



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN DESARROLLO DE
VIDEOJUEGOS Y REALIDAD VIRTUAL

Desarrollo de una Aplicación Didáctica en Morfología Parasitaria

ÁLVARO ANDRÉS VILLALOBOS VERGARA

Profesor Guía: CAMILA ALIAGA

Profesor Co-guía: PATRICIA POBLETE

Memoria para optar al título de
Ingeniero en Desarrollo de Videojuegos y Realidad Virtual

Talca – Chile
Julio, 2025



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN DESARROLLO DE
VIDEOJUEGOS Y REALIDAD VIRTUAL

Desarrollo de una Aplicación Didáctica en
Morfología Parasitaria

ÁLVARO ANDRÉS VILLALOBOS VERGARA

Profesor Guía: CAMILA ALIAGA

Profesor Co-guía: PATRICIA POBLETE

Memoria para optar al título de
Ingeniero en Desarrollo de Videojuegos y Realidad Virtual

El presente documento fue calificado con nota: _____

Talca – Chile

Julio, 2025

Dedicado a mis queridos padres Jorge y Rosa, cuyo cariño, paciencia y apoyo en cada una de mis elecciones de vida han hecho posible que hoy esté aquí. Su entrega y confianza incondicional han sido mi fuerza y guía en cada paso de este camino. A mi buen hermano Rodrigo, quien siempre ha estado conmigo como fiel compañía durante toda mi vida. A mis amigos de Linares, cuyo apoyo en cada una de mis ideas me llena de determinación. A mi pareja Constanza y su familia, cuyo apoyo y confianza significaron gran relevancia para mí. A mis amigos Sebastián, Shiro y Juan Carlos, con quienes encontré una amistad y complicidad en desarrollar videojuegos. A mi querido Kira, cuyos ronroneos y pelos me acompañaron durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la profesora guía de esta memoria, Camila Aliaga, por presentarme esta oportunidad de proyecto y apoyarme a lo largo del desarrollo del mismo, junto con más oportunidades y ayudarme a creer en mí mismo y en mis conocimientos, gracias a sus infinitas correcciones y orientaciones que lograron desarrollar esta memoria. Agradezco también a la profesora Patricia Poblete por depositar su confianza en mí y entregarme los conocimientos asociados a su área que me traen memorias de mi transcurso educacional.

TABLA DE CONTENIDOS

	página
Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Tabla de Contenidos	III
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VII
Resumen	VIII
 1. Introducción	 1
1.1. Objetivos y pregunta de investigación	2
1.2. Estructura del documento	2
1.3. Alcance e impacto	3
 2. Marco Teórico	 5
2.1. ¿Qué es la realidad aumentada y cómo funciona?	5
2.2. La RA como una manera interactiva de enseñar	6
2.3. Herramientas de realidad aumentada	6
2.3.1. Herramienta Vuforia	7
2.4. Parasitología	8
2.5. Elementos formales que caracterizan los parásitos a modelar	9
 3. Estado del Arte	 11
3.1. Plataformas de aprendizaje para el aula en tiempo real	11
3.2. Juegos que integran realidad aumentada	12
3.3. Aplicaciones que integran RA desarrolladas con anterioridad por la Universidad de Talca	14
3.4. UI en las aplicaciones de RA	15

4. Marco Metodológico	16
4.1. Metodología	16
4.1.1. Evaluación del prototipo	16
4.2. Integración de herramienta de RA en el proyecto	18
4.3. Herramientas de desarrollo	18
4.4. Pruebas a realizar	19
4.5. Carta Gantt	20
5. Diseño	22
5.0.1. Historias de usuario	22
5.1. Visión general del prototipo	23
5.2. Interfaz de usuario	24
5.3. Funcionalidades adicionales	25
5.4. Escaneo de cartas	26
5.5. Visualización de parásitos	27
5.5.1. Construcción de modelos 3D	27
5.5.2. Diseño de las cartas escaneables	28
5.6. Requerimientos	28
6. Implementación	30
6.1. Estructura del código	30
6.2. Proceso de modelado estructural	31
6.3. Creación de interfaz gráfica	31
6.4. Reconocimiento de cartas	32
6.5. Pruebas con usuarios	32
6.5.1. Análisis de resultados	33
6.5.2. Evaluación pre-post	37
7. Conclusiones	39
7.0.1. Trabajo futuro	40
Bibliografía	41
A: Información de parasitología	44

B: Proyecto de innovación docente y resultados de evaluaciones pasadas	45
C: Pruebas, cuestionarios y resultados	46
D: Prototipo	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
2.1. Ejemplo de uso de Vuforia.	7
2.2. Diagrama para entender la categorización de los parásitos protozoarios. Elaboración propia.	9
3.1. Imágenes de las aplicaciones mencionadas	14
3.2. Ejemplo de UI de Pokémon Go.	15
4.1. Esquema de desarrollo usando la metodología XP.	17
4.2. Fase 1 y 2 de la Carta Gantt.	21
4.3. Fase 3 y 4 de la Carta Gantt.	21
5.1. Ejemplo de la información que nace desde el modelo 3D.	24
5.2. Diagrama de flujo de las interfaces de la aplicación.	26
5.3. Modelo 3D creado a partir de referencias de libros y microscopios.	27
5.4. Ejemplo de carta.	28
6.1. Gráfico de resultados SUS	35
6.2. Gráfico de resultados promedio UEQ	36
6.3. Gráfico de respuestas UEQ	37
6.4. Gráfico pre post uso	38

ÍNDICE DE TABLAS

	página
2.1. Tabla con listado de parásitos protozoarios	10

RESUMEN

El estudio de la parasitología es fundamental en el desarrollo de las competencias básicas de estudiantes de ciencias biomédicas.

En la Universidad de Talca, precisamente en las clases de Parasitología I y II, de la carrera de Tecnología Médica, se estudian las estructuras microscópicas que conforman a los microorganismos conocidos como parásitos, pero existe una deficiencia a la hora de enseñar este tipo de materia: los métodos convencionales de enseñanza, tales como el uso de imágenes de microscopios, libros y diapositivas; sin embargo, no son suficientes para que los estudiantes comprendan e identifiquen las estructuras internas de los parásitos. Esto se evidenció en los resultados obtenidos en las evaluaciones del primer semestre de 2023, donde los estudiantes tuvieron dificultades para identificar estructuras parasitarias.

En este contexto, desde el departamento de microbiología de la Universidad, se postuló a un proyecto de innovación docente con el objetivo de mejorar el entendimiento de los estudiantes sobre las estructuras que componen los diferentes parásitos microscópicos que ven en clase.

En este proyecto se enmarca la memoria, se propone desarrollar una aplicación interactiva que integra Realidad Aumentada (RA) con la ayuda de cartas, utilizando la metodología Extreme Programming. Esta aplicación permitirá a los estudiantes observar de manera más cercana las estructuras de los parásitos mediante modelos 3D, complementando las clases tradicionales de Parasitología y mejorando la comprensión de los microorganismos.

Para comprobar la efectividad de la aplicación, se realizó una prueba de comparación pre y post uso del prototipo en un grupo de estudiantes para obtener y comparar resultados antes y después de usar la aplicación ante una evaluación de materia de morfología parasitaria. Los resultados obtenidos por los estudiantes que realizaron la evaluación formativa, después de utilizar la aplicación, fueron superiores en comparación con la nota obtenida de la medición previa al uso de la aplicación.

El impacto esperado por la creación y posterior uso de la app en las clases de Parasitología es que sea una ayuda para los estudiantes a la hora de entender e identificar las estructuras de los parásitos vistos en clase y así mejore su rendimiento académico en comparación con los métodos de enseñanza usados anteriormente a la aplicación.

1. Introducción

Durante el presente documento se abordará el desarrollo de una aplicación que integra realidad aumentada mediante el uso de cartas, dirigida a enfrentar las dificultades que presentan los estudiantes en el reconocimiento de estructuras parasitarias en las clases de Parasitología I y II de la carrera de Tecnología Médica.

En la Universidad de Talca se ejecuta un modelo académico de cátedras que se dictan en su mayoría durante las horas de clase. Estas consisten en presentar a los estudiantes conocimientos e información para desarrollar actividades de tipo formativas especializadas, divulgativas de generación y transferencia de conocimiento, a través de labores de investigación durante las horas de clase. Habitualmente se usan elementos extra para apoyar la comprensión de los estudiantes, tales como infografías, presentaciones, artículos, vídeos, entre otros, pero no siempre logran ser un elemento didáctico que llame la atención de los oyentes.

De esta problemática surge la iniciativa de generar un proyecto de innovación docente por parte de la profesora Patricia Poblete para la Universidad de Talca, donde se busca solventar este problema mediante una aplicación interactiva que ayude en el aula a los estudiantes a comprender mejor las estructuras de los parásitos vistos en clase, afirmando que los métodos convencionales de enseñanza en el aula pueden ser apoyados y potenciados si se integran elementos interactivos.

La solución propuesta es la creación de una aplicación que integra Realidad Aumentada mediante el apoyo de cartas, esto aportará una nueva manera de aprender en el aula de forma más interactiva que las clases habituales [1].

1.1. Objetivos y pregunta de investigación

El objetivo general de la memoria es:

- Diseñar una aplicación que integre Realidad Aumentada para complementar la enseñanza de las estructuras de microorganismos en estudiantes de microbiología de la Universidad de Talca.

Se definen los siguientes objetivos específicos:

1. Recopilar información de herramientas de Realidad Aumentada y contenido de parasitología para integrar en la aplicación.
2. Diseñar los 25 modelos 3D de los parásitos para ser implementados en la aplicación móvil.
3. Desarrollar un prototipo de aplicación móvil con nivel mínimo de madurez tecnológica TRL 3 que integre Realidad Aumentada.
4. Evaluar usabilidad y funcionalidad del prototipo con los estudiantes de parasitología mediante encuestas.
5. Comparar los resultados obtenidos por el grupo de estudiantes antes y después de usar la aplicación en una evaluación sobre la comprensión de estructuras que conforman a los parásitos.

La pregunta de investigación es:

- ¿Es posible mejorar la comprensión de las estructuras de microorganismos mediante una aplicación que integre realidad aumentada en comparación a métodos tradicionales de enseñanza?.

1.2. Estructura del documento

En el apartado de marco teórico se explorarán los conceptos asociados a la investigación detrás de la construcción de la solución, tanto del área de RA^1 , como del contenido que abarcará el prototipo y justificaciones de por qué es necesaria la interactividad a la hora de enseñar en las horas de clase y cómo afecta a los estudiantes.

¹Realidad aumentada

Esto con el objetivo de recopilar información y referencias relevantes para integrar en la aplicación.

Mientras tanto, en el estado de arte se abordarán las tecnologías y soluciones ya existentes similares a lo que se busca construir como prototipo, tal como juegos que hacen uso de la RA, plataformas interactivas que ya son usadas en las horas de clase y aplicaciones desarrolladas anteriormente por la universidad similares al prototipo a generar.

En el apartado de marco metodológico del documento, se abordará la metodología a usar para desarrollar el prototipo, las herramientas a utilizar para desarrollarlo, el diseño de pruebas a realizar para validar el prototipo y la carta Gantt del proyecto. En el apartado de diseño se verá la construcción y planificación del prototipo, tales como los elementos que se espera integrar en él, el cómo se presentará a los futuros usuarios, así como su manipulación e instrucciones necesarias para ejecutarse y hasta qué nivel espera abarcar el prototipo en sus funcionalidades. Esto con el objetivo de diseñar la aplicación a usar por los estudiantes, para que sea manipulable por ellos y les resulte útil en su proceso de aprendizaje.

La implementación de los temas abordados con anterioridad se verán explicados en el apartado de implementación, donde se tratará la construcción del prototipo con el objetivo de desarrollar un producto *TRL 3*² que integre Realidad Aumentada.

Por último, se encuentra un apartado de conclusiones, donde se expondrán las conclusiones a las que se llega a partir de la información analizada, junto a una reflexión relacionada al trabajo futuro.

1.3. Alcance e impacto

El alcance esperado por el prototipo es de una madurez tecnológica de tipo *TRL-3*, donde se pueda evaluar su viabilidad mediante el apoyo de los resultados obtenidos de las pruebas con usuarios, con funcionalidades integradas de realidad aumentada y un manejo estable de la inspección de elementos 3D. Se espera obtener un resultado favorable donde el prototipo ayude a los estudiantes a reconocer las estructuras que componen a los parásitos protozoarios propios de la asignatura de Parasitología.

El desarrollo del prototipo busca que sea escalable, con el propósito de continuar su

²TRL 3: Es el nivel de madurez tecnológica que implica la validación de una prueba de concepto, tanto analítica como experimental, para una función o característica crítica.

desarrollo ampliando sus funciones y su utilidad como herramienta de aprendizaje. El impacto esperado por la creación y posterior uso de la aplicación en las clases de Parasitología es que sea una opción y ayuda para los estudiantes de Tecnología Médica a la hora de entender e identificar las estructuras de los parásitos vistos en clase y así mejore su rendimiento académico a comparación de los métodos de enseñanza usados anteriormente a la aplicación.

2. Marco Teórico

2.1. ¿Qué es la realidad aumentada y cómo funciona?

La realidad aumentada (RA) se denomina como un medio que superpone información digital sobre un terreno o espacio físico real, de este modo permitiendo que los usuarios de esta tecnología interactúen en tiempo real con esta misma mediante acciones digitales. La RA se define por tres características claves que debe presentar: combinar lo real y lo virtual, donde se mezcla el entorno físico con elementos u objetos digitales que se integran de manera visual, auditiva o incluso táctil [2]. También esta debe ser interactiva en tiempo real, permitiendo a los usuarios interactuar con los elementos digitales como si estos pertenecieran al entorno físico donde se encuentran, cambiando de esta manera su perspectiva. Por último, debe estar registrado en 3D, es decir, los elementos virtuales se deben alinear espacialmente en el mundo real, dando la impresión de poseer una ubicación y posición específica .

La RA funciona mediante la integración de información digital sobre el mundo físico, registrado espacial y temporalmente para que coincida con el entorno real. De esta manera, una computadora genera información digital que es mostrada de manera superpuesta en el mundo físico, creando la ilusión de que los objetos virtuales están presentes en ubicaciones específicas del entorno [3].

Existen dos maneras de fusionar el mundo físico y el digital, la visualización a través de dispositivos, como puede ser a través de lentes de realidad aumentada o cámaras que capturen el entorno real y muestren una imagen donde se superponga la información digital en tiempo real, y la proyección directa sobre un entorno físico, como puede ser con proyectores que muestren aumentaciones directamente en el mundo físico, tal como mapas y gráficos en superficies reales [4].

2.2. La RA como una manera interactiva de enseñar

En base a estudios realizados sobre cómo afecta el uso de la RA en las clases de educación superior, se puede extraer que la realidad aumentada mejora enormemente el aprendizaje en clases al combinar herramientas reales y virtuales, lo que facilita la enseñanza de una manera más clara y visualmente atractiva para los estudiantes [5]. Esto los motiva al participar en contenidos interactivos y dinámicos, fomentando así el interés y aprendizaje autónomo. También permite reemplazar equipos costosos y libros de texto con tecnología multimedia, mejorando así la comprensión práctica de conceptos complejos sin importar el tema. Esta integración de la tecnología en el aula estimula también la participación y facilita el estudio de disciplinas como la física, de una manera más efectiva que las clases convencionales.

El uso de la RA en la educación superior se considera altamente efectiva, debido a los beneficios pedagógicos que puede ofrecer. La RA permite crear entornos de aprendizaje híbridos que combinan objetos reales y digitales, lo que facilita de gran manera el desarrollo de habilidades esenciales para un estudiante, como es el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo. Por otro lado, promueve una mayor interacción y *engagement*¹ en los estudiantes al tener un aprendizaje más visual y práctico, mejorando la comprensión de conceptos abstractos y motivando a una exploración autónoma del aprendizaje [6].

2.3. Herramientas de realidad aumentada

El desarrollo de aplicaciones con realidad aumentada ha experimentado un crecimiento constante a lo largo de los años, desde su creación en 1992. En la última década, su accesibilidad ha aumentado significativamente, facilitando su integración en diversos proyectos. El desarrollo de la realidad aumentada se ha simplificado gracias a la creación de múltiples herramientas de fácil uso. Entre las más destacadas se encuentran: Vuforia, que permite implementar RA mediante el reconocimiento de imágenes, así como ARKit y ARCore, que son otras plataformas populares para el desarrollo de esta tecnología.

¹Engagement: Es el nivel de compromiso, entusiasmo y lealtad que tiene una audiencia con una marca o tecnología



Figura 2.1: Ejemplo de uso de Vuforia.

2.3.1. Herramienta Vuforia

Vuforia es una plataforma y herramienta de realidad aumentada lanzada en 2011 y desarrollada por PTC, una empresa estadounidense.

Esta es una tecnología que destaca por su capacidad de detectar y rastrear elementos en el mundo real, lo que permite a los usuarios manipular elementos virtuales en espacios reales de una manera más precisa y realista. Esta herramienta ha pasado por diferentes versiones y su adquisición en 2015 por parte de la empresa PTC, logrando posteriormente de este hecho una serie de actualizaciones hasta 2018 con el lanzamiento de Vuforia Engine 7, la cual presentó nuevas funciones como el seguimiento de objetos, detección de superficies mejorada y una mayor compatibilidad con dispositivos móviles y gafas de realidad aumentada [7]. Con el uso de esta herramienta, la integración de la RA a proyectos de desarrollo como es en Unity Engine, facilita mucho más la labor al hacerlo funcional y compatible con proyectos que necesiten de este añadido. Siendo Vuforia una buena opción a la hora de implementarlo en un proyecto donde sea necesario el uso de RA para presentar elementos en el mundo real en base al reconocimiento de imágenes y espacios físicos.

La herramienta de Vuforia presenta una gran ventaja a la hora de implementarse en proyectos realizados en Unity Engine, el motor de videojuegos. Esto debido a la fácil integración y compatibilidad que existe entre las dos plataformas. Las oportunidades con el uso de esta tecnología son múltiples y cubren un gran segmento de desarrollo de aplicaciones, desde aplicaciones educativas hasta aplicaciones industriales [8]. Por lo tanto, se puede calificar como una tecnología bastante sólida y necesaria si se desea

trabajar en un proyecto de realidad aumentada.

Sin ir más lejos, el uso de Vuforia, como una herramienta de integración de realidad aumentada, en el desarrollo de un prototipo que integra RA mediante el uso de cartas, es una decisión acertada, al ser una tecnología que facilita este apartado y se integra de forma eficaz en el motor de Unity, califica como una herramienta indispensable para realizar el prototipo [9].

2.4. Parasitología

La amplia información disponible sobre los parásitos que pueden afectar al ser humano abarca diversos aspectos, como sus estructuras, síntomas, métodos de transmisión, entre otros. Por esta razón, los parásitos se clasifican en diferentes categorías: Protozoarios, Helmintos y Ectoparásitos [10]. Como primera categoría, los Protozoarios, lo más importante de abordar, ya que son los primeros de estos microorganismos que se estudian en las clases de parasitología, una decisión que viene desde el planteamiento inicial del proyecto.

Los parásitos protozoarios se dividen en varias subcategorías (Fig. 2.2). Entre ellas están las amebas, caracterizadas por su forma cambiante debido a la falta de pared celular y su movimiento mediante pseudópodos, pequeñas proyecciones que también utilizan para capturar alimentos a través de la fagocitosis. Los flagelados se distinguen por tener uno o más flagelos largos en alguna o todas las fases de su ciclo de vida [11]. Continuando, los ciliados, que presentan cilios en al menos una etapa de su ciclo vital, son estructuras filiformes que rodean su superficie externa, similares a pequeños pelos. Además, los ciliados se destacan por su dualismo nuclear y por realizar el proceso sexual conocido como conjugación y, finalmente, los coccidios son parásitos causantes de la coccidiosis, una enfermedad intestinal en animales y humanos. Se transmiten por la ingestión de oocistos en alimentos o agua contaminados [12]. Conocer esta información es realmente necesaria, debido a la alta fidelidad que deben presentar los modelos junto a sus elementos reconocibles en 3D, para de este modo usarlos y presentarlos al usuario al escanear una carta de cualquier parásito.

Esta tabla (Tabla 2.1) contiene una lista de los parásitos a integrar dentro del prototipo, diferenciando si estos poseen los estados de trofozoíto y/o quiste.

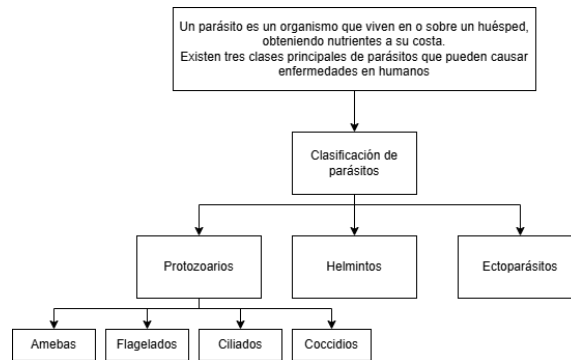


Figura 2.2: Diagrama para entender la categorización de los parásitos protozoarios. Elaboración propia.

2.5. Elementos formales que caracterizan los parásitos a modelar

Los parásitos protozoarios son microorganismos que se caracterizan por poseer diversas estructuras representativas de sus organismos, por lo tanto es esencial que estas estén presentes en los modelos 3D. Entre estas características se encuentran:

A. Tamaño y forma:

- Todos los parásitos protozoarios presentan un tamaño y formas variadas que los caracterizan (esférica, ovalada, ameboide).
- Como ejemplos incluyen *Entamoeba histolytica* (10-60 μm , ameboide) y *Giardia intestinalis* (11-15 μm , con forma de pera).

B. Núcleo y cromatina:

- Los parásitos protozoarios se caracterizan por tener entre uno o más cantidad de núcleos que los conforman, junto con una disposición para la cromatina que se encuentra dentro del mismo, al igual que el Kariosoma, una estructura que se encuentra habitualmente en el centro del núcleo [13].

C. Movilidad:

N°	Nombre	Trofozoito	Quiste
1	<i>Entamoeba Histolytica</i>	Sí	Sí
2	<i>Entamoeba Hartmanni</i>	Sí	Sí
3	<i>Entamoeba Polecki</i>	Sí	Sí
4	<i>Entamoeba Coli</i>	Sí	Sí
5	<i>Endolimax Nana</i>	Sí	Sí
6	<i>Iodamoeba Butschlii</i>	Sí	Sí
7	<i>Enteromonas Hominis</i>	Sí	Sí
8	<i>Retortamonas Intestinalis</i>	Sí	Sí
9	<i>Pentatrichomonas Hominis</i>	Sí	No
10	<i>Chilomastix Mesnili</i>	Sí	Sí
11	<i>Dientamoeba Fragilis</i>	Sí	No
12	<i>Giardia Intestinalis</i>	Sí	Sí
13	<i>Balantidium Coli</i>	Sí	Sí
14	<i>Blastocystis sp.</i>	Sí	No

Tabla 2.1: Listado de los parásitos protozoarios a abarcar por el prototipo.

- Los parásitos abordados poseen una movilidad, pero esta depende exclusivamente de las estructuras que poseen para realizar esta acción. Los métodos de movilidad incluyen pseudópodos como por ejemplo las *entamoebas* y los flagelos presentes en la *Giardia intestinalis* y *Pentatrichomonas hominis*. Estos elementos de movilidad facilitan la diferenciación de especies.

D. Citoplasma:

- Diferentes parásitos protozoarios presentan un citoplasma granular o vacuolado, con incrustaciones tal como bacterias, levaduras o glóbulos rojos. Por ejemplo la *Entamoeba histolytica* puede contener glóbulos rojos, mientras que la *Endolimax Nana* posee un citoplasma vacuolado.

Esta información puede ser examinada a mayor detalle en los anexos de información de parasitología.

3. Estado del Arte

A lo largo de este apartado, se abordará el análisis de los antecedentes relevantes que requiere el proyecto, estos incluyen plataformas de aprendizaje en tiempo real, juegos que integran realidad aumentada y aplicaciones de ésta área desarrolladas previamente por la Universidad de Talca, con el fin de contextualizar el desarrollo del prototipo.

3.1. Plataformas de aprendizaje para el aula en tiempo real

Se han creado plataformas para ayudar a solventar este tipo de interacción en las horas de clase, tal como Kahoot, una plataforma web de preguntas y respuestas, donde los estudiantes se ven envueltos en una competencia donde el ganador es quien responda correctamente las preguntas de la manera más rápida posible [14]. También está Nearpod, una plataforma web que es una herramienta motivadora con la que presentar contenidos y al mismo tiempo evaluar el progreso del alumnado mediante preguntas y actividades interactivas sobre el material visto [15]. Todas son muy buenas opciones al querer ofrecer participación en el aula, ya que cumplen con los 3 elementos importantes del diseño instruccional, son significativos, memorables y motivacionales, elementos necesarios para ofrecer una enseñanza que garantice una calidad de formación.

Es importante que el uso de aplicaciones interactivas para motivar a los estudiantes a aprender se haga de una manera que les resulte fácil de comprender y utilizar, ya que esto desencadenará la frustración del usuario haciendo que este la deje de lado y, por consecuencia, no se motive a aprender mediante el uso de la aplicación [16]. Por otro lado, esta no debe ser la única característica en la que se tiene que enfocar,

sino que también es importante para los estudiantes que la aplicación sea útil, esto, debido a la necesidad de usar herramientas que sí les ayuden a comprender de mejor manera lo que están estudiando. Por lo tanto, una herramienta que ellos consideren que no es realmente útil para su proceso de estudio será descartada fácilmente y perderá toda su utilidad [17].

Entre los beneficios del uso de aplicaciones educativas en el aula, se encuentra la motivación que surge en los estudiantes, ya que al presentar contenidos de manera lúdica y competitiva, se crea un ambiente más atractivo para fomentar la participación activa. La interactividad de estas herramientas facilita la realización de actividades y preguntas con una retroalimentación inmediata, lo que ayuda a mejorar la comprensión sobre los temas abordados. Además, permite evaluar el progreso de los estudiantes de una manera rápida, identificando áreas de mejora que pueden realizarse en la clase.

Estas herramientas deben ser motivadoras, además de útiles y fáciles de usar, ya que, si son complejas o poco funcionales, los estudiantes pueden abandonarlas, lo que, por supuesto, no beneficiaría positivamente su proceso de aprendizaje.

3.2. Juegos que integran realidad aumentada

En el año 2009 se lanzó el primer juego de la saga de Invizimals para la consola PlayStation Portable (PSP), un juego protagonizado por unas criaturas invisibles llamadas Invizimals, que los jugadores pueden capturar, entrenar y poner a combatir utilizando la tecnología de realidad aumentada, siendo una serie de juegos pionera en usar esta tecnología, donde el uso de cartas y la cámara de la PSP era esencial para jugar. Luego de varios lanzamientos de la franquicia, en 2016 se lanzó en las tiendas digitales de Android y Apple la aplicación *Invizimals: Batalla de Cazadores*, la cual destaca por ser el primer lanzamiento exclusivo de celulares de la franquicia. En esta entrega era crucial la compra de cartas coleccionables, las cuales se vendían por separado en kioscos de revistas y diarios, esto con el fin de coleccionar a todas las criaturas. Por otro lado, el juego consiste en que los jugadores deben explorar el mundo real utilizando la cámara de sus dispositivos para así capturar a los Invizimals [18]. El juego se centra en la colección y combates de estas criaturas, permitiendo mejorar sus habilidades y enfrentarse a otros jugadores en batallas.

Este juego interactivo tiene un fuerte componente de exploración y estrategia para los jugadores, esto lo hace aprovechando las mecánicas de geolocalización y RA, sin embargo, lo más importante de la aplicación es su capacidad de escaneo de cartas, esta permite a los jugadores desbloquear las criaturas y contenido adicional del juego. Usando la cámara del teléfono, los jugadores podrán hacer uso de esta mecánica escaneando las cartas físicas que tienen imágenes especiales para reconocer, lo que genera la aparición de los Invizimals en un entorno de realidad aumentada, logrando una experiencia interactiva con el jugador. Este último es el elemento más destacado, ya que demuestra la integración de la tecnología AR para crear un juego interactivo que combina el mundo real y el digital.

Durante el año 2016 se lanzó el juego de celular Pokémon Go, un juego perteneciente a la franquicia de Pokémon. En el juego, los jugadores exploran el mundo real utilizando la geolocalización de sus teléfonos para encontrar y capturar criaturas virtuales llamadas Pokémon. Estos aparecen superpuestos en los entornos físicos a través de la cámara del dispositivo, combinando la experiencia digital y física. Es un juego que popularizó la realidad aumentada (AR) al integrar criaturas virtuales en el mundo real, esta tecnología es uno de los pilares clave del juego, y su funcionamiento permite una experiencia inmersiva para los jugadores [19].

Este es un juego importante en la realidad aumentada, debido a la gran popularidad que presentó en su lanzamiento, acercando esta tecnología a muchos usuarios que no la habían probado antes. El éxito del juego demuestra que la RA puede ser fácilmente accesible y comprensible para un amplio público, lo cual es crucial para el desarrollo de una aplicación educativa; por lo tanto, la RA es una herramienta poderosa para enseñar conceptos complejos de parasitología a una amplia audiencia.

Pokémon Go sienta las bases de cómo la realidad aumentada puede ser utilizada para combinar el entretenimiento y el aprendizaje, demostrando ser un juego lo suficientemente accesible para gente que nunca ha jugado Pokémon antes. Por lo tanto, este juego sirve como un modelo de cómo usar la RA de manera efectiva y su éxito demuestra el potencial que esta tecnología tiene para captar la atención de un amplio público, haciéndolo ideal para proyectos educativos y científicos.

3.3. Aplicaciones que integran RA desarrolladas con anterioridad por la Universidad de Talca

En el año 2022, la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Talca presentó dos aplicaciones de Realidad Aumentada (RA) desarrolladas mediante un proyecto del Laboratorio Virtual de Microbiología de la casa de estudios. Estos consisten en un juego de naipes con códigos escaneables que integran RA con el objetivo de facilitar la enseñanza de microbiología. Estas aplicaciones estuvieron disponibles en la App Store de Apple y en Google Play Store, donde tenían la finalidad de enseñar y entregar contenido de microbiología básica para estudiantes de establecimientos educacionales y de enseñanza superior. Los nombres por los que eran conocidos son “Microdeck” y “Microtriv”, sin embargo, estos ya no se encuentran disponibles en las tiendas de aplicaciones.

Sin ir más lejos, en el proceso de “Abre puertas” de la universidad de Talca del año 2015, la Uta Talca lanzó una aplicación llamada “ARutalca”, por parte de la Dirección de Admisión y Vinculación con el Sistema Escolar. La app consiste en un pequeño robot que sale desde un portal que se abre en el folleto de admisión, y comenta información sobre los 5 campus, además de dar datos sobre calidad docente e infraestructura (Fig. 3.1(b)). Esta aplicación estuvo disponible solo durante esa época en la tienda Google Play, para Android. Actualmente, la aplicación no se encuentra



(a) Uso de la aplicación Microdeck por estudiantes de enseñanza básica.



(b) Vista de cómo funcionaba la App ARutalca.

Figura 3.1: Imágenes de las aplicaciones mencionadas

disponible.

3.4. UI en las aplicaciones de RA

Las interfaces de una aplicación son un elemento crucial, debido a la necesidad de interactuar y obtener todo el potencial del que es capaz la aplicación. Estas permiten interactuar al usuario con la aplicación, pero deben seguir una lógica de usabilidad, donde el usuario no se sienta abrumado por la cantidad de elementos que aparecen en su pantalla y, al mismo tiempo, logre buscar de forma fácil y rápida la acción que desea realizar. Por lo tanto, las aplicaciones que integran realidad aumentada deben seguir ciertas características para brindar la mejor experiencia al usuario sin sacrificar la usabilidad.

Según el ejemplo de Pokémon Go, abordado previamente. Las interfaces que este posee, en gran medida consisten en información y botones alrededor de la pantalla para garantizar la mayor atención a la realidad aumentada, la cual siempre se encontrará en el centro de esta. Sin embargo, la ubicación de los botones es crucial para la usabilidad del usuario, más aún los que son más frecuentes, deben estar en la zona baja de la pantalla (Fig. 3.2), debido a la facilidad de presionar esta zona con los dedos de la mano que sostiene el celular, de esta manera aumentando la usabilidad de la interfaz.

En base a un artículo que habla sobre las interfaces en aplicaciones de realidad aumentada [20], es fundamental priorizar el área de interés, como es el centro de la pantalla, donde los recursos de información aparecerán. Evitar las obstrucciones visuales es necesario en las aplicaciones de RA, ya que no se deben bloquear los elementos importantes del entorno real, debido a lo peligroso que puede tornarse una actividad sin prestarle atención al ambiente. Asimismo, los elementos interactivos deben estar en ubicaciones cómodas para ser manipulados mediante toques o gestos, con el propósito de evitar áreas alejadas, difíciles de alcanzar para el usuario. Por último, las interfaces deben poseer una persistencia mínima, esto se debe a que deben aparecer y desaparecer, con la finalidad de evitar saturar o distraer al usuario.

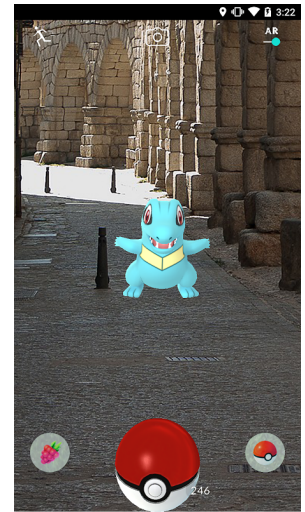


Figura 3.2: Ejemplo de UI de Pokémon Go.

4. Marco Metodológico

4.1. Metodología

La metodología a utilizar en el desarrollo de la aplicación es Extreme Programming (XP), la cual se caracteriza por ser una de las metodologías más efectivas para gestionar proyectos dinámicos. XP se enfoca principalmente en crear un entorno altamente colaborativo en el desarrollo de productos, donde la programación y la comunicación son actividades clave en la creación de productos [21]. A través de esta metodología se puede trabajar de manera iterativa y entregar avances de manera frecuente al cliente, lo que permite obtener retroalimentación continua y modificar el desarrollo conforme a las necesidades del usuario.

Los pasos a realizar usando la metodología XP, son comenzar con una prueba de concepto [22]. En este caso particular, eligiendo una herramienta de RA e integrándola en un proyecto para realizar la prueba de esta herramienta y confirmar que el uso de dicha tecnología es el adecuado. Una vez confirmada la prueba de concepto, se comienza a trabajar en la programación de la aplicación, de esta manera comenzando a darle forma al prototipo acompañado de feedback inmediato al mostrar los avances realizados al cliente.

4.1.1. Evaluación del prototipo

Una vez finalizada la etapa de desarrollo del prototipo, este debe usarse con usuarios; estos consistirán en estudiantes de Tecnología Médica que estén cursando la asignatura de Parasitología I y/o II, los cuales tendrán un rango etario de entre 21 y 26 años aproximadamente. Esto debido a que son el público objetivo que se busca satisfacer con la creación del prototipo que integra realidad aumentada. La manera

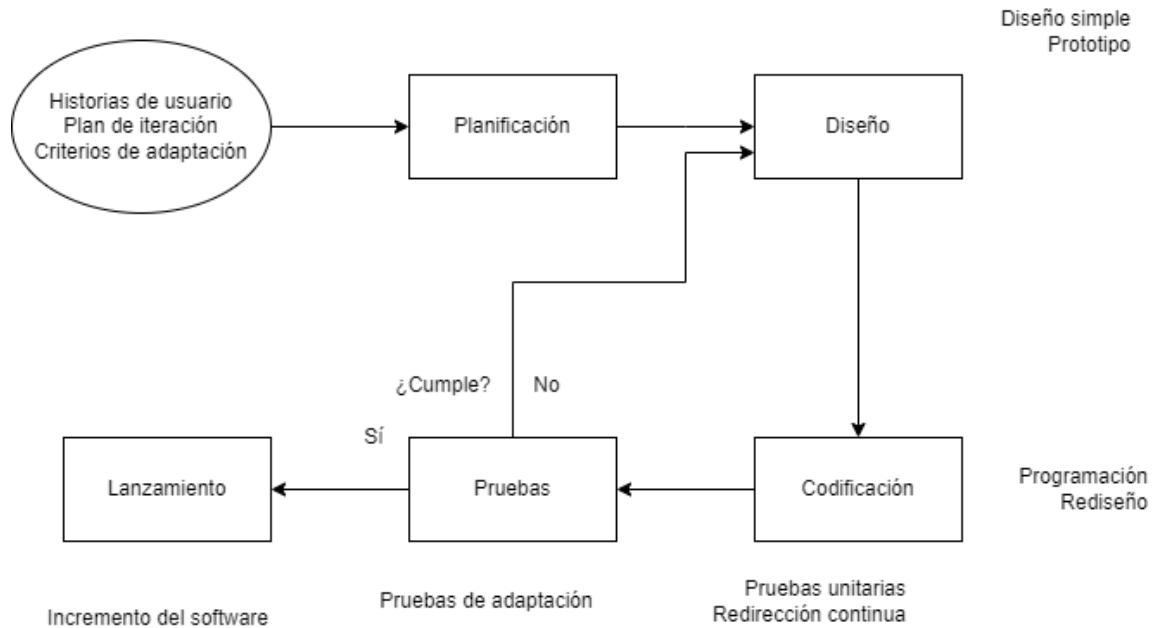


Figura 4.1: Esquema de desarrollo usando la metodología XP.

de evaluar la aplicación será usando el método de evaluación pre-post. Este es un tipo de evaluación de diferencia simple, a cambio de utilizar un grupo de control, usa el mismo grupo antes de realizar el cambio a evaluar, para posteriormente realizar el experimento, como es en este caso el uso de la aplicación que integra realidad aumentada, para posteriormente ser sometidos a una evaluación post uso de la misma, de esta manera obteniendo resultados a comparar con los obtenidos en un comienzo. De este modo, una evaluación pre-post permite medir los cambios a lo largo del tiempo considerando la situación inicial del grupo [23]. En este tipo de análisis, el impacto se observa comparando la situación antes y después de una intervención. Es una de las formas más comunes para evaluar la efectividad de programas [24]. Por lo tanto, el uso de este diseño de evaluación resulta de gran ayuda al momento de comparar los resultados respecto a la utilidad de la aplicación como una herramienta de apoyo para los estudiantes.

La hipótesis del proyecto consiste en una mejora en los resultados obtenidos por los estudiantes al realizar la evaluación post uso de la aplicación sobre las estructuras parasitarias. Para comprobar la hipótesis del diseño pre-post, se realizará una evaluación de entrada para medir los conocimientos del momento del grupo de estudiantes respecto a la materia de parásitos protozoarios, luego de esto los estudiantes utiliza-

rán la aplicación para conocerla, manipularla y aprender sobre los microorganismos que enseña la aplicación. Posterior al uso de la aplicación, los estudiantes realizarán nuevamente una evaluación tipo test donde tendrán que responder con los conocimientos adquiridos por el uso del prototipo. De esta manera, se podrán comparar los resultados de entrada y salida de los estudiantes de tecnología médica y cómo el uso del prototipo ayuda en el aprendizaje de esta materia.

4.2. Integración de herramienta de RA en el proyecto

El proyecto se llevará a cabo con el motor de videojuegos Unity 2022, el cual ayudará con la base del proyecto debido a las múltiples herramientas integradas por defecto dentro de este. Vuforia, siendo la herramienta usada con anterioridad en los proyectos de RA creados por la universidad, será la que se use en este proyecto. La herramienta de RA posee una fácil integración en Unity, por lo que su añadido en el proyecto no presenta un obstáculo en el desarrollo. El funcionamiento de Vuforia consiste en crear un objeto de tipo “target”, el cual actuará como el objetivo que buscará la cámara del dispositivo; sin embargo, para identificar el objeto se tendrá que incorporar a este una imagen que debe existir en el mundo físico, mientras que del mismo modo, al objeto target se le debe sumar un modelo en 3D, el cual efectuará su aparición al reconocer la imagen anteriormente incorporada. Integrado ya todo lo anterior, la prueba de funcionalidad de realidad aumentada deberá consistir en poner en el mundo físico la imagen integrada en el objeto target mencionada anteriormente. Una vez esta exista en el mundo real, la cámara lo identificará y, por consiguiente, presentará el modelo en 3 dimensiones que esté vinculado al target, de esta manera validando la prueba de concepto del prototipo.

4.3. Herramientas de desarrollo

Para el desarrollo de un prototipo que integra realidad aumentada se necesitan diversas herramientas que permiten crear el software; por lo tanto, para el desarrollo del prototipo explicado con anterioridad se llevó a cabo mediante el motor de videojuegos Unity 2022 en la versión 2022.3.32, debido a que es una versión actualizada, estable y compatible con las herramientas mencionadas en esta sección [25].

Unity fue elegido como el motor del prototipo debido a los múltiples elementos integrados por defecto, tal como los *SDK*¹ para exportar el proyecto para dispositivos móviles. Por otro lado, presenta herramientas para la edición de imágenes, programación de scripts, manipulación de espacios 3D, entre otros, elementos importantes al desarrollar no solo videojuegos, sino también software.

Para la creación de los modelos 3D de los parásitos se utilizó la aplicación de Blender en su versión 4.2.3 estable. Esta es una herramienta de modelado 3D que permite crear representaciones tridimensionales realistas y detalladas de objetos, productos y entornos. Sin embargo, esta herramienta integra del mismo modo la posibilidad de modificar y crear diversos materiales, los cuales darán como resultado los diferentes colores que presentan las figuras tridimensionales; por lo tanto, en el desarrollo del prototipo es de gran importancia este tipo de herramientas.

4.4. Pruebas a realizar

Las pruebas a realizar para evaluar al prototipo que integra realidad aumentada se componen de dos áreas en específico: funcionamiento correcto de la aplicación en diferentes dispositivos y que realice las funciones que se espera que realice, mientras que por otro lado, se evaluará su funcionamiento desde la mano de los usuarios, esperando que este sea fácil de usar, que sea una herramienta de ayuda más que una tarea tediosa para los estudiantes y, por último, que sea manipulable durante las clases. El objetivo de las pruebas es corroborar que la aplicación cumpla con la finalidad para la que fue creada. Por lo tanto, para llegar a esas respuestas se debe realizar lo siguiente:

1. Pruebas de funcionalidad

- Verificar que el prototipo detecte las imágenes de las cartas y active el elemento RA que corresponde.
- Asegurar que el prototipo realice las acciones correctas mediante la interacción del usuario en este (Zoom, rotación, pulsación de botones).

2. Pruebas de compatibilidad

¹SDK: Conjunto de herramientas de desarrollo de software que permite a los programadores crear una aplicación informática para un sistema concreto.

- Realizar evaluación de la aplicación en diferentes dispositivos con sistema operativo Android y con diferentes versiones de este mismo.

3. Pruebas de usabilidad

- Evaluar la interfaz de usuario mediante un cuestionario SUS (*System Usability Scale*) con el objetivo verificar que sea intuitiva y fácil de usar sin la necesidad de ayudas externas.
- Realizar pruebas con usuarios para observar la facilidad con la que interactúan con el prototipo y la realidad aumentada. Estas serán mediante un cuestionario UEQ (*User Experience Questionnaire*), éste consistirá de evaluar la experiencia del usuario inmediatamente después de terminar de utilizar el prototipo de la aplicación. De esta forma se conseguirá información relevante sobre lo que quiere el usuario final y qué se debe mejorar del prototipo.

4. Prueba de finalidad del prototipo

- Se evaluará el prototipo realizando una prueba con estudiantes del grupo objetivo, la finalidad de esta prueba es conocer la efectividad que tiene la aplicación como una herramienta de estudio. Para esto, el grupo de estudiantes será sometido a una evaluación de contenido al ingresar a la prueba del prototipo, una vez rendida, los estudiantes pasarán a utilizar la aplicación, manipularla y usarla como herramienta de estudio, para que posteriormente los estudiantes realicen nuevamente una evaluación de contenido similar a la anterior. Una vez finalizado, se compararán los resultados de las evaluaciones de ingreso y salida del grupo de estudiantes. Se espera que los resultados obtenidos en la evaluación de salida sean mejores que los resultados de la evaluación de ingreso.

4.5. Carta Gantt

En esta sección se muestra la carta Gantt del proyecto, que divide el proceso en cuatro etapas.

La etapa uno corresponde al trabajo de investigación, necesario para comenzar a desarrollar el prototipo, tareas que ya se encuentran realizadas (Fig. 4.2(a)).

La etapa dos corresponde a las tareas previas, necesarias para crear la base del prototipo, donde se realiza la prueba de concepto y se comienza el contacto constante con el cliente del proyecto (Fig 4.2(b)).

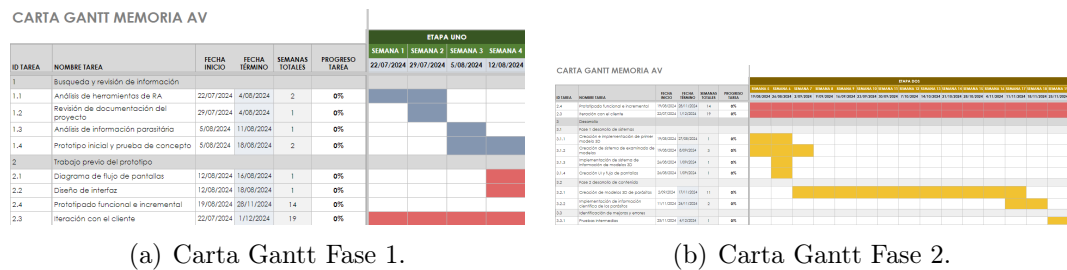


Figura 4.2: Fase 1 y 2 de la Carta Gantt.

La etapa tres corresponde al desarrollo completo del prototipo, junto con correcciones y pulido de este (Fig. 4.3(a)).

La etapa corresponde al período final del proceso de la creación de prototipo, en esta sólo se busca evaluar la funcionalidad de éste y que cumpla con la finalidad para la que fue creado (Fig. 4.3(b)).



Figura 4.3: Fase 3 y 4 de la Carta Gantt.

5. Diseño

En el apartado de diseño se abordará la visión general del prototipo, la interfaz de usuario (UI) como el diseño de las pantallas y la experiencia de usuario al escanear las cartas, cómo se visualizan los parásitos y cómo los estudiantes interactuarán con el prototipo. Por otro lado, se abordará el flujo de navegación por las pantallas de la aplicación; por último, se analizará el diseño de los modelos en 3D y las funcionalidades extras que posee la aplicación, tal como la sección de información y categoría.

5.0.1. Historias de usuario

En esta sección se abordan las historias de usuario que guiarán el desarrollo del prototipo, una herramienta útil en los tipos de desarrollo ágil, debido a que busca entregar información mediante el punto de vista del usuario final, lo que ayuda a conocer qué se espera que contenga el software y cómo presentarlo [26].

- Historia de usuario 1
 - Como estudiante.
 - Quiero escanear una carta física.
 - Para que la aplicación active un modelo en 3D de un parásito en la pantalla de mi celular.
- Historia de usuario 2
 - Como estudiante.
 - Quiero Interactuar con un modelo 3D en RA de un parásito visto en clase (Rotar, ampliar).

- Para examinar el modelo desde diferentes ángulos y distancias.
- Historia de usuario 3
 - Como estudiante.
 - Quiero ver todos los nombres que poseen las estructuras que componen a un parásito.
 - Para aprender los nombres de estas estructuras y reconocerlas en otros formatos como libros o diapositivas.
- Historia de usuario 4
 - Como estudiante.
 - Quiero cambiar entre diferentes cartas sin perder la experiencia de RA.
 - Para explorar diferentes modelos e información sin tener que reiniciar o abrir nuevamente la aplicación.

5.1. Visión general del prototipo

El prototipo consiste en el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles que integra realidad aumentada. La app tendrá la función de usar la cámara del dispositivo para reconocer imágenes en el mundo físico, las cuales servirán para presentar en la aplicación el modelo en 3 dimensiones del parásito que esté vinculado a dicha imagen. Las imágenes que reconocerá el prototipo son las cartas, estas tendrán una imagen del parásito del que se desea ver en 3D, por lo que la aplicación reconoce la imagen de esa carta y presenta al usuario el parásito. Los usuarios podrán manipular el modelo en 3D al interactuar con él, al hacer zoom, rotarlo y moverlo por la pantalla. De esta manera, podrán examinarlo desde las perspectivas que se desee. El modelo en 3D tendrá alrededor de él los nombres de las diferentes estructuras que lo componen, las cuales estarán conectadas por una línea que indicará el nombre y la pieza a la que está relacionada cada estructura del parásito (Fig 5.1), de esta forma facilitando la manera de reconocer las diferentes partes de las que se compone el microorganismo.

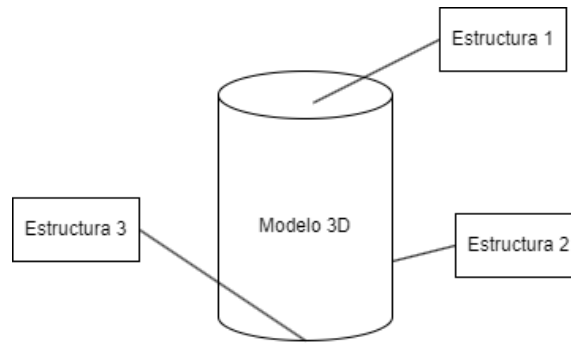


Figura 5.1: Ejemplo de la información que nace desde el modelo 3D.

5.2. Interfaz de usuario

Las pantallas de la aplicación son relevantes para presentar la interfaz de usuario (UI) debido a su rol fundamental en facilitar el aprendizaje no solo de contenidos, sino también de funcionamientos. Debido a esto, el diseño visual ayuda a mantener la atención en los elementos importantes y crear motivación por comprender el funcionamiento de una aplicación [27].

La estructura del prototipo de la aplicación se divide en diferentes pantallas, siendo la primera pantalla en aparecer la de bienvenida. Esta consiste en una interfaz con arte minimalista que presenta el nombre de la aplicación junto a dos botones interactivos. El primero es para comenzar la aplicación con el texto de “Jugar”, para que el usuario comprenda que presionando este botón podrá dar inicio a la experiencia de realidad aumentada. Por otro lado, está el botón “Salir”, este se encontrará debajo del botón “Jugar” y cumplirá la función de cerrar la aplicación para comodidad del usuario (Fig. 5.2).

Una vez seleccionado el botón de jugar, se da paso a la pantalla de realidad aumentada. Esta consiste en una pantalla que reproduce lo que ve la cámara del dispositivo, esta abarca en su totalidad la pantalla del dispositivo. Alrededor de esta solo se encuentra un botón en la esquina superior izquierda que permite volver a la pantalla anterior al ser presionado. Este botón no desaparecerá en ningún momento mientras se esté en la pantalla de realidad aumentada. Al momento de enfocar la cámara en una carta, de esta nacerá un modelo en 3 dimensiones del parásito que posee dicha carta, este modelo puede ser presionado, lo que da acceso a una nueva pantalla de “examinar” Esta pantalla consiste en una modificación de la pantalla de realidad au-

mentada, incluyendo todo lo anterior, pero con 3 botones añadidos en la zona inferior de la pantalla, estos son el botón de cambiar, información y cerrar (Fig. 5.2). El botón de cambiar permite al usuario intercambiar el modelo a examinar por sus 2 estados, siendo el trofozoito y el estado de quiste, ya que los parásitos, en su mayoría, poseen estas 2 formas. El botón de información abre un panel que ofrece más información del parásito examinable en ese momento, este entrega información importante, tal como el nombre del parásito, su categoría, información relevante y el tamaño que posee. Por último, el botón de cerrar se identifica por la imagen asociada que posee, el cual tiene una forma de “X” para comodidad del usuario y su identificación, este botón cumple la función de descartar el parásito que está siendo examinado en ese momento para dar espacio a escanear otra carta, al mismo tiempo que desactiva los 3 botones que están en la parte inferior de la pantalla, volviendo a la pantalla de realidad aumentada (Fig. 5.2).

5.3. Funcionalidades adicionales

En la pantalla de examinar al parásito, el usuario podrá rotarlo y moverlo por la pantalla para su mejor visualización, pero esta también posee un botón en la zona de abajo de la pantalla, específicamente en el centro, que permite obtener más información del parásito que se está mirando en el momento.

El botón da paso a un panel que se extiende por el centro de la pantalla y ofrece 4 apartados de información: el nombre del parásito, su categoría definiendo si lo que se está examinando es el estado de trofozoito o de quiste; por otro lado, presenta al usuario información relevante del parásito que se está examinando, tal como su tipo de movimiento, cantidad de núcleos y su composición. Por último, presenta el tamaño del microorganismo, ya que es importante saber cuántos micrones mide para su identificación y comparación con los demás parásitos. Esta información cambia dependiendo de la forma del parásito que se está examinando, por lo tanto, la información no será la misma si se está examinando el estado de quiste a comparación de estar examinando el de trofozoito (Fig 5.2).

Esta información está estrechamente relacionada con los contenidos que se presentan en las clases del módulo de parasitología, por lo tanto, la información presentada tiene gran relevancia a la hora de estudiar estos microorganismos.

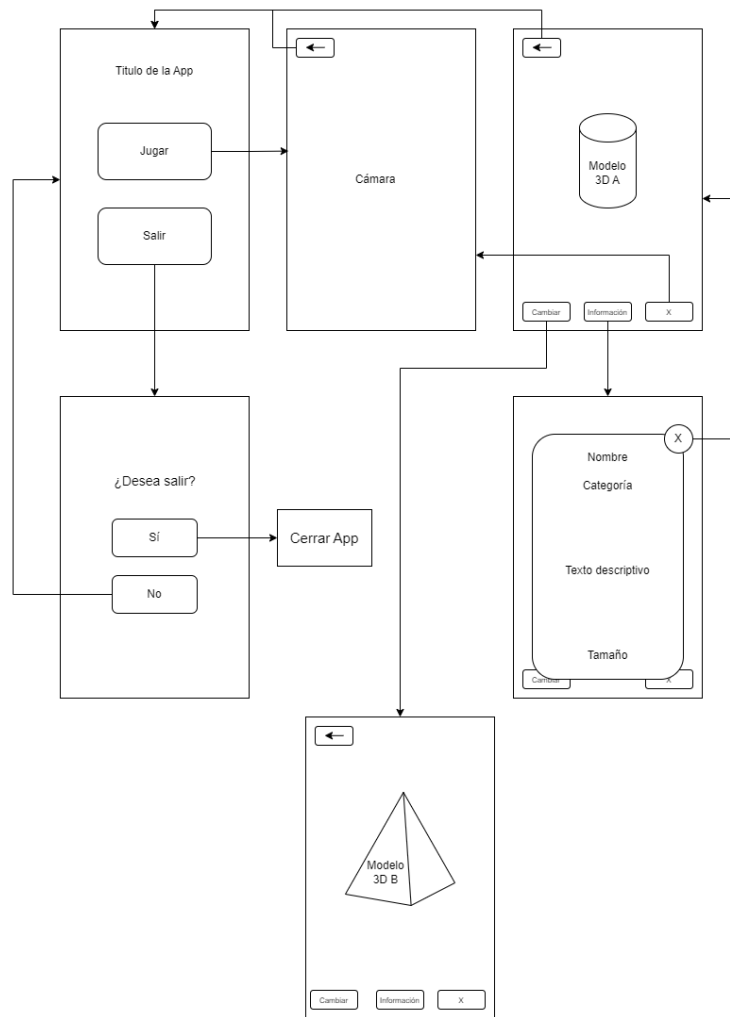


Figura 5.2: Diagrama de flujo de las interfaces de la aplicación.

5.4. Escaneo de cartas

Escanear las cartas es fundamental para la aplicación. Las cartas consisten en un elemento físico que tendrá el usuario, estas poseen una imagen que representa al parásito de la manera más fiel posible y junto a esta se encuentra un texto que describe de manera simplificada al parásito.

Una vez que la aplicación detecta la carta, aparecerá un modelo 3D del parásito al que corresponde la carta, de esta manera permitiendo al usuario ver desde distintos ángulos la estructura. Sin embargo, al presionar el modelo, la aplicación presenta el parásito al centro de la pantalla y ya no es necesario tener la cámara apuntando a la

carta física, ya que ahora el usuario puede manipular y examinar el microorganismo libremente al rotarlo y moverlo.

Importante nombrar que en el momento que la aplicación reconoce la carta, entrega un *feedback*¹ sonoro, dando a entender que la carta ha sido reconocida y pasa a mostrar el modelo 3D. Esto es un elemento importante que da a entender al usuario que la aplicación está funcionando y la está utilizando bien.

5.5. Visualización de parásitos

Los modelos de los parásitos poseen 3 versiones. La versión “preview”, esta se ve sobre la carta al ser escaneada y es el modelo que debe presionarse para dar paso a la pantalla de examinar. Las siguientes son el estado de trofozoíto y de quiste. Estas no siempre estarán presentes en todos los parásitos, ya que algunos solo poseen el estado de trofozoíto y no el de quiste. Por otro lado, la visualización de los modelos permite al usuario conocer las diferentes estructuras que estos poseen, ya que alrededor del parásito existen paneles con los nombres de las diferentes estructuras que componen al modelo. Seguido de esto, desde los nombres hasta la estructura se traza una línea que da a entender a qué título corresponde cada parte del sistema.

5.5.1. Construcción de modelos 3D

Los modelos 3D de los parásitos se construyen a partir de las referencias presentadas habitualmente a los estudiantes provenientes de imágenes de microscopios, libros e ilustraciones que existen sobre ellos. Por lo tanto, tienen un alto nivel de fidelidad enfocando principalmente en las estructuras que los componen. Cabe destacar que los parásitos son incoloros, pero para mayor identificación y familiaridad, los modelos presentan colores azulados y morados, esto debido a los tintes habitualmente usados en los laboratorios de la Universidad de Talca. Por lo tanto, la elección de esta gama de colores es usada con el objetivo de generar familiaridad en los estudiantes y que

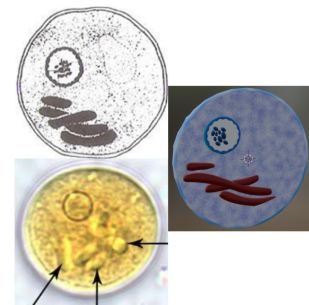


Figura 5.3: Modelo 3D creado a partir de referencias de libros y microscopios.

¹Feedback: retroalimentación

resulte más fácil la identificación de estos. El programa utilizado para la creación de estos modelos es la aplicación Blender, una herramienta útil en la creación de elementos virtuales de alta fidelidad, compatible con el motor de desarrollo Unity Engine.

El proceso de creación de los modelos en tres dimensiones de los parásitos consiste en utilizar imágenes reales de los parásitos como referencia, para crear de esta manera una versión digital de alta fidelidad a su estructura. Cabe destacar que la vista de estos parásitos es desde una vista de perfil, de modo que el parásito esté dividido a la mitad, de esta manera logrando ver su estructura interna, asimilando a sus versiones en los libros de texto (Fig. 5.3).

5.5.2. Diseño de las cartas escaneables

Las cartas son un elemento importante en la creación de la aplicación; sin embargo, éstas son entregadas por parte del departamento de microbiología. Por lo tanto, el prototipo se adapta a las cartas que fueron entregadas. Estas poseen una estructura de título con el nombre del parásito, seguido de una imagen que la acompaña para dar a entender la forma y distribución de este, finalizando con una breve descripción del mismo (Fig. 5.4). Los colores que posee la imagen de los parásitos en las cartas son los mismos tonos azulados y morados nombrados en los modelos 3D, para generar familiaridad con lo ya conocido en los laboratorios.

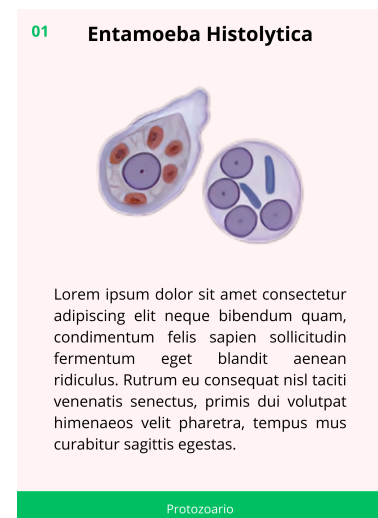


Figura 5.4: Ejemplo de carta.

5.6. Requerimientos

Existen una serie de requerimientos que debe abordar el prototipo, estos dividiéndose entre funcionales, no funcionales y de diseño:

- Funcionales
 - Activación de RA mediante cartas: La aplicación debe activar la realidad aumentada al detectar alguna de las cartas físicas a través de la cámara

del dispositivo.

- Reconocimiento de las imágenes: La aplicación debe reconocer cartas específicas y mostrar el contenido que corresponde a cada carta.
 - Visualización de modelos 3D: Al detectar una carta la aplicación debe mostrar el modelo 3D que corresponde a esa carta.
 - Interacción con modelo 3D: La aplicación debe permitir interactuar con el modelo 3D de un parásito, haciendo que rote y realizar zoom.
 - Cambio de modelo: La aplicación debe permitir que escanee otra carta sin la necesidad que deba reiniciarse la app.
 - Intercambio entre estado de trofozoito y quiste: La aplicación debe permitir cambiar el modelo que se está viendo de cierto parásito, permitiendo elegir entre ver el estado de trofozoito o el estado de quiste del mismo.
- No funcionales
 - Compatibilidad de dispositivos: El prototipo debe funcionar en diversos teléfonos con sistema operativo Android de diferentes versiones.
 - Tiempo de respuesta: El prototipo debe reconocer y entregar el contenido de RA en menos de 3 segundos después de haber reconocido la carta.
 - Estabilidad: La aplicación debe ser estable y resistente a fallos o cierres inesperados al momento de interactuar con los modelos 3D o al cambiar de carta.
- Diseño
 - Indicador de carta reconocida: El prototipo debe presentar un indicativo sonoro al momento de reconocer una carta.

6. Implementación

6.1. Estructura del código

El código del prototipo se compone de diferentes construcciones. El código de inspección del modelo 3D es uno de los más importantes, este permite crear una instancia del modelo del parásito en el centro de la pantalla, independientemente de que esté o no la carta a la vista de la cámara. Este script permite rotar, mover y examinar el modelo en todas las direcciones posibles, con algunas limitaciones, como que este no puede abandonar el centro de la pantalla o que el *eje Y* no puede rotar en 360°, solo en un ángulo de 45°. Esto se debe a la necesidad de tener un control a la hora de examinar el modelo, evitando que este quede de revés y sea necesario un botón para reiniciar la posición del parásito. Seguido de este se encuentra el segundo código más importante, el encargado de ejecutar y seleccionar qué modelo debe aparecer al momento de presionar su versión “preview” al escanear una carta, este script se compone de entregarle 2 modelos que corresponden al estado de trofozoito y de quiste del parásito, esto para poder intercambiar los modelos al querer examinar cada uno de estos. Por otro lado, el código se encarga de igual manera de entregar los valores de la distancia y velocidad de la cámara, tamaños de los modelos y su ubicación dentro de la pantalla, con el fin de poder modificar estos valores en caso de ser necesario para generar la mayor comodidad del usuario al examinar los parásitos. Por último, se encuentra el tercer código más importante; el que consiste en la descripción de cada uno de los parásitos, este se encarga de obtener la información ingresada de cada parásito y categoría, y la presenta al usuario al ser presionado el botón de información; por lo tanto, cabe destacar la importancia que posee dentro del prototipo.

6.2. Proceso de modelado estructural

Mediante el uso de la información recopilada con anterioridad sobre los parásitos protozoarios y junto con el apoyo del departamento de microbiología, se realizaron los modelos de los parásitos. Esta información consistió en imágenes obtenidas de libros y revistas científicas, fotos de microscopios e ilustraciones descriptivas de las estructuras que conforman estos microorganismos. En base a lo anteriormente mencionado, las imágenes se usaron como referencia en la creación de los modelos mediante el método de modelado basado en imágenes de referencia [28], un método bastante común en el modelado de elementos en 3D. Este consiste en importar imágenes con el contenido a modelar para usar como guía. El modelador debe colocar las ilustraciones en diferentes vistas (frontal, lateral, etc.) y se usan para modelar y ajustar proporciones respecto a las referencias.

Creados los modelos, estos fueron revisados y evaluados por la profesora Patricia Poblete para realizar correcciones y destacar los elementos característicos que conforman los diferentes parásitos, con el objetivo de que estos posean la mayor fidelidad teórica, basado en los contenidos a abordar en la asignatura de Parasitología.

6.3. Creación de interfaz gráfica

En base a las aplicaciones vistas previamente en el estado del arte, se definió que se deben utilizar botones sencillos para realizar acciones específicas con títulos auto-descriptivos, estos deben ubicarse alrededor de la pantalla principal de la aplicación debido a la necesidad de espacio que debe darse al escaneo y posterior interacción con las cartas y modelos de los parásitos. Cabe destacar la importancia que deben tener las aplicaciones, según lo revisado anteriormente en el marco teórico, para el desarrollo de las aplicaciones que integran realidad aumentada, éstas deben tener la menor cantidad de interfaz posible para darle mayor importancia y enfoque a la interacción con la RA.

6.4. Reconocimiento de cartas

El sistema utilizado por el prototipo, en el escaneo de cartas, consiste en una tarea de reconocimiento de imágenes. Esta consiste en entregarle al objeto de RA, dentro de Unity Engine, una imagen que deberá reconocer en el mundo físico; posterior a ello se debe agregar al mismo objeto un elemento en 3D que debe reproducir en la pantalla del dispositivo. Este elemento en 3D puede ser un modelo, un video, una imagen, entre otros. Las instrucciones de uso para el usuario son fáciles de realizar, el usuario debe apuntar con la cámara de su dispositivo a un elemento igual o similar existente en el mundo real, como puede ser un código QR, un póster, una foto o directamente el piso. Estos elementos darán el espacio para activar el elemento interactivo que se ha incluido previamente en el proyecto. En los anexos se encontrará más información sobre el funcionamiento de la aplicación, así como su ejecutable en dispositivo móvil.

6.5. Pruebas con usuarios

Para la realización de las pruebas con los usuarios del grupo objetivo, se consideró el uso de un consentimiento informado para participar en las pruebas. El grupo de usuarios objetivo, estudiantes de tecnología médica con un rango etario de entre los 21 y 26 años, descargó el prototipo en sus smartphones. De este modo, comenzaron a utilizar la aplicación sin la ayuda de un externo, con la intención de explorarla mediante la curiosidad y, al mismo tiempo, validando la usabilidad e intuitividad del sistema.

La prueba consistió en dejar que los estudiantes utilizaran la aplicación de la manera que más les acomodara. Las instrucciones fueron que la aplicación usa la cámara del dispositivo para escanear las cartas físicas que poseían los estudiantes en sus mesas, activando el sistema de realidad aumentada y presentando al estudiante el modelo en 3D de un parásito protozoario.

Posterior al uso de la app, los estudiantes contestaron una encuesta que contenía dos cuestionarios estandarizados: el SUS (*System Usability Scale*) y el UEQ (*User Experience Questionnaire*), los cuales buscan conocer la usabilidad del sistema y la experiencia del usuario, respectivamente, junto con comentarios finales para conocer sus opiniones sobre la aplicación.

Por otro lado, se realizó la prueba de diseño pre-post con el grupo objetivo de es-

tudiantes, esta se realizó al efectuar una evaluación de contenido sobre parásitos protozoarios, donde el grupo debía reconocer estructuras, nombres y fase en la que se encuentra el parásito. La cantidad de estudiantes que realizaron esta evaluación fue de un total de 36, los cuales, después de realizar la evaluación de entrada, usaron la aplicación reconociendo los diferentes parásitos que esta contiene, sus estructuras e información relevante de los mismos. Luego de hacer uso de la aplicación dentro de un tiempo de entre 30 a 45 minutos, los estudiantes realizaron nuevamente una evaluación con los mismos tipos y cantidad de preguntas que contenía la evaluación de entrada. De esta manera, obtuvieron resultados para validar la hipótesis planteada en un principio: una mejora en los resultados obtenidos por los estudiantes al realizar la evaluación post uso de la aplicación sobre las estructuras parasitarias. Las preguntas de la prueba de conocimientos e información de los cuestionarios se encuentran en el anexo de pruebas, cuestionarios y resultados.

6.5.1. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos fueron de un total de 36 estudiantes. Debido al uso de cuestionarios estandarizados, los resultados pueden evaluarse mediante fórmulas que permiten interpretar los resultados junto con un rango de valores que logran identificar si el prototipo cumple como un sistema fácil de aprender, atractivo, eficiente, usable, entre otros.

Cuestionario SUS (System Usability Scale)

El cuestionario SUS es un cuestionario estandarizado ampliamente usado para medir la usabilidad percibida de un sistema. Este cuenta, en su formato estándar y más utilizado, 10 ítems de preguntas de cinco puntos para evaluar un sistema, donde las preguntas se van alternando entre un tono positivo y negativo hacia el sistema [29].

La forma en que se evalúa este cuestionario es mediante una calificación final que oscila entre los 0 y 100 puntos.

Para obtener los resultados, se debe realizar la siguiente fórmula:

$$SUS = 2,5(20 + SUM(SUS01, SUS03, SUS05, SUS07, SUS09) - SUM(SUS02, SUS04, SUS06, SUS08, SUS10)) \quad (6.1)$$

Una vez conseguido el valor final, este debe calificarse en base a una tabla entre diferentes rangos. Los rangos existentes son de la letra A a la F, estas clasificaciones ayudan a definir en qué rango de usabilidad se encuentra un producto, siendo el rango A el más alto, lo cual se traduce en una excelente usabilidad, el cual se logra al tener un puntaje igual o superior a 80.3, y F es el rango más bajo al conseguir un puntaje entre 0 y 51. Por lo tanto, el rango obtenido por la aplicación es de una A, por lo que el sistema es clasificado como una aplicación completamente usable por los usuarios.

Las pruebas realizadas con los estudiantes de Tecnología Médica fueron evaluadas con el cuestionario SUS, entregando un resultado de rango A, como se puede observar en la Fig. 6.1. Los estudiantes encuestados fueron un total de 36, a partir de ellos se obtuvieron diferentes valores que se ven expresados en el gráfico, donde lo más destacable es que el 72,2 % de los estudiantes califica el sistema con una A. Con estos resultados se realizó un promedio, consiguiendo el valor de 84,4. Esto quiere decir que los estudiantes concluyeron que la aplicación es fácil de usar y entender, de esta manera, el prototipo posee un alto nivel de usabilidad.

Cuestionario UEQ (User Experience Questionnaire)

El cuestionario UEQ es un cuestionario estandarizado que permite evaluar la experiencia de usuario, de esta manera, describe el impacto total que un producto tiene en el usuario final. En este cuestionario se evalúan diferentes dimensiones, como son atractivo, eficiencia, facilidad de uso, control y autonomía, estimulación y originalidad [30].

El cuestionario consta de 6 preguntas que debe responder el usuario en base a una escala de -3 a 3 con adjetivos que mejor identifiquen al encuestado en base a la pregunta hecha. Posteriormente, para interpretar los resultados se debe identificar que cada pregunta corresponde a una dimensión, por lo que debe sacarse un promedio en base a las respuestas de los usuarios, pero esta debe ser por cada dimensión, es

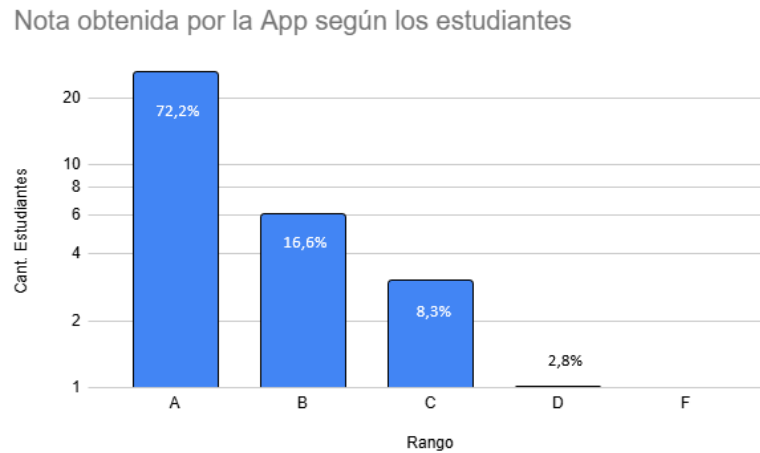


Figura 6.1: Cant. de estudiantes que calificaron el sistema en los diferentes rangos existentes

decir, se debe sacar un promedio del puntaje obtenido pero de cada una de las preguntas de manera individual, de esta manera se pueden conocer los valores de las dimensiones mencionadas anteriormente [31]. Los resultados pueden oscilar entre los rangos negativos hasta el menos 1, cero y luego desde el 1 hacia arriba, siendo estos valores negativos interpretados como una mala implementación de la dimensión en el sistema, rangos entre el cero y 0,9 como una respuesta neutral, por lo que son necesarias mejoras en el sistema, y valores positivos como una respuesta de buen funcionamiento del sistema, cumpliendo con la dimensión.

Los resultados obtenidos posterior a aplicar la encuesta UEQ a los estudiantes del grupo objetivo se obtuvieron luego de promediar el valor de las respuestas obtenidas (Fig. 6.2). Los resultados son los siguientes:

- Atractivo: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **1,6**, interpretado como un buen atractivo de la aplicación para los usuarios
- Facilidad de uso: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **2,3**, esto se interpreta que el prototipo posee una gran facilidad de uso para los usuarios. Por lo tanto no es difícil entender cómo usar la aplicación.
- Eficiencia: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **2,3**, esto demuestra que el prototipo es eficiente al momento de ser usado como una herramienta de estudio.

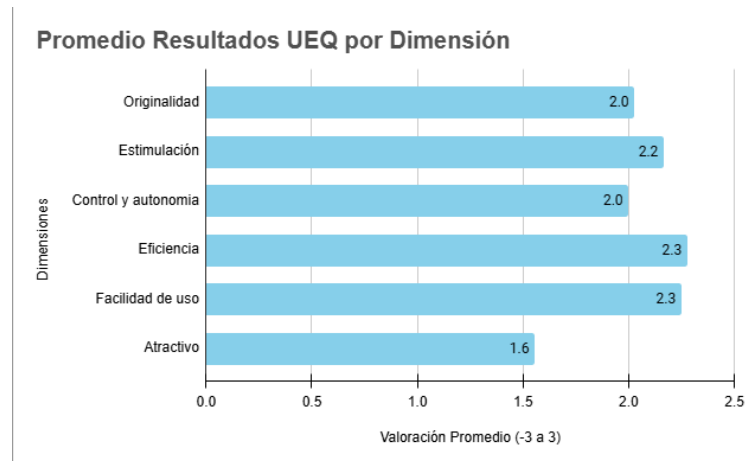


Figura 6.2: Resultados en promedio obtenidos por la App en las diferentes dimensiones del cuestionario UEQ

- Control y autonomía: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **2,0**, por lo tanto los usuarios aseguran sentir control sobre la aplicación comprendiendo lo que esta puede entregar al ser usada.
- Estimulación: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **2,2**, de esta manera se entiende que genera interés y motivación al usar la aplicación, lo cual es esencial al ser una aplicación con el objetivo de enseñar.
- Originalidad: En esta dimensión el prototipo obtuvo un resultado de **2,0**, esto se interpreta de manera que el usuario identifica la aplicación como algo novedoso, que genera interés para el usuario, de esta forma diferenciándose de otras aplicaciones que sean similares, al mismo tiempo de ser una opción más llamativa a la hora de estudiar si se compara con los métodos tradicionales de estudio.

Los resultados obtenidos, como se puede ver en la Fig. 6.3, reflejan de manera positiva el funcionamiento y evaluación del prototipo, de esta manera demostrando que la aplicación es una herramienta que llamará la atención de los estudiantes y no será difícil de manipular al momento de usarla dentro del aula y en sus horas de estudio autónomas de parasitología.

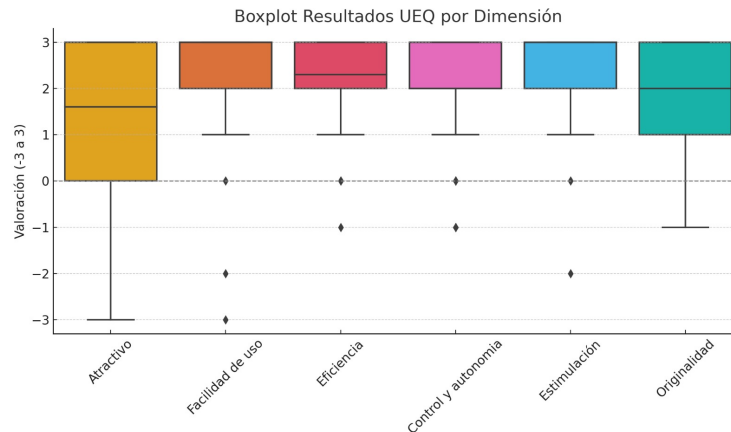


Figura 6.3: Dispersión de las respuestas obtenidas por la App en las diferentes dimensiones del cuestionario UEQ

6.5.2. Evaluación pre-post

La evaluación pre y post uso es una metodología que permite medir el impacto que tiene una tecnología, comparando el antes y después de su implementación [24].

Esta evaluación se llevará a cabo con el grupo objetivo previamente descrito en las secciones metodológicas. En primer lugar, los participantes serán sometidos a una evaluación formativa inicial de tipo test, compuesta por siete preguntas. Cada ítem presentará una imagen de un parásito, donde los estudiantes deberán identificar de manera correcta tanto el nombre que le corresponde como la forma morfológica en la que se encuentra (trofozoíto o quiste).

Una vez completada esta evaluación, a los estudiantes se les permitirá utilizar el prototipo desarrollado, como herramienta de estudio, durante un período de entre 30 y 45 minutos. Finalizado este tiempo, los participantes deberán rendir una segunda evaluación formativa con la misma estructura que la anterior. Sin embargo, las imágenes utilizadas serán distintas a las de la primera prueba, con la finalidad de evitar respuestas basadas en la memorización.

Finalmente, los resultados obtenidos en ambas evaluaciones (pre y post uso del prototipo) serán comparados con el fin de analizar el impacto que tiene la aplicación como una herramienta en el proceso de aprendizaje de los estudiantes [32].

Los estudiantes, luego de someterse a la evaluación pre-uso de la aplicación y post-uso de la misma, arrojaron los siguientes resultados:

La escala de notas correspondía a un 1 como mínimo obtenible y 7 como nota máxima.

Un total de 36 estudiantes participaron en la evaluación pre uso de la aplicación, donde el promedio de la nota obtenida fue de 2.3, con una mediana de 2.4 y una varianza de 0.63.

En la prueba post uso del prototipo, participaron 23 estudiantes, donde el promedio general fue de 3.2, con una mediana de 3.1 y una varianza de 1.49.

Los resultados de la primera evaluación muestran un bajo promedio general de notas, con poca dispersión entre los puntajes obtenidos por los estudiantes. Solo destaca un caso aislado en el que un estudiante alcanzó la nota más alta, correspondiente a un 3.9 (Fig. 6.4).

Por otro lado, los resultados que corresponden a la evaluación post-uso muestran un promedio más alto en comparación con los datos anteriores, donde existe una gran variedad de notas obtenidas, desde notas bajas como el 1 hasta el máximo que fue de 5.9 por más de un estudiante. Siendo la mayoría concentrada entre el 2.6 y el 3.9 (Fig. 6.4).

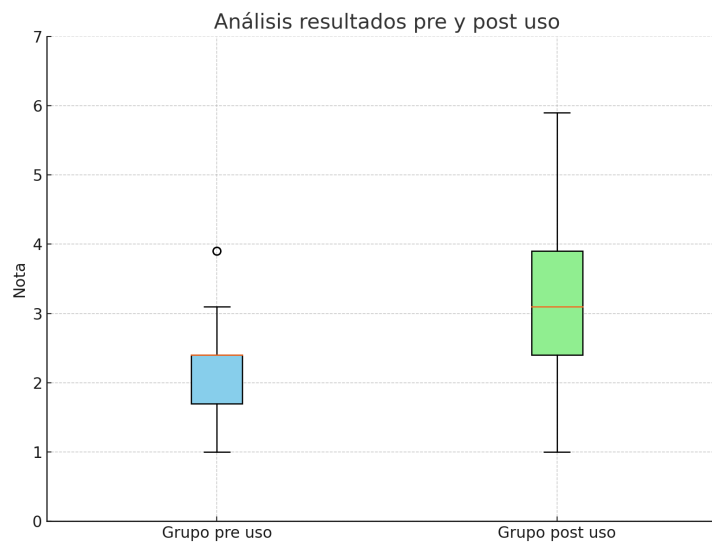


Figura 6.4: Dispersión de respuestas de las pruebas pre y post uso de la App.

7. Conclusiones

Durante este trabajo se abordaron diferentes temas relacionados con la educación, la realidad virtual y diferentes metodologías para evaluar cómo estos mismos pueden relacionarse entre sí para enseñar sobre parasitología en este caso. Para ello se investigaron diferentes metodologías, evaluaciones y diseños para crear un prototipo que dio lugar a la creación de una aplicación que integra realidad aumentada con el fin de ser una herramienta de estudio interactivo para los estudiantes que estén aprendiendo las estructuras de estos microorganismos.

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo mediante la metodología de *extreme programming*, donde la principal tarea era realizar los ajustes y mejoras en base a las peticiones del cliente y enfocarse en las necesidades del usuario final. Se realizaron diferentes pruebas para validar la aplicación con estudiantes del grupo objetivo definido con anterioridad, arrojando resultados de una notable mejora en los resultados que pueden obtener los estudiantes al utilizar el prototipo para aprender, esto debido a la evidencia que arrojó la prueba pre-post uso, donde las notas de los estudiantes eran mejores al compararse con las notas obtenidas antes de usar la App, demostrando que, utilizando esta herramienta interactiva como un añadido en el estudio, los estudiantes pueden mejorar su comprensión sobre las estructuras que componen a los microorganismos, facilitando así su estudio, como fue comprobado con los estudiantes de microbiología de la Universidad de Talca. Por otro lado, la aplicación consiguió el objetivo de ser un prototipo de gran usabilidad y comodidad para el usuario que lo utiliza, basándonos en los resultados obtenidos por los cuestionarios SUS y UEQ contestados por los estudiantes.

Para conseguir los resultados expuestos se realizó una gran recopilación de información de herramientas de realidad aumentada con parasitología protozoaria para su

integración en el prototipo. Se diseñaron y crearon modelos en 3D de los parásitos de manera que estos fueran fáciles de identificar y fuesen útiles en su estudio. Cabe destacar que el desarrollo del prototipo consiguió una madurez tecnológica superior al nivel TRL 3 propuesto en un principio.

En conclusión, es posible complementar la enseñanza de las estructuras que componen a los microorganismos mediante una aplicación que integre realidad aumentada, con el objetivo de facilitar la enseñanza a comparación de hacer solo uso de los métodos tradicionales de enseñanza para el estudio.

7.0.1. Trabajo futuro

Se establece como trabajo futuro, debido al potencial que posee el prototipo, continuar su desarrollo implementando más contenido, tal como nuevas cartas para escanear, así como parásitos para examinar que correspondan a los faltantes de la categoría de protozoarios y abarcar a los helmintos y ectoparásitos.

Bibliografía

- [1] T. Aivelo and A. Uitto. Digital gaming for evolutionary biology learning: The case study of parasite race, an augmented reality location-based game. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 4(1):1–26, 2016.
- [2] Bruce H. Thomas Michael Haller, Mark Billingham. *Emerging Technologies of Augmented Reality*. Idea Group Pub., 2007.
- [3] Joachim Scholz and Andrew N. Smith. Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. *Business horizons*, 59(2):149, 2016.
- [4] A. B. Craig. *Understanding Augmented Reality*. Elsevier Science & Technology, 2013.
- [5] R. Gurevych, A. Silveistr, M. Mokliuk, I. Shaposhnikova, G. Gordiichuk, and S. Saia-pina. Using augmented reality technology in higher education institutions. *Postmodern Openings*, 12(2):109–132, 2021.
- [6] I. Sural. Augmented reality experience: Initial perceptions of higher education students. *International Journal of Instruction*, 11(4):565–576, 2018.
- [7] M. Sarosa, A. Chalim, S. Suhari, Z. Sari, and H. B. Hakim. Developing augmented reality based application for character education using unity with vuforia sdk. *Journal of Physics: Conference Series*, 1375(1), 11 2019.
- [8] S. János. Augmented reality application development using unity and vuforia. *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, 21(1):69–77, 2023.
- [9] J. Glover. *Unity 2018 Augmented Reality Projects: Build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia*. Birmingham: Packt Publishing, 2018.

- [10] Lynne S Garcia. Classification of human parasites, vectors, and similar organisms. *Clinical infectious diseases*, 29(4):734–736, 1999.
- [11] Erich Scholtyseck. *Fine structure of parasitic protozoa: an atlas of micrographs, drawings and diagrams*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [12] Haidee Custodio. Protozoan parasites. *Pediatrics in review*, 37(2):59–71, 2016.
- [13] S. Zambrano-Villa, D. Rosales-Borjas, J. Carrero, and L. Ortiz-Ortiz. How protozoan parasites evade the immune response. *Trends in parasitology*, 18(6):272–278, 2002.
- [14] J. Iona. Kahoot! *The School Librarian*, 65(2):84, Summer 2017.
- [15] J. E. Perez. Nearpod. *Journal of the Medical Library Association*, 105(1):108–110, 01 2017.
- [16] T. Miller. Developing numeracy skills using interactive technology in a play-based learning environment. *International Journal of STEM Education*, 5(1):1–11, 10 2018.
- [17] A. Álvarez Marín, J. Á. Velázquez-Iturbide, and M. Castillo-Vergara. Technology acceptance of an interactive augmented reality app on resistive circuits for engineering students. *Electronics*, 10(11):1286, 2021.
- [18] M. Á. Pérez-Gómez. Augmented reality and franchising: The evolution of media mix through invizimals. In *Handbook of Research on Transmedia Storytelling, Audience Engagement, and Business Strategies*, pages 90–102. IGI Global, 2020.
- [19] S. Bueno, M. D. Gallego, and J. Noyes. Uses and gratifications on augmented reality games: An examination of pokémon go. *Applied Sciences*, 10(5):1644, 2020.
- [20] Mona Singh and Munindar P. Singh. Augmented reality interfaces. *IEEE Internet Computing*, 17(6):66–70, 2013.
- [21] I. Nikolaidis. Extreme programming applied / extreme programming explored / questioning extreme programming. *IEEE Electronic Library (IEL) Journals*, 16, 2002.
- [22] D. Astels, G. Miller, and M. Novak. *The Practical Guide to Extreme Programming*. Prentice Hall PTR, 2002.

- [23] F. Bhanji, R. Gottesman, W. de Grave, Y. Steinert, and L. R & Winer. The retrospective pre-post: A practical method to evaluate learning from an educational program. *Academic Emergency Medicine*, 19(2):189–194, 2012.
- [24] Pomeranz D. MÉtodos de evaluaciÓn. *Harvard Business School*, 2011.
- [25] I. Buyuksalih, S. Bayburt, G. Buyuksalih, A. P. Baskaraca, H. Karim, and A. A. Rahman. 3d modelling and visualization based on the unity game engine – advantages and challenges. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-4/W4:161–166, 2017.
- [26] Saul Greenberg. *Sketching User Experiences*. Chantilly: Elsevier Science & Technology, 2011.
- [27] Y. Jingmiao. Visual communication design for mobile learning apps: User interface usability and learning engagement. *Comunicar*, 32(78):234–248, 2024.
- [28] Long Quan. *Image-based modeling*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [29] James R Lewis. The system usability scale: past, present, and future. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(7):577–590, 2018.
- [30] M. Rauschenberger, M Schrepp, M. Perez-Cota, S. Olschner, and J. Thomaschewski. Efficient measurement of the user experience of interactive products. how to use the user experience questionnaire (ueq). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2013.
- [31] Martin Schrepp. User experience questionnaire handbook. *All you need to know to apply the UEQ successfully in your project*, 10, 2015.
- [32] Pat Dugard and John Todman. Analysis of pre-test-post-test control group designs in educational research. *Educational Psychology*, 15(2):181–198, 1995.

A. Información de parasitología

Se incluye información proporcionada por el departamento de microbiología de la Universidad de Talca; esta consiste en la presentación de parásitos protozoarios usados en las clases de parasitología:

https://drive.google.com/file/d/1AaN4x5kVVR0V1afUH6veNdwUWEZF2Wes/view?usp=drive_link

B. Proyecto de innovación docente y resultados de evaluaciones pa- sadas

Se incluye información proporcionada por la profesora Patricia Poblete sobre el formulario usado para la postulación del proyecto de innovación docente, junto con la justificación de las bajas notas obtenidas por los estudiantes:

<https://docs.google.com/document/d/1u1HPQ-0tvwN48UPG7U7uLi00aXngp9hk/edit?sp=sharing&ouid=104108353945175104175&rtpof=true&sd=true>

C. Pruebas, cuestionarios y resultados

Se incluye un enlace de *Google Drive* que contiene el documento con los resultados, cuestionarios y pruebas realizadas con los estudiantes y los datos recopilados:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1LUQ7MHgIWI3LEHc1uiHern6058zkcFsI5y7sXI1a1tQ/edit?usp=sharing>

D. Prototipo

Se incluye un enlace de *Google Drive* que contiene el ejecutable del proyecto junto con videos sobre el funcionamiento del mismo, cómo este reconoce las cartas y cómo es la aplicación en su conjunto:

<https://drive.google.com/drive/folders/1M5klW3ogaRtk3zUJieijb3J2V4ZCNY58?usp=sharing>