



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE DISEÑO MULTIMEDIA

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN VIDEOJUEGO EN REALIDAD VIRTUAL:
RIGGING Y ANIMACIÓN DE PERSONAJES Y OBJETOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Licenciado en Diseño Multimedia

AUTOR: ROBINSON SAMUEL CALLE CABRERA

TUTOR: RAFAEL AUGUSTO CAMPOVERDE DURÁN, PHD.

Cuenca - Ecuador

2025

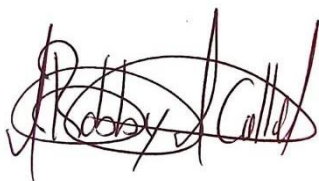
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Robinson Samuel Calle Cabrera con documento de identificación N° 0106537996 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de enero del 2025

Atentamente,



Robinson Samuel Calle Cabrera

0106537996

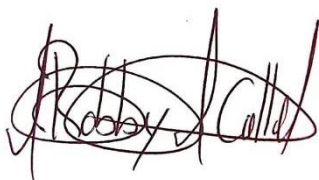
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Robinson Samuel Calle Cabrera con documento de identificación N° 0106537996, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto integrador: “Diseño y desarrollo de un videojuego en realidad virtual: rigging y animación de personajes y objetos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Licenciado en Diseño Multimedia, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de enero del 2025

Atentamente,



Robinson Samuel Calle Cabrera

0106537996

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rafael Augusto Campoverde Durán con documento de identificación N° 0102377520, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN VIDEOJUEGO EN REALIDAD VIRTUAL: RIGGING Y ANIMACIÓN DE PERSONAJES Y OBJETOS, realizado por Robinson Samuel Calle Cabrera con documento de identificación 0106537996, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto integrador que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de enero del 2025

Atentamente,



Rafael Augusto Campoverde Durán, PhD.

0102377520

Dedicatoria

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí, a mi madre, quien fue y será mi mayor
inspiración.

A mi hermana Marlene, mi apoyo constante y guía en cada etapa de mi vida, y a mi
sobrino Ariel, luz de mis días, les dedico este logro con todo mi corazón. A mis hermanos Elmer
y Wilfrido, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y por extenderme su mano cuando más lo
necesité. A mi padre, por su respaldo y por no dejarme caer en los momentos difíciles.

A mí mismo, por arriesgarme y perseguir mis sueños, y a esos amigos que hicieron mi
paso por la universidad más ameno, les agradezco profundamente por su compañía y apoyo.
Finalmente, a Monkey D. Luffy, por recordarme que los sueños merecen ser perseguidos con
determinación.

Robinson Samuel Calle Cabrera

Resumen

Este proyecto aborda la creación de sistemas esqueléticos (rigging) y animaciones 3D aplicados a un videojuego de realidad virtual, con un enfoque en la sostenibilidad ambiental. A través de herramientas como Blender y Unity, se desarrollaron personajes y objetos inmersivos que destacan por su movimiento fluido y realismo. Mediante una metodología experimental, se optimizó el proceso de exportación de modelos y animaciones, asegurando su funcionalidad en entornos interactivos. La propuesta combina excelencia técnica con una narrativa educativa sobre el reciclaje de desechos electrónicos, promoviendo la conciencia ambiental de manera innovadora.

Palabras clave: rigging, animación 3D, realidad virtual, videojuegos, sostenibilidad, Blender, Unity.

Abstract:

This project focuses on creating skeletal systems (rigging) and 3D animations for a virtual reality video game, emphasizing environmental sustainability. Using tools like Blender and Unity, immersive characters and objects were developed with realistic and fluid movements. Through an experimental methodology, the export process for models and animations was optimized, ensuring functionality in interactive environments. The proposal combines technical excellence with an educational narrative about electronic waste recycling, promoting environmental awareness innovatively.

Keywords: rigging, 3D animation, virtual reality, video games, sustainability, Blender, Unity.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Impacto y Evolución de la Realidad Virtual en los Videojuegos:	10
1.2 La influencia de la animación en los videojuegos:	11
2. PROBLEMÁTICA	12
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1 La importancia del rigging y la animación en la realidad virtual	16
3.1.1 Rigging: la base para interacciones precisas en entornos virtuales	16
3.1.2 La conexión inmersiva mediante la animación en ambientes virtuales	17
3.2 Realidad Virtual en Videojuegos	18
3.2.1 Historia y evolución de la Realidad Virtual en la industria de los videojuegos	18
3.2.2 Impacto de la Realidad Virtual en la experiencia del usuario	18
3.3 Principales plataformas y herramientas para el desarrollo de videojuegos en RV: Unity y Blender	19
3.3.1 Unity: Desarrollo interactivo e implementación en RV	19
3.3.2 Blender: Desarrollo de contenido visual, rigging y animación	20
3.4 Rigging: Definición y Tipos	20
3.4.1 Rigging mecánico	21
3.4.2 Rigging orgánico	22
3.4.3 Componentes de un rig	23
3.4.4 Herramientas de rigging	25
3.5 ¿Qué es la animación en 3D?	25
3.5.1 Tipos de animación en videojuegos	26
3.5.2 Animación por Keyframes en Videojuegosos	26
3.5.3 Doce principios de la animación	27
3.6 Exportación a Unity	28
3.6.1 Integración de Animaciones en Motores de Videojuegos	28
4. OBJETIVOS	30
4.1 Objetivo general:	30
4.2 Objetivos específicos:	30
5. METODOLOGIA	31
6.1 Metodología experimental	31

5.1.1 Proceso de Aplicación de la Metodología Experimental:	32
5.1.2 Indicadores de evaluación	35
6. RESULTADOS	37
6.1 Integridad del Rigging	37
6.2 Fluidez de Movimientos	39
6.3 Compatibilidad Técnica	41
6.4 Tiempo de Ejecución	44
6.5 Conclusión General	46
BIBLIOGRAFÍA	47

Índice de Figuras

Figura 1 Jerarquía del sistema esquelético en Blender.	21
Figura 2 Rigging mecánico aplicado a un modelo.	22
Figura 3 Rigging orgánico aplicado a un modelo.	23

Índice de tablas

Tabla 1 Análisis de problemas y soluciones en la integridad del rigging	39
Tabla 2 Análisis de problemas y soluciones de fluidez de movimientos.	41
Tabla 3 Análisis de problemas y soluciones de compatibilidad técnica.	44
Tabla 4 Análisis de problemas y soluciones de tiempos de ejecución	45

Diseño y desarrollo de un videojuego en realidad virtual: rigging y animación de personajes y objetos.

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el aumento en la producción de desechos electrónicos se ha transformado en un reto ecológico a causa de los progresos tecnológicos y los patrones de consumo que promueven la obsolescencia programada. Este fenómeno ha provocado la exigencia de establecer políticas y estrategias que incluyan a ciudadanos, instituciones y organizaciones en la adecuada administración de estos residuos. Estudios centrados en el reciclaje electrónico subrayan la necesidad de disponer de infraestructura apropiada que facilite un manejo responsable, reduciendo de esta manera su efecto perjudicial en el medio ambiente y fomentando prácticas sustentables en urbes como Santo Domingo (Cumbal, E. J. P., & Sandoval, E. M. S., 2024, pp. 649-650).

Por otro lado, la incorrecta administración de estos residuos, como su ubicación en vertederos, causa la liberación de sustancias tóxicas que contaminan el terreno, el agua y el aire, perjudicando la salud de los ecosistemas y de los individuos. Investigaciones llevadas a cabo en Ecuador han detectado una carencia de educación y concienciación ambiental como uno de los principales obstáculos para una administración más eficaz. Este escenario resalta la relevancia de promover la conciencia pública y robustecer las acciones para evitar los impactos negativos de estos desechos electrónicos (García, J. L. G., Nieto, J. W. C., Parrales, A. P. C., & Sanchez, J. A. A., 2022, pp. 417-419).

A pesar de que en Ecuador hay marcos jurídicos creados para promover la responsabilidad en la gestión y reciclaje de desechos electrónicos, su puesta en marcha conlleva varios desafíos.

Dentro de estos aspectos sobresalen la ausencia de una infraestructura apropiada y la carencia de estrategias eficaces para administrar estos residuos de forma responsable. Además, la limitada concienciación de la población sobre los peligros medioambientales vinculados a una administración incorrecta de estos desechos intensifica el problema. En este escenario, es vital fomentar proyectos innovadores que no solo fomenten el reutilizado y el reciclaje, sino que además promuevan la sensibilización pública acerca de la relevancia de una gestión eficaz y sostenible de los residuos electrónicos en la nación (Alarcón, C. N., Alarcón, J. N., & Rodríguez, J. P., 2019, pp. 41-42,44).

1.1 Impacto y Evolución de la Realidad Virtual en los Videojuegos:

La realidad virtual (RV) en los videojuegos ha sufrido una transformación notable en los últimos años, pasando de ser una tecnología especializada a establecerse como un producto de consumo de fácil acceso. La compra de Oculus VR realizada por Facebook en 2014 marcó un hito que propulsó su evolución y popularización. En este periodo, la Realidad Virtual ha experimentado varios ciclos de crecimiento y declive, sin embargo, su reciente resurgimiento ha consolidado su papel como un instrumento esencial en el sector del entretenimiento digital. Este progreso ha simplificado el acceso a experiencias interactivas e inmersivas, transformando la forma en que los usuarios se relacionan con los ambientes virtuales (Platforms, 2025).

Sin embargo, la auténtica percepción de inmersión en la Realidad Virtual no solo se basa en los progresos tecnológicos, sino también en las interacciones sociales y culturales que surgen en estos ambientes virtuales. La construcción de sentido y la percepción de presencia están fuertemente moldeadas por las interacciones sociales instauradas entre los usuarios. En este contexto, la Realidad Virtual va más allá de la vivencia personal y se configura como un entorno

de interacción social con un gran potencial para impulsar comunidades y estimular nuevas modalidades de comunicación (Blackman, 2024).

1.2 La influencia de la animación en los videojuegos:

En los videojuegos, particularmente en los que utilizan (RV), la animación emerge como un componente esencial para crear una experiencia inmersiva y potenciar la interacción del usuario. que la ilustración visual de los avatares, mediante gestos, movimientos y posturas, simplifica la transmisión de información pertinente y robustece la relación entre el jugador y el ambiente virtual (Ponton, J. L., Yun, H., Andujar, C., & Pelechano, N., 2022, pp. 108-109).

2. PROBLEMÁTICA

Este proyecto está dirigido a los entusiastas de los videojuegos y a las personas interesadas en el impacto de los desechos electrónicos, mediante la creación de rigging (sistemas esqueléticos) y animación para personajes y objetos dentro de un videojuego. El proyecto abarca el diseño y desarrollo de animaciones detalladas y expresivas, con el objetivo de transmitir de manera efectiva las acciones y emociones de los personajes y objetos, mientras se garantiza una experiencia inmersiva y realista para el jugador.

El motor de juego Unity será empleado como la plataforma principal para la integración de las animaciones y elementos interactivos del videojuego. Su versatilidad y capacidad de manejar mecánicas complejas permiten optimizar la interacción entre los modelos creados y las dinámicas propias del juego. Además, Unity proporciona un entorno robusto que soporta características avanzadas, como la implementación de físicas realistas, iluminación dinámica y la incorporación de efectos visuales. Estas funcionalidades garantizan una experiencia inmersiva, fluida y de alto rendimiento, lo que lo convierte en una elección ideal para la creación de videojuegos en realidad virtual (Unity, 2024).

Por su parte, Blender 3D se utilizará como la herramienta fundamental para el desarrollo de los modelos y rigs requeridos en este proyecto. Este software destaca por su capacidad de generar modelos tridimensionales de alta calidad, además de ofrecer un conjunto completo de herramientas para el rigging y la animación. Blender no solo facilita la creación de esqueletos digitales complejos, sino que también asegura que los movimientos y deformaciones de los modelos sean naturales y precisos. Su compatibilidad directa con Unity permite un flujo de trabajo

continuo, desde la conceptualización y modelado hasta la integración en el motor de juego, garantizando así una sincronización eficiente entre ambas plataformas (Blender, 2024).

La metodología experimental propuesta se basa en la realización de pruebas iterativas y controladas durante las fases de desarrollo y producción. Estas pruebas permitirán evaluar, ajustar y optimizar tanto los sistemas esqueléticos como las animaciones en función de los resultados obtenidos, asegurando que cada iteración aporte mejoras significativas al producto final.

Las discusiones acerca de los videojuegos, en particular las que los asocian con adicciones o conductas antisociales, han contribuido a fortalecer un prejuicio social hacia este tipo de entretenimiento. Según Escandell (2022), en algunas situaciones, como en el entorno educativo, se ha detectado una correlación entre el abuso de videojuegos y la expresión de comportamientos agresivos, lo que fortalece su imagen negativa en el debate público (pp. 5, 42). No obstante, estas perspectivas suelen ser simplistas y no tienen en cuenta las dinámicas complejas que influyen en el impacto de los videojuegos. Varios análisis subrayan que, más allá de ser simplemente factores problemáticos, los videojuegos poseen un significativo potencial educativo y social que a menudo se desestima, destacando su habilidad para fomentar competencias cognitivas y sociales en diversos entornos (pp. 66-67). Es fundamental adoptar una visión más balanceada para entender su auténtico impacto tanto en las personas como en la sociedad.

Más allá de los aspectos técnicos, este proyecto busca transmitir un mensaje significativo a través de su narrativa y mecánicas de juego. Al abordar temas relacionados con la sostenibilidad y el reciclaje, el videojuego se convierte en una plataforma educativa que fomenta la conciencia ambiental de una manera interactiva y entretenida. La propuesta combina de forma innovadora el

entretenimiento con un propósito educativo, logrando captar la atención de los jugadores mientras los sensibiliza sobre la importancia de la reutilización de materiales y la reducción del desperdicio.

El reciclaje, tanto de residuos convencionales como electrónicos, es un tema crítico en la actualidad debido al impacto ambiental generado por el consumo desmedido y la obsolescencia tecnológica. Específicamente, los desechos electrónicos constituyen un reto mundial debido a su elevada toxicidad y complicado control. Este proyecto aspira no solo a representar estos asuntos en su relato, sino también a motivar a los participantes a pensar en su papel en la disminución y sensibilización para el reaprovechamiento de estos residuos. La evaluación de los desechos orgánicos brinda la posibilidad de avanzar hacia un modelo de economía circular, en el que los desechos se transforman en recursos (Carrasquilla, Correa, & Ramírez, 2021, pp. 98, 123, 112-113). Esta visión se incorpora en la creación del videojuego, en el que tanto la historia como las técnicas intentan representar esta transición hacia una cultura de reutilización y sostenibilidad.

La innovación de esta propuesta radica, por tanto, en la convergencia de dos áreas esenciales: la excelencia técnica en el desarrollo de animaciones 3D y la transmisión de un mensaje ambiental significativo. A través de la investigación experimental y aplicación de técnicas avanzadas de rigging y animación, este proyecto no solo contribuye al desarrollo técnico del equipo de trabajo, sino que también establece un referente de calidad y creatividad dentro de la industria de los videojuegos en Ecuador.

La viabilidad del proyecto está respaldada por una planificación meticulosa, que incluye objetivos claramente definidos, el uso de herramientas robustas y una metodología experimental bien estructurada. Tanto Blender 3D como Unity permitirán una integración eficiente y efectiva de las animaciones creadas, garantizando así un resultado final coherente y satisfactorio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 La importancia del rigging y la animación en la realidad virtual

La animación y el rigging son componentes cruciales en la creación de videojuegos de (RV), pues posibilitan proporcionar movimiento y realismo a los personajes y objetos en ambientes envolventes, el rigging funciona como un esqueleto digital que ofrece el fundamento para movimientos naturales y fluidos, ajustando automáticamente el esqueleto a la trama del personaje a través de métodos sofisticados de optimización. Además, la animación aporta vida a los modelos 3D al utilizar secuencias diseñadas para asegurar que las acciones de los personajes se ajusten de forma exacta a las interacciones del jugador, potenciando de esta manera la inmersión y la experiencia del usuario. Estas técnicas no solo producen movimientos visualmente cautivadores, sino que también garantizan una reacción rápida y consistente a las instrucciones del usuario, un requisito esencial en experiencias interactivas donde el jugador anticipa una respuesta instantánea y exacta (Baran, I., & Popović, J., 2007, pp. 2-5). Sin estos recursos, la vivencia de realidad virtual perdería fluidez y realismo, lo que impactaría la participación del usuario.

3.1.1 Rigging: la base para interacciones precisas en entornos virtuales

La relevancia del rigging en la realidad virtual reside en su habilidad para generar interacciones exactas entre los avatares y el ambiente, lo cual aporta de manera significativa a la percepción de presencia del jugador. El rigging no solo ofrece una estructura interna para los modelos 3D, sino que también simplifica la puesta en marcha de sistemas físicos que reaccionan de forma realista ante la gravedad, los choques y otras fuerzas presentes en el ambiente virtual. En este escenario, una implementación adecuada del sistema de rigging asegura que los movimientos

de los personajes estén en sintonía con las acciones del usuario, optimizando de esta manera la experiencia global. Adicionalmente, el rigging apropiado posibilita que los personajes efectúen movimientos complejos, tales como gestos, correr o manipular objetos, sin alterar la ilusión de realismo (Van Horn, 2018). Esta relación entre la gestión del jugador y la reacción visual de los personajes es esencial para preservar la inmersión en ambientes virtuales, dado que cualquier fallo en la implementación puede interrumpir la experiencia de inmersión.

3.1.2 La conexión inmersiva mediante la animación en ambientes virtuales

La realidad virtual no solo se basa en la fidelidad visual, sino también en la integración constante de las estrategias de interacción con los estímulos sensorial. La correcta implementación del rigging y la animación permite que los usuarios se adhieran intuitivamente al ambiente virtual, creando una experiencia más genuina y gratificante. Un sistema de animación adecuado no solo aspira a representar movimientos fluidos, sino que también manifiesta las emociones y respuestas de los personajes ante distintas circunstancias dentro del juego. Este grado de minuciosidad en la animación es fundamental para que los jugadores puedan experimentar una conexión emocional con sus avatares y el ambiente que los envuelve (Cuenca, 2020, pp. 3,7,16). Además, la correcta integración de estos sistemas ayuda a disminuir el cansancio visual y físico, potenciando la accesibilidad y el disfrute extendido de las experiencias virtuales.

3.2 Realidad Virtual en Videojuegos

3.2.1 Historia y evolución de la Realidad Virtual en la industria de los videojuegos

La realidad virtual (RV) ha experimentado una evolución notable desde sus inicios en los años 60 con aparatos innovadores como el Sensorama y el casco Headsight. No obstante, fue durante la década de los 90 cuando el sector de los videojuegos empezó a experimentar con esta

tecnología, resaltando dispositivos como el Virtual Boy de Nintendo. Pese a sus restricciones técnicas, estos esfuerzos sentaron los cimientos para los sistemas presentes. Actualmente, con dispositivos de vanguardia como Oculus Rift, HTC Vive y PlayStation VR, la Realidad Virtual ha alcanzado un grado de inmersión y realismo que cambia radicalmente la experiencia del usuario (Gigante, 1993, pp. 5,7,13).

3.2.2 Impacto de la Realidad Virtual en la experiencia del usuario

El impacto es significativo al incorporar tecnologías de vanguardia que promueven una interacción inmersiva. Instrumentos como sensores de movimiento, sistemas hápticos y audio envolvente colaboran para proporcionar una experiencia multisensorial donde los usuarios no solo perciben el ambiente, sino que también participan activamente en él. Como señala Dani (2019), estas tecnologías aumentan la percepción de realismo, lo que a su vez refuerza la conexión emocional entre el usuario y los contenidos virtuales (pp. 2033-2035). Además, se ha comprobado que este grado de involucramiento no solo fortalece la conexión emocional, sino que también incrementa notablemente la retención y la dedicación del usuario hacia las experiencias interactivas (Dani, 2019, p. 2036).

3.3 Principales plataformas y herramientas para el desarrollo de videojuegos en RV: Unity y Blender

3.3.1 Unity: Desarrollo interactivo e implementación en RV

Unity se destaca como una de las plataformas más empleadas para la creación de videojuegos en realidad virtual, gracias a su versatilidad, sencillez de manejo y compatibilidad con una extensa variedad de dispositivos, desde lentes de realidad virtual como Oculus Rift, HTC Vive

y PlayStation VR, hasta dispositivos móviles con capacidades de RV. Sus instrumentos sofisticados, como el XR Interaction Toolkit, posibilitan a los programadores incorporar interacciones naturales e intuitivas en ambientes virtuales, favoreciendo la generación de experiencias envolventes optimizadas tanto para ordenadores como para dispositivos móviles (Unity, 2024).

Unity se caracteriza por su habilidad de fusionar eficazmente modelos creados en Blender y conectarlos con eventos interactivos en el entorno virtual. Las animaciones generadas en Blender son fáciles de importar y sincronizar con las acciones del jugador, asegurando transiciones suaves y naturales entre los distintos estados de movimiento (Sheshina, 2016, pp. 11, 16-19, 31). Además, Unity proporciona instrumentos sofisticados para replicar efectos físicos, tales como la gravedad y los impactos, lo que posibilita que los objetos y personajes se relacionen de manera consistente en el ambiente. Estas características, sumadas a la capacidad de diseñar interacciones minuciosas, convierten a Unity en la opción perfecta para crear experiencias envolventes y dinámicas.

3.3.2 Blender: Desarrollo de contenido visual, rigging y animación

Blender sobresale como una herramienta de código libre muy empleada en el sector del desarrollo de videojuegos y animaciones en 3D. Este programa proporciona una serie de habilidades avanzadas, tales como modelado poligonal, escultura digital y rigging detallado, lo que lo transforma en una solución completa para la creación de personajes y ambientes tridimensionales. Su sistema de rigging facilita la creación de esqueletos digitales que manejan con exactitud los movimientos de los modelos, garantizando una representación auténtica en las animaciones (Grey, 2021, pp. 342). Estas propiedades lo sitúan como una elección perfecta para aquellos que buscan soluciones de alto desempeño en proyectos de diseño tridimensional.

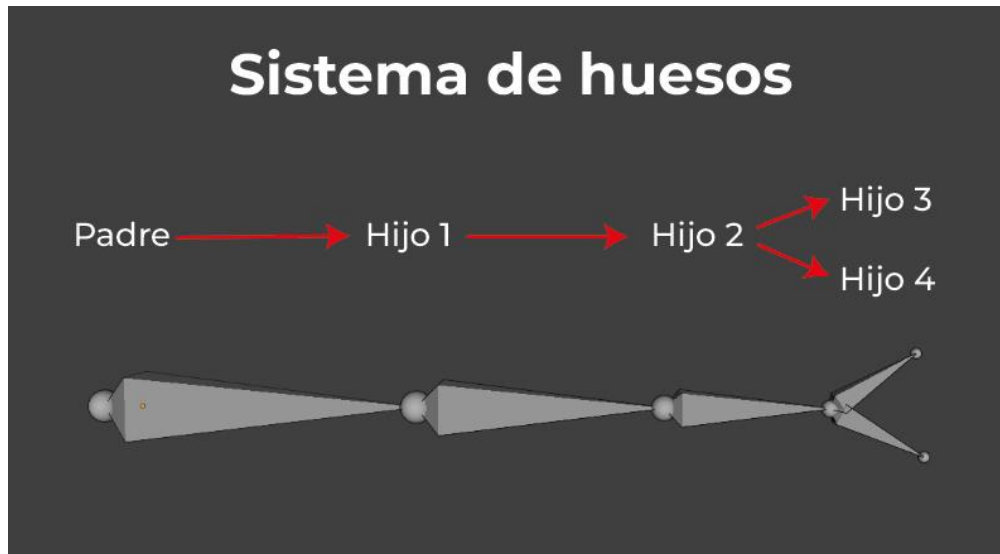
En contraposición, Blender dispone de un sistema de animación fundamentado en keyframes que facilita a los programadores la definición de movimientos minuciosos y exactos. Estas animaciones, que comprenden transformaciones elementales como rotación, posición y escala, se pueden trasladar con facilidad a motores como Unity a través de formatos como FBX, lo que mejora el proceso de trabajo entre el diseño y la implementación (Grey, 2021, pp. 149,344). Esta integración garantiza que los activos generados en Blender puedan interactuar sin contratiempos en ambientes virtuales dinámicos, resaltando la relevancia de este programa en la generación de experiencias envolventes y de excelente calidad

3.4 Rigging: Definición y Tipos

El rigging es un método esencial en la animación en 3D que facilita la creación de un sistema interno, parecido a un esqueleto, en un modelo digital con el fin de regular sus movimientos. Este sistema esquelético, organizado en un orden jerárquico, permite controlar con precisión los movimientos de los diferentes segmentos del modelo, asegurando que las acciones sean coherentes y fluidas. Este método no solo simplifica el manejo de personajes y objetos, sino que también mejora la producción de animaciones naturales y dinámicas. Una implementación adecuada del rigging asegura que los modelos puedan ejecutar movimientos complejos preservando su integridad estructural, lo cual es crucial para producir una experiencia visual impactante. (Arshad et al., 2019, pp. 4140-4141).

Figura 1

Jerarquía del sistema esquelético en Blender.



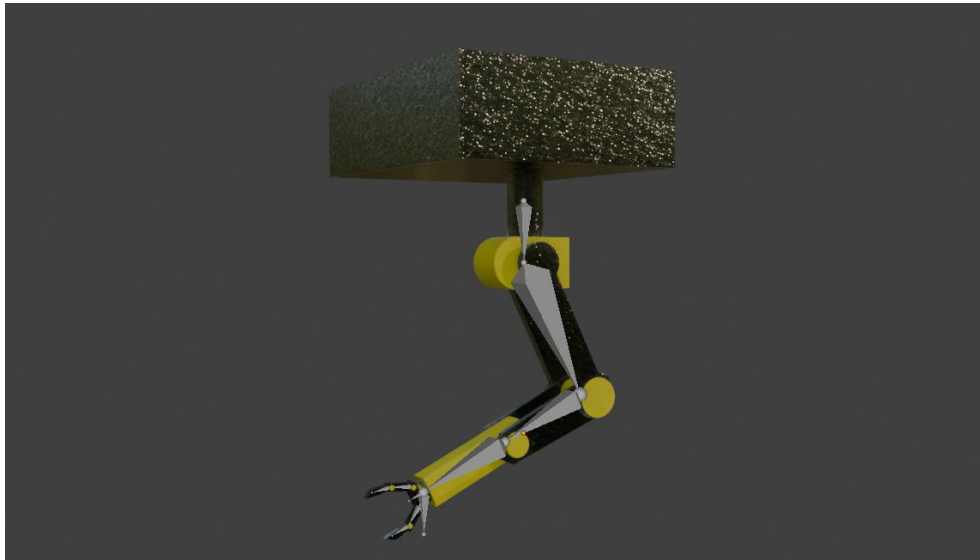
Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Rigging mecánico

El rigging mecánico es principalmente empleado en estructuras rígidas, como robots o maquinaria. Esta perspectiva se fundamenta en sistemas de control jerárquico que estructuran los movimientos de forma exacta y prevista. De acuerdo con el informe, esta modalidad de rigging es perfecta para movimientos constantes y sistemas con escasos grados de libertad, en los que la exactitud es esencial para su operación (Arshad et al., 2019, p. 4140).

Figura 2

Rigging mecánico aplicado a un modelo.



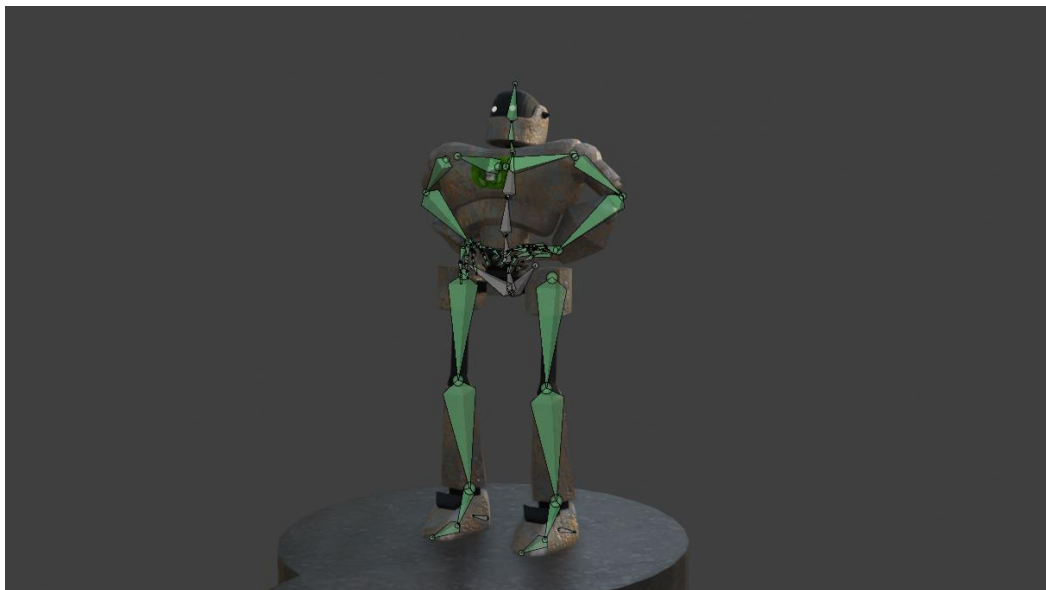
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Rigging orgánico

El rigging orgánico se utiliza en modelos de organismos vivos, tales como figuras humanas o animales, donde la adaptabilidad y el detalle resultan fundamental. Esta modalidad de rigging posibilita la generación de gestos faciales, movimientos complejos de articulaciones y deformaciones naturales, lo cual es esencial para animaciones que necesiten un elevado grado de realismo. Además, proporciona la habilidad para ajustarse a modificaciones en el modelo, asegurando una reacción exacta y fluida durante el proceso de animación (Arshad et al., 2019, pp. 4140-4141).

Figura 3

Rigging orgánico aplicado a un modelo.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Componentes de un rig

Un rig consta de varios componentes fundamentales que proporcionan vida a un modelo digital. Primero, el esqueleto o conjunto de huesos representa la estructura interna requerida para regular los movimientos. Este sistema de jerarquía vincula las distintas secciones del modelo, garantizando que los movimientos sean fluidos y naturales. Además, los controladores funcionan como instrumentos perceptibles e intuitivos que facilitan el manejo de los huesos, posibilitando que los animadores operen de forma más eficaz. En última instancia, las restricciones (constraints) son elementos esenciales que restringen y controlan los movimientos con el objetivo de preservar

parámetros físicos realistas, como prevenir rotaciones inviables o deformaciones innaturales en las articulaciones (Valverde, 2009, p. 5).

Además de los huesos, las reglas y los controladores son componentes esenciales en el rigging. Los controladores proporcionan una interfaz palpable que facilita el manejo intuitivo de las articulaciones, mientras que las limitaciones garantizan que los movimientos se ajusten a parámetros físicos reales. Por ejemplo, las limitaciones de rotación restringen el movimiento de las articulaciones para prevenir deformaciones inapropiadas, mientras que las limitaciones de posición aseguran que las extremidades se conserven dentro de un rango determinado. Esto facilita la labor del animador al minimizar fallos y perfeccionar el proceso de trabajo en escenas complicadas (Valverde, 2009, p. 6).

Finalmente, el rigging incluye sistemas como el IK (Kinematics Inversos) y el FK (Kinematics Frontales), cada uno con usos particulares. El IK permite al animador gestionar una serie de huesos desde un punto final, lo que resulta óptimo para movimientos complejos, como andar o manipular objetos, garantizando que las extremidades permanezcan en contacto con las superficies. En contraposición, el FK proporciona un control más jerarquizado, beneficioso para animaciones que necesitan exactitud en cada articulación. Estos sistemas complementarios son esenciales para asegurar movimientos coherentes y naturales en modelos tridimensionales (Valverde, 2009, p. 7).

3.4.4 Herramientas de rigging

El rigging se realiza a través de instrumentos especializados, siendo Blender y Autodesk Maya los más sobresalientes. Blender, software libre, proporciona un sólido sistema de rigging

con características avanzadas como Auto-Rig Pro, Armature System, así como la incorporación de FK (Forward Kinematics) e IK (Inverse Kinematics). Adicionalmente, su proceso de trabajo permite la integración directa con motores de juego como Unity.

Blender ha obtenido preferencia en numerosos proyectos gracias a su fácil acceso, su modelo de código abierto y su comunidad dinámica, que ofrece actualizaciones y soporte continuos. La compatibilidad directa de Blender con Unity, su sencillez para exportar archivos optimizados en formato FBX y su versatilidad lo hacen la herramienta perfecta para proyectos de realidad virtual independientes y comerciales.

El procedimiento de rigging se topa con múltiples retos, tales como la distribución adecuada de pesos (weight painting) para prevenir deformaciones indeseables, la configuración de controladores intuitivos y la optimización del esqueleto para un desempeño eficaz en el motor de juego (Blender, 2024)

3.5 ¿Qué es la animación en 3D?

La animación consiste en generar la ilusión de movimiento a través de la secuencia de imágenes levemente distintas entre sí, proyectadas de manera constante y a una velocidad apropiada para ser consideradas como dinámicas. En la animación tridimensional, este método se fusiona con fundamentos como el peso, el equilibrio y la sincronización para otorgar realismo y expresividad a personajes u objetos virtuales. Este procedimiento, frecuentemente empleado en áreas como la realidad virtual y los videojuegos, convierte componentes aislados en vivencias visuales vibrantes e inmersivas, resaltando la relación entre el arte y la tecnología (Beane, 2012, pp. 193-194).

3.5.1 Tipos de animación en videojuegos

La animación en videojuegos se divide en animación in-game y cinemáticas de videojuegos. La animación in-game consiste en ciclos de movimiento que responden a las acciones del jugador, focalizando el balance y la funcionalidad en la manifestación de emociones. Por otro lado, las cinemáticas adoptan una perspectiva narrativa, parecida al cine y la televisión, enfocándose en interpretaciones minuciosas para progresar en la trama del juego (Beane, 2012, pp. 194-195).

3.5.2 Animación por Keyframes en Videojuegosos

La animación fundamentada en keyframes adopta una perspectiva parecida a la animación convencional en 2D. El animador elabora posturas fundamentales para los personajes u objetos y las sitúa en momentos determinados del tiempo. Después, se generan posiciones extra para finalizar la secuencia de animación. A pesar de que la animación convencional exigía dibujar cada cuadro, lo que suponía un procedimiento largo y arduo, la utilización de programas en la animación 3D facilita la automatización del proceso de interpolación. Este procedimiento continúa siendo uno de los más empleados en el sector debido a su adaptabilidad y habilidad para generar resultados de excelente calidad (Beane, 2012, p. 196).

3.5.3 Doce principios de la animación

Thomas F. (1995). En su libro en su obra *The Illusion of Life: Disney Animation*, define los 12 principios esenciales que otorgan vida y autenticidad a las animaciones.

Los principios básicos de la animación resultan imprescindibles para otorgar vida y dinamismo a las acciones. El propósito de Anticipación es preparar al público para acciones significativas, mejorando así su percepción y entendimiento. En cuanto a la Puesta en escena, se enfoca en asegurar que cada acción sea comprensible de manera sencilla y que la narrativa visual resulte eficaz. Respecto a los métodos de animación, la Acción directa facilita la generación de movimientos continuos y fluidos, mientras que el enfoque Pose a pose permite un control más efectivo a través de la formación de puntos críticos en la acción. La Acción secundaria aporta profundidad al incorporar movimientos adicionales a los principales, lo que enriquece la escena. Adicionalmente, el tacto suave en los comienzos y términos de los movimientos, denominado Aceleración y desaceleración, ayuda a que las transiciones sean más espontáneas. Los Arcos proporcionan realismo al trazar caminos curvados, característicos de los movimientos orgánicos. El Movimiento sincronizado y el arrastre consiguen que distintas partes del cuerpo o de un objeto se desplacen de forma coordinada pero autónoma. La administración del ritmo, también conocida como Timing, facilita el control de la rapidez de las acciones, comunicando peso e intención. En cambio, se emplea la Exageración para estilizar los movimientos, consiguiendo que sean más atractivos y llamativos. El método de Dibujo sólido asegura que los personajes posean volumen y peso, impidiendo que se perciban planos. Por último, el principio del Atractivo garantiza que los personajes posean un diseño visual que atraiga y conserve la atención del espectador. Estos principios, implementados de manera colectiva, constituyen los cimientos que mantienen la animación como arte (Thomas, 1995).

3.6 Exportación a Unity

La exportación implica una serie de etapas cruciales para garantizar una integración eficaz en el motor de videojuegos. Es crucial modificar los modelos en Blender antes de su exportación. se recomienda el uso del formato FBX por su compatibilidad con Unity. Es igualmente crucial considerar las diferencias entre los sistemas de coordenadas de ambos programas, dado que Blender emplea el eje Z para representar la altura, mientras que Unity utiliza el eje Y. Esta diferencia debe ser solucionada durante el proceso de exportación para asegurar que los modelos se ajusten correctamente en el ambiente virtual (Sheshina, 2016, pp. 20,30,31).

3.6.1 Integración de Animaciones en Motores de Videojuegos

La incorporación de animaciones en motores como Unity demanda un enfoque preciso para garantizar un rendimiento óptimo y una experiencia fluida para los usuarios. En los proyectos de realidad virtual (RV), resulta esencial optimizar tanto los modelos como las animaciones con el fin de evitar problemas de rendimiento, como retrasos o interrupciones. Para lograrlo, es necesario disminuir la cantidad de polígonos en los modelos y asegurar que las transiciones de movimiento sean suaves, especialmente en aspectos críticos como el tiempo y las aceleraciones. También se subraya la importancia de mantener una alta tasa de fotogramas por segundo (FPS), lo cual es fundamental para prevenir efectos adversos en los usuarios, como mareos o desorientación. Unity, además, ofrece la posibilidad de asociar animaciones con eventos específicos mediante el uso de scripts, lo que facilita la creación de interacciones dinámicas, como el movimiento automático de puertas cuando el jugador se acerca (Salomão et al. 2021, pp. 308-311).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

Crear sistemas esqueléticos para generar animaciones 3D en un entorno de videojuegos de realidad virtual

4.2 Objetivos específicos:

1. Examinar el proceso de creación de un sistema de esqueletos para modelos 3D.
2. Componer rigs en personajes y objetos modelados, asegurando su correcta funcionalidad.
3. Componer animaciones fluidas para luego exportarlas al motor de videojuegos.

5. METODOLOGIA

5.1 Metodología experimental

La metodología experimental es esencial para los estudios técnicos y científicos, dado que facilita el análisis de fenómenos mediante la manipulación regulada de variables. Este enfoque se distingue por su habilidad para determinar vínculos entre causa y efecto, utilizando un diseño estructurado y pruebas iterativas que garantizan resultados objetivos y verificables. Además, ofrece un esquema perfecto para asegurar la reproducibilidad y la validez de los experimentos en ambientes controlados.

Es esencial el método experimental para valorar y perfeccionar los procesos de rigging y exportación en formato FBX desde Blender. Este procedimiento facilita la detección de problemas técnicos particulares, tales como deformaciones en las animaciones o fallos en la jerarquía de huesos, y los rectifica a través de un proceso iterativo de evaluaciones. Además, permite adquirir métricas objetivas, como la fluidez de movimientos y la adecuada comprensión de los rigs en Unity, que resultan cruciales para asegurar la calidad del producto final (Murillo, 2011).

Al emplear este método, se consigue:

- Exactitud en las modificaciones técnicas: Las configuraciones de rigging son evaluadas de forma regulada, garantizando que los modelos conserven su integridad y funcionalidad en el ambiente de realidad virtual.
- Optimización del proceso laboral: Las evaluaciones iterativas facilitan el perfeccionamiento de los sistemas esqueléticos y los métodos de exportación, optimizando la eficacia del procedimiento.

- Importancia operativa: Los resultados logrados pueden ser reproducidos y ajustados a proyectos parecidos, favoreciendo la creación de mejores prácticas en el sector de videojuegos.

5.1.1 Proceso de Aplicación de la Metodología Experimental:

1. Creación de huesos de manera jerárquica:

Descripción:

Se genera un sistema esquelético jerárquico en Blender, comenzando desde el hueso raíz y construyendo una estructura organizada que abarque todas las extremidades y partes móviles del modelo. La jerarquización de los huesos sigue una estructura de "padre-hijo", donde cada hueso está conectado para permitir un control fluido y cohesivo.

Fundamento:

Según la estructura jerárquica de los huesos es esencial para garantizar que las relaciones entre las articulaciones sean funcionales y que los movimientos sean precisos y naturales. La jerarquía permite que las extremidades y las partes del modelo se comporten de manera coherente durante el proceso de animación, asegurando así un rigging eficiente y estable (Arshad et al., 2019, pp. 4140-4141).

2. Asignación de huesos al mesh

Descripción:

Utilizando la técnica de *Weight Painting* en Blender, se asignan los vértices del mesh a los huesos correspondientes. Este proceso asegura que cada parte del modelo responda

adecuadamente al movimiento del sistema esquelético, permitiendo deformaciones precisas durante la animación. El *Weight Painting* proporciona una forma intuitiva de gestionar grandes cantidades de información de pesos, facilitando el rigging de mallas complejas.

Fundamento:

Una correcta asignación de pesos es esencial para minimizar deformaciones indeseadas y garantizar una interacción óptima entre el rigging y el mesh. Blender ofrece herramientas específicas para pintar pesos, permitiendo ajustar la influencia de cada hueso sobre los vértices del modelo. Además, la visualización en modo *Weight Paint* utiliza un espectro de colores que facilita la identificación de áreas con diferentes niveles de influencia, asegurando una distribución uniforme y precisa de los pesos (Blender, 2024).

3. Prueba de Movimientos**Descripción:**

Antes de incorporar los modelos al proyecto principal, se realizan pruebas iniciales de animación en un entorno independiente dentro de Unity. Estas pruebas incluyen movimientos básicos, como rotaciones, traslaciones y flexiones, con el objetivo de detectar posibles errores en la configuración del rigging, deformaciones no deseadas o articulaciones que no funcionen de manera adecuada. Este proceso iterativo permite ajustar y optimizar los modelos antes de su integración final.

Fundamento:

Las pruebas previas son esenciales para validar la funcionalidad y naturalidad de los movimientos, especialmente en proyectos de realidad virtual, donde la inmersión del usuario depende de la precisión de las animaciones. Realizar esta validación en un entorno controlado asegura que los modelos cumplan con los estándares requeridos y reduce la necesidad de correcciones posteriores (Sheshina, 2016).

4. Exportación a Unity**Descripción:**

El proceso de exportación en formato FBX permite trasladar modelos 3D, junto con su esqueleto y animaciones, desde Blender a Unity de forma efectiva. Este procedimiento requiere configurar parámetros esenciales como la orientación de los ejes, seleccionar únicamente los objetos necesarios, y elegir el formato para optimizar la compatibilidad. Estos ajustes aseguran que los modelos mantengan su integridad durante la transferencia.

Fundamento:

Utilizar el formato FBX es fundamental para preservar la estructura jerárquica, las texturas y las animaciones de los modelos durante su integración en Unity. Esto facilita su uso inmediato en proyectos, minimizando los ajustes posteriores y garantizando una experiencia fluida en el desarrollo del videojuego (Grey, 2021).

5.1.2 Indicadores de evaluación

La metodología experimental permitirá evaluar el cumplimiento de los objetivos del proyecto mediante los siguientes indicadores clave:

Integridad del Rigging

- Los rigs creados deben permitir movimientos precisos y naturales, evitando deformaciones no deseadas en las articulaciones principales.
- La jerarquía de huesos debe ser funcional y compatible con Unity, facilitando su exportación e integración.

Fluidez de Movimientos

- Las animaciones deben ser fluidas, con transiciones suaves entre ciclos de movimiento.
- Se espera que las animaciones tengan una tasa consistente de 60 FPS, logrando movimientos acordes y orgánicos.

Compatibilidad Técnica

- Los modelos y animaciones exportados desde Blender deben integrarse correctamente en Unity utilizando el formato FBX.
- Los tiempos de exportación no deben superar los 10 segundos, y la importación en Unity debe mantenerse en un rango de 2 a 5 segundos por modelo.
- Los activos deben mantener su funcionalidad y coherencia al integrarse en el motor.

Tiempo de Ejecución

- Las animaciones deben ejecutarse de manera fluida dentro de Unity, manteniendo una tasa de fotogramas (FPS) estable incluso en escenarios con múltiples modelos animados.
- Los tiempos de carga de animaciones deben ser mínimos, asegurando una experiencia sin interrupciones.

6. RESULTADOS

6.1 Integridad del Rigging

Durante las pruebas iniciales realizadas al sistema de rigging, se evaluó la funcionalidad general de los movimientos del personaje, identificando áreas que requerían ajustes para garantizar un rendimiento óptimo en las animaciones. A continuación, se detallan los hallazgos y las soluciones implementadas:

Funcionamiento de los movimientos

En general, los movimientos del rigging operaron correctamente, cumpliendo con las expectativas iniciales. No obstante, se detectó una limitación específica en la generación de puños del personaje principal. El rig no permitía formar puños de manera automática, dificultando la creación de animaciones específicas.

Solución aplicada: Se realizaron ajustes en los huesos de las manos para permitir dobleces naturales, lo que facilitó significativamente la generación de puños y optimizó el flujo de trabajo en la animación.

Deformaciones en la malla

Se identificaron problemas en la influencia de los pesos del cuello, que afectaban la deformación de los hombros durante los movimientos. Este problema provocaba un comportamiento no natural al inclinar la cabeza del personaje.

Solución aplicada: Se utilizó la herramienta de pintura de pesos (Weight Painting) en Blender para redistribuir las influencias. Los pesos asignados a los hombros fueron

ajustados, reduciendo su influencia en los movimientos del cuello, lo que resultó en una deformación más natural y realista.

Límites naturales de movimiento

Los límites de movimiento establecidos fueron respetados en su mayoría. Sin embargo, se detectó un rango de error mínimo en las rotaciones de la cabeza y el cuello. Este problema no impacta significativamente la funcionalidad del rig ni afecta la calidad general de las animaciones.

Configuración de los controladores

Los controladores del rigging fueron configurados de manera intuitiva, permitiendo una manipulación sencilla y eficiente durante la creación de animaciones. No se identificaron problemas en este aspecto.

Tabla 1

Análisis de problemas y soluciones en la integridad del rigging

Aspecto Evaluado	Problema Detectado	Solución Aplicada	Estado Final
Movimientos generales	El rig no permitía generar puños de manera automática	Ajuste en los huesos de las manos para dobleces naturales	Puños funcionales

Deformación en malla	Pesos del cuello afectaban a los hombros	Ajuste de pintura de pesos	Movimientos naturales del cuello
Límites de rotación	Error menor en rango de rotación del cuello	No aplica	Error mínimo, sin impacto
Controladores	Ningún problema detectado	No aplica	Intuitivos y funcionales

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Fluidez de Movimientos

Durante el proceso de desarrollo, se evaluó la fluidez de las animaciones generadas para el videojuego. Este aspecto resulta esencial para garantizar una experiencia inmersiva y realista para el jugador. Se enfrentaron diversos retos relacionados con la gestión de múltiples animaciones utilizando un mismo personaje, la interacción entre personajes y objetos, y la adaptación de animaciones a diferentes escenarios. A continuación, se detallan los hallazgos y las soluciones implementadas:

Gestión de múltiples animaciones mediante acciones en Blender

El principal reto fue generar las diversas animaciones requeridas para el videojuego utilizando un solo personaje. Esto implicó el uso de acciones de animación en Blender, que almacenan datos específicos como posición, rotación, escala y otras propiedades de animación. Estas acciones fueron gestionadas en el Editor de Acciones (Action Editor), permitiendo organizar y reutilizar eficientemente las animaciones necesarias. Sin embargo, la combinación de múltiples acciones en el sistema de Animación No Lineal (NLA) inicialmente presentó dificultades para mantener una organización adecuada y garantizar transiciones fluidas entre animaciones.

Interacción entre personajes y objetos

Se identificaron problemas al animar al personaje principal junto con un objeto que no tenía rigging, lo que complicaba la sincronización de movimientos. Para resolver esta situación, se implementaron restricciones (constraints), particularmente el Follow Path, que permitió coordinar los movimientos del personaje y el objeto, logrando una interacción fluida y coherente.

Espacios de animación

Debido a la necesidad de animar tanto en el escenario principal como en diferentes entornos, fue necesario dividir las animaciones en múltiples archivos de Blender. Esto permitió adaptar cada animación a las especificaciones del espacio correspondiente, aunque incrementó la complejidad del proceso organizativo.

Tabla 2

Análisis de problemas y soluciones de fluidez de movimientos.

Aspecto Evaluado	Problema Detectado	Solución Aplicada	Estado Final
Animaciones múltiples	Dificultad para gestionar varias animaciones mediante acciones	Uso de acciones en Blender para organizar animaciones	Gestión eficiente de animaciones
Interacción con objetos	Problemas al animar personaje junto a objetos sin rig	Uso de constraints (Follow Path)	Movimientos sincronizados y fluidos
Espacios de animación	Dificultad para animar en diferentes escenarios	División de archivos Blender por escenario	Animaciones específicas para cada espacio

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Compatibilidad Técnica

La compatibilidad técnica entre Blender y Unity es un aspecto fundamental para garantizar que los modelos, rigs y animaciones creados en Blender se integren correctamente en el motor de videojuegos. Durante este proceso, se realizaron diversas pruebas para identificar y solucionar problemas relacionados con la exportación, configuración y sincronización de las animaciones. A continuación, se detallan los hallazgos y las soluciones implementadas:

Exportación de modelos y animaciones

Para la exportación de modelos y animaciones desde Blender a Unity, se utilizó el formato FBX debido a su versatilidad y compatibilidad estándar entre ambas plataformas. Sin embargo, durante los primeros intentos, se identificaron los siguientes problemas:

Jerarquía de huesos:

Las animaciones no se exportaban correctamente debido a problemas en la jerarquía de los huesos en Blender. Esto provocaba que las animaciones no fueran reconocidas en Unity.

Solución aplicada: Se diseñó un sistema esquelético desde cero, siguiendo una jerarquía adecuada que permitiera una exportación limpia y funcional.

Exportación de objetos no animados:

En las pruebas iniciales, se generaban animaciones en objetos que no contaban con ninguna animación en Blender. Esto complicaba la visualización de las animaciones reales dentro de Unity.

Solución aplicada: Se comenzó a exportar únicamente los objetos en conjunto con sus rigs o animaciones específicas, optimizando la integración y evitando errores innecesarios.

Influencia de la posición en Blender:

La posición inicial de los modelos y animaciones en Blender afectaba significativamente su comportamiento en Unity. Las animaciones no coincidían correctamente con los entornos y objetos del videojuego si no se consideraba este aspecto.

Solución aplicada: Se prestó especial atención a la posición de los modelos y rigs dentro de Blender antes de la exportación, asegurando una correcta integración en el motor de Unity.

Pruebas realizadas en Unity

Pruebas realizadas en Unity

Se verificó que las jerarquías de los rigs y animaciones se mantuvieran intactas al importarlos en Unity.

Las pruebas demostraron que las correcciones en la jerarquía solucionaron los problemas iniciales, permitiendo que Unity reconociera correctamente las animaciones.

Optimización de exportaciones:

Se comprobó que la exportación de objetos específicos junto con sus rigs o animaciones redujo significativamente los errores en Unity, mejorando la visualización de las animaciones.

Tabla 3

Análisis de problemas y soluciones de compatibilidad técnica.

Aspecto Evaluado	Problema Detectado	Solución Aplicada	Estado Final
Exportación de animaciones	Problemas con la jerarquía de huesos	Creación de un sistema esquelético desde cero	Animaciones exportadas correctamente
Animaciones en objetos no deseados	Generación de animaciones en objetos sin animar	Exportación selectiva de objetos con rigs o animaciones	Movimientos sincronizados y fluidos
Posición en Blender	Desajustes en la posición inicial de las animaciones	Revisión y ajuste de la posición dentro de Blender	Integración precisa en Unity

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Tiempo de Ejecución

El tiempo de ejecución se evaluó considerando los procesos de exportación desde Blender, importación en Unity y la reproducción de las animaciones en el motor de videojuegos. A continuación, se presentan los hallazgos y las soluciones implementadas:

Exportación e importación

El tiempo necesario para exportar e importar las animaciones fue medido durante las pruebas iniciales:

Exportación desde Blender: Tomaba entre 5 a 10 segundos, dependiendo de la complejidad del modelo y su rig.

Importación en Unity: Requería entre 2 a 5 segundos, seguido de otros 5 a 10 segundos para verificar la integración correcta de las animaciones.

Velocidad de las animaciones

Problema inicial: Durante las primeras pruebas, las animaciones eran interpretadas como demasiado rápidas en Unity, lo que afectaba su fluidez y naturalidad.

Solución aplicada: Se ajustó la tasa de animación en Blender a 60 FPS, lo que permitió que Unity interpretara las animaciones de manera precisa y generara movimientos orgánicos y acordes al tiempo esperado.

Tabla 4

Análisis de problemas y soluciones de tiempos de ejecución.

Aspecto Evaluado		Problema Detectado	Solución Aplicada	Estado Final
Tiempos de exportación	de	Tiempo de exportación entre 5 y 10 segundos	Revisión previa en Blender	Exportaciones consistentes
Tiempos de importación	de	Importaciones demoraban de 2 a 5 segundos	Exportación optimizada de objetos específicos	Importaciones rápidas y efectivas
Velocidad de animaciones	de	Animaciones rápidas y poco naturales	Ajuste a 60 FPS en Blender	Movimientos orgánicos y fluidos

Fuente: Elaboración propia

6.5 Conclusión General

El desarrollo de este proyecto permitió abordar y resolver diversos desafíos técnicos relacionados con la creación e integración de animaciones para un videojuego de realidad virtual. Gracias al uso de la metodología experimental, se logró identificar problemas específicos en las etapas de rigging,

animación, exportación y tiempo de ejecución. Esto permitió implementar soluciones iterativas que mejoraron significativamente los resultados finales.

La metodología experimental demostró ser una herramienta clave, ya que permitió realizar pruebas controladas y ajustes progresivos en cada fase del desarrollo. Este enfoque no solo facilitó la resolución de problemas técnicos, sino que también optimizó los procesos, asegurando una mayor eficiencia y calidad en el proyecto.

Los resultados obtenidos reflejan que el rigging, las animaciones y su integración en Unity cumplen con los estándares requeridos para garantizar movimientos fluidos, una correcta compatibilidad técnica y un rendimiento estable. Este proyecto demuestra que un enfoque basado en pruebas experimentales es altamente efectivo para desarrollar soluciones técnicas en proyectos complejos de animación y videojuegos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, C. N., Alarcón, J. N., & Rodríguez, J. P. (2019). Análisis de la exportación de los desechos electrónicos y su incidencia en el comercio exterior del ecuador. *Espiraes Revista Multidisciplinaria De investigación*, 3(26), 40–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.31876/re.v3i26.458>
- Arshad, M. R., Yoon, K. H., Manaf, A. A. A., & Ghazali, M. A. M. (2019). Physical rigging procedures based on character type and design in 3D animation. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 4138-4147. https://doi.org/https://www.researchgate.net/profile/Mohd-Rosli-Arshad/publication/336306246_Physical_Rigging_Procedures_Based_on_Character_Type_and_Design_in_3D_Animation/links/5d9b1fa3299bf1c363fd4b7e/Physical-Rigging-Procedures-Based-on-Character-Type-and-Design-in-3D
- Baran, I., & Popović, J. (2007). Automatic rigging and animation of 3d characters. *ACM Transactions on graphics*, 26(3), 72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/1276377.1276467>
- Beane, A. (2012). *3D animation essentials*. John Wiley & Sons.
- Blackman, T. (2024). Virtual reality and videogames: immersion, presence, and the performative spatiality of 'being there' in virtual worlds. *Social & Cultural Geography*, 25(3), 404-422. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14649365.2022.2157041>
- Blender. (22 de Diciembre de 2024). *Blender*. Blender: <https://docs.blender.org/manual/es/latest/>
- Carrasquilla, L. C. O., Correa, M., & Ramírez, L. V. (2021). *Gestión integral de los residuos orgánicos hacia la sostenibilidad*. Ediciones Comunicación Científica,.

- Cuenca, D. (2020). El papel del Videojuego de Realidad Virtual Aumentada en la apropiación de entornos fuera de pantalla. *Transdigital*, 1(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.56162/transdigital39>
- Cumbal, E. J. P., & Sandoval, E. M. S. (2024). El reciclaje electrónico como alternativa para disminuir los índices de residuos sólidos en Santo Domingo, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinar G-Nerando*, 5(2), 649–669.
- Dani, M. N. (2019). Impact of virtual reality on gaming. Virtual Reality. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(12), 2033-2036.
- Escandell, A. M. (2022). LA VIOLENCIA EN LOS VIDEOJUEGOS: CÓMO NOS AFECTA. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11000/28688>
- García, J. L. G., Nieto, J. W. C., Parrales, A. P. C., & Sanchez, J. A. A. (2022). Impacto ambiental generado por la basura electrónica. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 4(4), 417–426.
- Gigante, M. A. (1993). *Virtual reality: definitions, history and applications*. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3>
- Grey, S. (2021). *Mind-Melding Unity and Blender for 3D Game Development: Unleash the power of Unity and Blender to create amazing games*. Packt Publishing Ltd. <https://doi.org/https://books.google.es/books?id=IkISEAAAQBAJ>
- Meta Platforms. (5 de 1 de 2025). https://developers.facebook.com/docs/content-library-and-api/citations/?locale=es_ES. Meta: https://developers.facebook.com/?no_redirect=1&locale=es_ES
- Murillo, J. (2011). *Métodos de investigación de enfoque experimental*.

Platforms, M. (5 de 1 de 2025). https://developers.facebook.com/docs/content-library-and-api/citations/?locale=es_ES. Meta:

https://developers.facebook.com/?no_redirect=1&locale=es_ES

Ponton, J. L., Yun, H., Andujar, C., & Pelechano, N. (2022). Combining Motion Matching and Orientation Prediction to Animate Avatars for Consumer-Grade VR Devices. *In Computer Graphics Forum*, 41(8), 107-118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cgf.14628>

Salomão, André and Horn Vieira, Milton and Romeiro, Nicolas and Nassar, Victor. (2021). Theorized Work for Adapting the Principles of Animation to Virtual Reality as a New Form of Narrative for 3D Animation. *Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2021)* (págs. 308-312). SCITEPRESS – Science and Technology Publications, Lda. <https://doi.org/10.5220/0010338303080312>

Sheshina, E. (2016). *Designing and building a three-dimensional environment using Blender 3D and Unity game engine*. Lapin ammattikorkeakoulu.

Thomas, F. (1995). *The illusion of life*. New York : Hyperion.

Unity. (21 de 12 de 2024). *Unity*. Unity: <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/UnityManual.html>

Valverde, S. (2009). *Creación y animación de rigs. Manual de diseño*. ESPOL. FADCOM.