41: Descubrimiento de POIs en las cercanías del Edificio de Sistemas.*



*Figura 42: Descubrimiento de POIs en el área próxima a la Facultad de Derecho.*

Adicionalmente el usuario puede consultar una lista de lugares que se despliega a la derecha de la pantalla (Fig. 43) o el mapa del campus que se despliega en el sector izquierdo (Fig. 44). Al presionar un lugar de la lista este se considerará “seleccionado”, desplegando en el mapa una ruta a seguir para llegar a ese lugar (Fig. 45).

Si se presiona la pista asociada a un POI aparecerá una ventana con el nombre, una fotografía y una breve descripción del lugar (Fig. 46). Si el usuario oprime el botón “Ver más información” aparecerán las mismas pantallas asociadas a la información del POI (Fig. 33,34,35) y que fueron descritas anteriormente.

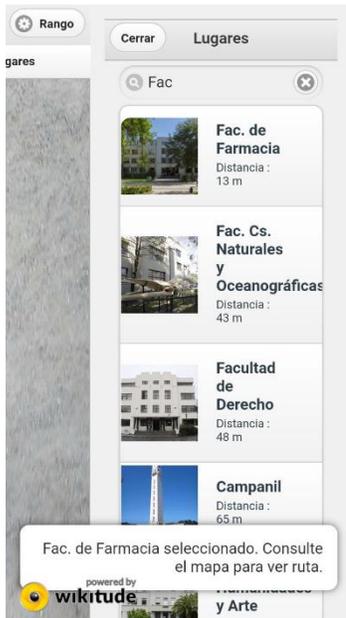


Figura 43: Lista de lugares disponible en el modo de RA.

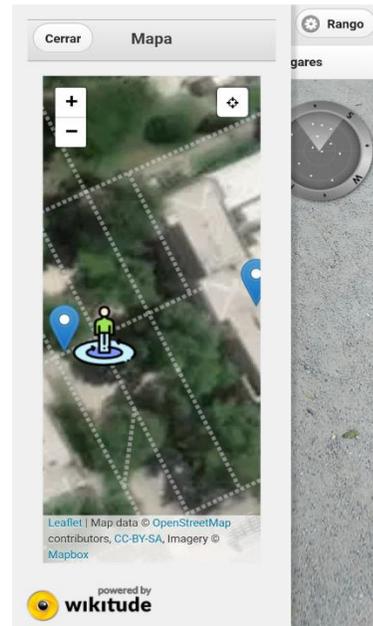


Figura 44: Mapa del campus universitario disponible en el modo de RA.



Figura 45: Ruta en el mapa hacia un POI.

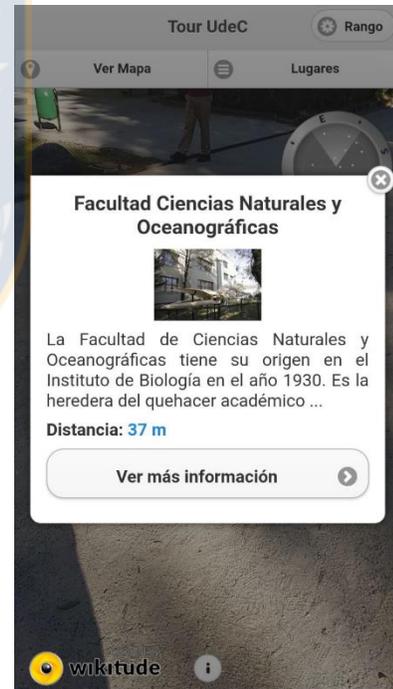


Figura 46: Información del POI desplegada al momento de presionar la pista asociada a este.

## 5.2 Plataforma Web

Respecto a la plataforma web, inicialmente se despliega una tabla con los puntos de interés y una vista del mapa de la Universidad de Concepción.

Lista de Lugares

Filtrar:  Registros: 10

Nombre	Latitud	Longitud
Campanil Universidad de Concepción	-36.82853	-73.037237
Biblioteca Central Luis David Cruz Ocampo	-36.832137	-73.035124
Edificio de Aulas Salvador Gálvez	-36.831658	-73.033898
Laguna de los Patos	-36.827943	-73.03611
Facultad de Ciencias Químicas	-36.829111	-73.037512
Facultad de Farmacia	-36.82814	-73.037915
Arco Universidad de Concepción (Fac. de Cs. Biológicas)	-36.826966	-73.038346
Casa del Arte (Pinacoteca)	-36.82738	-73.03933
Casa del Deporte	-36.82661	-73.03685
Facultad de Odontología	-36.82532	-73.03679

Mapa de la Universidad de Concepción con marcadores de puntos de interés.

Figura 47: Listado de Puntos de Interés y mapa.

Al seleccionar uno de los POI, se accede a la información descriptiva del lugar, sus coordenadas y los elementos multimedia asociados.

Biblioteca Central Luis David Cruz Ocampo

Información Multimedia

<b>Nombre oficial:</b> Biblioteca Central Luis David Cruz Ocampo
<b>Nombre Abreviado:</b> Biblioteca Central
<b>Latitud:</b> -36.832137
<b>Longitud:</b> -73.035124
<b>Descripción:</b> El edificio central, conocido como Biblioteca Central, se llama Biblioteca Luis David Cruz Ocampo, en honor a su primer director. Originalmente estaba situada en la calle Barros Arana #1068, y contaba con 2.900 volúmenes, de los cuales la mayoría correspondía a textos relacionados con el Derecho. Sin embargo, en 1972 se trasladó permanentemente al campus de la Universidad, en donde permanece hoy en día en la Casa Central al edificio Biblioteca Luis David Cruz Ocampo. La Biblioteca Central Luis David Cruz Ocampo tiene

Figura 48: Vista de los datos del POI.



Figura 49: Vista resumen de la multimedia asociada al POI.

También la plataforma web cuenta con las funcionalidades para agregar un nuevo POI o editar los existentes.

Figura 50: Formulario para agregar un punto de interés.

**Editar Lugar**

Nombre Lugar:  
Arco Universidad de Concepción (Fac. de Cs. Biológicas)

Nombre Abreviado :  
Arco Udec

Descripción:  
El Arco Universidad de Concepción, antiguamente llamado Arco de Medicina, es una edificación construida como entrada principal a la Ciudad Universitaria de Concepción, Chile.  
El antiguo nombre de la construcción se debe a que allí se ubicaba antiguamente la Facultad de Medicina de la Universidad. Actualmente, sin embargo, ésta es una carrera de Bioingeniería, junto con programas de magíster y doctorado. La Facultad de Medicina, por su parte, ahora se sitúa al frente del Arco Universidad de Concepción, en las aulas de clase, auditorios, laboratorios, una biblioteca de ciencias biológicas y algunos departamentos de dicha facultad.  
El Arco Universidad de Concepción es considerado un hito urbano en la ciudad de Concepción.

Latitud:  
-36 826966

Longitud:  
-73 038346

Restaurar Ubicación



Cambiar Foto Principal:  
Examinar... Ningún archivo seleccionado.

Actual :

*Figura 51: Formulario para edición de un POI.*

Además, la plataforma posee la capacidad de agregar diferentes elementos multimedia. En la Figura 52, se presenta el formulario utilizado para agregar imágenes.

**Agregar Imagen**

Punto de Interés:  
Edificio de Aulas Salvador Gálvez

Título de la Imagen:

Descripción:

Fecha:

Agregue una Imagen

Enviar

*Figura 52: Formulario para agregar una imagen a POI.*

## 6. Pruebas de Usuarios

Con el fin de obtener retroalimentación acerca del prototipo desarrollado y evaluar cualitativamente el rendimiento de la aplicación, comportamiento de la conectividad, usabilidad y satisfacción por parte de los usuarios finales se llevó a cabo una actividad en la que diferentes usuarios pudieran utilizar la aplicación móvil.

Para realizar estas pruebas, se juntó a un grupo de 7 personas quienes por alrededor de una hora utilizaron la aplicación en el campus de la Universidad de Concepción, llevando a cabo un conjunto de tareas enfocadas a probar las distintas funcionalidades provistas por la aplicación.

Cabe destacar que del grupo que realizó las pruebas, dos personas tenían más de 50 años y una de ellas menor a 18 años. Las demás personas pertenecen a un rango de edad situado entre los 20 y 24 años, que es representativo de la población universitaria.

Utilizando como base los cuestionarios desarrollados por IBM [43] para evaluar productos software, se preparó un conjunto de tareas que los usuarios debían realizar y, a medida que iban finalizando, se les preguntaba su opinión acerca de la experiencia con el sistema.

Las tareas que utilizaron fueron las siguientes:

- T1. Usando el modo mapa de aplicación explorar el campus y encontrar la Biblioteca Central, la Laguna de los Patos y el Foro.
- T2. Ver la información almacenada acerca del Foro de la Universidad de Concepción.
- T3. Estando en el modo de Realidad Aumentada., consultar el mapa provisto para identificar en que parte del campus se encuentra.
- T4. Busca un lugar en la lista de puntos de interés y llegar hasta donde se encuentra. Consultar la ruta con el mapa en caso de ser necesario.
- T5. Explorar el entorno utilizando la Realidad Aumentada, con el fin de identificar los puntos de interés cercanos y ver la información que está disponible acerca de ellos.
- T6. Llegar a la ubicación del Campanil y ver un video histórico que es parte de la información que posee este POI.
- T7. Dirigirse a la Facultad de Farmacia y consultar la línea de tiempo asociada al edificio.

Los usuarios evaluaron inicialmente cada una de las tareas según 3 criterios, sugeridos por el cuestionario.

- En general, estoy satisfecho con la facilidad para completar esta tarea (C1).
- En general, estoy satisfecho con el tiempo que tomó realizar la tarea (C2).
- En general, estoy satisfecho con las instrucciones provistas por la interfaz para ayudarme a completar esta tarea (C3).

Cada uno de estos criterios se evaluaba con una escala de 1 a 7. El 1 indicaba estar *totalmente en desacuerdo* con la afirmación, mientras que el número 7 significa estar totalmente de acuerdo con la afirmación.

En el siguiente gráfico se reflejan la calificación promedio hacia las tareas obtenida a partir de la retroalimentación provista por los usuarios.

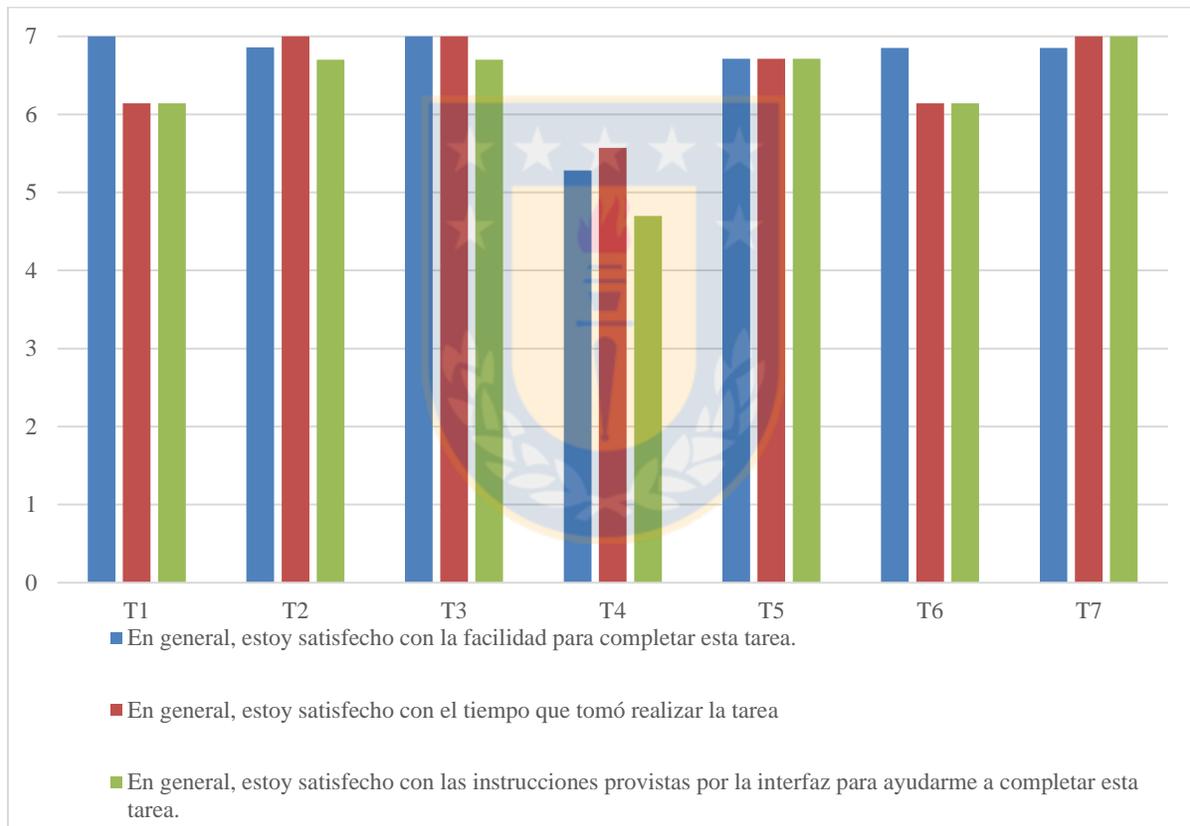


Figura 53: Gráfico de puntajes obtenidos por la aplicación móvil en base a las tareas realizadas.

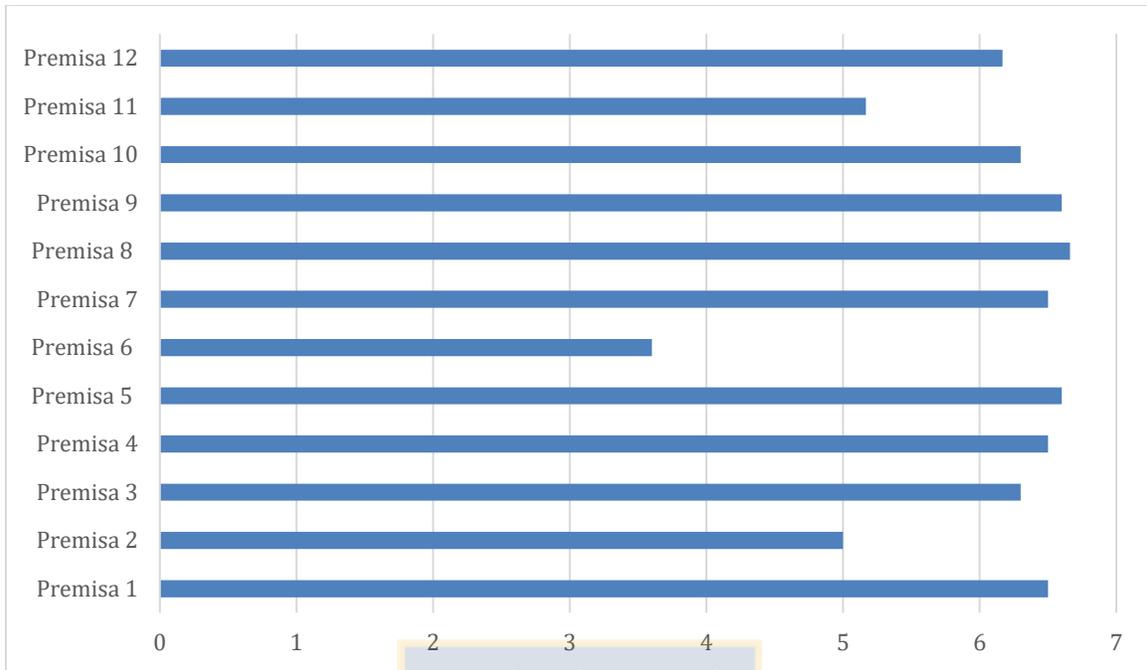
Se identifica que la tarea 4 es aquella que tiene una calificación más baja. Esta acción estaba asociada a llegar a un lugar siguiendo las indicaciones visuales o la ruta propuesta en el mapa. Cuando los usuarios trataban de llegar a un lugar en varias ocasiones no se percataron de que había una ruta dibujada en el mapa y en ciertos casos las indicaciones provistas no eran del todo correctas. Por ello las funcionalidades asociadas a esta tarea son las que requieren una mejora importante. El resto de las actividades a realizar con la aplicación obtuvo una buena apreciación por parte las personas que participaron en las pruebas.

La segunda parte de la evaluación del uso de la aplicación consistió en la entrega de un cuestionario para identificar la apreciación general del software de parte de los usuarios. Al igual que en la evaluación anterior la medición se realiza sobre una escala de 1 a 7, en donde 7 significa estar totalmente de acuerdo y el valor 1 totalmente lo contrario. Adicionalmente, las personas podían dejar un comentario acerca de cada de las afirmaciones que le eran presentadas.

Las premisas que debían valorar los usuarios eran:

- En general, estoy satisfecho(a) con la facilidad de para usar el sistema (P1).
- Pude completar íntegramente las tareas indicadas (P2).
- Pude completar las tareas indicadas de forma rápida (P3).
- Me sentí cómodo(a) usando el sistema (P4).
- Fue fácil aprender a usar el sistema (P5).
- El sistema indicaba mensajes de error que me indicaban cómo resolver los problemas que ocurrían (P6).
- La información provista por el sistema era fácil de entender (P7).
- La información provista era útil para ayudarme a completar las tareas y escenarios (P8).
- La organización de la información en las pantallas del sistema era clara (P9).
- La interfaz del sistema era agradable (P10).
- El sistema tiene todas las funciones y capacidades que esperaba que tuviese (P11).
- En general, estoy satisfecho(a) con el sistema (P12).

El gráfico con los promedios de la valoración realizada a cada una de las premisas se encuentra en el siguiente gráfico.



*Figura 54: Promedios de la evaluación general del software realizada por los usuarios.*

Las 3 afirmaciones en que los usuarios menos concuerdan son:

- Pude completar íntegramente las tareas indicadas (P2).
- El sistema indicaba mensajes de error que me indicaban cómo resolver los problemas que ocurrían (P6).
- El sistema tiene todas las funciones y capacidades que esperaba que tuviese (P11).

Las primeras 2 afirmaciones obtienen esa calificación debido a que, durante el desarrollo de las tareas, la funcionalidad de obtener desde el sistema una ruta presentó varios errores y las indicaciones en el mapa no correspondían a una ruta optimizada. Por ello esa tarea en algunos casos no fue completada del todo y había pocos mensajes de error que explicaran al usuario los fallos que ocurrían y como solucionarlos. De hecho, en ocasiones ocurrían errores extraños con el mapa que no eran recuperables hasta reiniciar el módulo de Realidad Aumentada.

Los comentarios escritos en la evaluación apuntan en general a mejorar la entrega de rutas al usuario. Además, se mencionan algunos problemas al interactuar con las pistas visuales asociadas a los puntos de interés, ya que se mueven levemente de su posición. Esto se debe a los cambios de orientación y el movimiento del teléfono al momento de ser sostenido por la persona y que son captados por los sensores modificando la posición del ícono. Otro elemento sugerido incluir una opción para rotar el mapa que aparece en el módulo de realidad aumentada.

Como ideas para mejorar el sistema, se sugiere un ajuste al diseño de los caminos en el mapa e imitar elementos de la aplicación móvil *Waze* en cuanto a las instrucciones para realizar los recorridos. Ésta es

un sistema de navegación enfocado a automóviles, que entrega las rutas más apropiadas para ir desde un lugar a otro. Cuando el vehículo está en movimiento la pantalla va mostrando indicaciones y señala claramente a que dirección se debe dirigir el usuario.



*Figura 55: Vista del funcionamiento de la aplicación Waze al momento de entregar instrucciones al usuario.*

Elementos adicionales que cabe mencionar son los errores que algunos teléfonos presentaban al ejecutar la aplicación debido a la falta de algún sensor requerido por la realidad aumentada o bien, sensores como la brújula se encontraban mal calibrados y se mostraba de forma incorrecta la ubicación de los puntos de interés. También fue posible observar que algunos de los teléfonos de los usuarios no podían ejecutar fluidamente el módulo de realidad aumentada, debido a limitantes provenientes de la capacidad del hardware o bien, a una posible mala configuración inicial al momento de utilizar la cámara del dispositivo.

No obstante, a pesar de algunos errores y dificultades, la experiencia de los usuarios con la aplicación móvil fue bastante amena. En general encontraron interesante el hecho de poder consultar fotos antiguas del campus de la Universidad de Concepción. No obstante, el uso de la realidad aumentada les llamó bastante la atención y los motivó a empezar a explorar con la aplicación móvil de tal manera que algunos comenzaron a utilizarla al inicio sin aun haberles entregado las tareas a realizar.

## 7. Conclusiones

En el transcurso de este proyecto de memoria de título se ha abordado el desafío de desarrollar un software de tipo aplicación móvil que, mediante el uso de realidad aumentada, pueda acercar a las personas al valor y la riqueza patrimonial que posee el campus de la Universidad de Concepción.

El proceso de desarrollo realizado ha permitido la obtención de un prototipo funcional que utiliza la tecnología de realidad aumentada para invitar a las personas a explorar el campus penquista y conocer la historia de los lugares que tienen frente a sus ojos. A pesar de las limitantes que pueda tener, durante las pruebas realizadas fue bastante evidente como los usuarios disfrutaron la experiencia de observar de una forma diferente un lugar tan emblemático de la ciudad como lo es el campus de la Universidad de Concepción. Junto con ello, se ha implementado una solución cuyo diseño considera la inclusión de diferentes capas de información además la patrimonial o histórica. Adicionalmente, se ha concretado una instancia de interacción para la comunidad en que todos pueden aportar a construir una memoria colectiva acerca del valor patrimonial del campus de la Universidad de Concepción junto con una plataforma web de administración de contenidos.

De la investigación realizada es posible identificar este tipo de tecnología no es algo que se haya inventado hace poco, pero que, debido a la proliferación de dispositivos de computación portátil como lo teléfonos inteligentes, encuentra un contexto propicio para posicionarse con mayor fuerza en la cotidianidad de las personas. De la misma manera, es posible identificar soluciones similares que, mediante el uso de esta tecnología, presentan a los usuarios la información de una ciudad, un campus u ofrecen una mirada a la historia del entorno que les rodea, potenciando el turismo y la difusión de la cultura.

En lo que concierne a los frameworks de desarrollo, luego de haber analizado diferentes opciones, se decidió utilizar Wikitude para construir la sección de la aplicación móvil asociada a la realidad aumentada. Si bien el framework tenía varias ventajas y ponía a disposición varias herramientas, se detectaron algunas falencias durante el desarrollo principalmente en el diseño de las interfaces de usuario. El tipo de lenguaje utilizado para crear las interfaces era bastante limitado en opciones de diseño y era dificultoso expandir las funcionalidades. Por ello, en caso de un nuevo proyecto de estas características sería apropiado volver a valorar las opciones disponibles.

La arquitectura propuesta para el sistema tiene bastantes ventajas que favorecen una buena comunicación y sincronización de los datos entre la plataforma web y las instancias de la aplicación móvil. No obstante, aún podría ser mejorada incorporando la capacidad de mantener ciertos archivos almacenados de forma local en los dispositivos que ejecutan la aplicación, reduciendo aún más la dependencia de la conectividad a internet sin tener que necesariamente comprometer la escalabilidad del sistema.

Se identifican dentro del método de desarrollo algunos elementos negativos en lo que respecta a la nivelación de esfuerzos en los prototipos. Siendo un desarrollo iterativo e incremental, los últimos prototipos requirieron bastante tiempo para poder ser terminados, por lo que en desarrollo futuros sería recomendable introducir nuevos elementos como estimación de horas de esfuerzo que permitan organizar

y distribuir de mejor manera el tiempo de desarrollo entregado a cada uno de los prototipos y tareas a completar.

Con relación a los posibles trabajos futuros, se identifican varias posibilidades. La primera es potenciar la experiencia de recorrer el campus utilizando la realidad aumentada y agregando elementos de navegación más complejos y recorridos que tengan algún valor agregado, como por ejemplo visitar los primeros edificios construidos en la universidad. Otra posibilidad es agregar más capas de información al sistema, las cuales podrían ser de índole académico, artístico, de servicios, etc. Saliendo del contexto universitario, este tipo de sistemas, como se vio en la discusión bibliográfica, perfectamente pueden ser utilizados para explorar una ciudad, identificando los puntos de interés y clasificándolos en capas de información apropiadas es posible obtener un producto que potencie el turismo tanto de personas de otros lugares como también, el interés de los locatarios por conocer la historia de aquello que los rodea y que muchas veces puede pasar desapercibido.



## 8. Referencias

- [1]. Ricardo Lagos (2018). Patrimonio Cultural: una oportunidad de reconocernos. Url: <https://www.latercera.com/opinion/noticia/patrimonio-cultural-una-oportunidad-reconocernos/181499/> (Visitado en: marzo 2019).
- [2]. Constanza Martínez Gaete (2016). Universidad de Concepción es declarada Monumento Nacional. Url: <https://www.latercera.com/opinion/noticia/patrimonio-cultural-una-oportunidad-reconocernos/181499/> (Visitado en: marzo 2019).
- [3]. Archivo Fotográfico Universidad de Concepción. Url: <http://www.udec.cl/afudec/> (Visitado en: marzo 2019).
- [4]. Dirección de Tecnologías de Información. Tour Virtual UdeC. Url: <http://www.udec.cl/tvirtual/>. (Visitado en: marzo 2019)
- [5]. Unesco. Patrimonio e indicadores centrales de sostenibilidad. Url: <https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/digital-library/cdis/Patrimonio.pdf> (Visitado en: marzo 2019).
- [6]. Carmigniani, Julie & Furht, Borko & Anisetti, Marco & Ceravolo, Paolo & Damiani, Ernesto & Ivkovic, Misa. (2010). Augmented reality technologies, systems and applications. Multimedia Tools and Applications. 51. 341-377.10.1007/s11042-010-0660-6.
- [7]. Wikipedia. Reality–virtuality continuum. Url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Reality-virtuality\\_continuum](https://en.wikipedia.org/wiki/Reality-virtuality_continuum) (Visitado en: marzo 2019).
- [8]. Wikipedia. Realidad Aumentada. Url: [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_aumentada](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada).
- [9]. Jesse Emspak (2018). What is Augmented Reality? Url: <https://www.livescience.com/34843-augmented-reality.html> (Visitado en: marzo 2019).
- [10]. Ruby Garage (2017). VR vs AR vs MR: Differences and Real-Life Applications. Url: <https://rubygarage.org/blog/difference-between-ar-vr-mr> (Visitado en: marzo 2019).
- [11]. Xataka (2015). Bienvenidos a The Void: la diferencia entre ver la realidad virtual y vivirla. Url: <https://www.xataka.com/n/bienvenidos-a-the-void-la-diferencia-entre-ver-la-realidad-virtual-y-vivirla> (Visitado en: marzo 2019).
- [12] Desai, Nilam. (2018). Recreation of history using augmented reality. ACCENTS Transactions on Image Processing and Computer Vision. 4. 1-5. 10.19101/TIPCV.2017.39019
- [13] Wikipedia. Sistema de Información Geográfica. Url: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_información\\_geográfica](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_información_geográfica) (Visitado en: marzo 2019).
- [14] Jaime Martindale. Mapping and Geographic Information Systems (GIS): What is GIS? Url: <https://researchguides.library.wisc.edu/GIS> (Visitado en: marzo 2019).

- [15] National Geographic. GIS (geographic information system). Url: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/> (Visitado en: marzo 2019).
- [16] Timetraveler Augmented. (2014) Timetraveler Augmented The Berlin Wall App - English Voice Over. Url : <https://www.youtube.com/watch?v=HlbA7G8V3jA> (Visitado en: marzo 2019)..
- [17] Desarrolladores de City Guide Tour. City Guide Tour. Url: <http://www.cityguidetour.com/> (Visitado en: marzo 2019).
- [18] OnCell Systems. University of Auckland Campus Tour. Url: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mytoursapp.android.app338> (Visitado en: marzo 2019).
- [19] YouVisit LLC. You Visit Colleges. Url: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.youvisit.youvisitcolleges&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.youvisit.youvisitcolleges&hl=en_US) (Visitado en: marzo 2019).
- [20] Dirección de Extensión UdeC (2015). Pinacoteca UdeC presenta pionera App para dispositivos móviles. Url : <http://extension.udec.cl/pinacoteca-udec-presenta-pionera-app-para-dispositivos-moviles/> (Visitado en: marzo 2019).
- [21] Herpich, F., Guarese, R. L. M., & Tarouco, L. M. R. (2017). A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications. *Creative Education*, 8, 1433-1451.
- [22] Blippar Group. Layar. Url: <https://www.layar.com/> (Visitado en: marzo 2019).
- [23] Wikitude GmbH. Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR provider. Url: <https://www.wikitude.com/>. (Visitado en: marzo 2019).
- [24] Apple. Arkit Apple Developer. Url: <https://developer.apple.com/arkit/>. (Visitado en: marzo 2019).
- [25] Google. ArCore Google Developers. Url: <https://developers.google.com/ar/> . (Visitado en: marzo 2019).
- [26] Vuforia. Vuforia Augmented Reality. Url: <https://www.vuforia.com/> (Visitado en: marzo 2019).
- [27] Desarrolladores ArToolKit. ARToolKit open source, multi platfrom augmented reality. Url: <http://www.artoolkitx.org/> (Visitado en: marzo 2019).
- [28] El Mercurio (2017) Chile lidera la penetración de internet en la región y el smartphone continúa siendo el favorito. Url: <https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2017/05/04/856853/Chile-lidera->

*la-penetracion-de-internet-en-la-region-y-el-smartphone-continua-siendo-el-favorito.html*. (Visitado en: marzo 2019).

[29] Desarrolladores Vue.js. Vue.js The Progressive JavaScript Framework. Url: <https://vuejs.org/>. (Visitado en: marzo 2019).

[30] Desarrolladores Leaflet. Leaflet: an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. Url: <https://leafletjs.com/> (Visitado en: marzo 2019).

[31] Colorlib. Octopus Free Bootstrap admin dashboard. Url: <https://github.com/puikinsh/octopus>. (Visitado en: marzo 2019).

[32] Desarrolladores TinyPNG. API Reference. Url: <https://tinypng.com/developers/reference/php> Visitado en: marzo 2019).

[33] Google. Volley Overview. Url: <https://developer.android.com/training/volley> (Visitado en: marzo 2019).

[34] Desarrolladores Osmroid. Osmroid: OpenStreetMap-Tools for Android. Url: <https://github.com/osmroid/osmroid>(Visitado en: marzo 2019).

[35] Akshay Kale. Android-Timeline-View: Android timeline to display swiping cards in recyclerview, grouped by date. Url: <https://github.com/akshaykale/Android-Timeline-View>. (Visitado en: marzo 2019).

[36] AnderWeb. Discrete Seek Bar. Url: <https://github.com/AnderWeb/discreteSeekBar>. (Visitado en: marzo 2019).

[37] Desarrolladores Picasso. Picasso: A powerful image downloading and caching library for Android. Url: <https://square.github.io/picasso/> (Visitado en: marzo 2019).

[38] Alexey Danilov. AndroidVideoCache: Cache support for any video player with help of single line. Url: <https://github.com/danikula/AndroidVideoCache> (Visitado en: marzo 2019).

[39] Liedmen. Leaflet Routing Machine. Url: <http://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/> .

[40] The jQuery Project. jQuery mobile: A Touch-Optimized Web Framework. Url: <https://jquerymobile.com/> (Visitado en: marzo 2019).

[41] Desarrolladores Leaflet. Leaflet marker cluster. Url: <https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster> (Visitado en: marzo 2019).

[42] GSM Arena. Xiaomi Mi A1 specifications. Url: [https://www.gsmarena.com/xiaomi\\_mi\\_a1\\_\(mi\\_5x\)-8776.php](https://www.gsmarena.com/xiaomi_mi_a1_(mi_5x)-8776.php) (Visitado en: marzo 2019).

[43] Lewis, James & R, James. (1993). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 7. 57-. 10.1080/10447319509526110.

[44] Desarrolladores Mapbox. Mapbox. Url: <https://www.mapbox.com/>.



## 9. Anexos

### 9.1 Storyboards Aplicación Móvil

#### 9.1.1 Modo Mapa



El usuario abre la aplicación y selecciona el modo mapa.



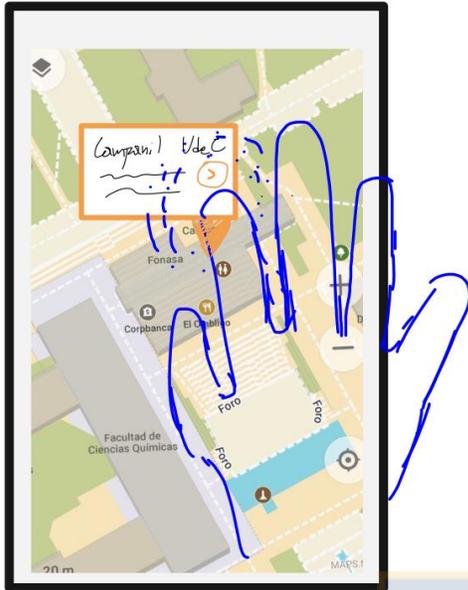
*Figura 56: Sketch de la pantalla de inicio de la aplicación.*



En el mapa aparecen un conjunto de marcadores que indican la posición de los diferentes puntos de interés.

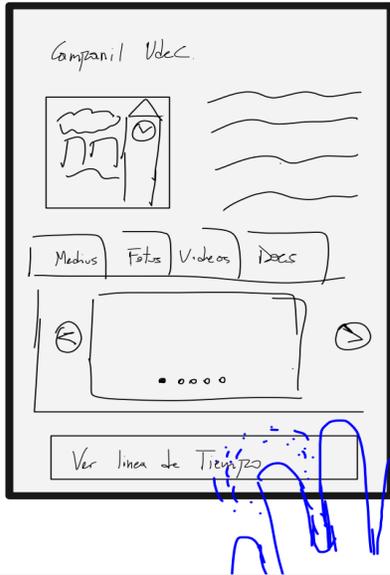
El usuario recorre el mapa desplazando con sus dedos y presiona el marcador de un punto de interés.

*Figura 57: Sketch del mapa de la aplicación con los POI.*



Al presionar el marcador aparece una tarjeta con el nombre del punto de interés y aparece un botón que permite consultar más información. El usuario presiona este botón.

Figura 58: Comportamiento del sistema al presionar un marcador de POI en el mapa



Al haber interactuado con el botón, aparece una pantalla con la información registrada del punto de interés. Se incluyen variados elementos multimedia como fotos y videos. El usuario desea ver cómo era en el pasado este lugar en concreto, por lo que presiona la opción “Línea de Tiempo”

Figura 59: Sketch de la presentación de la información asociada al POI.



Aparece una pantalla con una línea de tiempo, en que aparecen imágenes históricas ordenadas por año.  
 El usuario puede recorrer esta línea de tiempo deslizando hacia arriba o hacia abajo.

*Figura 60: Interacción del usuario con la línea de tiempo de un POI.*



### 9.1.2 Modo Realidad Aumentada



En el modo de realidad aumentada, la persona debe utilizar la cámara de su celular para explorar su entorno.

*Figura 61: Exploración del campus por parte de un usuario utilizando RA*



La aplicación detecta un punto de interés y le notifica al usuario por medio de una pista visual.

El usuario presiona el botón en pantalla para conocer más de ese lugar.

*Figura 62: Detección de pista asociada a un punto de interés.*



Aparece una pantalla que contiene la información que posee el punto de interés y ofrece al usuario la posibilidad de consultar la línea de tiempo.

*Figura 63: Sketch de la presentación de la información asociada al POI.*

