



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

**DESARROLLO DE APLICACIÓN MÓVIL DE TECNOLOGÍA DE REALIDAD
AUMENTADA PARA POTENCIAR LA EDUCACIÓN EN LA BIOLOGÍA CELULAR EN
LA EXPERIENCIA INTERACTIVA DE APRENDIZAJE**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PRESENTA:

ALFREDO GARCÍA GONZÁLEZ

ASESORA: DRA. ETELVINA ARCHUNDIA SIERRA

ASESOR: DR. ROBERTO CONTRERAS JUÁREZ

PUEBLA PUE., MÉXICO, ABRIL 2024.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Objetivo general	4
1.3.1. Objetivo específico	5
1.4. Justificación.....	5
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Estado del Arte	9
2.2. Biología Celular	10
2.2.1. Fundamentos de la Biología Celular	12
2.2.2. Tipos de Células	13
2.2.2.1. Célula Animal	14
2.2.2.2. Célula Vegetal.....	14
2.2.2.3. Célula Procariota.....	16
2.2.2.4. Célula Eucariota.....	16
2.3. Aprendizaje de la Biología Celular mediante Realidad Aumentada.....	17
2.3.1. Aplicación de la Realidad Aumentada	18
2.4. Interacción humano-computadora.....	20
2.5. Diseño Centrado en el Usuario.....	22
2.6. Usabilidad.....	24
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISEÑO	26
3.1. Requerimientos Centrados en el Usuario	27
3.2. Análisis.....	29
3.3. Diseño.....	31
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA.....	35
4.1. Implementación de la Realidad Aumentada en Blender 3D y Unity	36
4.2. Pruebas de usabilidad y Focus Group	47
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	59

5.1. Conclusiones	60
5.2. Trabajo Futuro.....	61
REFERENCIAS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Células de corcho observadas por Robert Hooke.....	11
Figura 2. Ilustración de la Célula Animal.....	14
Figura 3. Ilustración de la Célula Vegetal.	15
Figura 4. Ilustración de la Célula Procariota.	16
Figura 5. Ilustración de la Célula Eucariota.	17
Figura 6. Primera aplicación específica tridimensional de Realidad Aumentada.	18
Figura 7. Integración de la Realidad Aumentada en el entorno educativo.	19
Figura 8. Implementación del View-Frustum Culling.....	20
Figura 9. Casos de Uso.	31
Figura 10. Diseño de la pantalla de inicio.	32
Figura 11. Diseño de la exploración de las Células en 3D.	33
Figura 12. Diseño de la interacción con las Células (zoom).	33
Figura 13. Diseño de la interacción con las Células (rotar).	34
Figura 14. Modelo en Blender.	36
Figura 15. Creación de la Célula Eucariota en Blender.....	37
Figura 16. Modelo tridimensional de la Célula Eucariota.	37
Figura 17. Modelo tridimensional de la Célula Vegetal.	38
Figura 18. Modelo tridimensional de la Célula Animal.	38
Figura 19. Modelo tridimensional de la Célula Procariota.	39
Figura 20. Modelo 3D y texturizado de la aplicación.....	39
Figura 21. Marcadores de la Célula Eucariota.....	41
Figura 22. Pantalla de inicio de la aplicación.	42
Figura 23. Pantalla AR de la Célula Eucariota.	43
Figura 24. Pantalla AR de la Célula Procariota.	44
Figura 25. Pantalla AR de la Célula Animal.	45

Figura 26. Pantalla AR de la Célula Vegetal.	46
Figura 27. El impacto de la aplicación en el interés y entusiasmo de los estudiantes por la Biología Celular.	53
Figura 28. Valoración de la facilidad de uso de aplicación en estudiantes comparando con otras herramientas tecnológicas.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Contenido de actividades.</i>	29
Tabla 2. <i>Comparación de la AR con otros recursos educativos.</i>	55
Tabla 3. <i>Evaluación de la accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades.</i>	56
Tabla 4. <i>Comparación de la aplicación de métodos tradicionales para cubrir los contenidos de la Biología Celular.</i>	57

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La educación es un pilar esencial en el desarrollo humano, está siendo redefinida por los avances tecnológicos que continúan transformando la manera en que aprendemos y enseñamos. En esta era digital, la integración de la tecnología en el ámbito educativo no solo está revolucionando los métodos de enseñanza, sino que también está abriendo nuevas fronteras y posibilidades para adquirir conocimientos de manera más accesible, interactiva y efectiva.

La realidad aumentada (AR) surge como una de las herramientas más innovadoras en este contexto. Al combinar el mundo físico con elementos virtuales generados por computadora, la AR ofrece una experiencia educativa inmersiva y altamente interactiva. Esta tecnología permite a los usuarios explorar y manipular objetos virtuales en tiempo real, superpuestos en su entorno físico, lo que amplía enormemente las posibilidades de aprendizaje.

En el ámbito educativo, la AR ha demostrado ser especialmente prometedora debido a su capacidad para mejorar la comprensión de conceptos complejos y abstractos. Al proporcionar una representación visual y práctica de los temas, la AR facilita el proceso de aprendizaje y ayuda a los estudiantes a internalizar la información de manera más efectiva.

Este trabajo se centra en explorar el potencial de la realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular, una disciplina fundamental en el estudio de la vida. La biología celular se ocupa del estudio de las estructuras y funciones básicas de las células, que son los componentes fundamentales de todos los seres vivos. La comprensión de la biología celular es esencial para estudiantes de biología, medicina, bioquímica y muchas otras áreas relacionadas, ya que proporciona una base sólida para comprender los procesos vitales en los organismos.

La integración de la realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular ofrece una serie de ventajas y beneficios. Por un lado, permite a los estudiantes visualizar estructuras celulares tridimensionales de manera interactiva y dinámica, lo que facilita la comprensión de conceptos abstractos y abstractos. Además, la AR proporciona una plataforma para realizar simulaciones y experimentos virtuales, lo que enriquece la experiencia de aprendizaje al ofrecer un entorno práctico y experimental sin limitaciones de recursos físicos o logísticos. En resumen, la realidad aumentada tiene el potencial de transformar la educación al proporcionar nuevas formas de explorar y aprender sobre el mundo que nos rodea, y este trabajo busca explorar cómo esta tecnología puede ser aplicada de manera efectiva en el campo de la biología celular.

Esta herramienta educativa de realidad aumentada para el aprendizaje de la biología celular destaca no solo por llevar a los usuarios a un viaje interactivo dentro del mundo de las células, sino también por su excepcional rendimiento y adaptabilidad. La aplicación ofrece un rendimiento óptimo y una experiencia sin igual, gracias a su diseño optimizado y su capacidad para adaptarse a una variedad de dispositivos. Esto garantiza que todos los usuarios, independientemente del móvil, puedan acceder y disfrutar de ella desde cualquier lugar y en cualquier momento. Ya sea en casa o en la escuela, la aplicación está siempre al alcance de la mano, lista para enriquecer el aprendizaje con su contenido interactivo.

1.2. Planteamiento del Problema

La enseñanza de la biología celular se considera un desafío para los estudiantes, quienes se enfrentan a la tarea de comprender procesos microscópicos y conceptos abstractos, esta complejidad intrínseca contribuye a la persistencia de obstáculos que socavan la eficacia del aprendizaje en este ámbito. Pese a los esfuerzos desplegados en el ámbito educativo para abordar estas dificultades, los desafíos persisten, subrayando la necesidad de buscar enfoques innovadores que enfrenten los obstáculos existentes y mejoren sustancialmente la calidad de la instrucción [1].

En este contexto, surge el interés de explorar nuevas estrategias educativas que superen los desafíos inherentes a la enseñanza de la biología celular. En este panorama, la tecnología de realidad aumentada emerge como una opción prometedora [2]. ¿Por qué? Porque ofrece la posibilidad única de visualizar estructuras celulares en tres dimensiones de manera interactiva, proporcionando una experiencia educativa más inmersiva y comprensible para los estudiantes. No obstante, a pesar de este prometedor potencial, es imperativo reconocer y abordar las deficiencias que pueden surgir en la implementación efectiva de esta tecnología en el entorno educativo [3].

Estas deficiencias abarcan aspectos cruciales como el diseño centrado en el usuario y la integración con otras herramientas y teorías pedagógicas. En este sentido, el presente trabajo no solo busca identificar y analizar estos desafíos, sino que también se propone abordar estas problemáticas específicas a través del desarrollo e implementación de una aplicación móvil de realidad aumentada. Esta aplicación está diseñada con el objetivo claro de mejorar la comprensión de la biología celular entre los estudiantes [4].

La integración de la tecnología móvil en el ámbito educativo ha revolucionado la forma en que los estudiantes acceden al conocimiento y participan en el proceso de aprendizaje. Con la omnipresencia de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas, se ha creado un nuevo paradigma educativo que trasciende las limitaciones del aula tradicional. La tecnología móvil ofrece una variedad de herramientas y recursos educativos, desde aplicaciones interactivas hasta plataformas de aprendizaje en línea, que permiten a los estudiantes explorar conceptos de manera dinámica y colaborativa [5].

Al abordar estas limitaciones y desafíos, se espera que esta iniciativa no solo mejore la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, sino que también contribuya al avance de los métodos pedagógicos en la enseñanza de disciplinas científicas complejas. La integración efectiva de la tecnología de realidad aumentada en la educación puede sentar un precedente valioso para la adopción de enfoques innovadores en otros campos de estudio, allanando el camino para una educación más dinámica y participativa en general [6].

1.3. Objetivo general

Este proyecto de investigación pretende desarrollar una aplicación móvil de realidad aumentada, para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la biología celular. Se trata de una iniciativa que busca abordar las dificultades inherentes a este campo de estudio, ofreciendo a los estudiantes una experiencia educativa en un ambiente inmersivo.

La tecnología de realidad aumentada no se implementará de manera aislada, sino que se incorporará como un complemento efectivo a las prácticas educativas existentes. Esto implica un análisis detallado de cómo la aplicación puede integrarse de manera coherente en el plan de estudios, aprovechando su potencial para mejorar la comprensión de los estudiantes sin sacrificar los fundamentos pedagógicos.

La aplicación no se concibe como un reemplazo de la enseñanza tradicional, sino como un complemento que puede enriquecer significativamente la experiencia educativa. Al facilitar la visualización interactiva de estructuras celulares, se espera que los estudiantes desarrollen una comprensión más profunda y duradera de los conceptos biológicos. Esta comprensión más sólida puede servir de base para el desarrollo de habilidades críticas y analíticas esenciales en la investigación y la aplicación práctica de la biología celular.

1.3.1. Objetivo específico

- Analizar los desafíos históricos en la enseñanza de la biología celular y cómo la realidad aumentada puede abordarlos de manera efectiva.
- Investigar las tecnologías educativas emergentes, con un enfoque particular en la realidad aumentada, y evaluar su idoneidad para mejorar la enseñanza de la biología celular.
- Diseñar y desarrollar una aplicación móvil de realidad aumentada que permita a los estudiantes visualizar estructuras celulares en 3D y comprender mejor su funcionamiento.
- Integrar la aplicación desarrollada con teorías pedagógicas modernas para garantizar una experiencia de aprendizaje efectiva y alineada con los objetivos educativos.
- Realizar pruebas de usabilidad para evaluar la efectividad y la experiencia del usuario de la aplicación, y recopilar comentarios para futuras mejoras.

1.4. Justificación

La enseñanza de la biología celular se presenta como un componente vital en la formación académica, pero a lo largo de la historia, ha tropezado con desafíos significativos que han impactado la comprensión y el interés de los estudiantes [7]. La intrincada complejidad de los procesos microscópicos y la abstracción de los conceptos asociados hacen que la biología celular sea una disciplina intrínsecamente desafiante. A pesar de los esfuerzos sostenidos en el ámbito educativo, perduran obstáculos que obstaculizan la efectividad de la enseñanza tradicional [8].

La necesidad imperante de superar estas barreras educativas ha impulsado la exploración de tecnologías innovadoras, y en este contexto, la realidad aumentada emerge como una herramienta prometedora con el potencial de revolucionar la forma en que los estudiantes interactúan con los conceptos de biología celular. Poder visualizar estructuras celulares en 3D de forma interactiva ofrece un enfoque más inmersivo y comprensible, promoviendo experiencias de aprendizaje que superan los límites de la enseñanza tradicional [9].

Históricamente, la enseñanza de la biología celular se ha enfrentado a desafíos considerables, entre ellos, la falta de recursos visuales efectivos y la incapacidad para involucrar a los

estudiantes en el mundo intrincado de las células. Estos obstáculos han contribuido a la percepción de la biología celular como una disciplina compleja e inaccesible. A pesar de los avances en la educación, la abstracción inherente a los conceptos celulares ha llevado a una desconexión entre la teoría y la aplicación práctica, lo que impide una comprensión completa y significativa [10].

La realidad aumentada, aunque prometedora, aún enfrenta lagunas significativas en su aplicación efectiva en entornos educativos. La falta de diseño centrado en el usuario y la necesidad de una integración más sólida con teorías pedagógicas consolidadas son desafíos críticos que requieren atención. Esta investigación se justifica al abordar entornos virtuales diferentes y proponer el desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada específicamente diseñada para optimizar la enseñanza de la biología celular [11].

La importancia de este trabajo se centra en su contribución al campo educativo, ofreciendo una solución innovadora y ajustada a las necesidades de los estudiantes. La aplicación resultante aspira a no solo mejorar la comprensión de la biología celular, sino también a despertar un interés más profundo y sostenido en la materia. Al aplicar principios de diseño centrado en el usuario y al integrar teorías pedagógicas pertinentes, se espera que la aplicación sea una herramienta educativa efectiva y accesible para diversos entornos de aprendizaje.

Al abordar las deficiencias en la enseñanza tradicional y aprovechar el potencial de la realidad aumentada, esta investigación busca impactar positivamente la formación académica de los estudiantes. La aplicación propuesta no solo se centra en la transferencia de conocimientos, sino también en el estímulo de la curiosidad y el interés duradero en la biología celular, allanando el camino para futuras investigaciones y descubrimientos.

Además de su impacto académico, la implementación de tecnologías innovadoras en la educación plantea consideraciones éticas y sociales. La equidad en el acceso a la tecnología, la privacidad de los datos y la inclusividad son aspectos cruciales que deben abordarse en el desarrollo y la implementación de la aplicación. Esta investigación se compromete a considerar y abordar estas cuestiones, asegurando que la transformación educativa sea accesible y beneficiosa para todos los estudiantes.

La realidad aumentada se presenta como una herramienta prometedora, y esta investigación busca no solo desarrollar una aplicación efectiva, sino también contribuir al cambio de paradigma en la educación. Al cerrar la brecha entre la tecnología y la enseñanza, se espera que

esta investigación sea duradera en la forma en que los estudiantes aprenden y aprecian la biología celular en el siglo XXI.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del Arte

El avance tecnológico en el ámbito educativo ha generado un cambio significativo en la forma en que los estudiantes acceden y asimilan el conocimiento. Entre las tecnologías más destacadas se encuentra la realidad aumentada (AR), que ha demostrado ser una herramienta prometedora para mejorar la experiencia de aprendizaje. La AR combina el mundo físico con elementos virtuales, proporcionando a los estudiantes una experiencia inmersiva que puede enriquecer su comprensión de conceptos complejos y promover un aprendizaje activo. En este contexto, es relevante explorar algunas de las aplicaciones más innovadoras que aprovechan la AR para potenciar el proceso educativo y mejorar la interacción entre estudiantes y contenido educativo.

- **VictoryXR:** Un notable avance en la integración de la tecnología en el ámbito educativo, al brindar recursos basados en la realidad aumentada. Su característica sobresaliente radica en la capacidad de personalizar el contenido de manera precisa según el nivel educativo. Esta aplicación permite a los estudiantes establecer una conexión más profunda con el material educativo, diseñada para los niveles de escuela media y secundaria.

Lo que distingue a VictoryXR es su enfoque en permitir a los estudiantes explorar y experimentar un aprendizaje más avanzado y enriquecedor. La aplicación se convierte así en una herramienta invaluable para aquellos estudiantes que buscan ir más allá de lo convencional y desean profundizar en su comprensión de los conceptos educativos. Este enfoque personalizado no solo eleva la experiencia educativa, sino que también beneficia significativamente a aquellos que están preparados para desafíos más complejos y estimulantes en su proceso de aprendizaje [12].

- **QuiverVision:** Presenta como una aplicación que ofrece una propuesta educativa efectiva para introducir a los estudiantes de primer año de Educación Secundaria al mundo de la realidad aumentada. La plataforma facilita esquemas detallados de las células eucariotas animales y vegetales, los cuales los estudiantes pueden imprimir y explorar de manera interactiva.

La aplicación no solo proporciona material visualmente estimulante, sino que también se enfoca en reforzar el conocimiento de los estudiantes. Permite a los estudiantes repasar y consolidar su comprensión de los nombres de los orgánulos principales y sus

funciones respectivas. De esta manera, QuiverVision no solo se limita a la presentación de información estática, sino que crea una experiencia educativa dinámica que involucra activamente a los estudiantes en el aprendizaje de conceptos biológicos clave [13].

- **Apple ARKit:** Se presenta como una robusta herramienta para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) destinada a dispositivos iOS, como iPhones y iPads. ARKit posibilita a los usuarios participar en interacciones con objetos y entornos virtuales que se superponen al mundo real a través de la cámara de sus dispositivos.

Esta plataforma ofrece características clave, como la detección y seguimiento de superficies, así como el reconocimiento de objetos. Estas funcionalidades no solo mejoran la precisión,

También añaden realismo excepcional a las experiencias de AR. ARKit se ha convertido en un componente fundamental para las experiencias de entretenimiento que aprovechan la AR, brindando contenido interactivo de alta calidad a los usuarios de dispositivos iOS [14].

2.2. Biología Celular

La Biología Celular, piedra angular de la investigación biológica, se muestra como una disciplina importante al análisis de las células, consideradas las unidades fundamentales de la vida. Más allá de abordar la complejidad y diversidad celular, esta rama del conocimiento se adentra en la exploración de la estructura, función y comportamiento celular a niveles microscópicos [15].

En el núcleo de la Biología Celular y su relevancia se encuentra la comprensión de cómo las células constituyen los cimientos de la vida. Al estudiar sus complejas interacciones y funciones, se desvela un mundo de procesos intrincados que sustentan la existencia de todos los organismos [16]. La capacidad de la Biología Celular para descifrar estos procesos a nivel molecular y celular la convierte en un pilar necesario para el avance del conocimiento biológico.

Desde sus inicios, la observación microscópica ha sido crucial para el avance de la Biología Celular. Entre los pioneros de esta disciplina se encuentra Robert Hooke, quien en el siglo XVII realizó observaciones detalladas de células vegetales a través de un microscopio rudimentario, como se muestra en la Figura 1. Su descubrimiento y descripción de las "celdillas" en corcho marcaron el inicio de la exploración sistemática de la estructura celular y sentaron las bases para el desarrollo posterior de la Biología Celular como disciplina científica [17].



Figura 1. Células de corcho observadas por Robert Hooke.

La Biología Celular representa un objetivo de aprendizaje y una travesía cognitiva significativa que va más allá de la simple acumulación de conocimientos. Este periodo, marcado por la nueva realidad global impuesta por la pandemia de COVID-19, ha puesto de relieve la importancia crítica de comprender los intrincados mecanismos celulares que componen la respuesta del organismo ante patógenos, en particular, el virus SARS-CoV-2 [18]. La Biología Celular emerge como una disciplina esencial en este contexto, proporcionando las herramientas conceptuales necesarias para descifrar la complejidad de las interacciones celulares en situaciones de salud.

La educación en Biología Celular es una herramienta clave para preparar mentes jóvenes que comprenden la ciencia y también están preparadas para ayudar a resolver problemas en el ámbito de la salud y la investigación biológica.

Los estudiantes que se adentren en este ámbito deben aspirar a:

- ✓ **Comprensión Integral:** Desarrollar no solo un conocimiento superficial, sino una comprensión profunda de los principios fundamentales de la Biología Celular. Esta inmersión les permite conectar los conceptos a través de diversos niveles de organización celular y apreciar la importancia de estos principios en el contexto más amplio de la biología. En el contexto de la pandemia, comprender cómo las células responden a las infecciones virales se convierte en conocimiento crucial, contribuyendo a una comprensión más holística de los desafíos de salud actuales.
- ✓ **Aplicaciones Prácticas:** Relacionar los conceptos de Biología Celular con aplicaciones prácticas en medicina, investigación científica y biotecnología adquiere una relevancia excepcional. Este enfoque práctico no solo amplía la perspectiva de los estudiantes, sino que también fomenta la aplicación de estos conocimientos para abordar problemas reales en la sociedad, como el desarrollo de terapias antivirales frente a enfermedades infecciosas.

Por su importancia, la Biología Celular juega un papel importante en la resolución de enigmas biológicos y médicos. La investigación en Biología Celular contribuye significativamente a campos como la medicina, la genética, la biotecnología y la comprensión más amplia de la biología molecular.

2.2.1. Fundamentos de la Biología Celular

En el mundo de la biología celular, la atención se centra en cada detalle, desde la intrincada morfología celular hasta la compleja interacción de los orgánulos subcelulares [19]. Cada componente, desde la membrana plasmática hasta el núcleo y las mitocondrias, desempeña un papel crucial en la existencia y el funcionamiento de los organismos.

- ✓ **Estructura Celular:** La morfología celular se convierte en un campo de estudio, donde la diversidad y complejidad de las células revelan un panorama intrigante. Desde las células procariotas, que carecen de núcleo definido, hasta las eucariotas con su estructura más avanzada, el entendimiento de la morfología implica la exploración de componentes clave como la membrana celular, el citoplasma y el núcleo.
- ✓ **Organización Subcelular:** Dentro del microcosmos celular, una composición de orgánulos desempeña funciones cruciales. El retículo endoplasmático, el aparato de Golgi y las mitocondrias, entre otros, colaboran en procesos vitales, desde la síntesis de

proteínas hasta la producción de energía. Esta organización subcelular se convierte en el escenario donde se representan los ballets moleculares de la vida.

- ✓ **Componentes Celulares:** En el escenario celular, los actores principales son las macromoléculas, desde proteínas que orquestan funciones específicas hasta lípidos que componen membranas celulares.
- ✓ **Procesos Fundamentales:** La Biología Celular dirige su mirada a los procesos que son la esencia misma de la vida. Desde la duplicación precisa del ADN hasta la ejecución precisa de la información genética en la síntesis de proteínas, estos procesos son los hilos invisibles que tejen la trama de la existencia celular.

2.2.2. Tipos de Células

En el vasto campo de la biología, se despliega un panorama fascinante de diversidad celular, donde una amplia gama de tipos celulares sobresale por sus notables disparidades, tanto en su organización estructural como en sus funciones cruciales dentro de los organismos vivos. Esta diversidad celular no solo es testimonio de la complejidad intrínseca de la vida, sino también un reflejo vívido de los intrincados procesos evolutivos que han moldeado y perfeccionado cada forma de vida a lo largo del tiempo geológico. Cada variante celular representa una adaptación meticulosa y una especialización precisa en respuesta a las presiones ambientales y las demandas funcionales específicas de cada organismo.

2.2.2.1. Célula Animal

Las células animales son componentes fundamentales del reino Animalia, caracterizadas por su complejidad estructural y funcional. Se distinguen por ser células eucariotas, lo que significa que poseen un núcleo definido por una membrana nuclear. Además de esta característica distintiva, presentan una diversidad de orgánulos rodeados por membranas, tal como se ilustra en la Figura 2. Entre estos se encuentran las mitocondrias, el aparato de Golgi, los lisosomas y el retículo endoplasmático. Estos orgánulos desempeñan funciones especializadas que son vitales para el metabolismo y la actividad celular [20].

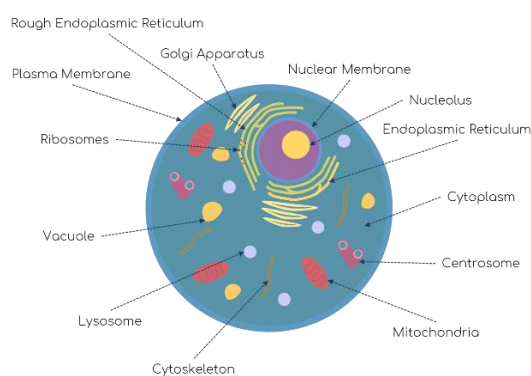


Figura 2. Ilustración de la Célula Animal.

La morfología de las células animales puede variar considerablemente según el tipo de tejido en el que se encuentren y la función que desempeñen en el organismo. Por ejemplo, las células musculares se distinguen por su capacidad contráctil, mientras que las células nerviosas están adaptadas para la transmisión rápida de señales eléctricas. Esta diversidad morfológica refleja la especialización celular necesaria para cumplir con las distintas tareas fisiológicas y estructurales que requiere el organismo animal.

2.2.2.2. Célula Vegetal

Las células vegetales son elementos esenciales del reino Plantae y se caracterizan por su estructura única, adaptada para la vida en el ambiente terrestre. Al igual que las células animales, son eucariotas y poseen un núcleo celular rodeado por una membrana nuclear, así como una variedad de orgánulos rodeados por membranas. Sin embargo, presentan

características distintivas que reflejan su capacidad para llevar a cabo la fotosíntesis y su resistencia a la desecación.

Una de las características más notables de las células vegetales es la presencia de una pared celular robusta, compuesta principalmente de celulosa, como se puede apreciar en la Figura 3. Esta pared celular proporciona soporte estructural y protección a la célula, contribuyendo a su resistencia mecánica y protegiéndola de daños externos.

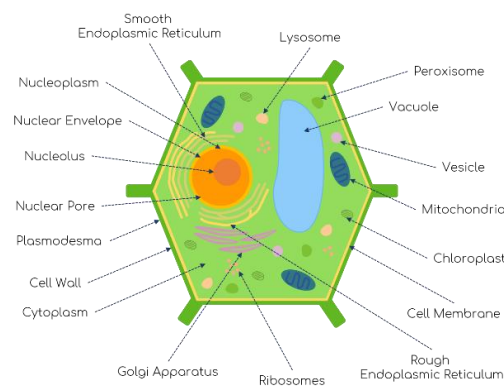


Figura 3. Ilustración de la Célula Vegetal.

Los cloroplastos son orgánulos especializados exclusivos de las células vegetales, donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Contienen pigmentos como la clorofila, que capturan la energía solar y la convierten en energía química, en forma de carbohidratos. Esta capacidad única permite a las células vegetales producir su propio alimento y liberar oxígeno como subproducto [21].

La función de las células vegetales va más allá de su importancia biológica fundamental. Son cruciales para la producción de alimentos a través de la fotosíntesis, la oxigenación del ambiente al liberar oxígeno y absorber dióxido de carbono, y contribuyen a la regulación del clima al influir en los ciclos biogeoquímicos. También son una materia prima invaluable para diversas industrias, como la fabricación de papel, textiles y biocombustibles, lo que subraya aún más su relevancia económica y ambiental.

2.2.2.3. Célula Procariota

Las células procariotas son organismos unicelulares que se encuentran en los reinos Bacteria y Archaea, destacándose por su estructura celular simple y la ausencia de un núcleo celular delimitado por una membrana nuclear. En lugar de tener un núcleo definido, el material genético de estas células se encuentra disperso en el citoplasma en una región llamada nucleóide, como se muestra en la Figura 4. Esta organización celular más primitiva no impide que las células procariotas realicen una amplia variedad de funciones vitales [22].

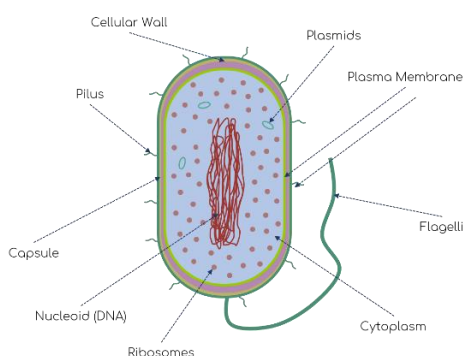


Figura 4. Ilustración de la Célula Procariota.

A pesar de ser más pequeñas y menos complejas que sus contrapartes eucariotas, las células procariotas exhiben una sorprendente diversidad y adaptabilidad. Se encuentran prácticamente todos los ambientes desde las profundidades oceánicas hasta los suelos más áridos, y desempeñan roles fundamentales en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Las células procariotas son conocidas por su capacidad para colonizar nichos ecológicos extremos. Por ejemplo, muchas especies bacterianas son responsables de la descomposición de la materia orgánica, facilitando la recirculación de nutrientes en los ecosistemas. Además, ciertas bacterias son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, convirtiéndolo en formas utilizables por otros organismos.

2.2.2.4. Célula Eucariota

Las células eucariotas representan la forma de vida predominante en la Tierra y se encuentran distribuidas en los reinos Animalia, Plantae, Fungi y Protista [23]. Se distinguen por tener un núcleo celular claramente delimitado por una membrana nuclear, lo que permite una

organización más ordenada y eficiente del material genético. Además, presentan una amplia variedad de orgánulos membranosos que desempeñan funciones especializadas para mantener la homeostasis y el funcionamiento celular [24].

Además de estos orgánulos, las células eucariotas cuentan con una variedad de estructuras especializadas, como se detalla en la Figura 5. Entre estas estructuras se incluyen el aparato de Golgi, los lisosomas, los centriolos y los cilios o flagelos, cada uno con funciones específicas que contribuyen al funcionamiento celular.

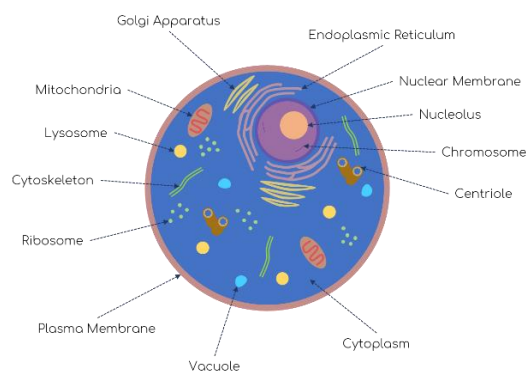


Figura 5. Ilustración de la Célula Eucariota.

La complejidad y el tamaño de las células eucariotas les otorgan una versatilidad excepcional para llevar a cabo una amplia gama de funciones biológicas esenciales. Estas funciones incluyen la reproducción, el metabolismo, la comunicación celular y la capacidad de adaptación a diferentes entornos y condiciones ambientales, lo que les permite colonizar y prosperar en diversos hábitats de la Tierra.

2.3. Aprendizaje de la Biología Celular mediante Realidad Aumentada

La enseñanza de la Biología Celular, caracterizada por la complejidad de sus procesos microscópicos y conceptos abstractos, representa un desafío constante en el ámbito educativo. Ante esta complejidad, la Realidad Aumentada (AR) emerge como una estrategia prometedora para superar estas barreras y transformar de manera significativa la experiencia de aprendizaje en este campo específico [25].

La Biología Celular, al explorar los intrincados detalles de las células y sus procesos, plantea desafíos tanto para educadores como para estudiantes. La abstracción de los conceptos y la

necesidad de comprender fenómenos a nivel microscópico pueden resultar abrumadores [26]. En este contexto, la AR se presenta como una herramienta innovadora al ofrecer soluciones más allá de los métodos tradicionales de enseñanza.

La AR tiene el potencial de ser un facilitador clave al proporcionar visualizaciones tridimensionales y experiencias interactivas que permiten a los estudiantes explorar estructuras celulares de manera inmersiva. Al superar las limitaciones de representaciones bidimensionales, la tecnología de AR brinda a los estudiantes la oportunidad de examinar las células desde múltiples ángulos y perspectivas. Esta capacidad no solo mejora la comprensión de la estructura y función celular, sino que también estimula el interés al hacer que los conceptos abstractos se vuelvan tangibles y accesibles.

La adaptabilidad de la AR es crucial en la personalización de la experiencia de aprendizaje. Al permitir que los estudiantes ajusten el ritmo y el enfoque de su exploración, la AR fomenta un aprendizaje más autodirigido. Esta flexibilidad es fundamental para atender a diferentes estilos y velocidades de aprendizaje, creando así un entorno educativo inclusivo.

2.3.1. Aplicación de la Realidad Aumentada

La aplicación de la Realidad Aumentada en la enseñanza de la Biología Celular marca un punto de inflexión en la forma en que los educadores abordan la transmisión de conocimientos complejos. Este enfoque innovador no solo amplía las posibilidades de interacción en el aula, sino que también permite una comprensión más profunda de los procesos celulares. Veamos cómo la integración de la AR redefine la experiencia educativa y cómo esta herramienta de aprendizaje puede beneficiar a los estudiantes, como se muestra en la Figura 6 [27].

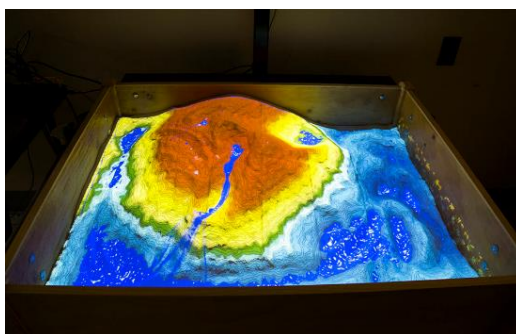


Figura 6. Primera aplicación específica tridimensional de Realidad Aumentada.

La AR proporciona una nueva dimensión a la enseñanza de la Biología Celular al ofrecer visualizaciones tridimensionales de estructuras celulares. Al ir más allá de las limitaciones de representaciones bidimensionales, los estudiantes pueden explorar las células desde diversos ángulos y perspectivas, mejorando significativamente su comprensión de la estructura y función celular. Esta capacidad de interactuar con modelos 3D en tiempo real brinda una experiencia educativa más inmersiva y estimulante como por ejemplo el estudio de la anatomía humana, como se muestra en la Figura 7 [28].

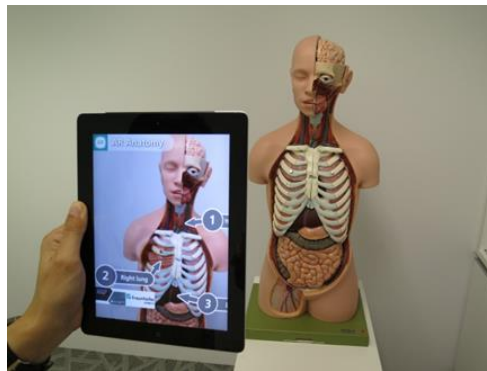


Figura 7. Integración de la Realidad Aumentada en el entorno educativo.

La oportunidad de personalizar la experiencia de aprendizaje. Los estudiantes pueden adaptar el ritmo y el enfoque de su exploración, lo que permite un aprendizaje más autodirigido. Esta adaptabilidad promueve un ambiente de aprendizaje inclusivo, atendiendo a diferentes estilos y velocidades de aprendizaje.

La adaptación de gestos intuitivos, como pellizcar para hacer zoom o deslizar para rotar, permitió a los usuarios interactuar de manera natural con los modelos 3D. Estos gestos no solo enriquecieron la experiencia táctil, sino que también contribuyeron a la comprensión.

Al integrar tecnologías de optimización específicas, como técnicas de culling y nivel de detalle (LOD), se logró mejorar la eficiencia del renderizado [29]. Estas tecnologías se seleccionaron e integraron cuidadosamente para optimizar el rendimiento general del sistema, garantizando una experiencia de realidad aumentada que no solo sea visualmente impactante, sino también eficiente y accesible en configuraciones y dispositivos. Esto se muestra en la Figura 8.

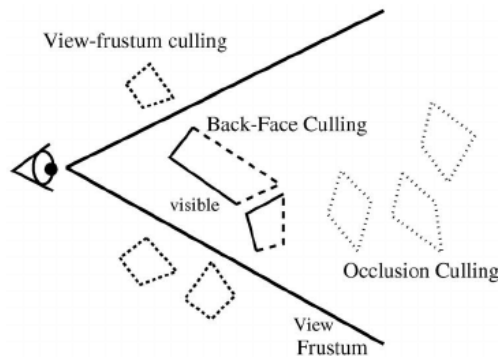


Figura 8. Implementación del View-Frustum Culling.

2.4. Interacción humano-computadora

La interacción humano-computadora (IHC) se presenta como el núcleo importante en este ámbito, que se propone el desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada destinada a revolucionar la enseñanza de la biología celular. Esta elección estratégica no surge de manera fortuita, sino que responde a una profunda necesidad de no solo impulsar la innovación tecnológica, sino también de asegurar su accesibilidad y eficacia desde una perspectiva pedagógica. En un contexto educativo cada vez más diverso y tecnológicamente avanzado, la IHC se erige como la clave para crear una herramienta que no solo transmita conocimiento, sino que también promueva la participación activa y el compromiso del estudiante en su proceso de aprendizaje. La aplicación móvil de realidad aumentada no solo busca informar, sino también transformar la manera en que se enseña y se aprende la biología celular, permitiendo una experiencia educativa más dinámica, interactiva y significativa. En este sentido, la IHC se posiciona como el motor impulsor que garantizará que la aplicación cumpla con los más altos estándares de usabilidad, accesibilidad y eficacia pedagógica, asegurando que cada estudiante, independientemente de su nivel de habilidad técnica o estilo de aprendizaje, pueda beneficiarse plenamente de esta innovadora herramienta educativa [30].

- ✓ **Enfoque en la Usabilidad para la Audiencia Educativa:** La diversidad en el nivel de habilidad técnica entre los estudiantes subraya la importancia de la usabilidad a través de la IHC. El diseño no solo aspira a ser estéticamente atractivo, sino que se compromete en una atención meticulosa para que la aplicación resulte intuitiva y fácil de usar. Se busca no solo atraer visualmente a los estudiantes, sino también hacer que la experiencia de aprendizaje sea fluida y gratificante, independientemente de su nivel de familiaridad con la tecnología [31].

- ✓ **Experiencia de Usuario Educativa e Inmersiva:** La IHC no solo pretende facilitar la comprensión de la biología celular, sino también transformar la experiencia de aprendizaje en algo envolvente y educativo. Cada aspecto de la interacción, desde la navegación hasta la presentación de información, será meticulosamente diseñado para propiciar una experiencia inmersiva y memorable. Se prestará especial atención a elementos visuales, auditivos y táctiles para asegurar una total inmersión en el mundo de la biología celular, promoviendo así una participación activa y comprometida del estudiante en su proceso de aprendizaje [32].
- ✓ **Adaptabilidad a Diferentes Estilos de Aprendizaje:** La IHC se adapta a la diversidad de estilos de aprendizaje, incorporando características que fomentan la flexibilidad. Se incluirán opciones y funcionalidades que permitan a los estudiantes abordar el contenido según sus preferencias individuales. La personalización de la experiencia de aprendizaje no solo respeta la diversidad, sino que también maximiza la efectividad del proceso educativo. Al poner énfasis en la adaptabilidad, la IHC permite a los estudiantes elegir cómo interactuar con los conceptos de biología celular, potenciando así su compromiso y comprensión [33].
- ✓ **Desarrollo Continuo a través de la Retroalimentación del Usuario:** La IHC se concibe como un proceso dinámico y evolutivo, beneficiándose de la retroalimentación continua de los usuarios. Se establecerán sólidos mecanismos para recopilar comentarios de estudiantes y educadores, lo que permitirá ajustes y mejoras constantes. Esta retroalimentación iterativa no solo garantizará que la aplicación evolucione para satisfacer las necesidades cambiantes de la audiencia educativa, sino que también se mantenga alineada con las mejores prácticas pedagógicas y tecnológicas [34].

La IHC se consolida como un pilar fundamental para crear una aplicación móvil de realidad aumentada destinada a enriquecer la comprensión de la biología celular y transformar la experiencia educativa. Al centrarse en la usabilidad, la inmersión, la adaptabilidad, la retroalimentación, la accesibilidad y las consideraciones éticas, la IHC se convierte en el puente entre la tecnología y la pedagogía, asegurando que la innovación propuesta sea verdaderamente eficaz y accesible para todos los estudiantes. Este enfoque integral no solo busca mejorar la enseñanza de la biología celular, sino también sentar las bases para futuros avances en la integración efectiva de la tecnología en la educación.

2.5. Diseño Centrado en el Usuario

El Diseño Centrado en el Usuario (DCU) es esencial para el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada destinada a revolucionar la enseñanza de la biología celular en el contexto de esta investigación. Más que una mera elección técnica, esta metodología representa un compromiso arraigado con la creación de una herramienta educativa que trascienda los estándares convencionales. Se trata de una declaración de intención en la que se prioriza no solo la funcionalidad tecnológica, sino también la capacidad de adaptación precisa a las necesidades y expectativas específicas de los estudiantes.

El enfoque adoptado implica una inmersión profunda en el mundo de los usuarios, no limitándose únicamente a recopilar datos demográficos, sino adentrándose en las complejidades individuales. Se busca comprender las preferencias de aprendizaje, identificar las barreras percibidas y captar las expectativas particulares de la audiencia.

Esta comprensión no solo informará cada aspecto del diseño, sino que también garantizará que la aplicación establezca la experiencia única de cada estudiante. Así, se potenciará el aprendizaje y la satisfacción del usuario en su proceso educativo [35].

En el aprendizaje mediado del diseño digital centrado en el usuario facilita la comprensión de conceptos complejos, sino también mejorar la experiencia del usuario a través de interfaces intuitivas y accesibles [36].

Para alcanzar un desarrollo efectivo y centrado en las necesidades de los usuarios, se han establecido los siguientes principios básicos dentro de la metodología de diseño [37]:

- **Exploración Activa de Usuarios:** La investigación de usuarios será un proceso exhaustivo que trascenderá más allá de meras estadísticas demográficas. Se adentrará en las complejidades individuales, explorando las preferencias de aprendizaje, las barreras percibidas y las expectativas específicas de la audiencia. Esta comprensión profunda sentará las bases para informar cada aspecto del diseño, garantizando que la aplicación no solo sea funcional, sino que también se conecte con la experiencia única de cada estudiante.
- **Personalización y Adaptabilidad:** El DCU será el impulsor de una aplicación versátil y adaptable, capaz de moldearse según las preferencias individuales de los usuarios. La

diversidad en los estilos de aprendizaje será acogida, no solo como una variabilidad, sino como una fuente de inspiración para el diseño. Desde opciones de navegación hasta ajustes de contenido, la aplicación se convertirá en un lienzo personalizable que se adapta a la diversidad de enfoques y ritmos de estudio de los estudiantes.

- **Facilitación de Tareas Específicas:** Cada elemento del diseño estará estratégicamente orientado a simplificar las tareas específicas asociadas con el aprendizaje de la biología celular. La navegación será intuitiva, la comprensión de conceptos clave será respaldada por interfaces amigables, y la interacción con las visualizaciones en 3D será una experiencia fluida. La eficacia educativa guiará la toma de decisiones de diseño, asegurando que cada elemento contribuya a la meta fundamental de facilitar el aprendizaje.
- **Estética y Atractivo Visual:** El DCU no relegará la estética a un segundo plano; por el contrario, la integrará como una fuerza potenciadora. La aplicación no solo será funcional, sino visualmente atractiva, aprovechando elementos gráficos que no solo mejoren la experiencia del usuario, sino que también fomenten la participación activa. La estética será una herramienta educativa, estimulando la conexión emocional y cognitiva del estudiante con los contenidos de la biología celular.
- **Evaluación Continua del Usuario:** El ciclo de evaluación no será un simple protocolo, sino un compromiso constante con la mejora. Mecanismos de recolección de datos analíticos y retroalimentación directa serán implementados desde las etapas iniciales hasta las fases avanzadas de implementación. Esta evaluación constante permitirá ajustes, garantizando que la aplicación no solo mantenga su relevancia, sino que también evolucione con los cambios en las preferencias y necesidades de los estudiantes. La aplicación será un organismo que se adapta y crece junto con su audiencia.

En resumen, el Diseño Centrado en el Usuario (DCU) no solo implica la creación de una aplicación tecnológicamente avanzada, sino también el desarrollo de una herramienta educativa que se adapta a las necesidades individuales de los estudiantes. Al priorizar la comprensión profunda de los usuarios, la personalización, la facilitación de tareas específicas, la estética atractiva y la evaluación continua, se busca garantizar que la aplicación de realidad aumentada para la enseñanza de la biología celular no solo cumpla con los estándares de calidad, sino que

también se convierta en una experiencia de aprendizaje efectiva y significativa para todos los usuarios.

2.6. Usabilidad

La usabilidad en el contexto del sistema se refiere a la facilidad con la que los usuarios, ya sean estudiantes o docentes, pueden interactuar con la aplicación móvil de realidad aumentada diseñada para enseñar y aprender biología celular, conforme a los estándares establecidos por la norma ISO 9241-11 [38]. Esta norma define la usabilidad como la medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto específico de uso. En este sentido, la usabilidad se centra en garantizar que la experiencia de uso sea intuitiva, eficiente y satisfactoria [39]. La aplicación se ha desarrollado con un enfoque centrado en el usuario, lo que implica que se han tenido en cuenta las necesidades, habilidades y preferencias de los usuarios finales durante todo el proceso de diseño y desarrollo. Esto se traduce en que la interfaz y las funciones de la aplicación están diseñadas de manera que sean fáciles de entender y utilizar, promoviendo así una interacción fluida y significativa.

- **Efectividad:** La usabilidad en el contexto del sistema se refiere a la facilidad con la que los usuarios, ya sean estudiantes o docentes, pueden interactuar con la aplicación móvil de realidad aumentada diseñada para enseñar y aprender biología celular.
- **Eficiencia:** La exploración y el descubrimiento durante el proceso de aprendizaje. Esto significa que la aplicación no se limita a transmitir información de manera estática, sino que fomenta la participación activa de los usuarios, animándolos a investigar y descubrir por sí mismos los conceptos de la biología celular.
- **Satisfacción:** Se han integrado recursos que no solo facilitan la comprensión de los complejos conceptos de la biología celular, sino que también despiertan el interés y la motivación para explorar el mundo de las células y sus funciones.

Además, se ha puesto énfasis en cultivar la curiosidad, la exploración y el descubrimiento durante el proceso de aprendizaje. Esto significa que la aplicación no se limita a transmitir información de manera estática, sino que fomenta la participación activa de los usuarios, animándolos a investigar y descubrir por sí mismos los conceptos de la biología celular [40].

Se han implementado los siguientes aspectos clave de usabilidad para asegurar una experiencia educativa enriquecedora y efectiva:

- **Facilidad de Uso y Navegación Intuitiva:** La interfaz de la aplicación se ha diseñado para ser accesible y fácil de entender, permitiendo a los usuarios navegar de manera eficiente por los contenidos y funciones disponibles.
- **Experiencia Interactiva Inmersiva:** La aplicación ofrece modelos tridimensionales de células y estructuras celulares a través de la realidad aumentada, permitiendo a los usuarios explorar y manipular virtualmente estos elementos para una comprensión más profunda de la biología celular.
- **Personalización y Adaptabilidad:** Los usuarios pueden personalizar su experiencia de aprendizaje según sus preferencias individuales, ajustando la velocidad de la presentación de información y accediendo a contenido adicional según sus necesidades específicas. Esta flexibilidad permite que cada usuario aborde el aprendizaje de manera personalizada, adaptando el ritmo y el enfoque según su estilo y ritmo de aprendizaje.
- **Accesibilidad Universal:** Esto se traduce en un diseño que tiene en cuenta las necesidades de usuarios con diferentes habilidades y preferencias, asegurando que todos puedan beneficiarse plenamente de la experiencia educativa ofrecida por la aplicación.

En resumen, la usabilidad de la aplicación móvil de realidad aumentada para la educación de la biología celular se fundamenta en ofrecer una experiencia educativa completa y significativa, que no solo facilite la comprensión de los conceptos científicos, sino que también promueva la curiosidad, la exploración y el aprendizaje autónomo. Esta herramienta educativa ha sido diseñada pensando en las necesidades y preferencias de los usuarios, con el objetivo de inspirar el interés por la biología celular.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISEÑO

3.1. Requerimientos Centrados en el Usuario

La experiencia de aprendizaje interactiva sobre la biología celular mediante la aplicación móvil de realidad aumentada. Esta herramienta permite a los usuarios analizar el mundo celular, explorando y comprendiendo de manera visual y práctica la complejidad de la estructura celular.

- 1) Ingresar a la herramienta intuitiva para usuarios como estudiantes y docentes.
- 2) Información sobre los diferentes tipos de células y organelos celulares.
- 3) El usuario interactúa con modelos tridimensionales de células y estructuras celulares en tiempo real, utilizando la cámara de sus dispositivos móviles.
- 4) El usuario explora libremente las células y organelos en realidad aumentada, así como rotar y ampliar los modelos para obtener una comprensión completa de su estructura y función.

El contenido de aprendizaje proporcionado se centra en varias funcionalidades esenciales para el estudio de la biología celular.

La integración de células animal, vegetal, procariota y eucariota proporciona una visión completa de la diversidad celular y sus funciones fundamentales. Desde el núcleo celular y el citoplasma hasta las estructuras especializadas como los cloroplastos y los lisosomas, esta variedad celular permite a los usuarios comprender no solo las similitudes básicas entre los diferentes tipos de células, sino también las características únicas que definen su funcionalidad y papel en los organismos vivos.

Permitir a los usuarios visualizar las estructuras de la célula en 3D mediante la realidad aumentada, lo que les permite explorar detalladamente las partes de cada una de estas células y comprender su organización interna.

En la célula animal se estudiará las distintas estructuras que lo componen. Se identificará la membrana plasmática como la barrera que regula el intercambio de sustancias, y se observará el núcleo, que alberga el material genético. Asimismo, se examinarán los orgánulos celulares como las mitocondrias, encargadas de la producción de energía, y el aparato de Golgi, implicado en la modificación y distribución de proteínas. También se analizará la función de los lisosomas en la degradación de desechos celulares, y se explorará el papel de los centríolos en la división celular.

En la célula vegetal se observarán características únicas. Se explorará la pared celular como una estructura que proporciona soporte y protección, y se identificarán los cloroplastos, responsables de la fotosíntesis. Se estudiará también la función de la vacuola central en el almacenamiento de agua y nutrientes. Igualmente, se compararán las similitudes y diferencias en la función de los orgánulos celulares comunes con las células animales.

Se examinará la célula procariota y sus características distintivas. Se identificará la membrana plasmática y la pared celular como estructuras que proporcionan protección y soporte. Se explorará el material genético disperso en el citoplasma y se observará la síntesis de proteínas en los ribosomas. También se estudiarán las estructuras de locomoción como el flagelo y los pili, y se analizará cómo estas células llevan a cabo sus funciones vitales en ausencia de orgánulos membranosos.

Asimismo, se profundizará en la célula eucariota, considerando su complejidad y organización. Se explorará el núcleo como el centro de control y almacenamiento de información genética, y se identificará la membrana plasmática como la interfaz entre la célula y su entorno. Se observarán los orgánulos membranosos como el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi y los lisosomas, y se analizará cómo estos contribuyen a funciones específicas dentro de la célula. Además, se estudiará el citoesqueleto y su papel en la estructura y el movimiento celular, y se explorará la diversidad de estructuras de locomoción como los cilios y flagelos.

Estas incluyen la visualización en 3D, que permite explorar células y estructuras celulares en realidad aumentada para una comprensión tridimensional. La interactividad permite a los estudiantes manipular las células, mientras que la identificación de estructuras ayuda a reconocer y etiquetar componentes celulares, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. *Contenido de actividades.*

	Funcionalidad	Descripción	Ejemplo de uso	Aspectos destacados
I	Visualización 3D	Permite a los usuarios visualizar células y estructuras celulares en 3D mediante realidad aumentada.	Visualización de una célula animal en 3D.	Facilita la comprensión de la estructura celular de manera tridimensional.
II	Interactividad	Ofrece interacciones interactivas con las células, como rotación, zoom y manipulación de componentes.	Rotar y ampliar una mitocondria.	Mejora la participación y la comprensión mediante la manipulación directa.
III	Identificación de estructuras	Permite a los usuarios identificar y etiquetar diferentes estructuras celulares.	Identificación de organelos en una célula.	Ayuda a reforzar la identificación de las partes celulares.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis

El diagrama de caso de uso es una herramienta fundamental en el desarrollo de software, especialmente en la creación de aplicaciones como la mencionada para el aprendizaje de biología celular. Este diagrama se utiliza para visualizar y comprender cómo los usuarios interactuarán con la aplicación y experimentarán su contenido educativo. Es una representación gráfica que identifica las diversas acciones que los usuarios llevarán a cabo, desde el inicio de la aplicación hasta la conclusión de las actividades educativas [41].

La elaboración de este diagrama se centra en definir los casos de uso, que son situaciones o acciones específicas que pueden ocurrir cuando un usuario interactúa con el sistema. Cada caso de uso describe una secuencia de pasos que lleva a una meta deseada, contribuyendo así a la comprensión de cómo se utilizará la aplicación en situaciones concretas.

Los casos de uso se diseñan considerando aspectos como la fluidez, la interactividad y la capacidad de proporcionar una experiencia educativa inmersiva. Desde la exploración inicial

del contenido hasta la realización de pruebas interactivas, cada acción tiene un propósito educativo específico que contribuye al logro de los objetivos pedagógicos de la aplicación.

En primer lugar, el caso de uso *Explorar Contenido* sirve como punto de entrada para los usuarios al iniciar la aplicación. La acción *Iniciar Aplicación* desencadena este caso de uso, permitiendo a los usuarios explorar de manera intuitiva el contenido educativo de la aplicación. Esta funcionalidad facilita una entrada fácil y accesible al rico mundo educativo que la aplicación ofrece. Posteriormente, el caso de uso *Seguimiento de Marcador* se presenta como una funcionalidad clave para la interactividad. Después de la acción *Explorar Contenido*, el usuario puede activar el seguimiento de marcadores, enriqueciendo la experiencia educativa al detectar marcadores específicos. Esta función mejora la interacción del usuario con el contenido, brindando una experiencia más inmersiva. El tercer caso de uso, *Visualizar Estructuras Celulares 3D*, lleva al usuario a una dimensión tridimensional, proporcionando una perspectiva única de las estructuras celulares. Este caso de uso, activado después del *Seguimiento de Marcador*, aporta una capa adicional de profundidad a la comprensión de las complejidades celulares. Dentro de *Visualizar Estructuras Celulares 3D*, se encuentra el caso de uso llamado *Visualizar Partes Celulares*. Este permite al usuario centrarse en partes específicas de la célula, garantizando una comprensión más detallada y personalizada de las estructuras celulares. Finalmente, el caso de uso *Realizar Pruebas Interactivas* cierra el ciclo de aprendizaje. Después de explorar y visualizar, el usuario tiene la oportunidad de evaluar su comprensión mediante pruebas interactivas relacionadas con la biología celular. Esto proporciona una retroalimentación inmediata, consolidando el conocimiento adquirido.

En resumen, la aplicación ofrece una experiencia educativa fluida y coherente, desde la exploración inicial hasta la realización de pruebas interactivas. Diseñada para ser intuitiva y educativa, resalta la relevancia de cada caso de uso en el contexto educativo de la biología celular. Además, se incluye un diagrama UML, que representa gráficamente este caso de uso y sus relaciones, ofreciendo una visualización clara de la estructura y la dinámica de la aplicación de realidad aumentada para la enseñanza de biología celular. Esta representación visual se muestra en la Figura 9.

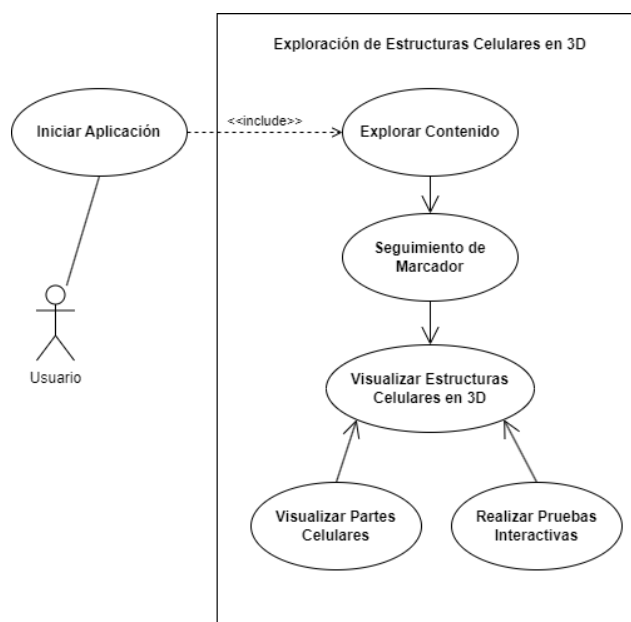


Figura 9. Casos de Uso.

3.3. Diseño

La implementación eficaz del diseño y la organización de una aplicación digital son aspectos críticos para el éxito de cualquier proyecto de desarrollo de software. En este sentido, la elección de Balsamiq como herramienta de diseño se basa en su capacidad excepcional para crear bocetos de manera rápida y sencilla. Esta capacidad simplifica significativamente la visualización e implementación de ideas del proyecto durante las etapas iniciales de diseño [42].

Balsamiq ofrece una interfaz intuitiva y una amplia gama de elementos de diseño prediseñados que facilitan plasmar rápidamente los conceptos y estructuras de la aplicación. Esto permite una rápida iteración y refinamiento de los diseños a medida que evolucionan los requisitos del proyecto. Esta flexibilidad es esencial para mantener el ritmo en entornos dinámicos y garantizar que el diseño de la aplicación se alinee de manera efectiva con las necesidades del usuario.

El diseño de una pantalla de la Figura 10 es simple para iniciar una experiencia de realidad aumentada (AR) implica la creación de una interfaz de usuario que sea intuitiva, con el objetivo principal de facilitar al usuario el inicio de la experiencia de AR de manera rápida y sin complicaciones. El diseño se centra en las necesidades y habilidades del usuario, considerando

factores como su familiaridad con la tecnología AR y su nivel de comodidad con la interacción digital. La pantalla debe ser clara y fácil de entender, comunicando efectivamente cómo iniciar la experiencia de AR sin requerir explicaciones extensas. Un llamado a la acción prominente, como un botón grande y visualmente destacado con un texto claro, invitará al usuario a comenzar la experiencia de AR.



Figura 10. Diseño de la pantalla de inicio.

La Figura 11 es la pantalla que tiene como objetivo permitir al usuario utilizar la cámara del dispositivo para escanear un marcador y superponer la célula en realidad aumentada (AR). Para lograr esto de manera efectiva, es fundamental considerar el proceso de escaneo de marcadores y diseñar una experiencia fluida y sin complicaciones que brinde accesibilidad al usuario al seleccionar las células y activar la función de escaneo de marcadores.

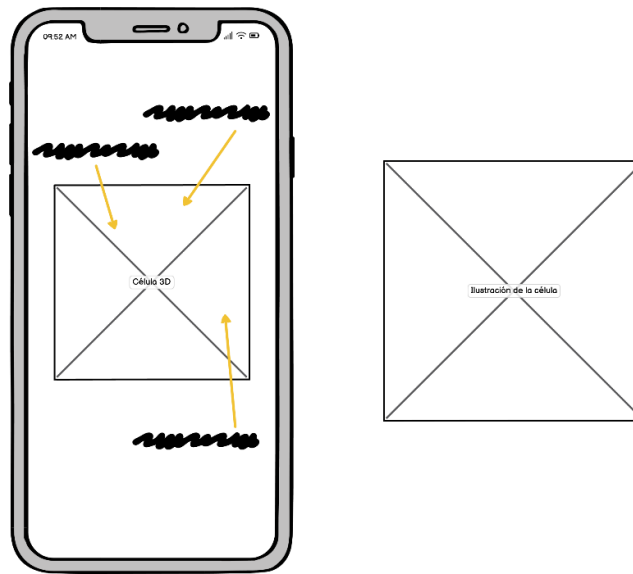


Figura 11. Diseño de la exploración de las Células en 3D.

En las Figura 12 en esta parte el usuario puede interactuar con las células en realidad aumentada (AR). Esto abarca la creación de una experiencia interactiva que permita al usuario explorar y examinar las células desde diferentes ángulos, utilizando gestos táctiles para realizar acciones como rotar, hacer zoom y manipular las células.

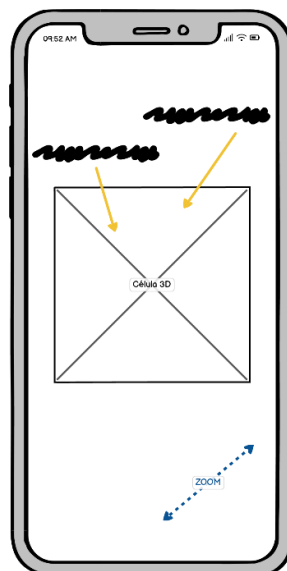


Figura 12. Diseño de la interacción con las Células (zoom).

Para garantizar una experiencia de usuario fluida y satisfactoria, se pueden utilizar gestos de deslizamiento con los dedos para rotar las células en diferentes direcciones, lo que permite al usuario examinarlas desde todos los ángulos. Del mismo modo, el gesto de pellizcar puede emplearse para hacer zoom y acercarse o alejarse de las células, proporcionando una vista más detallada o panorámica según las preferencias del usuario. Estas funcionalidades se ilustran en la Figura 13, donde se muestra cómo los gestos táctiles permiten una interacción intuitiva y precisa con las células en la aplicación de realidad aumentada.

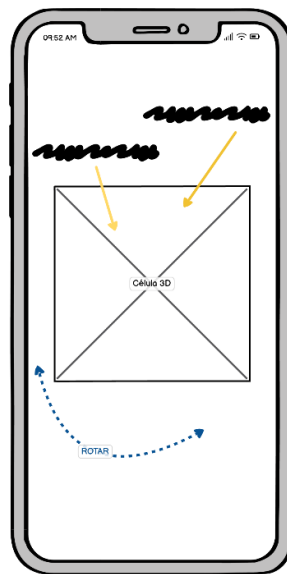


Figura 13. Diseño de la interacción con las Células (rotar).

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA

4.1. Implementación de la Realidad Aumentada en Blender 3D y Unity

En este apartado, se describe el proceso de implementación de la realidad aumentada a través de las herramientas Blender 3D y Unity. Se iluminan con detalle los pasos esenciales, desde la concepción de la arquitectura del sistema hasta la ejecución cuidadosa de la programación y codificación necesarias para lograr una experiencia de realidad aumentada altamente efectiva [43].

En Blender 3D, el proceso de selección y creación de modelos tridimensionales es fundamental para dar vida a proyectos de animación, diseño y desarrollo de juegos. La selección de elementos dentro del entorno de Blender permite a los artistas trabajar con precisión en sus escenas, mientras que la creación de modelos 3D brinda la capacidad de dar forma a objetos y personajes con detalle y realismo [44].

La selección en Blender se realiza mediante una variedad de herramientas, como la selección de vértices, aristas o caras, que permiten al usuario elegir componentes individuales de un objeto o toda la entidad. Esta flexibilidad es importante para trabajar en proyectos complejos donde se requiere un control preciso sobre cada parte del modelo. La Figura 14 muestra cómo estas herramientas de selección se utilizan en la interfaz de Blender, proporcionando al usuario una amplia gama de opciones para manipular objetos en el entorno 3D.

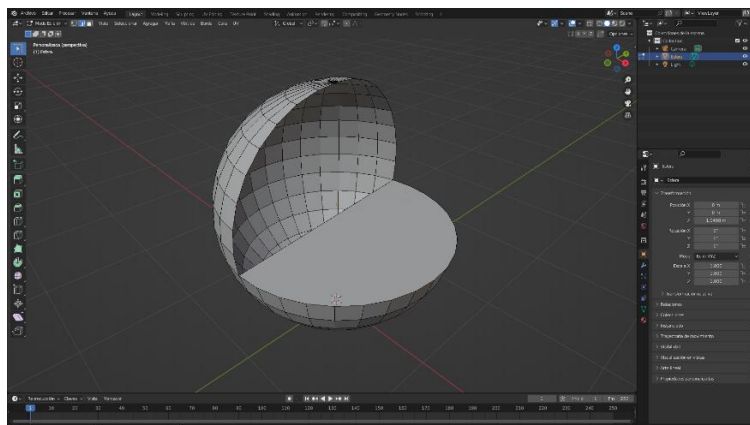


Figura 14. Modelo en Blender.

El desarrollo de modelos 3D para representar las células vegetales, animales, procariotas y eucariotas en el contexto de la biología celular constituye un paso crítico en la implementación de la realidad aumentada. La Figura 15 presenta un ejemplo de estos modelos tridimensionales,

destacando la variedad de estructuras y características que pueden ser visualizadas mediante la aplicación de realidad aumentada.

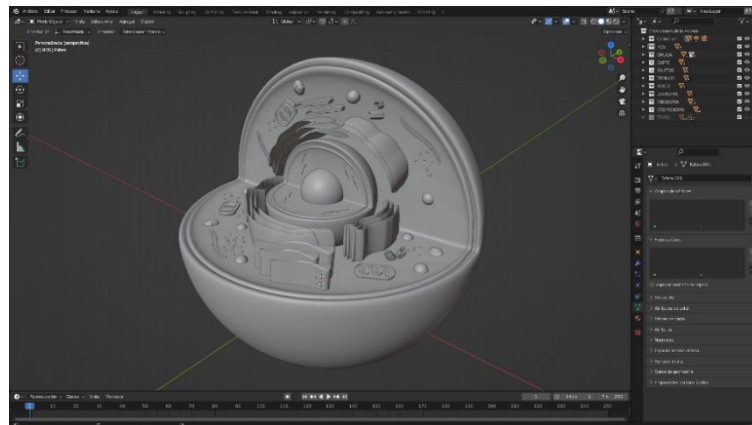


Figura 15. Creación de la Célula Eucariota en Blender.

La representación precisa de las estructuras celulares se fundamentó en una revisión exhaustiva de literatura y materiales de referencia biológica. Durante este proceso, se consideraron las características únicas de cada tipo celular, desde la estructura de la membrana hasta la disposición de orgánulos específicos.

En la Figura 16 se muestra el Modelo tridimensional de la célula eucariota, resaltando las estructuras nucleares y orgánulos membranosos.

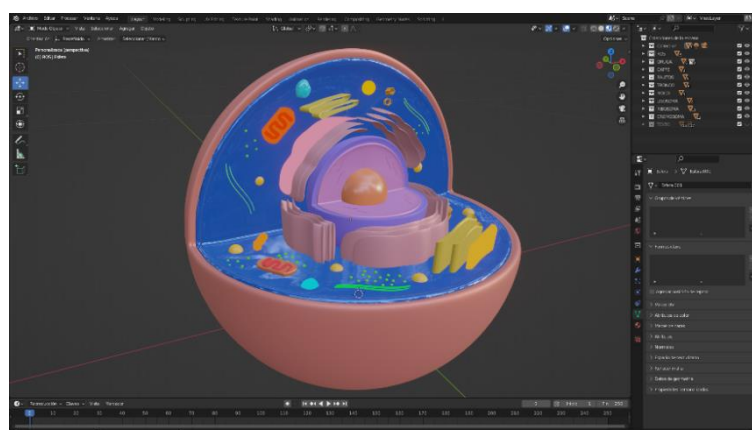


Figura 16. Modelo tridimensional de la Célula Eucariota.

En la Figura 17 se muestra el modelo tridimensional de la célula vegetal, enfatizando las características distintivas de la pared celular y orgánulos.

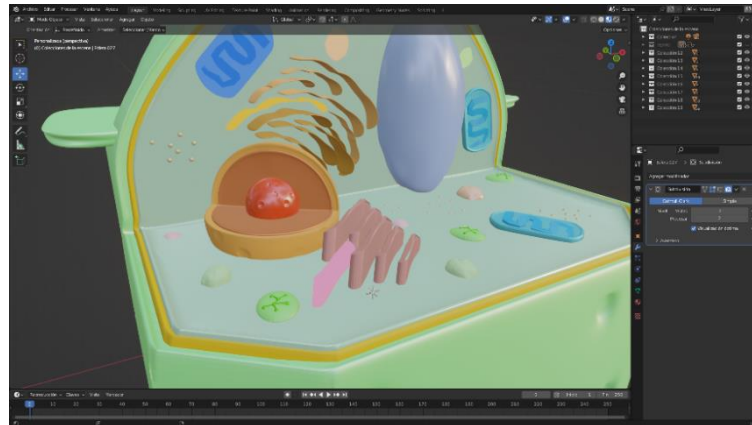


Figura 17. Modelo tridimensional de la Célula Vegetal.

En la Figura 18 se muestra el modelo tridimensional de la célula animal, revelando las particularidades de la membrana plasmática y estructuras celulares especializadas.



Figura 18. Modelo tridimensional de la Célula Animal.

En la Figura 19 se muestra el modelo tridimensional de la célula procariota, destacando las características fundamentales de una célula sin núcleo definido.

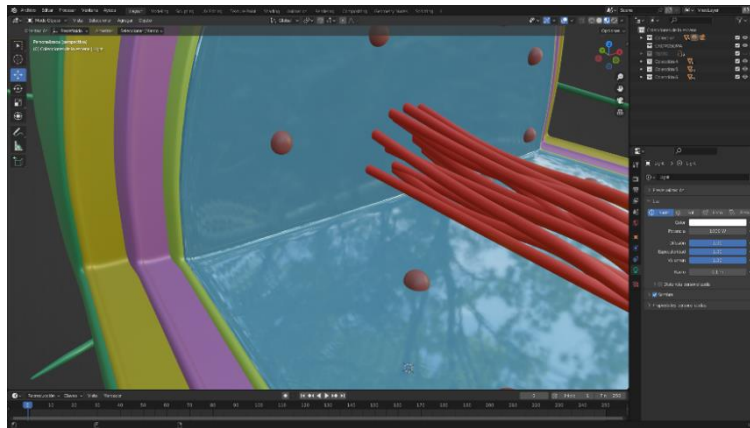


Figura 19. Modelo tridimensional de la Célula Procariota.

El proceso de exportación y preparación de datos se aborda meticulosamente, centrándose en la transferencia de modelos y datos desde Blender 3D a formatos compatibles con Unity. Se destacan consideraciones específicas, como la optimización de la topología del modelo y la preparación de texturas para garantizar una transición sin problemas [45].

La configuración de importación en Unity para importar activos desde Blender incluye herramientas y ajustes específicos para maximizar la fidelidad visual y la eficiencia del rendimiento. La coherencia en las coordenadas y la escala entre Blender 3D y Unity se considera crucial. Se describen prácticas adoptadas para asegurar la precisión espacial y la proporcionalidad en el entorno, garantizando así una alineación adecuada de los modelos. La Figura 20 muestra cómo se realizan estos ajustes durante el proceso de importación.

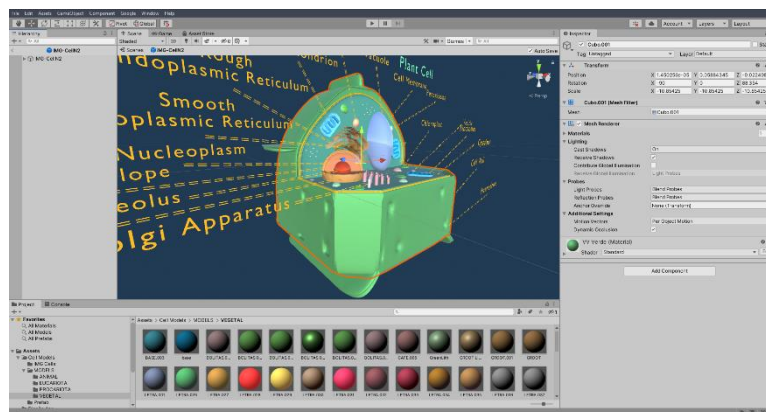


Figura 20. Modelo 3D y texturizado de la aplicación.

La elección de utilizar C# para programar en Unity se fundamenta en varios aspectos clave. En primer lugar, C# se integra de manera nativa con Unity, siendo el lenguaje de programación principal dentro de esta plataforma. Esto facilita la interacción entre el código y los elementos de Unity, simplificando el desarrollo de aplicaciones y juegos de manera efectiva [46].

Además, C# ofrece una combinación única de potencia y flexibilidad que resulta fundamental en el contexto del desarrollo en Unity. Desde la lógica del programa hasta la manipulación de gráficos y la interacción con sistemas externos, C# proporciona las herramientas necesarias para llevar a cabo diversas tareas de manera eficiente.

También ofrece un rendimiento sólido que significa que el código se traduce en lenguaje de máquina antes de ser ejecutado, lo que puede resultar en un mejor rendimiento en comparación con lenguajes interpretados. Esta característica es especialmente relevante en aplicaciones que requieren un alto rendimiento gráfico y de procesamiento.

En la realidad aumentada, los marcadores son códigos específicos que se utilizan para facilitar que los dispositivos o aplicaciones reconozcan y sitúen objetos virtuales dentro del entorno real. Estos marcadores pueden adoptar la forma de imágenes, patrones o formas predeterminadas que actúan como puntos de referencia para la superposición de información digital [47]. Cuando la cámara de un dispositivo detecta uno de estos marcadores reconocibles, el software de realidad aumentada puede determinar su posición y orientación en el mundo real. Este proceso de reconocimiento y seguimiento de marcadores es esencial para la calibración precisa y el seguimiento de objetos virtuales en relación con el entorno físico, asegurando una experiencia de realidad aumentada coherente y precisa. La Figura 21 ilustra este proceso, mostrando cómo los marcadores son identificados y utilizados para colocar objetos virtuales de manera precisa en el mundo real.



Figura 21. Marcadores de la Célula Eucariota.

ARCore, como plataforma avanzada, utiliza técnicas avanzadas de reconocimiento de patrones y detección de puntos característicos en el entorno. Esto posibilita un seguimiento robusto y preciso de objetos en tiempo real [48].

La adopción de ARCore no solo eleva la calidad de la calibración, asegurando una alineación más exacta de los elementos virtuales con el mundo real, sino que también optimiza la capacidad de seguimiento, ofreciendo una experiencia de usuario más estable y coherente. Esta integración se traduce en una mayor fidelidad visual y una adaptación mejorada a los cambios en el entorno circundante, aspectos cruciales para una experiencia inmersiva.

Adicionalmente, la inclusión de ARCore en la calibración y el seguimiento contribuye a minimizar la deriva y las imprecisiones, mejorando la coherencia en la posición y orientación de los modelos 3D con respecto al entorno. Esto resulta fundamental para crear interacciones más naturales y realistas entre los elementos virtuales y el mundo físico.

UnityRemote5 es una herramienta para los desarrolladores de Unity, permitiendo la visualización en tiempo real de las aplicaciones en dispositivos móviles durante el proceso de desarrollo. En este contexto, la integración de realidad aumentada en UnityRemote5 representa un avance significativo, brindando la capacidad de experimentar y depurar la experiencia de realidad aumentada directamente al dispositivo móvil de forma rápida y eficiente. Este enfoque de desarrollo inmersivo agiliza el ciclo de desarrollo, facilitando la detección y corrección de errores, y permitiendo una iteración más fluida en la creación de experiencias de realidad aumentada envolventes y de alta calidad [49].

La Figura 22 presenta la pantalla de inicio de la aplicación, donde se destaca el título y el fondo con un tono de verde, evocando la vitalidad y el color distintivo de la biología que no solo refleja la esencia misma del campo científico, sino que también añade un toque de modernidad al diseño.

Al igual se presenta un texto llamativo que captura la atención del usuario, invitándolo al mundo de la biología celular. Este texto se complementa con un botón claramente visible, diseñado para iniciar la aplicación con un simple toque.

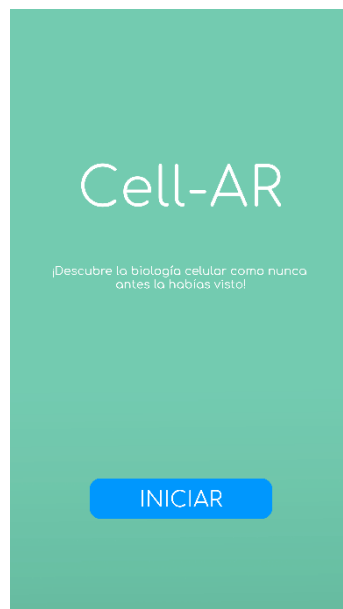


Figura 22. Pantalla de inicio de la aplicación.

La Figura 23 representa en realidad aumentada la célula eucariota, destacando sus partes principales. Entre ellas se incluyen el núcleo, la membrana plasmática, el citoplasma, las mitocondrias, el aparato de Golgi, el retículo endoplasmático y los ribosomas. Esta representación interactiva ofrece una experiencia educativa inmersiva, permitiendo a los usuarios explorar la estructura y función de la célula de manera envolvente.



Figura 23. Pantalla AR de la Célula Eucariota.

La Figura 24 muestra una representación de la célula procariota, resaltando sus características distintivas. Esta célula se caracteriza por la ausencia de núcleo definido y la presencia de un solo cromosoma circular de ADN. En la representación se pueden observar otras estructuras importantes como la membrana plasmática, el citoplasma, el ribosoma y la pared celular.

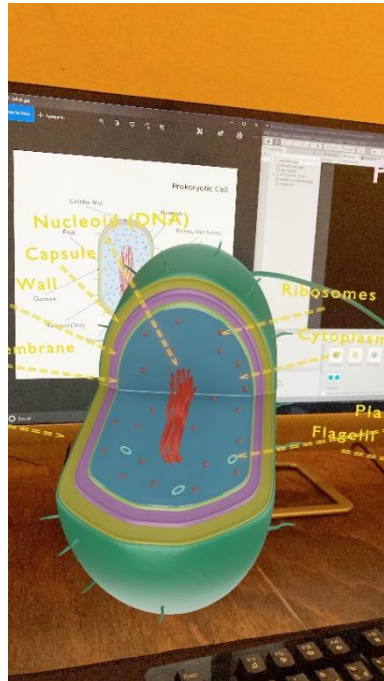


Figura 24. Pantalla AR de la Célula Procariota.

En la Figura 25 se presenta la célula animal, con un enfoque cercano que permite observar los colores distintivos de cada parte de la célula. La célula animal exhibe una estructura compleja que incluye organelos como el núcleo, las mitocondrias, el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas y las vesículas, entre otros. Cada uno de estos componentes se destaca mediante una codificación de colores, lo que facilita la identificación y comprensión de la estructura celular.

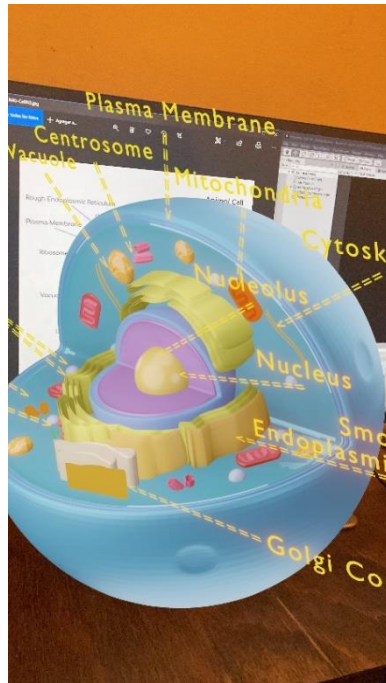


Figura 25. Pantalla AR de la Célula Animal.

La Figura 26 destaca cada detalle con un enfoque cercano sus partes distintivas de la célula vegetal. Esta representación nos permite adentrarnos en la estructura, iluminando sus organelos característicos como el núcleo, los cloroplastos, la pared celular, la membrana plasmática, el retículo endoplasmático y las vacuolas. Cada uno de estos componentes se presenta de manera clara y detallada, permitiendo una comprensión profunda de la complejidad y función de la célula vegetal.



Figura 26. Pantalla AR de la Célula Vegetal.

4.2. Pruebas de usabilidad y Focus Group

El proceso de selección de participantes será llevado a cabo de manera minuciosa, considerando criterios representativos que abarque la experiencia en el uso de tecnologías educativas. Se realizará una cuidadosa identificación de perfiles que reflejen la variedad de usuarios de la aplicación de Realidad Aumentada en la enseñanza de Biología Celular.

Estas encuestas no solo se centrarán en aspectos tangibles como la navegación y la interfaz, sino que también explorarán aspectos más subjetivos, como la satisfacción general del usuario. Las preguntas se estructurarán de manera que capturen las percepciones, experiencias y expectativas de los participantes, brindando así una visión completa de su interacción con la aplicación.

La combinación de datos cuantitativos recopilados a través de estas encuestas proporcionará una evaluación integral de la experiencia del usuario. Este enfoque mixto permitirá no solo medir métricas tangibles, sino también capturar la riqueza de las opiniones y experiencias individuales.

A continuación, se presenta las encuestas para los estudiantes y docentes para evaluar la utilidad de la aplicación de realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular:

ENCUESTA PARA ESTUDIANTES SOBRE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN LA ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA CELULAR	
Objetivo: Evaluar la utilidad sobre la aplicación de Realidad Aumentada en la enseñanza de Biología Celular.	
Fecha:	
DATOS	
Edad:	
Género:	
Estudios:	
Entidad:	
Realizado por:	
Lugar:	
PREGUNTAS	
1. ¿Considera que la aplicación mejora su comprensión de los conceptos de Biología Celular?	
• Sí • En Parte • No	
2. ¿Qué tan interactiva percibe la aplicación en términos de participación y compromiso?	
• Poco Interactiva • Moderadamente Interactiva • Muy Interactiva	
3. ¿En qué medida cree que la aplicación puede adaptarse a sus preferencias individuales de aprendizaje?	
• Muy Bien • Moderadamente Bien • No Muy Bien	
4. ¿Cómo compararía la experiencia de aprendizaje con la aplicación de Realidad Aumentada en comparación con otros recursos educativos que haya utilizado?	
• Mejor	

• Similar • Peor
5. ¿Considera que la aplicación facilita la colaboración y el trabajo en grupo entre usted y sus compañeros de clase?
• Sí, de manera significativa • En cierta medida • No, en absoluto
6. ¿Cómo afecta la aplicación a su interés y entusiasmo por aprender Biología Celular?
• Aumenta significativamente • Tiene un efecto moderado • No afecta significativamente
7. ¿Cómo percibe la facilidad de uso de la aplicación en comparación con otras herramientas tecnológicas que ha utilizado para el aprendizaje?
• Fácil de usar • Moderadamente fácil • Difícil de usar

Fuente: Elaboración propia.

ENCUESTA PARA DOCENTES SOBRE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN LA ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA CELULAR	
Objetivo: Evaluar la utilidad sobre la aplicación de Realidad Aumentada en la enseñanza de Biología Celular.	
Fecha:	
DATOS	
Edad:	
Género:	
Estudios:	
Entidad:	
Realizado por:	
Lugar:	
Profesión:	
PREGUNTAS	
1. ¿Qué utilidad de la aplicación de Realidad Aumentada en la enseñanza de la Biología Celular a nivel profesional?	
• Muy Poco Útil • Moderadamente Útil • Extremadamente Útil	
2. ¿Considera que la aplicación es intuitiva para un profesional en el campo de la Biología?	
• Sí, completamente • En parte • No, en absoluto	
3. ¿En qué medida cree que la aplicación puede mejorar la participación y el compromiso de los estudiantes en el aprendizaje de la Biología Celular?	
• En Gran Medida • Moderadamente • En Mínima Medida	

4. ¿Cómo evaluaría la eficacia de la aplicación para adaptarse a diferentes estilos de enseñanza y aprendizaje?
• Muy Efectiva • Moderadamente Efectiva • Poco Efectiva
5. ¿Considera que la aplicación aborda adecuadamente los desafíos pedagógicos actuales en el contexto de la Biología Celular?
• Sí • En Parte • No
6. ¿En qué medida cree que la aplicación podría contribuir al desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes, más allá del conocimiento de la Biología Celular?
• En Gran Medida • Moderadamente • En Mínima Medida
7. ¿Cómo compararía la Realidad Aumentada con otros recursos educativos tradicionales que ha utilizado?
8. ¿Cómo describiría la aceptación general de la aplicación entre los profesionales de la Biología?
• Positiva • Neutral • Negativa
9. ¿Cómo evaluaría la accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades o necesidades especiales?
10. ¿Cómo afecta la aplicación al tiempo necesario para cubrir los contenidos de Biología Celular en comparación con métodos tradicionales?

Fuente: Elaboración propia.

La información recabada de las encuestas proporciona un conjunto de datos valioso sobre diversos aspectos relevantes para el estudio. Estos datos incluyen opiniones y preferencias de los participantes, así como información demográfica como la edad, el área educativa y otros factores relevantes. El análisis de esta información nos permitirá obtener una comprensión más completa y profunda de las percepciones y experiencias de los encuestados.

Los estudiantes encuestados son de una universidad pública de la Facultad de Ciencias Químicas. En el grupo de estudiantes que participaron en la encuesta, se observó que la edad promedio es de 21 años. Se identificó que el 63.2% de los encuestados son mujeres, mientras que el 36.8% son hombres todos pertenecen al Municipio de Puebla. Estos datos demográficos destacan la diversidad de género dentro del grupo estudiantil, mostrando una representación significativa de ambos sexos. Este rango de edades variado alrededor de los 21 años sugiere una mezcla de experiencias y perspectivas dentro del grupo estudiantil.

En cuanto a la distribución por programas de estudio, se observó que el 10.5% de los entrevistados pertenece a la Licenciatura en Farmacia, el 62.2% está inscrito en la Licenciatura en Química, y el 26.3% está matriculado en la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo. Estos datos muestran una variedad de programas académicos representados en la muestra estudiantil, reflejando intereses y áreas de especialización diversas dentro del ámbito de las ciencias relacionadas con la salud y la química.

En el análisis de las respuestas a las preguntas sobre la percepción de la aplicación, se encontró que el 89.5% de los estudiantes identifican que consideran que la aplicación mejora la comprensión en los conceptos de la biología. Sin embargo, un 5.3% la calificó como regular, mientras que otro 5.2% indicó que no perciben mejoras significativas. Estos resultados sugieren una recepción mayoritariamente positiva de la aplicación entre los estudiantes encuestados, aunque también revelan una minoría que tiene opiniones menos favorables.

En cuanto a la percepción de la interactividad de la aplicación, se observa que el 84.2% de los estudiantes la percibe como muy buena y altamente interactiva, mientras que el 15.8% la considera moderadamente interactiva. La alta proporción de estudiantes que la describen como muy buena sugiere que la aplicación logra involucrar activamente a los usuarios y promover una experiencia de aprendizaje más dinámica y participativa. En relación con la posibilidad de utilizar la aplicación de manera individual, el 84.2% de los estudiantes la consideran adecuada

para este propósito, mientras que el 10.5% la encuentran moderadamente adecuada y el 5.3% la perciben como no muy adecuada.

En cuanto a la percepción del uso de la aplicación en realidad aumentada en comparación con otros recursos educativos, el 89.5% de los estudiantes encuestados indican que es mejor. Por otro lado, el 10.5% consideran que es similar. Los estudiantes que la consideran mejor sugieren que la aplicación en realidad aumentada ofrece ventajas significativas en términos de eficacia educativa.

En lo que respecta a la percepción sobre la utilidad de la aplicación para la colaboración y el trabajo en grupo, el 78.9% de los estudiantes la consideran propicia para un buen aprendizaje en este contexto, mientras que el 21.1% la ven útil solo de cierta manera. Los estudiantes indican que la aplicación puede facilitar la interacción y el intercambio de ideas entre los miembros del grupo, lo que promueve una comprensión más profunda de los conceptos y una experiencia de aprendizaje más enriquecedora. En la opinión de aquellos que la ven útil solo de cierta manera, lo que sugiere que aún hay aspectos a considerar para la efectividad de la aplicación en el contexto del trabajo colaborativo.

En la Figura 27 se muestra cómo la aplicación afecta al interés y entusiasmo de los estudiantes por aprender Biología Celular. Estos datos proporcionan información sobre el impacto de la aplicación en la motivación y el compromiso de los estudiantes con el contenido educativo, lo que es crucial para entender su efectividad en el fomento del aprendizaje activo y significativo.

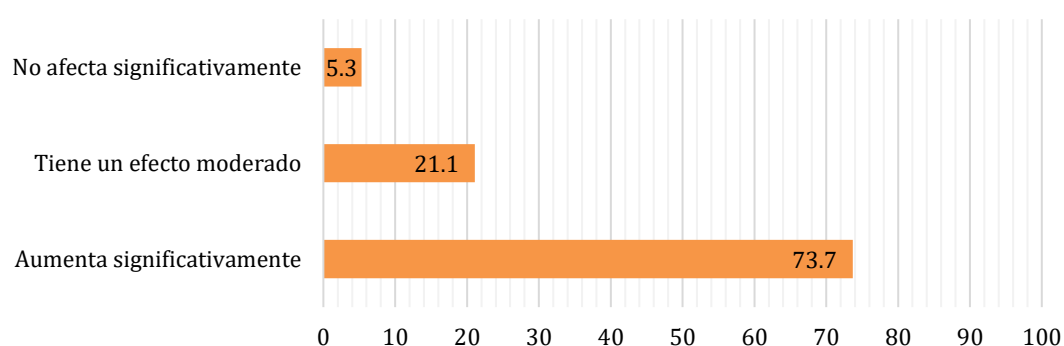


Figura 27. El impacto de la aplicación en el interés y entusiasmo de los estudiantes por la Biología Celular.

La Figura 28 muestra cómo los estudiantes perciben la facilidad de uso de la aplicación en comparación con otras herramientas tecnológicas que han utilizado para el aprendizaje. Estos datos proporcionan una visión detallada de la usabilidad relativa de la aplicación en comparación con otras tecnologías educativas, lo que es crucial para comprender su aceptación y adopción en el contexto educativo.

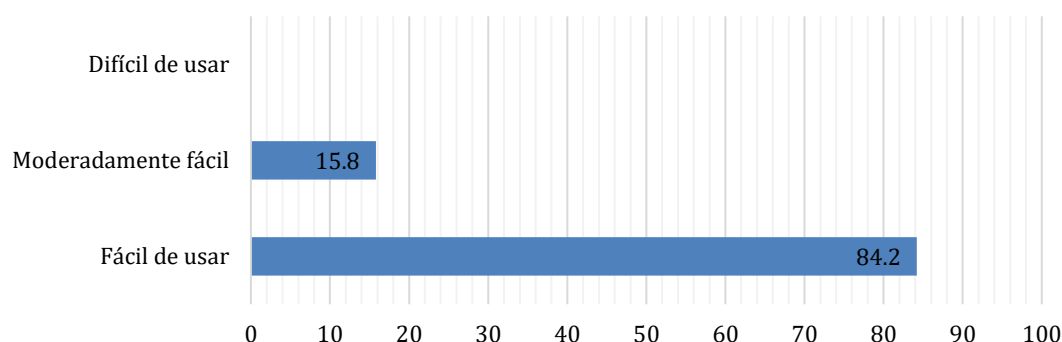


Figura 28. Valoración de la facilidad de uso de aplicación en estudiantes comparando con otras herramientas tecnológicas.

También se obtuvo el juicio de experto al realizar preguntas a los docentes que imparten clases en la Facultad de Ciencias Químicas, específicamente en las especialidades de Tecnología e Inocuidad de los Alimentos y Bioquímica. Los docentes consideran que la realidad aumentada es un elemento muy importante en el proceso educativo. Sugieren que estas tecnologías se difundan ampliamente para mejorar el aprendizaje en estas áreas. Este respaldo por parte de los docentes resalta la relevancia y el potencial de la realidad aumentada como una herramienta pedagógica efectiva en la enseñanza de conceptos complejos relacionados con la tecnología.

El 80% de los docentes considera que la aplicación contribuye en gran medida al desarrollo de habilidades críticas en los estudiantes, más allá del conocimiento de la biología celular. Además, hay una aceptación generalizada entre los docentes hacia la aplicación. Por otro lado, el 20% de los docentes la considera útil solo de manera moderada. Estos resultados reflejan una percepción mayoritariamente positiva entre los docentes sobre el impacto de la aplicación en el desarrollo de habilidades críticas de los estudiantes, que van más allá de los aspectos puramente académicos. La aceptación generalizada entre los docentes indica un respaldo significativo hacia la aplicación como una herramienta pedagógica efectiva.

En la Tabla 2 se indica una comparación de la Realidad Aumentada y otros recursos educativos tradicionales, según la percepción de los docentes encuestados. Estos compararon la efectividad de la Realidad Aumentada con otros métodos pedagógicos que han empleado en el pasado. Los resultados ofrecen una visión detallada de cómo la Realidad Aumentada se posiciona en relación con estos recursos tradicionales en términos de su utilidad y eficacia percibida en el contexto educativo.

Tabla 2. *Comparación de la AR con otros recursos educativos.*

Número Docente	Comparar la Realidad Aumentada con otros recursos educativos tradicionales
D1	Esta aplicación es muy práctica y cómoda en comparación con los recursos educativos tradicionales y otras aplicaciones tecnológicas debido a su capacidad para ofrecer una experiencia de aprendizaje más interactiva. Permite a los usuarios interactuar con modelos tridimensionales y explorar conceptos de manera activa, lo que facilita el aprendizaje y la retención de información.
D2	La Realidad Aumentada proporciona una experiencia más participativa. Permitiendo a los estudiantes interactuar con modelos tridimensionales de células, lo que facilita una comprensión más completa.
D3	Los estudiantes pueden visualizar estructuras biológicas en 3D y explorarlas desde diferentes ángulos, lo que facilita la comprensión de conceptos complejos.
D4	La realidad aumentada en la biología celular es genial. Te permite ver las células en 3D, lo cual hace que sea más fácil entender estos conceptos. También es conveniente porque puedes acceder a ella desde el teléfono en cualquier momento.

Fuente: Elaboración propia.

Los docentes encuestados evaluaron la accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades o necesidades especiales, cuyas respuestas se muestran en la tabla. Este análisis de la Tabla 3 proporciona información crucial sobre cómo los educadores perciben la capacidad de la aplicación para satisfacer las necesidades de un grupo diverso de estudiantes, incluidos aquellos con discapacidades o necesidades especiales.

Tabla 3. *Evaluación de la accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades.*

Número Docente	Evaluar la accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades o necesidades especiales
D1	Es posible que la aplicación tenga algunos elementos para ayudar a personas con discapacidades, podría dejar que ajuste el tamaño del texto. Pero aún puede haber elementos que necesiten mejorar. Como, tal vez, hacerla más fácil de usar para personas con diferentes tipos de discapacidades. Aunque hay opciones, como la navegación por voz, puede que todavía sea difícil usarla para algunas personas.
D2	La accesibilidad de la aplicación para profesionales con discapacidades o necesidades especiales se evaluaría considerando aspectos como la disponibilidad de opciones de accesibilidad, como lectura de pantalla, ajustes de contraste y tamaño de fuente. También se evaluaría la facilidad de navegación y uso mediante dispositivos de asistencia, como teclados alternativos o dispositivos de entrada por voz.
D3	La aplicación es moderadamente accesible, ya que puede requerir ajustes adicionales para usuarios con discapacidad visual y la claridad de la información para usuarios con discapacidad cognitiva garantizando una experiencia óptima para todos los usuarios.
D4	Para el aprendizaje de la biología celular, se deben considerar aspectos como la capacidad de personalización de la interfaz para adaptarse a diferentes necesidades, la compatibilidad con tecnologías de asistencia como lectores de pantalla, el diseño inclusivo que permita la interacción efectiva para usuarios con diversas capacidades, la disponibilidad de documentación clara sobre

accesibilidad y el soporte técnico especializado para usuarios con discapacidades.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestra cómo la aplicación afecta al tiempo necesario para cubrir los contenidos de Biología Celular en comparación con métodos tradicionales, según la percepción de los docentes encuestados.

Tabla 4. *Comparación de la aplicación de métodos tradicionales para cubrir los contenidos de la Biología Celular.*

Número Docente	Comparación de la aplicación con métodos tradicionales para cubrir los contenidos de la Biología Celular
D1	La aplicación móvil de realidad aumentada para el aprendizaje de biología celular promete reducir el tiempo de estudio en comparación con métodos tradicionales. La interactividad de la realidad aumentada ayuda a comprender los conceptos más rápidamente. Con modelos 3D, los estudiantes visualizan estructuras celulares, facilitando la retención de información.
D2	La aplicación puede reducir el tiempo necesario para cubrir los contenidos de Biología Celular debido a su capacidad para ofrecer experiencias de aprendizaje más interactivas y visualmente estimulantes. Al permitir a los estudiantes explorar modelos tridimensionales y realizar actividades prácticas de manera virtual, la aplicación puede facilitar una comprensión más rápida y profunda de los conceptos, lo que potencialmente acelera el proceso de aprendizaje.
D3	La aplicación puede acelerar el proceso de aprendizaje al proporcionar una comprensión más rápida y profunda de los conceptos de Biología Celular a través de experiencias interactivas. Pero el tiempo necesario para cubrir los contenidos puede variar según el nivel de habilidad de los estudiantes y la complejidad de los temas tratados en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza.
D4	Al ser una herramienta interactiva y visualmente enriquecedora, puede ayudar a los estudiantes a comprender conceptos complejos de manera más rápida y

efectiva. La capacidad de manipular modelos tridimensionales y visualizar procesos celulares en tiempo real puede acelerar el proceso de aprendizaje al proporcionar una comprensión más profunda y práctica de los temas. Al igual que es accesible desde el dispositivo móvil, la aplicación permite a los estudiantes acceder al contenido en cualquier momento, lo que puede facilitar el repaso y el estudio autónomo fuera del aula.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

Los aportes teóricos de este trabajo son significativos, ya que han contribuido a enriquecer el estado del arte al explorar detalladamente el uso de la realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular. Además, se ha profundizado en la comprensión de la interacción humano-computadora en el contexto educativo, así como en la relevancia de las aplicaciones móviles de tecnología de realidad aumentada como herramientas educativas innovadoras.

Desde una perspectiva práctica, el estudio ha logrado desarrollar un sistema de realidad aumentada que ha superado las experiencias de aprendizaje de un Focus Group de docentes y alumnos. Este sistema, concebido con un enfoque centrado en el usuario, ha demostrado en la integración de modelos 3D y en la provisión de una experiencia de aprendizaje interactiva y envolvente. Los resultados obtenidos resaltan su capacidad para promover un aprendizaje más profundo y significativo. La facilidad de uso, la interactividad y el enfoque centrado en el usuario, lo que sugiere que la tecnología de realidad aumentada puede servir como un recurso poderoso para mejorar la comprensión y el compromiso de los estudiantes con la biología celular.

En este sentido, la integración de tecnologías de la información como la realidad aumentada representa un paso significativo en la mejora de la educación. El desarrollo de sistemas de realidad aumentada no solo implica el diseño y la implementación de software, sino también la gestión y optimización de la infraestructura tecnológica necesaria para su funcionamiento. Estas tecnologías de la información, combinadas con enfoques educativos innovadores, pueden transformar la forma en que los estudiantes interactúan con el contenido y adquieren conocimientos en disciplinas como la biología celular.

La realidad aumentada, con su capacidad para crear entornos de aprendizaje inmersivos y personalizados, representa un paso significativo hacia este objetivo. El impacto positivo de la realidad aumentada en la enseñanza de la biología celular, destacando su potencial para revolucionar la educación en el siglo XXI.

La utilidad de esta herramienta va más allá de la simple visualización. Con la realidad aumentada, los profesionales de la química pueden interactuar de manera más inmersiva con las estructuras celulares, lo que les permite comprender mejor la dinámica molecular.

La aplicación de realidad aumentada puede mejorar significativamente la forma en que se enseña y se aprende la química en el entorno profesional. Utilizar esta tecnología para

visualizar conceptos abstractos y complejos, lo que facilita la comprensión y la aplicación de los principios químicos en su trabajo cotidiano.

5.2. Trabajo Futuro

La integración de funcionalidades para mejorar la experiencia del usuario es la inclusión de narraciones de voz que proporcionen información detallada sobre las diferentes partes y funciones de la célula cuando el usuario selecciona un componente específico en la estructura celular.

Esta funcionalidad no solo ofrecería una experiencia más dinámica para los usuarios, sino que también facilitaría el proceso de aprendizaje al proporcionar información adicional en formato auditivo. Los estudiantes podrían escuchar explicaciones detalladas mientras observan visualmente la estructura celular en tiempo real, lo que ayudaría a reforzar el conocimiento y mejorar la retención de conceptos complejos de biología celular.

La inclusión de audio en la aplicación móvil de realidad aumentada permitiría un mayor acceso a la información para usuarios con discapacidades visuales o dificultades de lectura, promoviendo así la inclusión y accesibilidad en el aprendizaje. Esta característica la transformaría en una herramienta aún más efectiva y versátil para el estudio y comprensión de la biología celular en entornos educativos y de autoaprendizaje.

Por otro lado, la computación espacial representa un campo de investigación fundamental para el futuro de la tecnología. Se está consolidando rápidamente gracias al avance tecnológico e implica digitalizar y superponer elementos virtuales sobre el entorno físico, lo que permite una interacción más significativa entre individuos, dispositivos y objetos.

En este contexto, la virtualización de las interacciones brinda múltiples oportunidades. Esto permite a los usuarios visualizar y manipular modelos tridimensionales y estructuras en tiempo real, superponiéndolos sobre el entorno físico.

La exploración de la integración de la computación espacial promete avances significativos en visualización y manipulación de datos, y también puede transformar fundamentalmente cómo interactuamos con el mundo y colaboramos en entornos profesionales.

REFERENCIAS

- [1] Almenara, J. C. (2016, 15 enero). Posibilidades educativas de la realidad aumentada. Learning & Technology Library (LearnTechLib). <https://www.learntechlib.org/p/171377/>
- [2] Cabero-Almenara, J., & Osuna, J. B. (2016). Posibilidades educativas de la realidad aumentada. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 6(1), 44-50. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- [3] Sánchez, J. J. M., Ruíz, A. B. M., & Olmos, M. (2017). La realidad aumentada (RA). Recursos y propuestas para la innovación educativa. *Revista Electronica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 20(2), 183. <https://doi.org/10.6018/reifop/20.2.290971>
- [4] Irles, M. G., Huertas, Y. S., & Ortells, J. M. S. (2013). Aprendizaje basado en problemas en Biología Celular: una forma de explorar la ciencia. *Revista de Educación En Biología*, 16(2). <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v16.n2.22399>
- [5] Cerón Garnica, C., Milan Avendaño, V. M., Archundia Sierra, E, & Contreras Juárez, R. (2023). Capítulo 4. Las Tecnologías y las Apps para apoyar la educación sustentable en los estudiantes de bachillerato.
- [6] Clara, R. P. (2003). *Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo*. Universidad de Huelva. <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/3518>
- [7] Nereida, G. Z. (2022). *Diseño e implementación de una página web interactiva como recurso educativo digital para fortalecer el proceso de enseñanza de la Biología Molecular en los estudiantes del grado noveno de la Institución Educativa María Auxiliadora sede Oritoguaz del municipio de Elías-Huila*. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/16445>
- [8] De Extremadura Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas, U. (2017). *Concepciones alternativas sobre biología celular y microbiología de los maestros en formación: implicaciones de su presencia*. <https://dehesa.unex.es/handle/10662/7707>
- [9] Sánchez, S. Á., Martín, L. D., González, M. Á. G., García, T. M., Menéndez, F. A., & Méndez, C. R. (2016). El arenero educativo: la realidad aumentada un nuevo recurso

- para la enseñanza. *Edmetic: Revista de Educación Mediática y TIC*, 6(1), 105. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v6i1.5810>
- [10] Del Pilar; Supervisora de Grado, B. A. A. (2022). *Historia de la ciencia como estrategia didáctica de enseñanza para la conceptualización de la biología molecular*. <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/9835>
- [11] Capece, S. (2010). El diseño centrado en el usuario: principios y nuevos escenarios para el producto inclusivo. *I + Diseño*, 2, 77-84. <https://doi.org/10.24310/idisenio.2010.v2i.12702>
- [12] Nicholl, R. M. (2021, 6 abril). *Teaching biology using augmented reality*. Global EdTech. <https://global-edtech.com/teaching-biology-using-augmented-reality/>
- [13] *QuiverVision - how do you use augmented reality?* (s. f.). MRS PRIESTLEY ICT. <https://www.mrspriestleyict.com/read-the-blog/quivervision-how-do-you-use-augmented-reality>
- [14] *Froggipedia Review for Teachers | Common Sense Education*. (2023, 12 diciembre). Common Sense Education. <https://www.common sense.org/education/reviews/froggipedia>
- [15] Plattner, H. (2014). *Biología celular*. <https://kops.uni-konstanz.de/entities/publication/d22be899-6263-4c00-9da6-3bc164de120a>
- [16] Puche, P. (2019). *Hacia una nueva antropología en un contexto de simbiosis generalizado en el mundo de la vida*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7161501>
- [17] Óptico, H. y. P. (2015, 26 octubre). *El best-seller «Micrographia» de Robert Hooke cumple 350 años*. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/95367>
- [18] Pastian-Soto, G. (2020). Bases genéticas y moleculares del COVID-19 (SARS-COV-2). mecanismos de patogénesis y de respuesta inmune. *International Journal Of Odontostomatology*, 14(3), 331-337. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2020000300331>
- [19] Gitai, Z. (2005). The New Bacterial Cell Biology: Moving Parts and Subcellular Architecture. *Cell*, 120(5), 577-586. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.02.026>

- [20] David, Z. C. Á. (2008). *Propuesta de enseñanza y aprendizaje para el reconocimiento de la célula y sus respectivas organelas*. <https://hdl.handle.net/10495/21571>
- [21] Stella, M. A. L. (2006). *Caracterización de la ecología en estudiantes de quinto grado durante una práctica sobre célula vegetal*. <https://hdl.handle.net/10495/27587>
- [22] Morrison, R. (2024, 1 febrero). *Arqueas - Educación - 2024*. Kineshma. <https://es.kineshma.net/Archaea-2449>
- [23] Puig, R. P. (2020, 8 abril). *Los reinos de la naturaleza y sus características*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/reinos-de-la-naturaleza/>
- [24] Joaquín, Á. S. (2022, 1 octubre). *La modelización del origen de la célula eucariota en la formación del profesorado en biología. Aspectos vinculados a una visión gradualista*. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/9526>
- [25] Almenara, J. C., & Osuna, J. B. (2018). Los escenarios tecnológicos en realidad aumentada (RA): posibilidades educativas. *Aula Abierta*, 47(3), 327. <https://doi.org/10.17811/rifie.47.3.2018.327-336>
- [26] Goldstein, B., & King, N. (2016). The Future of Cell Biology: Emerging Model Organisms. *Trends in Cell Biology*, 26(11), 818–824. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2016.08.005>
- [27] *Students get their hands dirty with new augmented reality Sandbox | News Center | Allegheny College*. (2015, 23 febrero). Allegheny.edu. <https://sites.allegheny.edu/news/2015/02/23/students-get-their-hands-dirty-with-new-augmented-reality-sandbox/>
- [28] *Der Einsatz von Augmented Reality am Tag der offenen Tür*. (s. f.). Realschule Wolbeck. <https://www.realschule-wolbeck.de/allgemein/der-einsatz-von-augmented-reality-am-tag-der-offenen-tuer/>
- [29] *Frustum Culling*. (s. f.). Bruno Opsenica's Blog. https://bruop.github.io/frustum_culling/
- [30] Javier, Á. R. F. (2016, 23 junio). *Modelo para el desarrollo de aplicaciones nativas en android basado en mejores prácticas, metodologías ágiles y elementos del área interacción humano-computadora*. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/654>

- [31] Daniel, G. G. R. (s. f.). *Interacción humano-computador y sus aportes en el desarrollo de la informática aplicada a la educación*.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202023000200110&script=sci_abstract&tlng=pt
- [32] Luis, C. A. (2010, 21 febrero). *Comunicabilidad, paradigma de la Interacción Humano-Computador*.
[https://www.nosolousabilidad.com/articulos/comunicabilidad.htm?utm_source=feedburner&utm_medium=email&utm_campaign=Feed:+nosolousabilidad/Nwpd+\(No+Sol+o+Usabilidad+journal\)](https://www.nosolousabilidad.com/articulos/comunicabilidad.htm?utm_source=feedburner&utm_medium=email&utm_campaign=Feed:+nosolousabilidad/Nwpd+(No+Sol+o+Usabilidad+journal))
- [33] *Construcción de recursos educativos para la temática de accesibilidad en el curso de interacción humano computador - ProQuest*. (s. f.).
<https://www.proquest.com/openview/aaacaa4d090af1c5305e20bb50d5c130/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- [34] Hugo, Z. S. V. (2007, 1 abril). *Interfaces colaborativas aplicadas a entornos virtuales educativos*. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/567951>
- [35] Cervantes Marquez, A.P., Cerón Garnica, C., y Archundia Sierra, E. (2017). La usabilidad en interfaces naturales como apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje: Estudio de caso para un sistema interactivo de estructuras de datos. *Universidad y Ciencia*, 6, 206-220.
- [36] Archundia Sierra, Etelvina, Cerón Garnica, Carmen y Boone Rojas, M.R. (2015). Estructuras de Datos en Computación: Aprendizaje mediado a través del Diseño Digital Centrado en el Usuario. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, (2)3.
- [37] Sánchez, J. (2011, 5 septiembre). *En busca del Diseño Centrado en el Usuario (DCU): definiciones, técnicas y una propuesta*.
https://www.nosolousabilidad.com/articulos/dcu.htm?utm_source=iNeZha.com&utm_medium=im_robot&utm_campaign=iNeZha

- [38] Enríquez, J. G., & Casas, S. (2014). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informes Científicos y Técnicos (Universidad Nacional de la Patagonia Austral)*, 5(2), 25-47. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i2.71>
- [39] Daniel, L. R. (2020, 21 diciembre). *Enfoques y métodos de evaluación de la usabilidad en aplicaciones móviles: Una revisión sistemática de la literatura*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3698>
- [40] Paniagua, L. A., Bedoya, R. D., & Mera, C. (2020). Un método para la evaluación de la accesibilidad y la usabilidad en aplicaciones móviles. *Tecno Lógicas*, 23(48), 99-117. <https://doi.org/10.22430/22565337.1553>
- [41] Equipo editorial de IONOS. (2020, 24 julio). *El diagrama de casos de uso en UML*. IONOS Digital Guide. <https://www.ionos.mx/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/diagrama-de-casos-de-uso/>
- [42] *Wireframing Academy | Balsamiq*. (s. f.). <https://balsamiq.com/learn/>
- [43] Yomaira, G. P. (2022, 1 diciembre). *Realidad aumentada utilizando Unity*. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/ee04d4c0-285e-4a71-888e-d1e5e3ab3507>
- [44] Blender Foundation. (s. f.). *Modeling — Blender.org*. [blender.org. https://www.blender.org/features/modeling/](https://www.blender.org/features/modeling/)
- [45] Technologies, U. (s. f.). *Unity - Manual: How do I Import Alpha Textures?* <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/HOWTO-alphamaps.html>
- [46] Technologies, U. (s. f.-b). *Unity - Manual: Scripting*. <https://docs.unity3d.com/Manual/ScriptingSection.html>
- [47] Bohórquez, I. M. M. (2018, 7 marzo). *Realidad aumentada y aplicaciones*. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/11281>
- [48] *Descripción general de ARCore y los entornos de desarrollo compatibles*. (s. f.). Google For Developers. <https://developers.google.com/ar/develop?hl=es-419>
- [49] Technologies, U. (s. f.-b). *Unity Manual*. <https://docs.unity3d.com/Manual/UnityRemote5.html>