

Desarrollo del Metaverso de la Escuela Superior de Huejutla: Estudio sobre desafíos y oportunidades en su implementación



Colaboración

Jonathan Martínez Flores; Christian Hernández Hernández; Jesús Jaime Hernández Hernández; Jorge Hernández Camacho, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / Escuela Superior de Huejutla

Fecha de recepción: 16 de septiembre de 2024

Fecha de aceptación: 14 de octubre de 2024

RESUMEN: Este trabajo presenta el desarrollo del prototipo del Metaverso de la ESH, un proyecto que busca recrear el campus de la Escuela Superior de Huejutla en un entorno virtual inmersivo e interactivo. Inicialmente, se modelaron los edificios y espacios en herramientas como Blender y Sweet Home 3D, con un enfoque de prototipo. Sin embargo, debido a limitaciones de personal y recursos, se cambió la idea de un prototipo independiente, migrando a plataformas externas. La metodología incluyó análisis de plataformas según sus características, pruebas de optimización de modelos 3D y análisis de compresión en formatos como FBX, DAE y OBJ. Los resultados dieron con la migración a plataformas externas como Spatial.io y Roblox; además, mostraron que FBX fue el formato más eficiente en términos de compresión y rendimiento. Con esta migración, el proyecto se adaptó para funcionar en múltiples dispositivos, superando limitaciones técnicas, pero sacrificando calidad visual. Se concluye que, a pesar de los desafíos, las plataformas externas ofrecen una solución viable para el desarrollo a corto plazo, con oportunidades de mejora en futuras iteraciones.

PALABRAS CLAVE: Metaverso, realidad virtual, plataforma, optimización, modelo 3D.

ABSTRACT: This paper presents the development of the ESH Metaverse prototype, a project that seeks to recreate the campus of the Huejutla Higher School in an immersive and interactive virtual environment. Initially, the buildings and spaces were modeled in tools such as Blender and Sweet Home 3D, with a prototype approach. However, due to staff and resource constraints, the idea of a standalone prototype was changed, migrating to external platforms. The methodology included platform analysis according to their characteristics, 3D model optimization tests, and compression analysis in formats such as FBX, DAE, and OBJ. The results led to the migration to external platforms such as Spatial.io and Roblox; moreover, they showed that FBX was the most efficient format in terms of compression and performance. With this migration, the project was adapted to work on multiple devices, overcoming technical limitations, but sacrificing visual quality. As a conclusion, despite the challenges, external platforms offer a viable solution for development in the short term, with opportunities for improvement in future iterations.

KEYWORDS: Metaverse, virtual reality, platform, optimization, 3D model.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento que han experimentado las Tecnologías de Información y Comunicación en los últimos años, sumado a una mayor portabilidad y disponibilidad, han permitido al público en general ser testigo de un nuevo abanico de posibilidades que permiten estas tecnologías, siendo adaptable a dispositivos más pequeños, tales como la Inteligencia Artificial, la Realidad Virtual, Realidad Aumentada, entre otras [1], [2], [3]. Tras estas, existe una que se ha vaticinado desde el crecimiento temprano de Internet, y que se ha fraguado lentamente en una carrera por su desarrollo, pues su alcance promete una experiencia unificadora que aumente la inmersión del usuario con el entorno digital: el metaverso [4], [5].

El metaverso, como concepto, refiere a entornos virtuales interconectados que van más allá de ser una simple versión ampliada

de un único mundo virtual [6], [7], [8]. Se trata de un espacio tridimensional inmersivo que mejora la interacción de los usuarios con otros usuarios y con su entorno, ya que converge la realidad virtual físicamente persistente, con la realidad física virtualmente mejorada [9]. Tiene aplicaciones en diversos ámbitos, como la educación, la salud, el entretenimiento, la publicidad y los negocios [10].

La implementación de las TICs en la educación en los últimos años, y especialmente tras la pandemia de COVID-19, han resultado benéficas para dinamizar los procesos de enseñanza-aprendizaje, prestándose para implementar tecnologías emergentes que puedan seguir por la misma senda [11]. Así pues, la implementación de un metaverso puede influir de manera positiva, ya que puede impulsar el rendimiento y la participación estudiantil [12], [13]; la inmersión que un metaverso es capaz de ofrecer es el principal atractivo que puede ser de utilidad para experiencias interactivas, participaciones desde cualquier parte del mundo, y aprendizaje personalizado [14], [15], [16], [17].

Dicho lo cual, la meta a alcanzar a largo plazo en el proyecto es la construcción de un metaverso de la Escuela Superior de Huejutla (ESH), donde no sólo los estudiantes de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) puedan conocer de manera virtual los otros campus de la institución, sino también sean capaces de acceder a experiencias interactivas según la temática deseada, aprovechando las ventajas de la virtualización y así puedan mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Este caso de estudio tiene como objetivo analizar los procesos, los desafíos técnicos y humanos, y las oportunidades emergentes en la creación de un metaverso educativo para la Escuela Superior de Huejutla. En particular, se explorarán las dificultades encontradas durante las etapas de diseño, construcción y optimización, así como las soluciones desarrolladas para superar dichas barreras.

MATERIAL Y MÉTODOS

En contexto, a continuación, se presentan los materiales y métodos alineados al trabajo de investigación, iniciando por: lugar de ejecución, que explica dónde se realiza este proyecto; los materiales y equipos utilizados, que presentan los equipos utilizados para el desarrollo junto con sus características; las metodologías de investigación, las cuales describen la forma en que fue recabada la información y evaluada para su consideración en la implementación del metaverso; las metodologías de desarrollo, que describen las pautas que por el momento se han seguido para la creación del prototipo; y posteriormente las adversidades que fueron encontradas tras el desarrollo.

Lugar de ejecución

El proyecto se desarrolló en el campus de Huejutla de Reyes de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicada en mismo estado, México. Las fases iniciales de diseño y desarrollo se realizaron de forma presencial, debido a la naturaleza del trabajo con entornos virtuales, e involucraron la participación de estudiantes, profesores y personal técnico de la institución.

Material y equipo

Para el desarrollo del metaverso académico, fueron utilizados equipos con las siguientes características, ver Tabla 1:

Tabla 1. Especificaciones de equipos para desarrollo.

Especificaciones	Equipo primario	Equipo secundario
Modelo	Lenovo AIO A540	Lenovo Think / AIO V50A-24Irb
Memoria RAM	8 GB DDR3 1600 MHz	16 GB DDR4 2666 MHz
CPU	Intel (R) Core (TM) i5-5257U 2.70 GHz	Intel (R) Core (TM) i7-10700T 2.0 GHz
Tarjeta gráfica	Intel (R) Iris (TM) Graphics 6100	Intel (R) UHD Graphics 630
Pantalla	Táctil IPS FHD 23.8"	IPS FHD 23.8"
Unidad de almacenamiento	1 TB HDD	512 GB SSD M.2
Tiempo de uso para el proyecto	1 año, 8 meses	8 meses

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 1, originalmente se trabajó con un único equipo para el desarrollo del metaverso; esto debido a que inicialmente el desarrollo del metaverso fue guiado por un solo estudiante. Tras haber culminado su tiempo de servicio, su proceso fue relevado por dos estudiantes, razón por la cual se ingresó el "Equipo secundario" y se trabajó en paralelo con ambos.

Se emplearon diversas plataformas para el modelado y diseño del entorno 3D, tales como: Blender (para el modelado de objetos tridimensionales), Sweet Home 3D (para la recreación arquitectónica preliminar de los espacios de la escuela) y Unity (para la integración de los objetos 3D en entornos inmersivos). El hardware utilizado incluyó ordenadores de gama media, ver Tabla 1.

Metodología de investigación

Se aplicó un enfoque mixto, el cual integra enfoques cualitativos y cuantitativos para una mayor comprensión del proyecto.

Para el enfoque cualitativo, se analizan los desafíos pedagógicos, técnicos y organizativos durante el desarrollo del metaverso. Estos incluyen la integración de los modelos en plataformas externas y la necesidad de optimización de los archivos para cumplir con las limitaciones de las plataformas. De momento, y tras el desarrollo aún no finalizado del metaverso, aún no se han evaluado estos desafíos [18].

Por otro lado, para el enfoque cuantitativo, se evaluaron aspectos como la reducción del tamaño de los modelos 3D, la capacidad de almacenamiento en distintas plataformas, y los costos asociados a los planes premium de las herramientas utilizadas. Estos datos permitieron evaluar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Metodología de desarrollo

Para la creación del "Metaverso de la ESH", se empleó una metodología híbrida, combinando elementos de enfoques ágiles y la metodología didáctica SACCE (Selección, Anticipación, Construcción, Consolidación y Evaluación). Este enfoque permitió gestionar el desarrollo del prototipo de manera eficiente, ajustando tanto los aspectos técnicos como educativos según las necesidades del proyecto.

- La metodología ágil se aplicó a lo largo del proceso de desarrollo para garantizar una rápida adaptación a los desafíos encontrados, permitiendo iteraciones rápidas y flexibles. Gracias a este enfoque, se pudo ajustar el diseño y optimización de los modelos 3D, así como su integración en plataformas, mientras se recogía la retroalimentación de usuarios y pruebas internas.
- Metodología SACCE: Esta permitió una correcta selección de las tecnologías, así como su construcción, pese a que la consolidación y la evaluación aún no estén efectuadas debido al estado del prototipo actual, se espera que tras su liberación pueda recabarse la información debidamente, analizando y recabando datos de evaluación estudiantil previos y posteriores a la interacción dentro del entorno. [19].

Desarrollo de prototipo independiente

Durante la fase inicial del desarrollo, se trabajó de manera independiente con ayuda de Sweet Home 3D para estructurar tanto en plano como en tres dimensiones, manteniendo la máxima fidelidad entre el edificio real y su versión digitalizada. De igual manera, y con el objeto resultante, se trabajó por medio de este a través de Blender, con el cual se

realizaron modificaciones y el anexo de materiales específicos. Finalmente, la integración del objeto modificado y guardado en el motor gráfico Unity 3D, ver Figura 1.

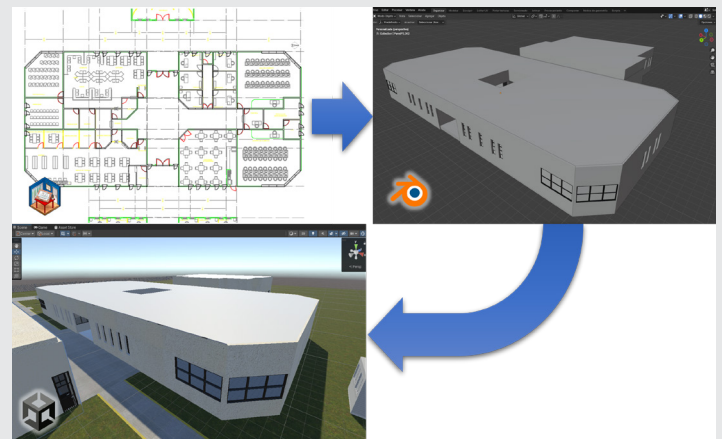


Figura 1. Proceso de modelado de edificio por medio de SweetHome3D, posteriormente con ayuda de Blender y su implementación en Unity 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Además, y como una demostración inicial de lo que podría ofrecer este proyecto, se creó un prototipo interactivo de inmunología, donde los usuarios podrían explorar a través de un vaso sanguíneo y se les permita estudiar de una manera más intuitiva la estructura de las células presentes en la sangre, ver Figura 2.

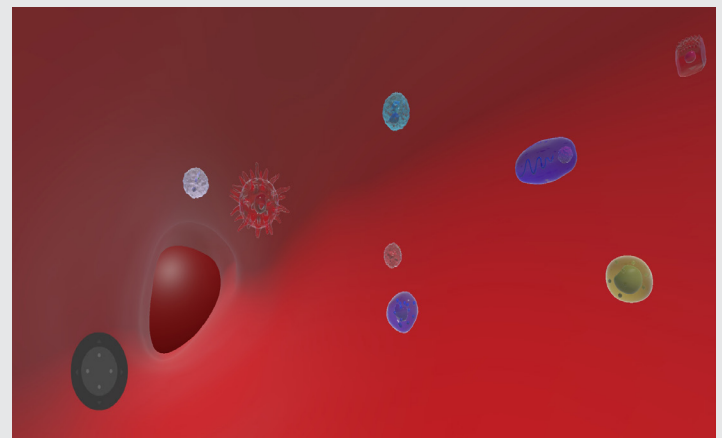


Figura 2. Captura de pantalla inicial del prototipo de aplicación interactiva de módulo de inmunología.

Fuente: Elaboración propia.

Esta etapa fue clave para establecer los primeros trazos del proyecto, al tener inicialmente un entorno que recreaba visualmente la infraestructura del campus y por separado una aplicación interactiva; además, esto permitió evaluar las capacidades necesarias para el metaverso. Al tratarse de un prototipo, la optimización no fue una prioridad, permitiendo una mayor libertad en el uso de recursos técnicos.

El mayor desafío de esta etapa fue la limitación en el equipo de trabajo. Durante el primer año, solo un estudiante participó en el proyecto como parte de su servicio social, lo que ralentizó el avance. Tras su término, dos estudiantes tomaron el relevo, continuando el desarrollo del prototipo. El prototipo resultante era un entorno rudimentario con funcionalidades básicas, pero proporcionaba una visión preliminar del futuro potencial del metaverso. Este prototipo, aunque funcional, era limitado en sus capacidades y mostraba la necesidad de reevaluar el enfoque de desarrollo, ver Figura 3.

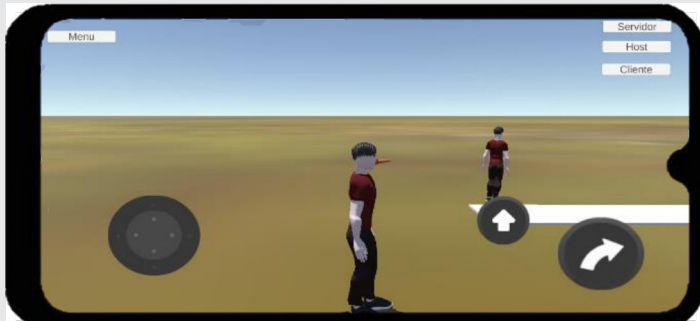


Figura 3. Captura de pantalla del prototipo desarrollado en Unity 3D.

Fuente: Elaboración propia.

De entre las características que hacen a un metaverso ser lo que es, que lo diferencian de sistemas virtuales convencionales, dígame un videojuego, y que además suponen oportunidades para el aprovechamiento del alumnado, son lo siguientes:

- **Alcance:** Es una red interconectada de entornos digitales compartidos donde los usuarios pueden interactuar en tiempo real, realizar diversas actividades y construir experiencias dentro de un ecosistema persistente.
- **Economía:** A menudo, incluye economías digitales donde los usuarios pueden poseer, intercambiar y vender activos virtuales, como bienes inmuebles, arte digital o tokens. La propiedad digital puede estar asegurada mediante tecnologías como blockchain.
- **Escalabilidad:** Está diseñado para soportar un gran número de usuarios simultáneos. Esto es importante para que el metaverso sea una experiencia social vibrante y para que pueda ser utilizado para eventos a gran escala, como conciertos o conferencias.
- **Interactividad:** Permite interacciones complejas entre múltiples usuarios en un entorno compartido. Estas interacciones van más allá de las sensoriales y visuales, involucrando aspectos económicos, sociales y culturales. Los usuarios pueden crear contenido, establecer negocios o asistir a eventos virtuales.
- **Naturaleza del entorno:** Ofrece un entorno compartido y abierto, donde los usuarios pueden

moverse entre diferentes espacios y experiencias sin necesidad de cambiar de plataforma [5], [10], [20].

Desarrollar desde cero un sistema tan denso, y que sea capaz de ofrecer estas virtudes sin recaer en un sistema de realidad virtual convencional como podría ser un videojuego, supone un desafío inmenso, especialmente cuando se trabaja con poco personal disponible, equipos de cómputo e infraestructura limitados. Fueron principalmente estas tres razones las que llenaron a reorientar la forma de desarrollo del proyecto, pasando de una construcción independiente y desde cero, a plataformas de metaverso ya consolidadas que facilitan la creación de experiencias virtuales, procediendo en una migración de los recursos ya existentes.

Replanteamiento del proyecto a plataformas externas

En internet, existen plataformas que por sus características pueden ser consideradas actualmente como metaversos funcionales, ya que poseen características como las anteriormente descritas. De entre los beneficios que estas pueden ofrecer a los creadores en contraste a un desarrollo creado desde cero, se encuentran los siguientes:

- **Reducción de costos:** Al utilizar plataformas ya existentes, los creadores pueden aprovechar una base tecnológica preestablecida, eliminando la necesidad de diseñar y programar funcionalidades esenciales como la gestión de usuarios, renderizado 3D en tiempo real, integración multiplataforma y sistemas de interacción.
- **Escalabilidad inmediata:** Permiten alojar múltiples usuarios simultáneamente, algo que sería difícil de lograr con un desarrollo propio, especialmente con equipos limitados. Esta escalabilidad es fundamental para un proyecto educativo, ya que permite la participación de múltiples estudiantes e incluso la posibilidad de colaboración entre diferentes instituciones sin preocupaciones por la infraestructura subyacente.
- **Compatibilidad multiplataforma:** Estas están optimizadas para ser compatibles con diversos dispositivos, asegurando una experiencia fluida sin importar la plataforma utilizada por los estudiantes. Esto facilita que los alumnos accedan al metaverso desde distintos dispositivos sin sufrir problemas de compatibilidad, mejorando la accesibilidad del proyecto.
- **Flexibilidad para actualizaciones:** Las plataformas consolidadas son inherentemente más flexibles y facilitan las actualizaciones y la iteración rápida de los entornos virtuales, lo que permitiría a los equipos de desarrollo adaptar y mejorar continuamente el metaverso sin incurrir en costos adicionales significativos o largos períodos de inactividad [6], [10], [21].

Considerando los anteriores factores, y con la decisión de migrar a sitios de terceros consolidados, se realizó un análisis comparativo de diversas plataformas de metaverso, considerando factores como compatibilidad multiplataforma, capacidad de almacenamiento / espacio y costos de mejora.

Dentro de los prospectos seleccionados para el análisis, se consideraron aquellos que podían permitir un traspaso de recursos flexible y que su ejecución no supusiera una carga de recursos a la hora de desplegarse en diversos dispositivos. Por esto, las plataformas seleccionadas para la comparativa son las presentes en la Tabla 2:

Tabla 2. Comparativa entre plataformas de metaverso.

Plataforma	Dispositivos Compatibles	Capacidad de Almacenamiento / Tamaño de Entorno (Plan Básico)	Gratuito o de Pago para desarrollo	Costo de Mejoras / Planes Premium
Spatial.io	<ul style="list-style-type: none"> ●PC con navegador web ●VR con Meta Quest ●Móvil 	100 MB, limitado en plan gratuito.	Gratuito con opciones de pago.	Desde \$10/mes
Decentraland	<ul style="list-style-type: none"> ●PC con navegador web y por aplicación local 	100 MB, basado en blockchain, depende del terreno.	Gratuito, con expansión por medio de criptomonedas.	Compra de "terrenos digitales" con criptomonedas
Somnium Space	<ul style="list-style-type: none"> ●PC por navegador web ●VR con SteamVR 	Basado en blockchain, depende del terreno (requiere compra).	Exclusivo con compra de NFTs	Compra de "terrenos digitales" con NFTs
VRChat	<ul style="list-style-type: none"> ●PC con Steam ●VR con Meta Quest y SteamVR ●Móvil (aún en fase beta) 	Menor a 200 MB, limitado por compatibilidad.	Gratuito con opciones de pago.	Desde \$9.99/mes
Second Life	<ul style="list-style-type: none"> ●PC con VR ●Móvil (aún en fase beta) 	No hay opciones en plan gratuito.	No hay opciones en plan gratuito	Desde \$5.50/mes
Roblox	<ul style="list-style-type: none"> ●PC ●Móvil ●Consolas 	2048 bloques en ejes X, Y, y Z.	Gratuito.	Gratuito.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que una de las prioridades para seleccionar alguna de las plataformas investigadas es su disponibilidad entre diversos dispositivos, se tuvieron en mayor consideración unas plataformas en comparación a otras. Por ello, se eligieron para trabajar las plataformas Spatial.io y Roblox, ambas con capacidades para experiencias interactivas, para continuar con la fase de migración y reconstrucción. Esta fase, a pesar de haber aminorado la carga de desarrollo al contar con infraestructura capaz y elementos preprogramados dentro de estos, trajo nuevos desafíos; especialmente en términos de compatibilidad, optimización y almacenamiento.

En Spatial.io, se enfrentaron problemas de capacidad de almacenamiento y restricciones en la complejidad geométrica de los modelos 3D. Esto obligó a simplificar los modelos originales, tanto en su estructura como en la textura, para cumplir con los requisitos de la plataforma. Aunque Spatial.io ofrecía una integración fácil con Unity, las limitaciones en el manejo de objetos complejos y el poco espacio disponible en la nube dificultaron

el desarrollo de un entorno completamente funcional. Por otro lado, Roblox presentó otros retos, especialmente en términos de optimización para dispositivos móviles. Los modelos tuvieron que ser aún más simplificados para evitar sobrecargar el CPU de los dispositivos móviles; esto, debido a que los modelos requerían ser importados con una limitada cantidad de triángulos por archivo, lo cual implicó fragmentar los modelos en partes más pequeñas. Además, se encontraron incompatibilidades en la importación directa de modelos desde Blender, ya que, tanto el formato de archivo original como en sus derivados exportables (véase formato FBX u OBJ), requieren que estos no posean material o texturas incluídas además de revisión exhaustiva de los elementos existentes en cada objeto dentro de los modelos en Blender, lo que requirió ajustes adicionales en Roblox Studio.

Selección de formato adecuado para modelos 3D

Teniendo lo previamente mencionado en cuenta, se encontraron complicaciones en cuanto a la complejidad de los modelos, el formato en el que debían ser exportados y el peso que estos representaban a la hora de ser cargados en escena para las plataformas anteriormente mencionadas en la Tabla 2.

Para mitigar las complicaciones, y sabiendo que exportando los objetos en un formato compatible podría servir como paso inicial, se hizo un análisis de las optimizaciones que podían realizarse a los modelos y la relación directa con su compresión final, esto teniendo siempre en consideración perder la menor cantidad de detalle posible para que mantuviera fidelidad con la estructura y composición reales de la institución. Para esto, se tomaron como referencia 10 modelos diseñados para el metaverso, se registraron el tamaño inicial en su extensión ".blend", ya que en Blender es donde se editan los modelos y se ha usado como programa fuente de las versiones finales de los modelos, cabe mencionar que los materiales integrados en los modelos fueron retirados para una mejor interpretación. Estos mismos datos, se usaron posteriormente como marco de referencia para tasar la capacidad de compresión para cada formato compatible, resultando en los siguientes: FBX, DAE (collada), y OBJ.

A continuación se describen los ejemplos seleccionados y qué es lo que contienen: el primero, siendo una torre de radio de la institución; el segundo, un modelo minimalista de un libro abierto; el tercero, el logotipo 3D minimalista de la mascota del campus, es decir, una garza; el cuarto, unos modelos de vehículos; el quinto, el edificio de la radio escolar; el sexto, siendo la mitad posterior del módulo principal; el séptimo, siendo unas escaleras que dirigen al segundo piso de las instalaciones; el octavo, el auditorio institucional; el noveno, el edificio de bachillerato; y el décimo, la mitad anterior del módulo principal de la escuela, ver Tabla 3. Dicho lo cual, se registró el peso de los archivos respecto al

formato “.blend”, así como el número de vértices totales en cada modelo.

Tabla 3. Descripción de los modelos seleccionados para análisis.

Modelo	No. De vértices	Peso de archivo (KB)
Ej. 1 (torre de radio)	1160	1729
Ej. 2 (libro abierto)	1132	1023
Ej. 3 (logo de garza)	2458	1019
Ej. 4 (vehículos)	66638	3178
Ej. 5 (radio institucional)	16662	9785
Ej. 6 (mitad posterior de edificio principal)	47105	8119
Ej. 7 (escaleras)	5469	2660
Ej. 8 (auditorio)	39797	5779
Ej. 9 (edificio de bachillerato)	85590	13080
Ej. 10 (mitad anterior de edificio principal)	57459	7917

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 3, se han seleccionado modelos con diferentes pesos, y, sobre todo, diversos números de vértices por cada uno, esto para analizar la eficiencia al optimizar los modelos y el beneficio añadido con la exportación en el formato óptimo. Posteriormente, se analizó la capacidad de compresión según cada formato, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 4. Tasa de compresión por exportación según su formato.

Modelo	DAE	FBX	OBJ	Promedio por modelo
Ej. 1 (torre de radio)	80.45%	82.71%	-58.30%	34.95%
Ej. 2 (libro abierto)	77.71%	94.04%	88.95%	86.90%
Ej. 3 (logo de garza)	57.11%	85.87%	74.39%	72.46%
Ej. 4 (vehículos)	40.75%	30.59%	-108.40%	-12.36%
Ej. 5 (radio institucional)	17.50%	64.85%	78.63%	53.66%
Ej. 6 (mitad posterior de edificio principal)	0.33%	16.13%	69.76%	28.74%
Ej. 7 (escaleras)	48.42%	76.05%	87.07%	70.51%
Ej. 8 (auditorio)	-26.89%	26.13%	59.25%	19.50%
Ej. 9 (edificio de bachillerato)	-19.20%	3.52%	65.40%	16.57%
Ej. 10 (mitad anterior de edificio principal)	-6.85%	22.63%	70.40%	28.73%
Promedio por formato	36.92%	59.55%	36.42%	

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse, existieron disonancias en algunos ejemplos, donde la compresión fue contraproducente con respecto a su exportación. Sin embargo, la mayoría de los resultados muestran que la exportación puede beneficiar considerablemente la reducción del peso del modelo final.

Dicho lo cual, queda despejar la duda de cuál es el formato más adecuado para su uso general, hecho para el cual serán analizados las tasas de compresión resultantes, ver Tabla 4, y contrastadas en un diagrama de cajas.

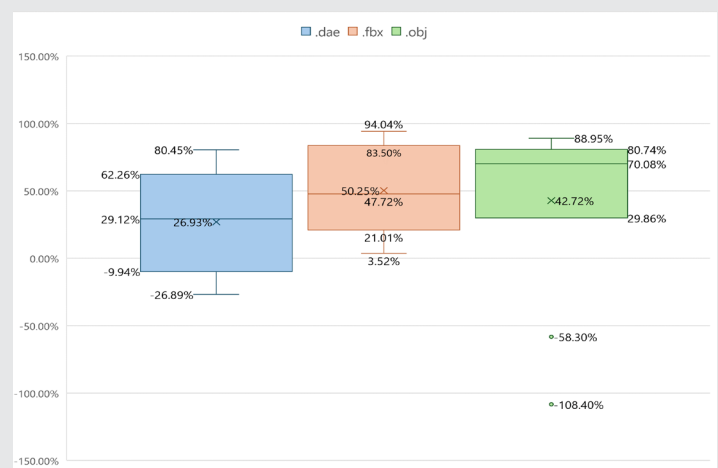


Figura 4. Cantidad de colmenas que poseen los meliponicultores encuestados.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 ilustra la distribución de las tasas de compresión de los formatos elegidos en comparación con los archivos originales en formato “.blend”. Muestra la mediana de cada distribución, rangos intercuartílicos, valores atípicos, como los encontrados en OBJ, y el rango de los bigotes según la muestra.

Aunado a esto, también se hizo un análisis de la relación entre la tasa de compresión y el número de vértices para los modelos, proporcionando contexto adicional para las diferencias observadas en la Figura 4.

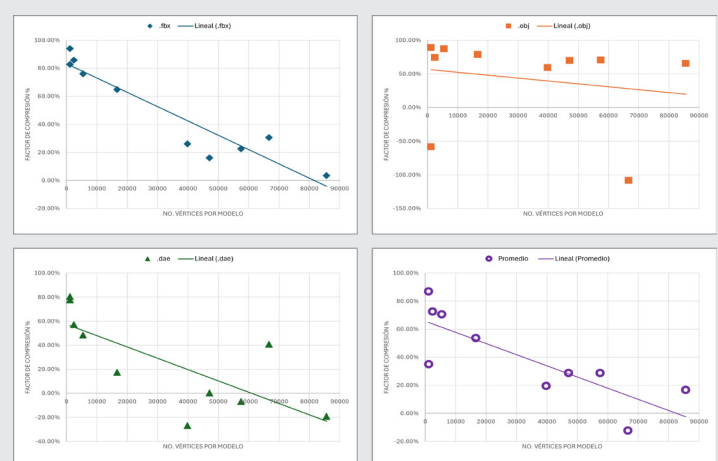


Figura 5. Gráficas de relación entre número de vértices y tasa de compresión junto con línea de tendencia, representando los formatos FBX, OBJ, DAE y el promediado general respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis conjunto de la Figura 4 y la Figura 5 revela patrones importantes sobre la eficiencia de compresión en los formatos en relación con la complejidad geométrica de los modelos 3D.

En la Figura 4, el formato FBX se destaca por su consistencia, con tasas de compresión relativamente estables y menos dispersión en comparación con los formatos DAE y OBJ. Esto es coherente con lo observado en la Figura 5, donde se ve una correlación negativa más clara entre el número de vértices y la tasa de compresión en FBX. A medida que la complejidad del modelo aumenta, la capacidad de compresión disminuye de forma predecible, lo que lo hace fiable para modelos complejos.

Por otro lado, el formato DAE presenta una mayor variabilidad en las tasas de compresión, reflejada tanto en el diagrama de cajas como en la gráfica de correlación. Si bien su capacidad de compresión es eficiente para modelos simples, su rendimiento disminuye notablemente con un mayor número de vértices.

El formato OBJ, aunque en algunos casos ofrece buenas tasas de compresión, es menos confiable. La dispersión significativa de los datos en ambas Figuras sugiere que su rendimiento es altamente dependiente de la geometría del modelo, con varios casos en los que la compresión resulta incluso en un aumento del tamaño del archivo.

Finalmente, la gráfica de promedios sugiere una tendencia general donde, a mayor complejidad geométrica, menor es la eficiencia de compresión en todos los formatos. Esto confirma la importancia de considerar la estructura del modelo al elegir el formato de exportación adecuado, con FBX siendo el más consistente, y DAE y OBJ como opciones menos predecibles dependiendo de la simplicidad del modelo.

RESULTADOS

En la fase inicial, se desarrolló un prototipo del campus virtual que incluía modelos tridimensionales de los edificios clave, aunado a esto, se diseñó un simulador interactivo de inmunología, véase Figura 6. Estos prototipos permitieron visualizar cómo podría evolucionar el proyecto en futuras etapas, aunque aún sin funcionalidades interactivas avanzadas.

A pesar de las limitaciones en cuanto a personal y recursos, los prototipos sentaron las bases del desarrollo, guiando la visión del proyecto, así como su alcance; aunado a esto, el avance iterativo reveló la necesidad de optimización para reducir la complejidad geométrica de los modelos.

La transición a plataformas de terceros arrojó resultados mixtos, destacándose tanto ventajas como limitaciones en cada una.

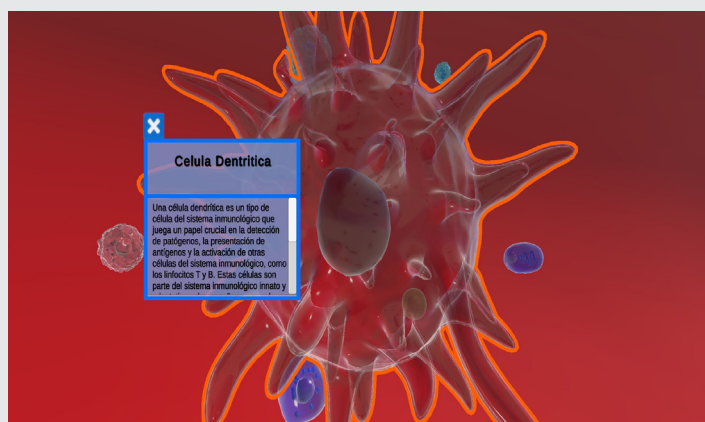


Figura 6. Captura de pantalla visualizando la estructura celular en prototipo de aplicación interactiva de módulo de inmunología. Fuente: Elaboración propia.

En Spatial.io, la capacidad de almacenamiento limitada y las restricciones en la complejidad de los objetos llevaron a la necesidad de realizar optimizaciones significativas en los modelos 3D originales. Las pruebas mostraron que los modelos más complejos generaban problemas de rendimiento, lo que obligó a reducir la complejidad geométrica para garantizar un funcionamiento fluido.

Por otra parte, en Roblox, la simplificación de los modelos fue aún mayor, con el objetivo de garantizar la compatibilidad multiplataforma, especialmente en dispositivos móviles. Los resultados mostraron que, aunque la plataforma era flexible en términos de accesibilidad, los modelos importados desde Blender presentaban dificultades con las texturas y materiales, lo que resultaba en la necesidad de ajustes manuales dentro de Roblox Studio. A pesar de las complicaciones, sigue siendo un candidato apto para la creación del metaverso escolar.

Uno de los aspectos clave para el proceso de optimizado fue la identificación de los formatos de exportación de los modelos 3D más adecuados.

En particular, el formato FBX fue el más eficiente para modelos complejos, mientras que OBJ mostró inconsistencias, siendo más adecuado para modelos simples, pero menos predecible en modelos más grandes. La Figura 7 compara la relación entre el número de vértices de los modelos y la eficiencia de compresión promedio, mostrando que, independientemente del formato, existe una tendencia decreciente en la eficiencia conforme aumenta la complejidad geométrica.

Pese a lo antes mencionado, las plataformas lograron que el entorno digitalizado del campus pudiera integrarse, de modo que obtiene de estos las funcionalidades de comunicación, multijugador, multiplataforma y todas las disponibles para sus experiencias, simplificando significativamente el proceso de construcción, y así, poder proceder a la consolidación del entorno hacia el público, ver Figura 8.

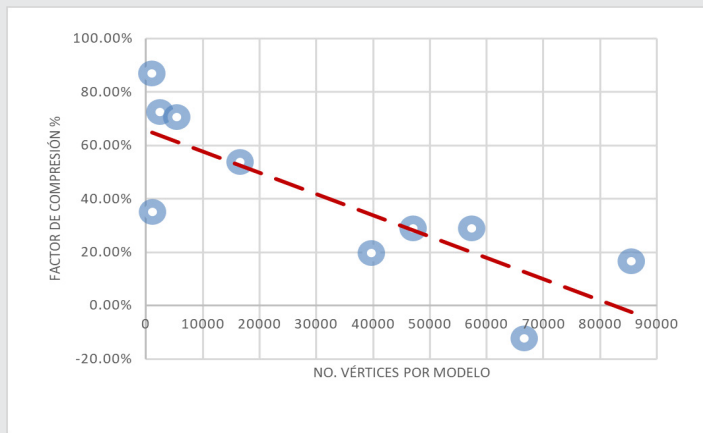


Figura 7. Gráfica de relación entre el número de vértices y la tasa de compresión promedio de todos los formatos.
Fuente: Elaboración propia.

rán ser abordadas en fases futuras para mejorar la calidad visual y funcional del metaverso. La optimización de modelos 3D y la selección del formato de exportación más adecuado son factores críticos para asegurar la viabilidad técnica y el rendimiento del proyecto en múltiples dispositivos.

Así mismo, y como se mostró con el prototipo de simulación de inmunología, véase la Figura 6, la misión a largo plazo es diseñar experiencias interactivas que ayuden a la comprensión del alumnado a través de dinámicas y exploración aprovechando las oportunidades que ofrecen los entornos de metaverso, ver Figura 9.

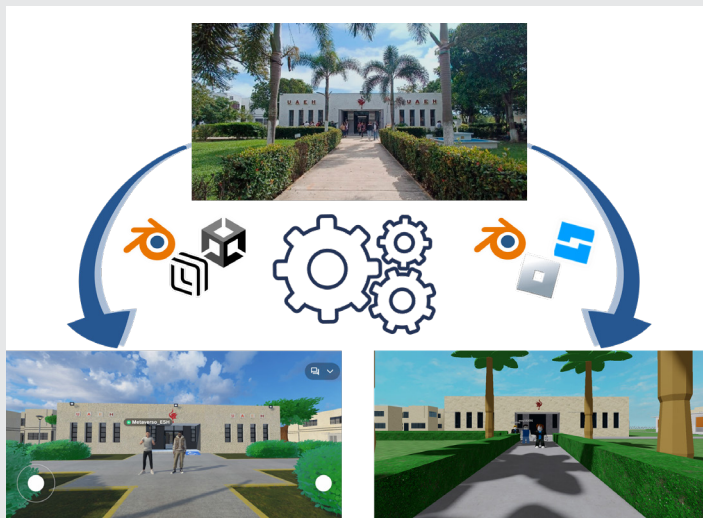


Figura 8. Esquema que representa la digitalización de la Escuela Superior de Huejutla a sus respectivas plataformas, mostrando del lado izquierdo el resultado en Spatial.io, mientras que a la derecha el obtenido en Roblox.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Capturas de pantalla de interacción dentro del entorno de la Escuela Superior de Huejutla en sus respectivas plataformas, del lado superior Roblox, mientras que del inferior Spatial.
Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del entorno de la Escuela Superior de Huejutla en sus respectivas plataformas, han permitido que, aunque el entorno siga en constante construcción y actualización, pueda ser operable, explorable e interactivo a medida que se implementan más funciones con el paso del tiempo. Este proceso permite una mayor escalabilidad y disponibilidad para los usuarios, de modo que la carga de desarrollo pueda ser considerablemente menor, ver Figura 9.

CONCLUSIONES

En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que el uso de plataformas externas es una solución viable a corto y mediano plazo, permitiendo a equipos pequeños avanzar en el desarrollo de proyectos complejos como el Metaverso de la Escuela Superior de Huejutla. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones inherentes a estas plataformas, las cuales debe-

Finalmente, aunque el proyecto se encuentra en una fase temprana, los datos obtenidos proporcionan una base para futuras iteraciones y mejoras. La combinación de herramientas de modelado 3D y plataformas externas ofrece una ruta clara para avanzar, aunque se requerirá una mayor inversión en recursos y tiempo para superar las limitaciones técnicas actuales y llevar el metaverso a un estado más avanzado.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Kayode, A. E., & Abidemi, T. K. (2024). *Impacts of Information Communication Technology (ICT) on effective teaching and learning among undergraduate students in selected university*. *Ponte International Journal of Sciences and Research*; Vol. 80, Issue 9. <https://doi.org/10.21506/j.pon->

te.2024.9.2. Consultado el 15 de septiembre de 2024.

[2] Makrakis, V. (2024). Teachers' resilience scale for sustainability enabled by ICT/Metaverse Learning Technologies: factorial structure, reliability, and validation. *Sustainability*, 16(17), 7679. <https://doi.org/10.3390/su16177679>. Consultado el 18 de septiembre de 2024.

[3] Haldorai, A., Murugan, S., & Ramu, A. (2020). Evolution, challenges, and application of intelligent ICT education: An overview. *Computer Applications in Engineering Education*. <https://doi.org/10.1002/cae.22217>. Consultado el 22 de septiembre de 2024.

[4] Meléndez, M., Jorquera, J. L., & Castillo J. (2024). Metaversos en educación: Una mirada desde la Literatura. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 32, 10. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052024000100210>. Consultado el 21 de septiembre de 2024.

[5] Ng, D. T. K. (2022). What is the metaverse? Definitions, technologies and the community of inquiry. *Australasian Journal of Educational Technology*, 38(4), 190-205. <https://doi.org/10.14742/ajef.7945>. Consultado el 14 de septiembre de 2024.

[6] Muñoz, G. F. R., Zamora, Y. E. P., Chimbo, K. M. O., & Delgado, J. C. V. (2024). Transformación educativa: Explorando las TIC y el metaverso en la enseñanza de la educación superior. In *CID - Centro de Investigación y Desarrollo eBooks*. https://doi.org/10.37811/cli_w1017. Consultado el 20 de septiembre de 2024.

[7] Frydenberg, M., & Ohri, S. (2023). Designing a Metaverse for an Immersive Learning Experience. *9th International Conference on Higher Education Advances*. Editorial Universitat Politècnica de València. 1139-1146. <https://doi.org/10.4995/HEAd23.2023.16080>. Consultado el 12 de septiembre de 2024.

[8] Martins, D., Oliveira, L., & Amaro, A. C. (2022). From co-design to the construction of a metaverse for the promotion of cultural heritage and tourism: the case of Amiais. *Procedia Computer Science*, 204, 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.031>. Consultado el 17 de septiembre de 2024.

[9] Hanifi, A., Abdollahi, M., & Habibi, S. (2024). A Model for Implementing the Metaverse in Science Education in Lower Secondary Schools *International Journal of Education and Cognitive Sciences*, 5(4), 83-92. <https://doi.org/10.61838/kman.ijecs.5.4.9>. Consultado el 16 de septiembre de 2024.

[10] Ball, M. (2022). *The Metaverse: What It Is, Where to Find it, and Who Will Build It* – MatthewBall.co. MatthewBall.co. <https://www.matthewball.co/all/themetaverse>. Consultado el 20 de septiembre de 2024.

[11] Kilag, O. K. T., Segarra, G. B., De Gracia, A. M. L., Del Socorro, A. S., Abendan, C. F. K., Camangyan, G. A., & Mahasol, E. T. (2023). ICT application in teaching and learning. *Science and Education*, 4(2), 854-865. <https://cyberleninka.ru/article/n/ict-application-in-teaching-and-learning>. Consultado el 23 de septiembre de 2024.

[12] Khalil, A., & Jumani, N. B. (2024). Feasibility of educational metaverse for immersive transformation of teacher education. *Journal of Arts & Social Sciences*, 11(1), 95-106. <https://doi.org/10.46662/jass.v11i1.456>. Consultado el 13 de septiembre de 2024.

[13] Damaševičius, R., & Sidekerskienė, T. (2024). Virtual Worlds for Learning in Metaverse: A Narrative Review. *Sustainability*, 16(5), 2032. <https://doi.org/10.3390/su16052032>. Consultado el 18 de septiembre de 2024.

[14] Çalışkan, G., & Maya, İ. (2024). Opinions and expectations of instructors on metaverse applications in higher education. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 7(2), 273-285. <https://doi.org/10.31681/jetol.1439812>. Consultado el 19 de septiembre de 2024.

[15] Rahman, H., Wahid, S. A., Ahmad, F., & Ali, N. (2024). Game-based learning in metaverse: Virtual chemistry classroom for chemical bonding for remote education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12575-5>. Consultado el 14 de septiembre de 2024.

[16] Said, G. R. E. (2023). Metaverse-Based Learning Opportunities and Challenges: A Phenomenological Metaverse Human-Computer Interaction study. *Electronics*, 12(6), 1379. <https://doi.org/10.3390/electronics12061379>. Consultado el 11 de septiembre de 2024.

[17] Queen, G. Q. M., Alava, V. B., & Sarango, Y. L. (2023). Actualización educativa: Una revisión bibliográfica sobre las metodologías emergentes en el metaverso. *Podium*, (43), 73-92. <https://doi.org/10.31095/podium.2023.43.5>. Consultado el 22 de septiembre de 2024.

[18] Seidel, S., Berente, N., Nickerson, J., & Yepes, G. (2022). *Designing the metaverse*. 55th Hawaii International Conference on System Sciences. 6699-6708. <http://hdl.handle.net/10125/80151>. Consultado el 13 de septiembre de 2024.

[19] Rolando, A. C. E., & Alexandra, A. T. S. (2018). *Metodología didáctica basada en metaversos con relación a los estilos de aprendizaje en la educación secundaria*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29074?mode=full>. Consultado el 12 de septiembre de 2024.

[20] Acevedo Nieto, Javier. (2022). *Una introducción al metaverso: conceptualización y alcance de un nuevo universo online*. *adComunica. Revista Científica de Estrategias, Tendencias e Innovación en Comunicación*, n°24. Castellón de la Plana: Departamento de Ciencias de la Comunicación de la Universitat Jaume I, 41-56. <http://dx.doi.org/10.6035/adcomunica.6544>. Consultado el 16 de septiembre de 2024.

[21] Weinberger, M., & Gross, D. (2023). *A comparison of virtual worlds based on the metaverse maturity model*. *ITU J. Futur. Evol. Technol*, 4, 537-548. Consultado el 19 de septiembre de 2024.

