



**Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las
Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A.**

Mejia Palacios, Jordy Paul y Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de ingeniero en Tecnologías de
la Información

Mgtr. Coronel Guerrero, Christian Alfredo

31 de julio de 2026



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A

ID : 2040b0e5d7d1050f44e91aa84bdc016e1838bb81



6%
Textos
sospechosos

Nombre del fichero : Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A.txt
Tamaño del archivo original : 2,09 MB
Número de palabras : 22.937

Depositante : Christian Alfredo Coronel Guerrero
Fecha de depósito : 25 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 25 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

3%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

29%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos

5%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

<1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Mgtr. Coronel Guerrero, Christian Alfredo

Director



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: “Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A” fue realizado por los señores **Mejia Palacios, Jordy Paul y Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 31 de Julio de 2026

Mgtr. Coronel Guerrero, Christian Alfredo

Director

C.C.: 1714127139



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Mejia Palacios, Jordy Paul y Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel**, con cédulas de ciudadanía n° 2350944597 y n° 2300400799, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo, 31 de Julio de 2026



Mejia Palacios, Jordy Paul

C.C.: 2350944597



Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel

C.C.: 2300400799



Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información

Autorización de Publicación

Nosotros **Mejia Palacios, Jordy Paul y Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel**, con cédulas de ciudadanía n° 2350944597 y n° 2300400799, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Desarrollo de un recorrido virtual interactivo 3D para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, Bloque A** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo, 31 de Julio de 2026

Mejia Palacios, Jordy Paul

C.C.: 2350944597

Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel

C.C.: 2300400799

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes han sido nuestro apoyo incondicional a lo largo de esta etapa. Incluso en los momentos en que dudamos de nuestras propias capacidades, estuvieron presentes para brindarnos ánimo, fortaleza y motivación para continuar. Gracias por acompañarnos en cada dificultad y por confiar siempre en nosotros; este logro también les pertenece.

Mejia Palacios, Jordy Paul & Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel

Agradecimiento

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor, Mgtr. Christian Coronel, por su orientación, confianza y constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Esperamos que el trabajo realizado contribuya al propósito institucional que impulsa y represente un aporte favorable para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Agradecemos también a todos nuestros compañeros, quienes nos brindaron su apoyo y compartieron con nosotros momentos significativos a lo largo de esta etapa. Su compañía, ayuda y palabras de ánimo fueron fundamentales, especialmente durante los días más difíciles. A todos ellos, nuestro profundo agradecimiento de corazón.

Mejia Palacios, Jordy Paul & Quizhpe Cuzme, Alexander Miguel

Índice de contenidos

Certificación.....	3
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Resumen	15
Abstract	16
Capítulo I	17
Introducción	17
Planteamiento del problema	19
Formulación del problema o pregunta de investigación	20
Objetivos	21
Capítulo II	23
Estado del arte	23
Fase I y Fase II del entorno virtual.....	23
Tecnologías inmersivas para la promoción institucional en la educación superior	24
Frameworks de renderizado Web3D	24
Optimización del rendimiento en aplicaciones Web3D	25
Metodologías de evaluación de usabilidad y rendimiento	27
Identificación de vacíos académicos y posicionamiento del estudio	27
Marco teórico.....	28
Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)	28
Difusión institucional mediante medios digitales	29
Entornos virtuales interactivos.....	29
Realidad virtual y recorridos virtuales	29
Modelado tridimensional (3D)	30
Blender	31

WebGL	31
Babylon.js	32
Usabilidad	33
Accesibilidad web	33
Rendimiento de aplicaciones web 3D	34
Estandarización de Controles e Interfaces de Navegación en Espacios 3D	34
Escala de Usabilidad del Sistema (SUS)	35
Metodología SCRUM	35
Marco conceptual	38
Renderizado y Materiales	39
Renderizado Basado en la Física (PBR - Physically Based Rendering)	39
Geometría y Optimización 3D	39
Mallas Poligonales y Modelado Low-Poly	39
Horneado de Texturas (Texture Baking)	39
Diseño de Interacción Web	40
Interfaz de Usuario (UI - User Interface)	40
Experiencia de Usuario (UX - User Experience)	40
Capítulo III	41
Metodología	41
Enfoque de investigación	41
Análisis de requerimientos	41
Requerimientos Funcionales	42
Requerimientos no Funcionales	43
Requerimientos del Sistema	44
Arquitectura de Software	45
Arquitectura Física	46

	10
Arquitectura Lógica	48
Metodología de desarrollo	50
Determinación de roles	50
Planificación del Product Backlog	51
Distribución propuesta de Sprint	54
Planificación de los Sprint	55
Criterios de Aceptación de los Sprint	66
Tipo y diseño de investigación.....	72
Población y muestra	73
Técnica e instrumento	74
Validación y confiabilidad del instrumento	75
Capítulo IV.....	78
Análisis y discusión de los resultados.....	78
Resultados de los incrementos funcionales del recorrido virtual.....	78
Resultados del Sprint 1	79
Resultados del Sprint 2	80
Resultados del Sprint 3	82
Resultados del Sprint 4	84
Resultados del Sprint 5	86
Resultados del Sprint 6	88
Resultados del Sprint 7	90
Resultados del Sprint 8	93
Navegación y elementos informativos	96
Señalética Tridimensional y Guía Visual	96
Integración de Fotografía Panorámica 360° para la Fidelidad Contextual.....	97
Gamificación y Mecánicas de Exploración Activa como Herramienta Informativa.....	97

Pruebas del sistema	99
Introducción a las pruebas	99
Pruebas de Rendimiento.....	99
Pruebas de Accesibilidad	104
Pruebas de Usabilidad	108
Sistema de métricas de uso.....	110
Capítulo V	112
Conclusiones	112
Recomendaciones	113
Referencias	115

Índice de tablas

Tabla 1 Requerimientos funcionales del recorrido virtual	42
Tabla 2 Requerimientos no funcionales del recorrido virtual	43
Tabla 3 Requerimientos del Sistema	44
Tabla 4 Determinación de roles del proyecto	51
Tabla 5 Product Backlog del recorrido virtual	52
Tabla 6 Distribución propuesta de los Sprint	54
Tabla 7 Planificación del Sprint 1	56
Tabla 8 Planificación del Sprint 2	57
Tabla 9 Planificación del Sprint 3	58
Tabla 10 Planificación del Sprint 4	60
Tabla 11 Planificación del Sprint 5	61
Tabla 12 Planificación del Sprint 6	62
Tabla 13 Planificación del Sprint 7	63
Tabla 14 Planificación del Sprint 8	65
Tabla 15 Criterios de aceptación del Sprint 1	66
Tabla 16 Criterios de aceptación del Sprint 2	67
Tabla 17 Criterios de aceptación del Sprint 3	68
Tabla 18 Criterios de aceptación del Sprint 4	69
Tabla 19 Criterios de aceptación del Sprint 5	69
Tabla 20 Criterios de aceptación del Sprint 6	70
Tabla 21 Criterios de aceptación del Sprint 7	71
Tabla 22 Criterios de aceptación del Sprint 8	72
Tabla 23 Comparativa de rendimiento del recorrido virtual del Bloque A	103
Tabla 24 <i>Evaluación de accesibilidad del con base en las pautas WCAG 2</i>	106
Tabla 25 Resultado obtenido mediante la encuesta SUS	109

Índice de figuras

Figura 1 Arquitectura de Software	46
Figura 2 Arquitectura Física	47
Figura 3 Arquitectura Lógica	49
Figura 4 Repositorio del proyecto y estructura inicial implementada en GitHub	79
Figura 5 Modelo tridimensional del Bloque A optimizado	80
Figura 6 Validación de los modelos exportados en formato GLB	81
Figura 7 Configuración de la escena principal	81
Figura 8 Primer prototipo funcional con los modelos integrados	82
Figura 9 Implementación del sistema de navegación tridimensional	83
Figura 10 Configuración de colisiones y límites de navegación del entorno	83
Figura 11 Versión funcional del recorrido virtual con funcionalidades	84
Figura 12 Implementación de los puntos de información interactivos (hotspots)	85
Figura 13 Visualización de los recursos multimedia asociados a un punto de interés	85
Figura 14 Flujo de integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions	86
Figura 15 Pantalla de carga implementada para la inicialización del recorrido virtual	87
Figura 16 Mini mapa dinámico con la ubicación del usuario	87
Figura 17 Integración de fotografías panorámicas de 360°	88
Figura 18 Implementación de Cloudflare R2 para carga de recursos	89
Figura 19 Compatibilidad del recorrido virtual con dispositivos WebXR	89
Figura 20 Ejecución del recorrido virtual en modo estereoscópico	90
Figura 21 Estructura del código fuente documentada y organizada en módulos	92
Figura 22 Pruebas de compatibilidad en navegadores con soporte para WebGL	92
Figura 23 Pruebas de funcionamiento del recorrido virtual en diferentes plataformas	94
Figura 24 Validación del recorrido virtual en un dispositivo de realidad virtual	94
Figura 25 Repositorio del proyecto con la documentación técnica	95

Figura 26 Implementación de los marcadores durante la navegación	96
Figura 27 Integración de fotografías 360° mediante nodos interactivos	97
Figura 28 Flujo del proceso de gamificación durante la navegación	98
Figura 29 Implementación del sistema de misiones y progreso	98
Figura 30 Evaluación del rendimiento de carga inicial	100
Figura 31 Registro de FPS en la Máquina 1	101
Figura 32 Registro del consumo de memoria RAM en la Máquina 1	101
Figura 33 Registro de la utilización del procesador (CPU) en la Máquina 1	102
Figura 34 Registro del consumo de memoria gráfica (VRAM) en la Máquina 1	102
Figura 35 Resultados de la evaluación de accesibilidad mediante WAVE	107
Figura 36 Panel de métricas generales del recorrido virtual	110
Figura 37 Análisis de interacción de los usuarios con el recorrido virtual	111

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un recorrido virtual interactivo 3D del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, utilizando Blender para la adaptación de los modelos tridimensionales y Babylon.js como tecnología Web3D. Se siguió un diseño no experimental, con alcance descriptivo y enfoque mixto. El proceso de desarrollo se llevó a cabo mediante Scrum, compuesto por ocho Sprints, en los cuales se optimizaron modelos en formato GLB, se implementaron perspectivas graficas en primera y tercera persona, colisiones, puntos de interés, fotografías de 360°, minimapa, gamificación, carga progresiva y compatibilidad con dispositivos móviles y WebXR. Los hallazgos sobre el rendimiento demostraron una reducción del consumo de memoria RAM y gráfica frente a la versión anterior desarrollada con Three.js, aunque con menores FPS en determinados equipos debido a la incorporación de nuevas funcionalidades. Con Google PageSpeed Insights se registró una mejora de 34 puntos en el proyecto previo a 59 en la implementación desarrollada. El nivel de accesibilidad mediante WAVE es 9.4 de 10, sin errores automatizados ni problemas de contraste. Además, la escala SUS, aplicada a 105 participantes, registro un valor de 83.48 puntos, lo que sitúa el grado en la categoría “Excelente”. Se concluye que la aplicación constituye una alternativa funcional, escalable y multiplataforma para apoyar la difusión institucional.

Palabras clave: recorrido virtual, Babylon.js, modelado 3D, usabilidad, Web3D

Abstract

The objective of this research was to develop an interactive 3D virtual tour of Block A at the University of the Armed Forces (ESPE), Santo Domingo campus, using Blender to adapt the 3D models and Babylon.js as the Web3D technology. A non-experimental design was followed, with a descriptive scope and a mixed-methods approach. The development process was carried out using Scrum, consisting of eight sprints, during which GLB-format models were optimized, first- and third-person graphic perspectives were implemented, along with collision detection, points of interest, 360° photographs, a minimap, gamification, progressive loading, and compatibility with mobile devices and WebXR. Performance findings showed a reduction in RAM and graphics memory consumption compared to the previous version developed with Three.js, although FPS was lower on certain devices due to the incorporation of new features. Google PageSpeed Insights recorded an improvement from 34 points in the previous project to 59 in the developed implementation. The accessibility score via WAVE is 9.4 out of 10, with no automated errors or contrast issues. Additionally, the SUS scale, applied to 105 participants, recorded a score of 83.48 points, placing the application in the “Excellent” category. It is concluded that the application constitutes a functional, scalable, and cross-platform alternative to support institutional outreach.

Keywords: virtual tour, Babylon.js, 3D modeling, usability, Web3D

Capítulo I

Introducción

La transformación digital ha ayudado a fomentar la incorporación de nuevas tecnologías inmersivas como herramientas de ayuda para la promoción y la difusión de información en las instituciones. En base a este contexto, los recorridos virtuales desarrollados usando tecnologías Web3D permiten ofrecer experiencias accesibles desde un navegador web, facilitando que estudiantes potenciales, padres de familia y visitantes conozcan las instalaciones, servicios y oferta académica de una institución sin necesidad de desplazarse físicamente. Estas soluciones fortalecen la presencia digital de las universidades y amplían el alcance de sus estrategias de comunicación institucional.

En Ecuador, la adopción de este tipo de herramientas aún es limitado, predominando en muchos casos recursos informativos tradicionales o recorridos basados en fotografías panorámicas que ofrecen un nivel reducido de interacción. En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, esto evidencia la falta de un recorrido virtual interactivo que permita explorar de manera inmersiva sus instalaciones y acceder a información relevante sobre los diferentes espacios universitarios. Esta limitación reduce las posibilidades de difusión institucional y restringe el acceso de usuarios que, por razones geográficas o de disponibilidad, no pueden visitar presencialmente la universidad.

El presente proyecto se fundamenta y motiva en trabajos previos realizados por Ledesma [1], así como por Carvajal & Castellano [2], quienes establecieron las bases para la construcción del entorno virtual de la sede mediante el modelado tridimensional y el desarrollo de una primera aplicación web interactiva. Si bien estos proyectos representaron un avance importante digitalizando infraestructura institucional, esta solución requería modificaciones para reflejar con mayor precisión la realidad arquitectónica actual del campus. Asimismo, se identificó la necesidad de una migración tecnológica en el desarrollo de software, con el propósito de obtener un buen rendimiento, mejorar la compatibilidad con diferentes dispositivos

y efectuar un despliegue estable en entornos de producción. Como parte de esta evolución, la presente investigación incorpora además nuevos módulos interactivos de información y visualizaciones inmersivas en formato de 360°, enriqueciendo la experiencia de navegación del usuario

En respuesta a esta problemática, la investigación tiene como objetivo desarrollar un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, mediante el empleo de modelado tridimensional y del motor gráfico Babylon.js como tecnología Web3D, con la finalidad de proporcionar un medio moderno de difusión institucional accesible desde entornos web. Para alcanzar este propósito se planteó la adaptación y optimización de los modelos tridimensionales del bloque, el desarrollo de una aplicación interactiva que permita la exploración del entorno en tiempo real y la evaluación de su rendimiento, usabilidad y accesibilidad mediante pruebas técnicas y funcionales.

Metodológicamente, la investigación corresponde a un proyecto de desarrollo tecnológico con enfoque aplicado, en el que se implementó un recorrido virtual utilizando Blender para la preparación de los activos tridimensionales y Babylon.js para el desarrollo del entorno Web3D. Posteriormente, la solución fue sometida a pruebas de funcionamiento, rendimiento, accesibilidad y usabilidad, complementadas con la aplicación de la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS), con el propósito de validar su comportamiento técnico y la percepción de los usuarios respecto a la facilidad de uso del sistema.

El principal aporte de esta investigación consiste en proporcionar una herramienta interactiva orientada a fortalecer la difusión institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, mediante un recorrido virtual optimizado para su ejecución en navegadores web. Adicionalmente, el estudio documenta el proceso de migración tecnológica desde una implementación basada en Three.js hacia Babylon.js, analiza comparativamente el rendimiento de ambas soluciones bajo condiciones equivalentes y

presenta un flujo de trabajo para la optimización e integración de modelos tridimensionales aplicables al desarrollo de recorridos virtuales en instituciones de educación superior.

Finalmente, la presente tesis se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I presenta el problema de investigación, la formulación del problema, los objetivos y la justificación del estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y el estado del arte relacionados con las tecnologías Web3D, los recorridos virtuales interactivos y las metodologías de evaluación consideradas. El Capítulo III describe la metodología empleada en la investigación, incluyendo proceso de modelado tridimensional, implementación del recorrido virtual y procedimientos de evaluación. El Capítulo IV expone resultados obtenidos y su análisis, considerando rendimiento, accesibilidad y usabilidad de la aplicación. Finalmente, el Capítulo V presenta conclusiones alcanzadas y recomendaciones derivadas de la investigación.

Planteamiento del problema

En Ecuador, las instituciones de educación superior se encuentran en un entorno cada vez más competitivo y digitalizado, donde incorporar herramientas tecnológicas innovadoras se ha vuelto un factor fundamental para fortalecer procesos de promoción, difusión e interacción con la comunidad académica y la sociedad. El avance en las tecnologías de la información ha cambiado la manera en que los estudiantes potenciales buscan información sobre universidades, priorizando plataformas dinámicas, visuales e interactivas que les permitan conocer las instalaciones, servicios y oferta académica de manera remota. Sin embargo, muchas instituciones aún presentan limitaciones implementando recursos digitales inmersivos, lo que reduce su capacidad de captar el interés de nuevos aspirantes y de proyectar una imagen moderna y competitiva.

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, las universidades enfrentan el desafío de adaptarse a nuevas exigencias tecnológicas de los usuarios, que demandan experiencias digitales accesibles e innovadoras. Aunque existen medios tradicionales de promoción, como páginas web institucionales, redes sociales y eventos presenciales, estos no

siempre logran presentar información detallada y atractiva de la infraestructura universitaria. Además, las limitaciones geográficas, económicas y de tiempo dificultan que estudiantes y visitantes puedan acudir a las instalaciones universitarias, ocasionando una menor interacción con el entorno académico y reduciendo el alcance de las estrategias de difusión.

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, se evidencia la ausencia de una herramienta digital interactiva que permita a estudiantes potenciales, padres de familia y público en general conocer de manera virtual los espacios físicos, servicios e información de la institución. Aunque la universidad cuenta con recursos digitales informativos, estos presentan limitaciones en cuanto a interactividad, experiencia visual e inmersiva, dificultando que los usuarios obtengan una mejor percepción de la infraestructura universitaria. Asimismo, las actividades presenciales de promoción, como visitas y jornadas de puertas abiertas, poseen impedimentos de tiempo, capacidad de convocatoria y acceso físico al campus. Esta situación limita la visibilidad externa, disminuye oportunidades de difusión hacia un público más amplio y evidencia la necesidad de desarrollar un recorrido virtual interactivo como medio de difusión para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, con el propósito de fortalecer la promoción institucional y mejorar la experiencia informativa de los usuarios mediante el uso de tecnologías digitales inmersivas.

Formulación del problema o pregunta de investigación

- ¿Qué tecnologías web y herramientas de modelado 3D son más adecuadas para desarrollar un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Santo Domingo?
- ¿Cómo afecta la optimización de los modelos 3D al rendimiento del recorrido virtual interactivo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Santo Domingo?
- ¿Cuál es el nivel de accesibilidad y usabilidad del recorrido virtual interactivo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Santo Domingo?

Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas Sede Santo Domingo, mediante el uso de modelado 3D y Babylon.js como tecnología web, con la finalidad de proporcionar un medio de difusión desde entornos web.

Objetivos específicos:

- Adaptar los espacios y objetos tridimensionales empleando Blender, para su integración en una aplicación web interactiva del Bloque A.
- Desarrollar el recorrido utilizando Babylon.js, para que los usuarios puedan explorar las instalaciones del Bloque A, moverse por el entorno e interactuar con los espacios en tiempo real.
- Evaluar el rendimiento, la usabilidad y la accesibilidad del recorrido virtual mediante pruebas técnicas y funcionales, en el marco de su aplicación como herramienta de apoyo a la difusión institucional del Bloque A de la ESPE Santo Domingo.

Justificación

En términos prácticos, la investigación busca desarrollar un recorrido virtual interactivo accesible desde la web para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, específicamente del Bloque A, permitiendo a los usuarios explorar las instalaciones dinámica e intuitivamente. La propuesta pretende superar limitaciones presentes en medios tradicionales de difusión y en soluciones previas que no lograron cumplir con una experiencia adecuada o una integración web completa. De esta manera, se planteó implementar una herramienta funcional y moderna que facilite el conocimiento de infraestructura universitaria sin necesidad de una visita presencial.

Además, el proyecto amplía el alcance de la información institucional hacia estudiantes potenciales, padres de familia y visitantes, reduciendo barreras geográficas y mejorando la experiencia de interacción con la universidad mediante tecnologías digitales inmersivas.

Asimismo, permite fortalecer la imagen tecnológica e innovadora de la institución ante otras universidades.

La investigación se relaciona principalmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Educación de Calidad, debido a que promueve el acceso a recursos tecnológicos que facilitan el acercamiento a información de la infraestructura universitaria. Por otro lado, también se vincula con el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, al fomentar desarrollo e implementación de soluciones digitales interactivas modernas dentro del entorno universitario.

Capítulo II

Estado del arte

El desarrollo de entornos virtuales interactivos en educación superior ha adquirido una gran relevancia frente a la necesidad de modernizar e innovar en las acciones de difusión institucional. Este estado del arte, para sustentar el desarrollo del recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, ya que revisa la literatura académica más reciente (2021-2026) agrupada en cuatro ejes temáticos fundamentales: el efecto de la inmersión digital en la educación, el marco de trabajo web 3D escogido, el proceso de optimización de modelado y la metodología para la evaluación de la usabilidad.

Fase I y Fase II del entorno virtual

En el ámbito del desarrollo de entornos virtuales institucionales, se identifican dos trabajos precedentes esenciales para esta investigación. En primer lugar, Ledesma detalla el diseño de la primera fase de un recorrido virtual interactivo para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sede Santo Domingo. Dicho estudio empleó la metodología ágil Scrum, utilizando Blender para el modelado 3D y el ecosistema React-Three-Fiber el cual esta basado en Three.js para la programación web [1]. Aunque el proyecto marcó un punto de partida en la promoción institucional, la solución que se había elaborado se vio limitada en su rendimiento para los entornos de navegación web, lo que restringió el despliegue definitivo en la red.

Después, se llevó a cabo la segunda etapa de extensión del proyecto dirigido por Carvajal & Castellano, dicha etapa complementó la infraestructura previa mediante la integración del Bloque B de la sede, además de la introducción de material multimedia capturado mediante drones [2]. A nivel técnico, se mantuvo el uso de Blender, ViteJS y React-Three-Fiber. A pesar de implementar un enfoque orientado a componentes para mejorar la escalabilidad y optimización, la aplicación mantuvo la arquitectura técnica heredada, persistiendo las dificultades para un despliegue web masivo y eficiente. Es precisamente ante

esta limitación de rendimiento y la falta de disponibilidad en línea que surge la necesidad del presente trabajo de investigación.

Tecnologías inmersivas para la promoción institucional en la educación superior

El uso de tecnologías inmersivas ha demostrado ser una herramienta transformadora en la promoción institucional y en la captación de estudiantes. Autores como Sim et al. [3] indican que los campus virtuales basados en el metaverso y la Realidad Virtual Web (WebVR) permiten eliminar cualquier tipo de limitación espacial y que, por lo tanto, los estudiantes potenciales puedan interactuar con la infraestructura universitaria desde cualquier lugar. En el contexto ecuatoriano, Pinagorte et al. [4] validan que la inmersión virtual en las instituciones de educación superior incrementa la motivación y la participación de la comunidad educativa.

No obstante, gran parte de las soluciones actuales de difusión continúan dependiendo de medios tradicionales o recorridos basados en fotografías 360° estáticas. Investigaciones como las de Khairnar et al. [5] y Córdova [6] demuestran que, aunque las vistas panorámicas mejoran la percepción del usuario respecto a un catálogo convencional, carecen de interactividad real con mallas 3D y colisiones, limitando la sensación de inmersión y la libertad de exploración espacial que demandan los usuarios actuales.

Frameworks de renderizado Web3D

El renderizado 3D directo en navegador (Web3D) se ha constituido como la tecnología predominante para conseguir una inmersión real sin la necesidad de instalar el software necesario. En la evaluación de herramientas para este propósito, la literatura técnica contrasta frecuentemente motores de renderizado como Three.js y Babylon.js.

Un gran número de trabajos han medido el rendimiento de las aplicaciones construidas con tecnologías WebGL y WebVR en función de diferentes cargas computacionales, evidenciando que el uso de los recursos del sistema, especialmente de CPU y GPU, es diferente en función de la arquitectura del framework usado y las características del hardware donde la aplicación se ejecutó. Estos trabajos destacan que el desempeño de los entornos

tridimensionales en la web depende tanto de la complejidad de la escena como de la eficiencia con la que cada framework administra el proceso de renderizado y los recursos computacionales disponibles [7].

En este contexto, Three.js se caracteriza por proporcionar una biblioteca ligera y flexible para el desarrollo de gráficos tridimensionales basados en WebGL, permitiendo al desarrollador implementar únicamente los componentes requeridos por la aplicación [8]. Por su parte, Babylon.js plantea una arquitectura de motor gráfico más atada, construyendo de forma nativa sistemas de iluminación, físicas, materiales, gestión de escenas y herramientas para realidad virtual y realidad aumentada [9]. Estas diferencias en la arquitectura producen estrategias distintas para la gestión del renderizado y del procesamiento gráfico, convirtiendo ambos frameworks en alternativas relevantes para trabajos comparativos dedicados a evaluar el rendimiento de aplicaciones Web3D.

Optimización del rendimiento en aplicaciones Web3D

La evolución de las tecnologías basadas en WebXR ha permitido brindar experiencias inmersivas directamente desde el propio navegador, siendo un elemento que favorece la compatibilidad multiplataforma sin necesidad de instalar de aplicaciones nativas [10]. Ahora bien, el aumento en la complejidad de los entornos tridimensionales introduce nuevos retos a nivel de rendimiento, mayor aun en dispositivos que tengan recursos limitados a nivel de procesamiento gráfico o bajo anchos de banda en la conectividad [11]. En este sentido, Kamal et al. Hacen notar que la utilización de ciertas técnicas como la simplificación geométrica y los niveles de detalle (Level of Detail, LOD) son eficaces para reducir la carga computacional que se deduce del rendimiento [12]. Por lo tanto, el rendimiento de una aplicación Web3D no depende solamente del framework sobre el que se basa; si no más bien dependerá de la manera en que se optimizan y se gestionan los recursos gráficos a medida que va ejecutándose.

La preparación de los recursos tridimensionales constituye otro factor determinante en el rendimiento de las aplicaciones Web3D. Francisco et al. proponen un flujo de trabajo en el que los modelos tridimensionales son desarrollados mediante herramientas especializadas de modelado y posteriormente integrados en motores gráficos para su visualización en entornos web [13]. Durante este proceso, la optimización de los activos digitales resulta fundamental para reducir la carga computacional asociada al renderizado. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran la simplificación de la geometría mediante modelos de baja densidad poligonal (low-polygon modeling) [14], el precálculo de la iluminación estática mediante texture baking [15] y el empleo de formatos de intercambio optimizados, como glTF y GLB, desarrollados por Khronos Group para la distribución eficiente de modelos tridimensionales en aplicaciones Web [16]. En conjunto, estos estudios muestran que el rendimiento de una aplicación Web3D no depende exclusivamente del framework gráfico empleado, más bien también del proceso de preparación, optimización e integración de los assets 3D que forman la escena.

Diversas investigaciones realizadas, han demostrado que el uso de tecnologías Web3D basadas en JavaScript con viables para el desarrollo de este tipo de aplicaciones 3D interactivas que se ejecutan directamente en navegadores web. En este sentido, Three.js ha sido ampliamente utilizado para generar gráficos, animaciones y entornos 3D dentro de aplicaciones HTML, corroborando así la fiabilidad de uso [17]. De forma complementaria, la evolución de JavaScript y de la especificación WebGL ha permitido la aparición de bibliotecas y motores gráficos focalizados para simplificar el desarrollo de aplicaciones Web3D [18].

No obstante, aunque estos estudios demuestran la aplicabilidad de las tecnologías Web3D en distintos ámbitos, la literatura presenta una limitada evidencia experimental que compare de manera objetiva el rendimiento de los principales frameworks gráficos bajo condiciones equivalentes de implementación. En particular, son escasos los trabajos que evalúan Three.js y Babylon.js utilizando los mismos modelos tridimensionales, la misma complejidad de escena y un entorno de ejecución controlado. Esta limitación constituye la

principal brecha identificada en el estado del arte y justifica el desarrollo de la presente investigación, cuyo propósito es realizar un análisis comparativo del rendimiento de ambos frameworks en el contexto de un recorrido virtual para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo.

Metodologías de evaluación de usabilidad y rendimiento

La construcción de un sistema inmersivo carece de validez metodológica cuando no se comprueba su eficiencia. Peñaranda & Valladarez [19] propone lineamientos estrictos basados en normas de calidad de software (ISO) para evaluar la compatibilidad, eficiencia y usabilidad de recorridos web inmersivos en el entorno ecuatoriano. Por su parte, Haro [20] destaca el uso de cuestionarios estandarizados, como la escala SUS (System Usability Scale), para medir el confort visual, la facilidad de navegación y la experiencia general del usuario final. La integración de métricas técnicas como tiempos de carga, además pruebas de usabilidad son esencial para determinar la viabilidad de la plataforma web como herramienta oficial de difusión.

Identificación de vacíos académicos y posicionamiento del estudio

A través de la revisión de la literatura, se identifican brechas específicas que el presente proyecto de integración curricular tiene como fin solventar en el contexto de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo:

- **Brecha tecnológica en la difusión local:** A diferencia de investigaciones anteriores que abordan fotografías estáticas [5], [6], esta estudio implementa un entorno tridimensional interactivo, permitiendo una navegación libre y en tiempo real.
- **Ausencia de documentación en flujos de optimización para la web:** Existe una carencia en la literatura regional sobre cómo estructurar el puente técnico entre Blender y Babylon.js para escenarios arquitectónicos universitarios [13]. Este proyecto documentará la adaptación técnica para garantizar su accesibilidad general.

- **Evaluación integral ausente:** Numerosos proyectos se enfocan únicamente en el desarrollo de la herramienta. Esta investigación validará formalmente el sistema combinando métricas de rendimiento en navegador y encuestas de usabilidad de los usuarios [19], [20].

Marco teórico

El presente marco establece las bases epistemológicas, tecnológicas y conceptuales que fundamentan el desarrollo de la investigación. A nivel teórico, el proyecto se apoya en los modelos de adopción tecnológica y comunicación digital en la educación, mientras que, a nivel conceptual, delimita las características específicas del software, los motores gráficos y las métricas de evaluación que guiarán el desarrollo de la aplicación web.

Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)

Las TIC son el conjunto de herramientas, redes y plataformas de software que se utilizan para procesar, transmitir y almacenar información. En el ámbito educativo, estas no solo han pasado de ser herramientas que apoyan a los procesos de enseñanza y gestión administrativa, ya que han pasado a ser el eje principal de ellos. Estudios de alcance global, como las documentadas por Abad-Segura et al. [21], muestran como la integración de forma sostenible de estas tecnologías, propician nuevos modelos de aprendizaje y mejora el acceso a la información en las instituciones de educación superior.

Las universidades enfrentan un proceso de digitalización profundo. Esta transformación no se limita a las aulas virtuales; también comprende la forma en que las instituciones gestionan su identidad y sus servicios hacia el exterior. Para mantener su competitividad y relevancia, es de suma importancia que adopten infraestructuras tecnológicas modernas que les permitan conectarse con una sociedad digitalizada, transformando sus procesos tradicionales en experiencias digitales eficientes [21].

Difusión institucional mediante medios digitales

La comunicación institucional busca proyectar la identidad y los valores de la universidad hacia la sociedad. En este sentido, el marketing educativo ha permitido que la información relacionada con la oferta académica, la infraestructura y los servicios universitarios pueda ser consultada de manera remota por estudiantes potenciales, padres de familia y público en general.

Sin embargo, las necesidades actuales de comunicación demandan alternativas que superen las limitaciones de los portales web convencionales. Por lo cual, las tecnologías inmersivas constituyen una opción innovadora al ofrecer experiencias más dinámicas e interactivas, facilitando una mayor conexión entre los usuarios y el entorno universitario. Bajo esta perspectiva, el recorrido virtual del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Santo Domingo se plantea como un recurso de apoyo a la promoción institucional, permitiendo explorar sus instalaciones de forma visual e interactiva, sin las restricciones geográficas o de tiempo asociadas a una visita presencial [3], [6].

Entornos virtuales interactivos

Son entornos digitales contruidos por ordenador que simulan ambientes físicos reales o de fantasía, pudiendo los usuarios navegar e interactuar con los objetos que lo construyen. Sus características principales son la tridimensionalidad, la navegación libre y la respuesta en tiempo real a las actividades de los usuarios [13]. Sus ventajas residen en el incremento de la retención visual y la promoción del aprendizaje exploratorio, siendo muy utilizados para la arquitectura, la simulación médica y la promoción de espacios inmobiliarios y académicos [4].

Realidad virtual y recorridos virtuales

Los términos realidad virtual (VR) y recorridos virtuales suelen utilizarse de manera indistinta, en el ámbito tecnológico y educativo es importante establecer sus diferencias operativas, técnicas y de accesibilidad. Esta distinción permite justificar adecuadamente la elección de la tecnología más apropiada según los objetivos del proyecto.

La realidad virtual está enfocada hacia una experiencia completamente inmersiva, para la que el usuario requiere de dispositivos específicos como gafas o cascos VR, que en parte pueden llegar a aislarlo del entorno físico. Esto permite un alto nivel de inmersión sensorial, pero, por otro lado, hace que el acceso esté muy limitado al depender de la disponibilidad de un hardware específico y de mayor coste. [18].

Por lo contrario, los recorridos virtuales web 3D están diseñados para ser ejecutados directamente desde navegadores web convencionales, sin necesidad de dispositivos adicionales. Esto los convierte en una solución mucho más accesible y escalables, especialmente en entornos educativos o institucionales, donde se busca llegar a una mayor cantidad de usuarios sin barreras tecnológicas [18]. Aunque su nivel de inmersión es moderado en comparación con la VR, permiten una navegación interactiva libre que facilita la exploración de espacios de forma intuitiva.

En términos de implementación, la realidad virtual implica mayores costos de desarrollo y mantenimiento, mientras que los recorridos virtuales web aprovechan la infraestructura existente del usuario (computadora, tablet o teléfono móvil), reduciendo significativamente la inversión requerida

Modelado tridimensional (3D)

El modelado 3D es el proceso matemático de crear una representación tridimensional de un objeto o superficie utilizando software especializado. Los objetos tridimensionales se componen de vértices, aristas y caras que forman mallas o también denominados como polígonos.

Para entornos web, la optimización de estos modelos es de mucha importancia. Se requiere aplicar técnicas de reducción de polígonos (low-poly) y empaquetado de texturas. Los modelos deben ser exportados en formatos estandarizados como .glTF (GL Transmission Format) o su versión binaria .glb, desarrollados por el grupo Khronos, ya que están optimizados para una rápida transmisión y carga en aplicaciones web sin perder calidad visual [12], [18].

Blender

Blender es un software libre, de código abierto y multiplataforma ampliamente utilizado para la creación de contenido tridimensional. Su desarrollo se inició en la década de 1990 como una herramienta interna de un estudio de animación y, con el paso de los años, evolucionó hasta convertirse en una de las soluciones más reconocidas dentro de la industria del modelado y la visualización 3D, siendo actualmente gestionado por la Blender Foundation.

Blender incluye en un solo espacio todas las herramientas para modelar, texturizar, aplicar materiales, animar, iluminar y renderizar, creando así proyectos completos sin la ayuda de otro tipo de software. Entre los rasgos más importantes de esta herramienta se encuentran los motores de renderizado Cycles y Eevee, el texture baking, el modelado no-destructivo o la exportación de múltiples formatos, lo que proporciona una integración con diferentes plataformas y aplicaciones de los modelos [13].

Asimismo, dispone de herramientas para la optimización de escenarios enfocados a entornos interactivos y aplicaciones en tiempo real, facilitando el uso en el campo de la visualización arquitectónica, desarrollo de videojuegos, simulación o los recorridos virtuales [13]. Estas capacidades resultan especialmente relevantes para proyectos que requieren representar espacios físicos con un alto nivel de detalle y rendimiento.

WebGL

WebGL (Web Graphics Library) es una API de JavaScript que permite renderizar gráficos bidimensionales y tridimensionales interactivos directamente dentro de navegadores web compatibles, sin necesidad de instalar complementos o software adicional [16]. Esta tecnología se basa en OpenGL ES y proporciona acceso directo a la unidad de procesamiento gráfico (GPU) del dispositivo del usuario, permitiendo acelerar por hardware el procesamiento y visualización de escenas complejas con un alto rendimiento gráfico [18].

Gracias a estas capacidades, WebGL permite desarrollar aplicaciones web avanzadas que requieran interacción en tiempo real, como videojuegos, simulaciones, visualizaciones

científicas, configuradores de productos y recorridos virtuales tridimensionales [18]. Como se ejecuta de forma nativa en los navegadores modernos, hace que la distribución de contenidos interactivos a través de Internet no dependa de plataformas aplicativos concretas.

Además, el hecho de que sea multiplataforma también se convierte en una ventaja muy a tener en cuenta en proyectos de difusión institucional y educativa, ya que permite que los usuarios accedan al contenido desde diferentes plataformas y dispositivos, como ordenadores, tablets y teléfonos móviles.

Babylon.js

Babylon.js es un motor gráfico open-source en JavaScript que permite la creación y visualización de entornos 3D interactivos en el navegador y que hace uso de tecnologías WebGL y WebGPU. De Microsoft, este framework permite simplificar la aplicación de funcionalidades avanzadas en aplicaciones Web3D, evitando que la complejidad del código de bajo nivel que debe ejecutarse al mismo tiempo que el renderizado gráfico.

El diseño de la arquitectura está enfocado a aplicaciones escalables que optimizan el uso de los recursos disponibles en el navegador, gestionando eficazmente la memoria del mismo para poder seguir ofreciendo un rendimiento estable en escenas 3D de gran complejidad [17]. Entre las funcionalidades que incorpora destacan la gestión de cámaras, iluminación, materiales, físicas, colisiones y animaciones, facilitando la construcción de entornos virtuales interactivos y realistas.

Babylon.js ofrece diferentes tipos de cámaras que permiten implementar experiencias de navegación en primera persona, similares al desplazamiento de un usuario dentro de un espacio físico. Asimismo, permite soportar múltiples modelos de iluminación, incluyendo luces hemisféricas, direccionales y puntuales, las cuales permiten mejorar el realismo visual mediante el cálculo dinámico de sombras y efectos de iluminación.

Una de sus características relevantes se corresponde también a la existencia de sistemas de colisión y físicas integrados, los cuales restringen la movilidad del usuario a los

límites determinados del entorno virtual donde se encuentra, evitando que el usuario interaccione con zonas no accesibles. Además, dispone de mecanismos para gestionar eventos interactivos, posibilitando la visualización de información adicional o la ejecución de acciones específicas cuando el usuario interactúa con determinados objetos de la escena [12].

Diversos estudios comparativos han identificado que Babylon.js presenta ventajas significativas en aplicaciones de visualización arquitectónica y recorridos virtuales debido a su estabilidad, compatibilidad multiplataforma, administración eficiente de recursos y soporte nativo para sistemas de interacción y colisión [22], [23], [24]. Por estas razones, fue seleccionado como la tecnología principal para el desarrollo del recorrido virtual del Bloque A, ya que permite ofrecer una navegación fluida, una experiencia interactiva enriquecida y un adecuado rendimiento en dispositivos con diferentes capacidades técnicas

Usabilidad

La usabilidad es la medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para conseguir objetivos definidos. Según el estándar internacional ISO 9241-11, la usabilidad se basa en tres principios: Eficacia (precisión con la que el usuario logra el objetivo), Eficiencia (recursos gastados en relación con la eficacia lograda) y Satisfacción (comodidad y actitudes positivas hacia el uso del sistema)[25]. La evaluación del recorrido virtual mediante estos criterios garantizará que la herramienta sea intuitiva [19], [20].

Accesibilidad web

La accesibilidad web implica que las plataformas y herramientas tecnológicas estén diseñadas de manera que personas con diversas capacidades tecnológicas, físicas o cognitivas puedan utilizarlas. Su importancia radica en garantizar el derecho a la información inclusiva. Este concepto se rige por las directrices WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) establecidas por el consorcio W3C, que promueven que el contenido sea perceptible, operable, comprensible y robusto [22].

Rendimiento de aplicaciones web 3D

Para que la difusión sea exitosa, la plataforma debe ser técnicamente viable. El rendimiento se mide a través de indicadores críticos:

- **FPS (Fotogramas por Segundo):** Define la fluidez de la navegación. Una experiencia visual cómoda exige un mínimo estable de 30 a 60 FPS [18].
- **Tiempo de carga:** Intervalo de espera para que se descarguen el motor gráfico y los archivos .glb.
- **Consumo de memoria:** Uso de memoria RAM y VRAM del dispositivo cliente. Un consumo no optimizado puede causar el cierre forzado del navegador.
- **Optimización gráfica:** Métodos implementados (como instanciación de mallas) para reducir la carga de procesamiento en el cliente gráfico.

Estandarización de Controles e Interfaces de Navegación en Espacios 3D

La usabilidad dentro de entornos virtuales tridimensionales interactivos depende en gran medida de la adopción de esquemas de control intuitivos que minimicen la carga cognitiva del usuario. En la disciplina de la Interacción Humano-Computadora (HCI), la navegación en primera persona ha adoptado la combinación WASD + Mouse Look como un estándar de facto de la industria [26].

Históricamente, la adopción de la disposición de teclas WASD para el desplazamiento en ejes tridimensionales (adelante, izquierda, atrás, derecha) no surgió como una convención explícita de diseño de software desde el origen de la computación personal, más bien como una evolución heurística impulsada por la comunidad de usuarios. Según detalla Malave, el esquema cobró relevancia crítica a partir de 1997, cuando el jugador profesional Dennis "Thresh" Fong popularizó su eficiencia ergonómica durante torneos del videojuego Quake, demostrando la superioridad del uso de la mano izquierda en el teclado alineada con la mano derecha en el ratón [27]. Este hito llevó que desarrolladores como John Carmack a integrar

WASD como la configuración predeterminada por defecto en títulos posteriores, estandarizándose a nivel global en las siguientes décadas.

En términos de ergonomía cognitiva y diseño centrado en el usuario (ISO 9241-210), la adopción de esquemas estandarizados como WASD minimiza las exigencias cognitivas asociadas a los modelos mentales ya construidos y a la memoria muscular de los usuarios. Al implementar este estándar dentro de la plataforma del recorrido virtual, se elimina la curva de aprendizaje asociada al control básico del espacio, lo que garantiza que el usuario dirija sus recursos atencionales en la exploración del campus universitario y sobre el contenido informativo y no sobre la mecánica de avance.

Escala de Usabilidad del Sistema (SUS)

El System Usability Scale (SUS) es un instrumento estandarizado diseñado para evaluar la usabilidad percibida de un sistema interactivo de manera rápida, confiable y sencilla. Fue desarrollado por John Brooke en 1986 y consiste en un cuestionario de diez afirmaciones que se responden mediante una escala tipo Likert de cinco niveles, alternando ítems de formulación positiva y negativa para reducir sesgos en las respuestas. A partir de las respuestas obtenidas se calcula una puntuación global en una escala de 0 a 100, donde valores cercanos o superiores a 68 indican una usabilidad aceptable y puntuaciones superiores a 80 reflejan una experiencia de uso excelente. Debido a su facilidad de aplicación, alta confiabilidad y validez, el SUS se ha consolidado como uno de los métodos más utilizados para medir la percepción de usabilidad en aplicaciones web, software, dispositivos y otros sistemas interactivos, permitiendo identificar oportunidades de mejora desde la perspectiva del usuario [28].

Metodología SCRUM

En el ámbito de la gestión de proyectos y el desarrollo ágil de software, las organizaciones requieren metodologías capaces de adaptarse dinámicamente a entornos de alta incertidumbre y requisitos cambiantes. En este escenario, Scrum destaca como uno de los

marcos de trabajo de metodología ágil más implementados a nivel global. Es definido como un entorno estructurado de colaboración diseñado con el propósito explícito de guiar a los equipos en la organización, gestión y optimización de sus flujos de trabajo [29]. A diferencia de los enfoques tradicionales de gestión lineal o en cascada, Scrum promueve la flexibilidad operativa a través del aprendizaje empírico, impulsando a los equipos a analizar sus propias experiencias y resultados para refinar continuamente el producto final [29].

Pilares Fundamentales del Empirismo en Scrum

La efectividad de este modelo operativo radica en su naturaleza empírica, la cual se sostiene de manera formal sobre tres pilares esenciales que garantizan el control del proceso y la mejora continua [29]:

- **Transparencia:** Consiste en asegurar que todos los aspectos y métricas del proceso sean totalmente visibles y comprensibles tanto para quienes ejecutan el trabajo como para los interesados externos. Esto fundamenta un entorno de confianza mutua y un entendimiento unificado del progreso real del proyecto [29].
- **Inspección:** Hace referencia a la evaluación constante, crítica y minuciosa de los artefactos y del avance hacia los objetivos del ciclo de trabajo. El propósito de esta práctica es identificar de forma temprana cualquier desviación o anomalía respecto a las expectativas iniciales [29].
- **Adaptación:** Se activa cuando el proceso de inspección revela desviaciones fuera de los rangos tolerables. En este punto, el equipo realiza los ajustes necesarios en los procesos o elementos del proyecto con la mayor brevedad posible para minimizar impactos negativos futuros [29].

Valores Centrales de Scrum

La implementación técnica del marco ágil exige el cumplimiento de dimensiones éticas y profesionales que definen la cultura interna del equipo. En este sentido, Drumond expone en su

trabajo un total de cinco valores intrínsecos que rigen el comportamiento de un grupo Scrum [29]:

- **Compromiso:** Los miembros del equipo asumen el compromiso individual y colectivo de alcanzar los objetivos del ciclo de trabajo y de apoyarse mutuamente para superar los obstáculos cotidianos.
- **Foco:** La atención y los esfuerzos del equipo se canalizan exclusivamente en las actividades planificadas para el ciclo en curso, reduciendo el desperdicio de tiempo y maximizando la eficiencia operativa.
- **Apertura:** Tanto los miembros del equipo como los clientes externos acuerdan que los retos, errores y progresos reales del grupo deben ser comunicados de forma honesta y transparente y abierta.
- **Respeto:** Se fomenta un entorno donde cada profesional es valorado por sus capacidades únicas, promoviendo la autonomía y la aceptación de diversas perspectivas técnicas.
- **Coraje (o Valentía):** El grupo logra la fuerza interior necesaria para poder tomar decisiones difíciles, hacer lo correcto frente a los problemas técnicos difíciles y lidiar con los problemas de forma honesta.

Funciones y Roles en el Equipo Scrum

Para garantizar la autogestión y la naturaleza multifuncional del marco de trabajo, la metodología Scrum prescinde de las jerarquías tradicionales y define tres funciones clave con responsabilidades delimitadas [29]:

- **Product Owner (Dueño del Producto):** Es el responsable directo de maximizar el valor del producto final derivado de los esfuerzos del equipo. Su función principal consiste en gestionar eficientemente la lista priorizada de necesidades o tareas pendientes, conocida como el Product Backlog.

- **Scrum Master:** Ejerce un rol de líder facilitador encargado de asegurar que los principios, pilares y valores de Scrum sean comprendidos y aplicados de manera óptima en toda la organización. Su labor principal consiste en eliminar cualquier impedimento técnico u organizacional que limite la productividad del equipo.
- **Equipo de Desarrollo (Developers):** Constituido por los profesionales técnicos encargados directos de ejecutar las tareas necesarias para transformar las prioridades del backlog en un incremento de producto funcional y potencialmente entregable al cierre de cada ciclo.

Artefactos y Eventos del Ciclo Scrum

La dinámica operativa de Scrum se estructura a través de bloques de tiempo fijos e iterativos denominados Sprints, los cuales suelen tener una duración de una a cuatro semanas. Cada ciclo iterativo engloba eventos estructurados orientados a la mejora continua, tales como la Planificación del Sprint (Sprint Planning), la reunión diaria de sincronización (Daily Scrum), la Revisión del Sprint (Sprint Review) y la Retrospectiva (Sprint Retrospective). Este flujo se complementa con el uso de artefactos tangibles como el Product Backlog, el Sprint Backlog y el Incremento, los cuales materializan la transparencia y la entrega continua de valor en el desarrollo del proyecto [29].

Marco conceptual

El marco conceptual establece y delimita la terminología técnica, los procesos de optimización gráfica y las pautas de diseño que operan dentro del desarrollo del recorrido virtual. Dicha estructura conceptual permite la comprensión de las tecnologías utilizadas así como de las metodologías implementadas en el flujo de trabajo de modelado tridimensional y programación web.

Renderizado y Materiales

Renderizado Basado en la Física (PBR - Physically Based Rendering)

Es un enfoque de la computación gráfica orientado a simular la interacción de la luz con las superficies de los objetos de la forma más cercana posible a las leyes físicas del mundo real. A diferencia de los modelos de sombreado tradicionales, el PBR utiliza propiedades medibles como la rugosidad (roughness) y la metalicidad (metallic) para calcular cómo la luz se refleja, se dispersa o es absorbida por un material [30]. La implementación de materiales PBR en motores como Babylon.js es fundamental para otorgar fotorrealismo a las estructuras arquitectónicas (como el vidrio, concreto o metal) dentro del recorrido web.

Geometría y Optimización 3D

Mallas Poligonales y Modelado Low-Poly

En gráficos 3D, una malla poligonal es una colección de vértices, aristas y caras que definen la forma de un objeto poliédrico. El término Low-Poly (baja poligonización) se refiere a una técnica de optimización geométrica que consiste en representar un modelo 3D utilizando la menor cantidad de polígonos posible sin perder su silueta general. En el desarrollo de aplicaciones web 3D, el uso de mallas low-poly es estrictamente necesario, ya que reduce la carga computacional en el procesador gráfico (GPU) del usuario y disminuye los tiempos de transmisión de datos a través de la red [15].

Horneado de Texturas (Texture Baking)

Es el proceso de precalcular y transferir información compleja de iluminación, sombras, reflejos o detalles geométricos desde una escena renderizada de alta calidad hacia una imagen bidimensional (textura) que envuelve a un modelo tridimensional optimizado. Al aplicar el texture baking (por ejemplo, desde Blender), se evita que el motor web en tiempo real deba calcular luces dinámicas costosas, logrando que un modelo low-poly simule la complejidad visual y el volumen de un modelo de alta resolución, garantizando así un rendimiento fluido en el navegador [15].

Diseño de Interacción Web

Interfaz de Usuario (UI - User Interface)

Constituye el conjunto de elementos visuales, arquitecturas de información y controles interactivos (botones, menús, cuadros de diálogo institucionales) mediante los cuales el usuario interactúa con un sistema o aplicación. En el contexto del recorrido virtual, la UI es la capa superpuesta a la vista tridimensional que guía la exploración y muestra la información de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Experiencia de Usuario (UX - User Experience)

Según el estándar internacional de diseño centrado en el humano (ISO 9241-210), la Experiencia de Usuario engloba "las percepciones y respuestas de una persona resultantes del uso y/o uso anticipado de un producto, sistema o servicio" [31]. A diferencia de la UI (que es estrictamente gráfica), la UX evalúa componentes emocionales y funcionales, como la intuición en la navegación por el campus virtual, la rapidez de los tiempos de carga y la prevención de fatiga visual durante el uso interactivo.

Capítulo III

Metodología

Enfoque de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, debido a que integra técnicas cuantitativas y cualitativas para el desarrollo y evaluación de un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo. El componente cuantitativo permitió recopilar y analizar datos numéricos mediante pruebas técnicas orientadas a verificar el funcionamiento del producto desarrollado, considerando indicadores como rendimiento, tiempo de carga, FPS, consumo de recursos y la percepción de los usuarios mediante la escala de SUS.

Por otra parte, el componente cualitativo se aplicó durante la etapa de levantamiento de requerimientos funcionales, mediante una entrevista de carácter informal realizada al Mgtr. Christian Coronel, Director de la carrera de Tecnologías de la Información, quien, como uno de los principales interesados del proyecto, planteó la necesidad de mejorar y desarrollar una nueva versión del recorrido virtual incorporando nuevas tecnologías. Además, los requerimientos definidos tomaron como referencia las funcionalidades existentes en la primera versión del recorrido virtual del Bloque A desarrollada por Ledesma [1], permitiendo establecer una base inicial para la evolución del sistema propuesto.

Análisis de requerimientos

Como primera etapa del desarrollo del recorrido virtual se realizó el análisis de los requerimientos definidos durante la fase de levantamiento de información. Para complementar este proceso, se efectuó un reconocimiento del Bloque A mediante fotografías de referencia de las áreas más representativas y fotografías panorámicas de 360° obtenidas con un dron, lo que permitió identificar los espacios que formarían parte del recorrido virtual y los elementos de interacción que debía incorporar la aplicación.

Con base en esta información se establecieron los requerimientos funcionales, no funcionales y técnicos del sistema, los cuales sirvieron como fundamento para la elaboración del Product Backlog y la planificación de los Sprints definidos en la metodología Scrum..

Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales describen las principales funciones que debe ofrecer el recorrido virtual para proporcionar una experiencia de navegación interactiva, por ende, en la Tabla 1 se presentan las funcionalidades definidas durante la etapa de análisis, las cuales orientaron el desarrollo e integración de cada uno de los componentes del sistema.

Tabla 1

Requerimientos funcionales del recorrido virtual

Código	Requerimiento	Descripción
RF-001	Visualización del recorrido virtual	El sistema debe permitir recorrer virtualmente el Bloque A mediante un navegador web compatible con WebGL.
RF-002	Navegación tridimensional	El usuario debe desplazarse por los diferentes espacios utilizando controles intuitivos de navegación.
RF-003	Integración de modelos 3D	El sistema debe cargar e integrar modelos tridimensionales desarrollados en Blender en formato GLB.
RF-004	Visualización de fotografías 360°	El recorrido debe permitir acceder a fotografías de tipo 360° en áreas específicas.
RF-005	Puntos de información interactivos	El sistema debe mostrar información institucional mediante puntos interactivos distribuidos a lo largo del recorrido.
RF-006	Mini mapa de ubicación	El recorrido debe incorporar un mini mapa que permita identificar la ubicación actual del usuario y facilitar su orientación durante la navegación.
RF-007	Pantalla de carga	El sistema debe presentar una pantalla de carga con información del proceso mientras se

Código	Requerimiento	Descripción
RF-008	Compatibilidad con realidad virtual	descargan los recursos necesarios para iniciar el recorrido. El recorrido debe permitir su utilización mediante dispositivos compatibles con WebXR y el modo estereoscópico disponible en dispositivos móviles.

Requerimientos no Funcionales

Los requerimientos no funcionales establecen las características de calidad que debe cumplir la aplicación para garantizar una experiencia satisfactoria de navegación, por lo cual en la Tabla 2 se describen los principales criterios de rendimiento, compatibilidad y mantenibilidad considerados durante el desarrollo del recorrido virtual.

Tabla 2

Requerimientos no funcionales del recorrido virtual

Código	Requerimiento	Descripción
RNF-001	Compatibilidad multiplataforma	El sistema debe ejecutarse correctamente en navegadores compatibles con la tecnología de WebGL.
RNF-002	Tiempo de carga optimizado	La carga inicial debe completarse en menos de un minuto bajo conexiones lentas y entre 15 y 20 segundos en condiciones normales.
RNF-003	Rendimiento visual	El recorrido debe ejecutarse de manera fluida, manteniendo FPS estables durante la navegación.
RNF-004	Usabilidad	La interfaz debe facilitar el aprendizaje y la interacción mediante controles intuitivos y elementos visuales comprensibles.
RNF-005	Accesibilidad	La aplicación web debe ser compatible con computadoras, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual.

Código	Requerimiento	Descripción
RNF-006	Escalabilidad	La arquitectura debe permitir incorporar nuevos bloques o áreas sin modificar la estructura principal del sistema.
RNF-007	Mantenibilidad	El código fuente debe estar organizado en módulos para facilitar futuras actualizaciones y correcciones.
RNF-008	Disponibilidad	El sistema debe permanecer disponible mediante un entorno de despliegue basado en contenedores Docker.

Requerimientos del Sistema

Los requerimientos del sistema corresponden a los recursos tecnológicos necesarios para el desarrollo, almacenamiento y despliegue del recorrido virtual interactivo, por lo cual en la Tabla 3 se presentan los requerimientos tecnológicos definidos para la implementación del proyecto.

Tabla 3

Requerimientos del Sistema

Código	Requerimiento	Descripción
RS-001	Motor gráfico	Utilización de Babylon.js para el renderizado de modelos tridimensionales mediante WebGL.
RS-002	Modelado 3D	Empleo de Blender para el diseño, optimización y exportación de los modelos en formato GLB.
RS-003	Entorno de desarrollo	Uso de Bun y Vite para la administración de dependencias y compilación de la aplicación web.
RS-004	Almacenamiento de recursos	Los modelos GLB e imágenes panorámicas deben almacenarse en un bucket de Cloudflare R2 para optimizar los tiempos de descarga.
RS-005	Despliegue	La aplicación debe ejecutarse en un servidor mediante contenedores Docker.

Código	Requerimiento	Descripción
RS-006	Control de versiones	El código fuente debe mantenerse en un repositorio GitHub para garantizar el seguimiento de cambios.
RS-007	Integración continua	El despliegue del sistema debe automatizarse mediante GitHub Actions.
RS-008	Requisitos del cliente	El usuario debe disponer de un navegador compatible con WebGL, conexión a Internet y un dispositivo que permita la ejecución del recorrido virtual.

Arquitectura de Software

La arquitectura de software implementada en este proyecto está basada en el modelo de SPA y orientado al lado del cliente, y está diseñado para conseguir una experiencia inmersiva. El funcionamiento básico del sistema soporta el framework Babylon.js, que se encarga de renderizar todo el recorrido 3D directamente en el navegador web del usuario, de tal manera que se pueden aprovechar los recursos disponibles en el equipo del usuario. Además, Babylon.js se encarga del ciclo de vida completo de la escena 3D, y permite aplicar distintas técnicas de optimización, como es el caso del renderizado solamente de los objetos que se encuentran dentro del campo de visión del usuario. Se reduce de esta forma el procesamiento innecesario y se mejora considerablemente la fluidez durante la navegación.

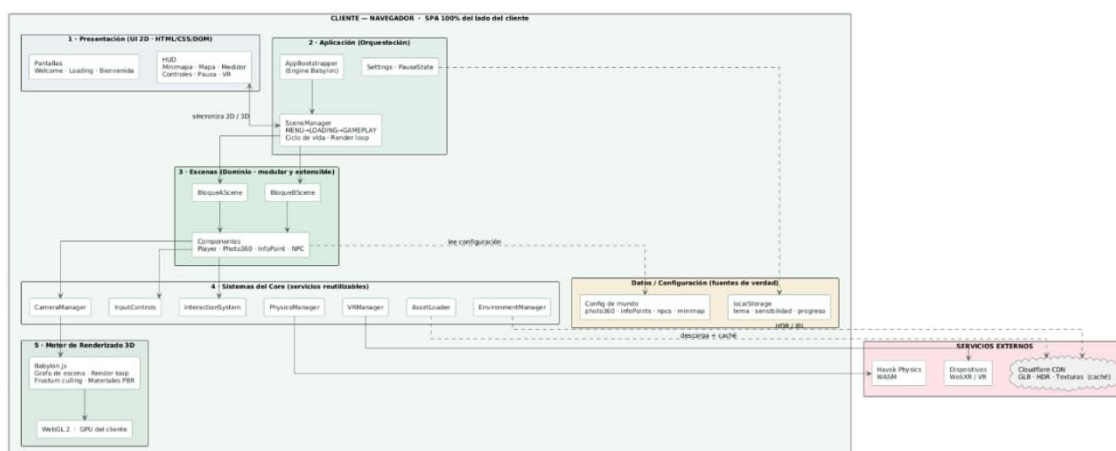
Los modelos tridimensionales en formato GLB son obtenidos desde un CDN de Cloudflare, que permite distribuir el contenido de forma más rápida, puesto que actúa de intermediario entre el servidor y el cliente. Una vez descargado un modelo, este queda almacenado en la memoria caché del navegador, permitiendo que en futuras visitas la carga sea mucho más rápida y eficiente la carga de los modelos.

El sistema fue desarrollado bajo una estructura modular, es decir que este enfoque permitió que la lógica de la interfaz de usuario (UI) y la lógica encargada del renderizado 3D funcionan de forma independiente, pero sincronizada, logrando una integración adecuada entre

los elementos bidimensionales y tridimensionales de la aplicación. Cabe recalcar que esta arquitectura facilita la incorporación de nuevas funcionalidades, como la adición nuevas áreas dentro de un bloque, puntos de interés, recorridos 360° o cualquier otro recurso, sin afectar el funcionamiento del núcleo principal del sistema, gracias a la organización modular definida y a la implementación de buenas prácticas de programación adaptadas al desarrollo de aplicaciones 3D. Como se observa en la Figura 1, la arquitectura de software muestra la organización general del sistema y la forma en que interactúan los distintos componentes del frontend con los servicios disponibles del lado del servidor.

Figura 1

Arquitectura de Software



Arquitectura Física

La arquitectura física del sistema se basa en un esquema de despliegue distribuido, diseñado para optimizar aspectos como la latencia, la disponibilidad y la escalabilidad del recorrido virtual. Esta arquitectura permite publicar en la web todo el contenido correspondiente a las áreas sede universitaria, sin afectar el rendimiento ni generar tiempos de carga elevados.

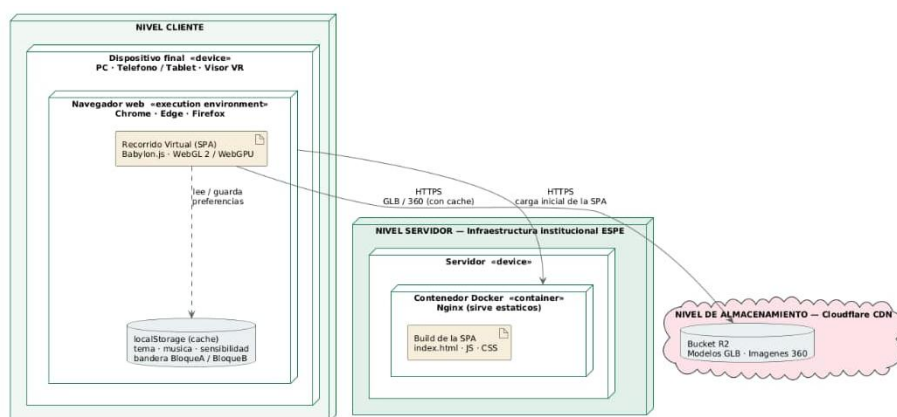
El sistema se encuentra organizado en tres niveles principales, de los cuales se describe más de ellos a continuación:

- **Nivel cliente:** Corresponde al navegador web utilizado por parte del usuario, así como a los dispositivos (ordenadores, teléfonos móviles o visores de realidad virtual). En este nivel es donde tiene lugar la ejecución por medio de tecnologías WebGL y el procesamiento del recorrido, basándose en el uso de la potencia de cómputo del dispositivo del usuario.
- **Nivel de almacenamiento (CDN):** En este nivel se encuentran los archivos de mayor tamaño del recorrido, que son los modelos 3D en formato GLB y las imágenes panorámicas en 360°. Los archivos están almacenados en un bucket R2 de Cloudflare, el cual permite distribuir de manera rápida los archivos y reducir los tiempos de carga.
- **Nivel servidor:** El recorrido virtual está desplegado utilizando contenedores Docker en la infraestructura institucional. Esto permite contar con un entorno de ejecución seguro, portable y fácil de administrar. Dado que el recorrido se ejecuta fundamentalmente en el navegador, el servidor sólo lleva a cabo la entrega de los recursos necesarios para que el recorrido virtual funcione correctamente.

La arquitectura física representa la forma en que el sistema es desplegado y cómo el usuario obtiene todos los recursos necesarios para iniciar el recorrido virtual, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Arquitectura Física



Arquitectura Lógica

La arquitectura lógica del sistema está organizada en tres capas funcionales, con el objetivo de separar claramente las responsabilidades de cada componente. Esta distribución facilita el mantenimiento del sistema, simplifica las tareas de depuración y permite responder de manera más eficiente a las acciones realizadas por el usuario. Cada capa interactúa únicamente con la capa adyacente, reduciendo el acoplamiento y permitiendo realizar modificaciones sin afectar el funcionamiento del resto de la aplicación.

- **Capa de Presentación:** Es la encargada de gestionar todos los elementos con los que interactúa el usuario. Incluye el lienzo (canvas) donde Babylon.js renderiza la escena tridimensional utilizando WebGL 2 o WebGPU, así como los componentes de la interfaz desarrollados con HTML y CSS, entre ellos el minimapa, el mapa general del campus, los menús, botones y el HUD. Todos estos elementos permanecen sincronizados con el estado del recorrido. Además, esta capa incorpora la API WebXR, que permite activar el modo de realidad virtual utilizando la misma escena, evitando duplicar la lógica de la aplicación.
- **Capa de Lógica de Interacción:** En esta capa se concentra todo el comportamiento del recorrido. Se encarga de procesar las entradas provenientes del teclado, gamepad o controles táctiles y transformarlas en los movimientos del usuario dentro del entorno virtual. También administra las colisiones y la simulación física mediante el motor Havok, evitando que el usuario atraviese estructuras o abandone la superficie del terreno. De igual forma, controla la interacción con los puntos de información y los recorridos 360° cuando el usuario se aproxima a ellos. La lógica de los NPC también es gestionada en esta capa mediante técnicas de Raycasting, permitiendo que permanezcan correctamente posicionados sobre terrenos irregulares y evitando que atraviesen obstáculos. Finalmente, esta capa administra el almacenamiento de las preferencias del usuario, como el tema de la interfaz, la música, la sensibilidad del recorrido y el bloque

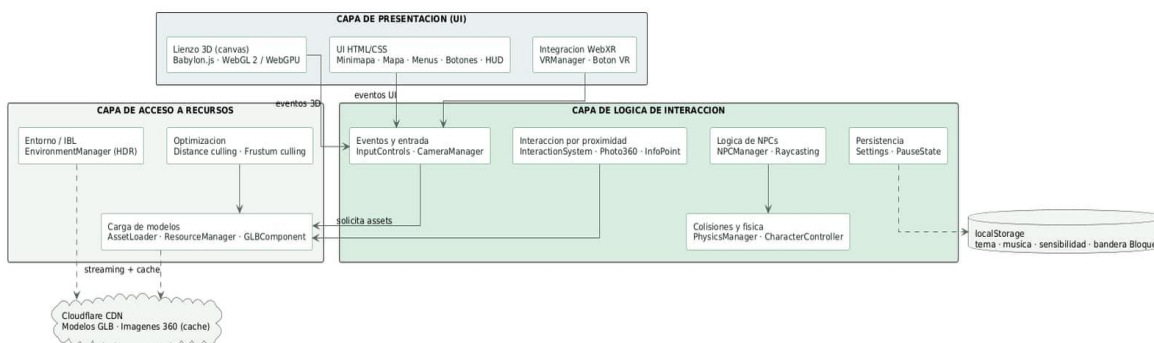
activo, utilizando localStorage, lo que permite conservar estas configuraciones entre diferentes sesiones.

- **Capa de Acceso a Recursos:** Su responsabilidad principal es administrar la carga y optimización de todos los recursos utilizados por el recorrido. Los modelos GLB son cargados progresivamente desde la CDN de Cloudflare, aprovechando la memoria caché del navegador para reducir los tiempos de carga en visitas posteriores. Asimismo, esta capa implementa técnicas de optimización como el culling por distancia, que desactiva el renderizado y las animaciones de objetos lejanos, especialmente los NPC, y el frustum culling, que procesa únicamente los elementos que se encuentran dentro del campo de visión del usuario. Gracias a estas técnicas, el sistema mantiene un rendimiento estable incluso cuando se trabaja con escenarios de gran tamaño.

La separación de responsabilidades entre estas tres capas contribuye a que la aplicación sea más robusta, fácil de mantener y con una mejor capacidad de respuesta frente a las acciones del usuario. Como se observa en la Figura 3, la arquitectura lógica representa la distribución de las responsabilidades del sistema en tres capas principales, las cuales se muestran en el siguiente diagrama.

Figura 3

Arquitectura Lógica



Metodología de desarrollo

Para el desarrollo del recorrido virtual interactivo se adoptó la metodología ágil Scrum, debido a que proporciona un marco de trabajo basado en el desarrollo iterativo e incremental, permitiendo organizar las actividades en ciclos de trabajo de corta duración denominados *Sprints*. Esta metodología favorece a la planificación continua, además a la validación periódica de los avances y la incorporación de mejoras durante el proceso de desarrollo, aspectos que resultaron adecuados para un proyecto que involucró modelado tridimensional, desarrollo web, integración de recursos multimedia y pruebas constantes de funcionamiento.

La aplicación de Scrum permitió organizar el proyecto mediante una planificación estructurada de las actividades a desarrollar, definiendo responsabilidades para cada integrante del equipo, priorizando los requerimientos del sistema y estableciendo entregables parciales, además de que facilitó la detección temprana de inconvenientes, la incorporación de observaciones realizadas durante el desarrollo y la optimización progresiva del recorrido virtual hasta obtener una versión funcional acorde con los objetivos planteados.

Determinación de roles

Para la organización y desarrollo de proyecto, se definieron los roles de trabajo de acuerdo con la metodología Scrum. Cabe mencionar que la asignación de responsabilidades permitió la distribución de actividades entre los integrantes que conforman el proyecto, permitiendo de esa manera la coordinación de tareas desarrolladas con los avances obtenidos durante cada Sprint.

La definición de los roles permitió establecer un responsable para la supervisión del proyecto y validación de los entregables generado en cada iteración, permitiendo garantizar que las actividades desarrolladas mantuvieran coherencia con los objetivos planteados previamente; por lo tanto, en la Tabla 4 se presentan los roles asumidos por cada integrante que conforman el proyecto.

Tabla 4*Determinación de roles del proyecto*

Rol Scrum	Integrante	Responsabilidades
Product Owner	Ing. Christian Coronel Guerrero	Definir los requerimientos del sistema, establecer las prioridades del proyecto, validar los entregables de cada Sprint y supervisar el cumplimiento de los objetivos planteados.
Scrum Master	Ing. Christian Coronel Guerrero	Coordinar las actividades del equipo, realizar el seguimiento del cronograma y resolver impedimentos durante el desarrollo.
Developer 1	Alexander Quizhpe	Desarrollar la lógica de la aplicación utilizando Babylon.js, implementar la navegación, puntos interactivos, optimización del rendimiento y despliegue mediante Docker.
Developer 2	Jordy Mejia	Elaborar y optimizar los modelos tridimensionales en Blender, capturar y procesar fotografías panorámicas de 360°, preparar los recursos gráficos e integrarlos en el recorrido virtual.

Planificación del Product Backlog

Una vez identificados los requerimientos funcionales, no funcionales y del sistema, se procedió a la elaboración del Product Backlog, el cual constituye el conjunto ordenado de actividades necesarias para el desarrollo del recorrido virtual. Cada elemento del backlog representa una actividad de desarrollo asociada a uno o varios requerimientos previamente establecidos. La Tabla 5 presenta el Product Backlog propuesto para el desarrollo del proyecto bajo la metodología Scrum.

Tabla 5*Product Backlog del recorrido virtual*

ID	Código	Actividad del Product Backlog	Tiempo estimado (horas)	Prioridad
1	RS-001	Configuración del repositorio GitHub y del control de versiones del proyecto.	8	Alta
2	RNF-008	Configuración del entorno de despliegue mediante contenedores Docker.	12	Alta
3	RF-003	Actualización y optimización de los modelos tridimensionales del Bloque A en Blender.	120	Alta
4	RF-003	Exportación y validación de modelos tridimensionales en formato GLB.	20	Alta
5	RF-001	Configuración de la escena principal y estructura base del recorrido virtual en Babylon.js.	32	Alta
6	RF-003	Integración de modelos GLB en el entorno tridimensional del recorrido.	40	Alta
7	RF-002	Desarrollo del sistema de navegación tridimensional y desplazamiento del usuario.	24	Alta
8	RF-002	Configuración de físicas, colisiones y límites de navegación.	24	Alta
9	RNF-003	Optimización del renderizado, iluminación y materiales para mejorar el rendimiento gráfico.	24	Alta
10	RS-003	Configuración del proceso de integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions.	12	Media
11	RF-005	Desarrollo de puntos de información interactivos dentro del recorrido virtual.	24	Alta

ID	Código	Actividad del Product Backlog	Tiempo estimado (horas)	Prioridad
12	RF-005	Desarrollo de funcionalidad para integrar recursos multimedia en los puntos informativos.	20	Media
13	RF-007	Desarrollo de la pantalla de carga con indicador de progreso e información del proyecto.	16	Media
14	RF-006	Desarrollo del mini mapa para la orientación del usuario durante la navegación.	20	Media
15	RF-004	Captura de fotografías panorámicas de 360° mediante dron.	24	Alta
16	RF-004	Procesamiento e integración de fotografías panorámicas de 360° en el recorrido virtual.	24	Alta
17	RNF-002	Optimización de la carga progresiva de modelos e imágenes mediante Cloudflare R2.	20	Alta
18	RNF-004	Evaluación y optimización de la usabilidad e interacción del recorrido virtual.	16	Media
19	RF-008 / RNF-005	Integración de compatibilidad con dispositivos WebXR y modo estereoscópico.	24	Alta
20	RNF-006	Organización de la arquitectura del proyecto para facilitar su escalabilidad.	16	Media
21	RNF-007	Modularización y documentación del código fuente del sistema.	20	Media
22	RNF-001	Verificación de compatibilidad con navegadores compatibles con WebGL.	16	Alta

ID	Código	Actividad del Product Backlog	Tiempo estimado (horas)	Prioridad
23	RNF-005	Validación del funcionamiento en computadoras, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual.	24	Alta
24	RF-001 a RF-008 RNF-001 a RNF-008	Ejecución de pruebas funcionales, corrección de incidencias y validación del cumplimiento de los requerimientos.	40	Alta
25	-	Elaboración del documento de UIC y consolidación de la versión final del proyecto.	50	Alta

Distribución propuesta de Sprint

Con base en la planificación del Producto Backlog, se realizó la distribución de las actividades en los diferentes Sprint, en la cual se consideraron la prioridad de los requerimientos, además de las dependencias entre las tareas y los tiempos estimados para cada ejecución. Esta organización permitió desarrollar el recorrido virtual de manera incremental entregando en cada iteración un conjunto de funcionalidades que posteriormente fueron integradas y validadas mediante pruebas de funcionamiento. La planificación se estructuró de acuerdo con el cronograma establecido para la investigación, el cual está comprendido entre el 6 de abril y el 30 de julio de 2026, contemplando jornadas de ocho horas diarias durante los días hábiles, tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6

Distribución propuesta de los Sprint

Sprint	Fecha Inicio	Fecha Fin	Días Hábiles	Horas por día	Horas del Sprint	Product Backlog asignado
Sprint 1	06/04/2026	17/04/2026	10	8	80	PB-01, PB-02, PB-03
Sprint 2	20/04/2026	01/05/2026	10	8	80	PB-04, PB-05, PB-06

Sprint	Fecha Inicio	Fecha Fin	Días Hábles	Horas por día	Horas del Sprint	Product Backlog asignado
Sprint 3	04/05/2026	15/05/2026	10	8	80	PB-07, PB-08, PB-09
Sprint 4	18/05/2026	29/05/2026	10	8	80	PB-10, PB-11, PB-12
Sprint 5	01/06/2026	12/06/2026	10	8	80	PB-13, PB-14, PB-15
Sprint 6	15/06/2026	26/06/2026	10	8	80	PB-16, PB-17, PB-18, PB-19
Sprint 7	29/06/2026	10/07/2026	10	8	80	PB-20, PB-21, PB-22
Sprint 8	13/07/2026	30/07/2026	14	8	122	PB-23, PB-24, PB-25

Planificación de los Sprint

La planificación de los Sprint permitió organizar las actividades predeterminadas en el Product Backlog de manera incremental, configurando un paquete de tareas concretas para cada iteración del desarrollo del proyecto. Esta organización permitió y facilitó el seguimiento del avance del proyecto, la integración progresiva de las funcionalidades del recorrido virtual y la validación continua de los entregables obtenidos al finalizar cada Sprint. Cada planificación fue elaborada considerando los requerimientos funcionales, no funcionales y del sistema definidos previamente, así como la prioridad de las actividades y las dependencias existentes entre ellas.

Sprint Backlog 1. El Sprint 1 está orientado a la preparación del entorno de desarrollo y al inicio del proceso de construcción del recorrido virtual interactivo. Durante esta iteración se configurará la infraestructura base del proyecto mediante herramientas de control de versiones y despliegue, además de iniciar la actualización y optimización de los modelos tridimensionales del Bloque A que posteriormente serían utilizados dentro del entorno virtual. Estas actividades permitieron establecer una base sólida para las siguientes etapas del desarrollo y garantizar una adecuada organización de los recursos del proyecto. La Tabla 7 presenta la planificación detallada correspondiente al Sprint 1.

Tabla 7*Planificación del Sprint 1*

Sprint:		1			
Fecha Inicio:		06/04/2026			
Fecha de Finalización:		17/04/2026			
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RS-001	Configuración del repositorio GitHub y control de versiones	Crear repositorio del proyecto. Configurar ramas principales. Inicializar control de versiones y estructura del repositorio.	Jordy Mejia	8	Repositorio GitHub configurado y estructura inicial del proyecto disponible.
RNF-008	Configuración del entorno de despliegue	Configurar contenedores Docker. Verificar ejecución local del proyecto. Preparar entorno para despliegues posteriores.	Alexander Quizhpe	12	Entorno de desarrollo configurado mediante Docker.
RF-003	Actualización y optimización de modelos 3D	Actualizar el modelo arquitectónico del Bloque A.	Jordy Mejia	60	Modelos tridimensionales optimizados y listos para exportación.

Optimizar
geometría y
materiales.
Reducir
polígonos sin
afectar la
calidad visual.

Sprint Backlog 2. El Sprint 2 está enfocado en la construcción de la escena principal del recorrido virtual y la incorporación de los modelos tridimensionales optimizados dentro del entorno desarrollado con Babylon.js. Durante esta etapa se definirán las bases del escenario tridimensional, permitiendo disponer de un primer prototipo funcional sobre el cual se integrarían posteriormente las funcionalidades de navegación e interacción. En la Tabla 8 se presentan las actividades planificadas para este Sprint.

Tabla 8

Planificación del Sprint 2

Sprint:		2			
Fecha Inicio:		20/04/2026			
Fecha de Finalización:		01/04/2026			
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RF-003	Exportación y validación de modelos tridimensionales en formato GLB.	Exportar los modelos en formato GLB, verificar geometría, materiales y compatibilidad con Babylon.js.	Jordy Mejia	20	Modelos GLB validados para integración.
RF-001	Configuración de la escena	Configurar la escena base,	Alexander Quizhpe	32	Escena principal del recorrido

	principal del recorrido virtual.	cámaras, iluminación inicial y parámetros del motor Babylon.js.			virtual configurada.
RF-003	Integración de modelos GLB en el entorno tridimensional.	Incorporar los modelos tridimensionales dentro de la escena y verificar su correcta representación.	Jordy Mejia	28	Primer prototipo funcional del recorrido virtual.

Sprint Backlog 3. El Sprint 3 está destinado a desarrollar las funcionalidades fundamentales para la navegación dentro del recorrido virtual, es decir que durante esta iteración se implementaran los mecanismos de desplazamiento del usuario, las colisiones del entorno y las optimizaciones iniciales del renderizado, la planificación correspondiente este sprint se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Planificación del Sprint 3

Sprint:	3				
Fecha Inicio:	04/05/2026				
Fecha de Finalización:	15/05/2026				
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RF-002	Desarrollo del sistema de navegación tridimensional.	Implementar controles de desplazamiento, rotación y	Alexander Quizhpe	24	Navegación tridimensional funcional.

		exploración del recorrido virtual.			
RF-002	Configuración de físicas, colisiones y límites de navegación.	Configurar colisiones, gravedad y restricciones de movimiento dentro del recorrido.	Alexander Quizhpe	24	Sistema de navegación seguro y controlado.
RNF-003	Optimización del renderizado, iluminación y materiales.	Ajustar iluminación, materiales y parámetros de renderizado para mejorar el rendimiento gráfico.	Jordy Mejia	24	Escenario optimizado para una navegación fluida.
-	Ajustes e integración del Sprint.	Integrar las funcionalidades implementadas y realizar pruebas preliminares.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	60	Incremento funcional del Sprint integrado.

Sprint Backlog 4. El Sprint 4 tiene como objetivo incorporar los elementos de interacción del recorrido virtual, permitiendo al usuario acceder a información de la institución mediante puntos interactivos distribuidos en las diferentes áreas del Bloque A. Además, se configuró el proceso de integración y despliegue continuo para facilitar la actualización del sistema durante el desarrollo. En la Tabla 10 se presentan las actividades programadas para esta iteración.

Tabla 10*Planificación del Sprint 4*

Sprint:		4			
Fecha Inicio:		18/05/2026			
Fecha de Finalización:		29/05/2026			
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RS-003	Configuración del proceso de integración y despliegue continuo.	Configurar GitHub Actions para automatizar la construcción y despliegue del proyecto.	Alexander Quizhpe	12	Flujo de integración continua configurado.
RF-005	Desarrollo de puntos de información interactivos.	Implementar hotspots en las diferentes áreas del recorrido virtual.	Alexander Quizhpe	24	Puntos interactivos funcionales.
RF-005	Integración de recursos multimedia.	Asociar imágenes, videos y documentos a los puntos interactivos.	Alexander Quizhpe	20	Información institucional integrada.
-	Ajustes del Sprint.	Realizar pruebas e integrar los componentes desarrollados.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	24	Sistema interactivo parcialmente funcional.

Sprint Backlog 5. El Sprint 5 está orientado a mejorar la experiencia de navegación mediante la incorporación de funcionalidades complementarias, como la pantalla de carga, el mini mapa de orientación y la integración de fotografías panorámicas de 360° de las instalaciones de la institución. Estas características permitirán incrementar el nivel de inmersión y facilitar la ubicación del usuario dentro del recorrido virtual. La planificación más detallada para este sprint se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Planificación del Sprint 5

Sprint:		5			
Fecha Inicio:		01/06/2026			
Fecha de Finalización:		12/06/2026			
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RF-007	Configuración del repositorio GitHub y control de versiones	Diseñar la interfaz de carga e implementar el indicador de progreso.	Jordy Mejia	16	Pantalla de carga funcional.
RF-006	Desarrollo del mini mapa.	Diseñar el mini mapa e implementar la ubicación dinámica del usuario.	Alexander Quizhpe	20	Mini mapa operativo.
RF-004	Captura de fotografías panorámicas de 360°.	Realizar la captura de imágenes mediante dron en las áreas establecidas.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	20	Fotografías panorámicas obtenidas.

RF-004	Procesamiento e integración de fotografías panorámicas.	Editar, optimizar e integrar las fotografías dentro del recorrido virtual.	Jordy Mejia	24	Áreas 360° incorporadas al recorrido.
---------------	---	--	-------------	----	---------------------------------------

Sprint Backlog 6. El Sprint 6 está enfocado en optimizar el rendimiento del recorrido virtual y ampliar su compatibilidad con tecnologías inmersivas (VR). Durante esta etapa se implementarán mecanismos de carga progresiva de recursos utilizando Cloudflare R2, además se realizaron ajustes de usabilidad y se incorporó la compatibilidad con dispositivos WebXR y el modo estereoscópico disponible en los dispositivos móviles. La Tabla 12 presenta las actividades planificadas durante este sprint.

Tabla 12

Planificación del Sprint 6

Sprint:	6				
Fecha Inicio:	15/06/2026				
Fecha de Finalización:	26/06/2026				
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RNF-002	Optimización de carga mediante Cloudflare R2.	Configurar el almacenamiento de recursos y optimizar la carga progresiva de modelos e imágenes.	Jordy Mejia	20	Recursos optimizados para carga web.
RNF-004	Evaluación y optimización de la usabilidad.	Revisar la interfaz y realizar mejoras	Jordy Mejia	16	Interfaz optimizada.

		en la navegación e interacción del usuario.			
RF-008 / RNF-005	Integración de compatibilidad con WebXR.	Implementar el soporte para dispositivos de realidad virtual y modo estereoscópico.	Alexander Quizhpe	24	Compatibilidad con WebXR implementada.
-	Ajustes del Sprint.	Integrar las funcionalidades desarrolladas y realizar pruebas preliminares.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	20	Incremento funcional validado.

Sprint Backlog 7. El Sprint 7 está orientado a fortalecer la arquitectura del sistema y mejorar su calidad técnica. Por lo cual se organizó en una estructura modular del proyecto, además se documentaron los principales componentes del código fuente y se realizaron pruebas de compatibilidad en navegadores compatibles con WebGL, permitiendo garantizar la mantenibilidad y escalabilidad del recorrido virtual. La planificación correspondiente a esta iteración se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13

Planificación del Sprint 7

Sprint:	7				
Fecha Inicio:	29/06/2026				
Fecha de Finalización:	10/07/2026				
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables

RBF-006	Organización de la arquitectura del proyecto.	Reestructurar los módulos del sistema para facilitar futuras ampliaciones.	Alexander Quizhpe	16	Arquitectura organizada y escalable.
RNF-007	Modularización y documentación del código fuente.	Organizar el código en módulos y documentar los principales componentes.	Alexander Quizhpe	20	Código modular y documentado.
RNF-001	Verificación de compatibilidad con navegadores.	Realizar pruebas de funcionamiento en Chrome, Edge y otros navegadores compatibles con WebGL.	Jordy Mejia	16	Compatibilidad multiplataforma validada.
-	Integración del Sprint.	Consolidar las funcionalidades implementadas y realizar pruebas de integración.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	28	Incremento funcional integrado.

Sprint Backlog 8. El Sprint 8 corresponderá a la fase final del desarrollo del recorrido virtual. Durante esta iteración se efectuaron pruebas de funcionamiento en diferentes dispositivos, además de que se corrigieran las incidencias detectadas en las mismas, también se verificara el cumplimiento de los requerimientos definidos y se consolidara la documentación técnica del proyecto para su entrega final. En la Tabla 14 se presenta la planificación detallada del Sprint 8.

Tabla 14

Planificación del Sprint 8

Sprint:		8			
Fecha Inicio:		13/07/2026			
Fecha de Finalización:		30/07/2026			
Código	Descripción	Actividades a desarrollar	Responsable	Tiempo (Horas)	Entregables
RNF-005	Configuración del repositorio GitHub y control de versiones	Ejecutar pruebas en computadoras, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual.	Jordy Mejia	24	Funcionamiento validado en múltiples plataformas.
RF-001 a RF-008 RNF-001 a RNF-008	Configuración del entorno de despliegue	Verificar el cumplimiento de los requerimientos, corregir errores y optimizar el funcionamiento general del sistema.	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	40	Sistema validado y estable.
-	Documentación técnica del proyecto.	Consolidar la documentación en el README.md del repositorio de GitHub, además de documento de UIC y registrar las	Jordy Mejia, Alexander Quizhpe	50	Documentación en el repositorio del proyecto y documento de UIC.

observaciones
finales del
desarrollo.

Criterios de Aceptación de los Sprint

Los criterios de aceptación constituyen las condiciones mínimas que deberán cumplirse para considerar satisfactorio el resultado obtenido al finalizar cada Sprint. Estos criterios permiten verificar que las funcionalidades implementadas y los componentes desarrollados cumplen con los requerimientos funcionales, no funcionales y del sistema definidos previamente para el proyecto. Asimismo, facilitan la validación de cada incremento de software antes de continuar con la siguiente iteración del desarrollo.

A continuación, se presentan los criterios de aceptación establecidos para cada Sprint del proyecto.

Criterios de aceptación del Sprint 1. El Sprint 1 estará enfocado en la preparación del entorno de desarrollo y en la optimización de los modelos tridimensionales que servirán como base para el recorrido virtual. Por lo cual, los criterios de aceptación estarán orientados a verificar la correcta configuración del entorno de trabajo y la disponibilidad de los modelos optimizados para su integración. La Tabla 15 presenta los criterios de aceptación definidos para este Sprint.

Tabla 15

Criterios de aceptación del Sprint 1

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-01	El repositorio del proyecto deberá encontrarse correctamente configurado.	El repositorio deberá contener la estructura inicial del proyecto, el historial de versiones y las ramas principales definidas para el desarrollo colaborativo.	Sistema
CA-02	El entorno Docker deberá ejecutar correctamente la aplicación.	El contenedor deberá iniciar sin errores y permitir la ejecución del entorno de desarrollo.	Sistema

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-03	Los modelos tridimensionales deberán representar correctamente el Bloque A.	Los modelos optimizados deberán conservar la geometría, dimensiones y apariencia arquitectónica del edificio.	Funcional
CA-04	Los modelos deberán encontrarse optimizados para su publicación web.	El nivel de detalle y el número de polígonos deberán permitir un rendimiento adecuado durante el renderizado.	No funcional

Criterios de aceptación del Sprint 2. El Sprint 2 tiene como misión construir la escena principal del recorrido virtual e incorporar los modelos 3D optimizados dentro del motor gráfico Babylon.js. Los criterios que se van a definir, permiten contrastar la correcta actuación del escenario 3D y la adecuada visualización de los modelos que se incorporan. Los criterios correspondientes a este Sprint se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16

Criterios de aceptación del Sprint 2

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-05	Los modelos GLB deberán cargarse correctamente.	Todos los modelos deberán visualizarse sin errores de geometría o materiales.	Funcional
CA-06	La escena principal deberá inicializarse correctamente.	La cámara, iluminación y escenario deberán cargarse sin errores al iniciar la aplicación.	Funcional
CA-07	La representación gráfica deberá mantenerse estable.	La integración de los modelos no deberá producir errores de renderizado ni afectar la estabilidad del recorrido.	No funcional
CA-08	La estructura del proyecto deberá mantenerse organizada.	Los recursos deberán conservar una estructura ordenada que facilite futuras integraciones.	Sistema

Criterios de aceptación del Sprint 3. El Sprint 3 estará orientado al desarrollo de la navegación tridimensional y a la configuración de los mecanismos de interacción. Los criterios de aceptación permitirán comprobar que el desplazamiento del usuario se realice de manera segura y fluida. En la Tabla 17 se presenta los criterios establecidos para esta iteración.

Tabla 17

Criterios de aceptación del Sprint 3

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-09	Los controles de navegación deberán responder correctamente.	El usuario deberá desplazarse libremente utilizando teclado, ratón o controles táctiles.	Funcional
CA-10	Las colisiones deberán impedir el atravesamiento de objetos.	El usuario no deberá atravesar paredes, pisos u otros elementos arquitectónicos.	Funcional
CA-11	La navegación deberá mantenerse fluida.	El recorrido deberá conservar una tasa estable de fotogramas durante la exploración.	No funcional
CA-12	La iluminación deberá favorecer la visualización del recorrido.	Los elementos del escenario deberán visualizarse correctamente sin afectar el rendimiento.	No funcional

Criterios de aceptación del Sprint 4. El Sprint 4 incorporará los elementos interactivos que permiten presentar información de la institución durante el recorrido. Asimismo, se implementará el proceso de integración continua para automatizar las compilaciones y despliegues del proyecto, en la Tabla 18 se presentan los criterios de aceptación correspondientes.

Tabla 18*Criterios de aceptación del Sprint 4*

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-13	Los puntos interactivos deberán responder correctamente.	Cada punto deberá mostrar la información asociada cuando el usuario interactúe con él.	Funcional
CA-14	Los recursos multimedia deberán visualizarse correctamente.	Imágenes, videos y documentos deberán abrirse sin errores dentro del recorrido.	Funcional
CA-15	GitHub Actions deberá ejecutar el flujo de integración continua.	Cada actualización enviada al repositorio deberá generar automáticamente la compilación y despliegue configurados.	Sistema
CA-16	La interacción no deberá afectar el rendimiento general.	La incorporación de elementos interactivos deberá mantener la fluidez del recorrido.	No funcional

Criterios de aceptación del Sprint 5. El Sprint 5 estará orientado a mejorar la experiencia de usuario mediante la incorporación de la pantalla de carga, un mini mapa y las fotografías panorámicas de 360°. Los criterios que están definidos permitirán comprobar la correcta integración de estos componentes dentro del recorrido virtual, por lo cual los criterios establecidos para este Sprint se muestran más detalle en la Tabla 19.

Tabla 19*Criterios de aceptación del Sprint 5*

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-17	La pantalla de carga deberá informar el progreso de inicialización.	El usuario deberá visualizar el estado de carga antes del ingreso al recorrido.	Funcional
CA-18	El mini mapa deberá mostrar la ubicación del usuario.	La posición del usuario deberá actualizarse dinámicamente durante la navegación.	Funcional

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-19	Las fotografías panorámicas deberán visualizarse correctamente.	Las imágenes 360° deberán cargarse y permitir la exploración del entorno correspondiente.	Funcional
CA-20	La integración de estos componentes no deberá incrementar significativamente el tiempo de carga.	El rendimiento general deberá mantenerse dentro de los límites establecidos para el proyecto.	No funcional

Criterios de aceptación del Sprint 6. El Sprint 6 estará orientado a optimizar el rendimiento del recorrido virtual y ampliar su compatibilidad con dispositivos de realidad virtual. Los criterios de aceptación permitirán verificar la eficiencia del proceso de carga y el correcto funcionamiento de las tecnologías inmersivas incorporadas. En la Tabla 20 se presentan los criterios correspondientes a este Sprint.

Tabla 20

Criterios de aceptación del Sprint 6

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-21	La carga progresiva deberá reducir los tiempos de espera.	Los recursos deberán cargarse de forma progresiva sin afectar la navegación.	No funcional
CA-22	La interfaz deberá mantener una navegación intuitiva.	Los usuarios deberán identificar fácilmente las funciones principales del recorrido.	No funcional
CA-23	El recorrido deberá ejecutarse en dispositivos compatibles con WebXR.	La aplicación deberá permitir su utilización mediante gafas de realidad virtual compatibles.	Funcional
CA-24	El modo estereoscópico deberá funcionar en dispositivos móviles compatibles.	El recorrido deberá visualizarse correctamente utilizando el modo estereoscópico del dispositivo.	Funcional

Criterios de aceptación del Sprint 7. El Sprint 7 tiene como finalidad fortalecer la arquitectura interna del sistema y garantizar la compatibilidad del recorrido virtual en diferentes navegadores web. Los criterios que están definidos permitirán verificar la mantenibilidad y escalabilidad del sistema desarrollado. Los criterios de aceptación establecidos para este Sprint se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Criterios de aceptación del Sprint 7

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-25	La arquitectura del sistema deberá facilitar futuras ampliaciones.	La incorporación de nuevos bloques deberá realizarse sin modificar la estructura principal del proyecto.	No funcional
CA-26	El código fuente deberá mantenerse modular y documentado.	Cada módulo deberá encontrarse organizado y documentado para facilitar su mantenimiento.	No funcional
CA-27	El recorrido deberá ejecutarse correctamente en los navegadores compatibles.	La aplicación deberá funcionar en Chrome, Edge y otros navegadores con soporte WebGL.	Funcional
CA-28	La integración de los componentes deberá mantenerse estable.	La incorporación de nuevos módulos no deberá afectar el funcionamiento del recorrido.	Sistema

Criterios de aceptación del Sprint 8. El Sprint 8 corresponde a la etapa de validación final del recorrido virtual. Durante esta iteración se verificará el cumplimiento de todos los requerimientos definidos para el proyecto mediante pruebas funcionales, pruebas de compatibilidad y la consolidación de la documentación técnica. La Tabla XX presenta los criterios de aceptación establecidos para el Sprint final.

Tabla 22*Criterios de aceptación del Sprint 8*

ID	Criterio de aceptación	Descripción	Tipo
CA-29	El recorrido deberá funcionar correctamente en todos los dispositivos evaluados.	La aplicación deberá ejecutarse sin errores en computadoras, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual compatibles.	Funcional
CA-30	Todos los requerimientos definidos deberán encontrarse implementados.	Se verificará el cumplimiento de los requerimientos funcionales, no funcionales y del sistema establecidos en la investigación.	Funcional
CA-31	El sistema deberá mantener estabilidad durante las pruebas finales.	No deberán presentarse errores críticos durante la ejecución continua del recorrido.	No funcional
CA-32	La documentación técnica deberá encontrarse completa y actualizada en el archivo README.md del proyecto.	La documentación deberá reflejar la arquitectura, componentes y funcionamiento final del sistema desarrollado.	Sistema

Tipo y diseño de investigación

De acuerdo con su alcance, la investigación es de tipo descriptiva, ya que tuvo como propósito desarrollar y evaluar un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, describiendo sus características funcionales, así como su rendimiento, usabilidad y accesibilidad como herramienta de apoyo para la difusión institucional. Este tipo de investigación permitió analizar el comportamiento del sistema en un contexto real, sin establecer relaciones de causa y efecto entre las variables de estudio.

En cuanto a su diseño, la investigación es no experimental, debido a que las variables no fueron manipuladas deliberadamente. El estudio se centró en el desarrollo del recorrido virtual y en la evaluación de su funcionamiento mediante pruebas técnicas y la aplicación de instrumentos dirigidos a los usuarios finales.

Asimismo, presenta un corte transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un único momento, durante la feria estudiantil "Del Cole a la U", una vez finalizado el desarrollo del sistema. La información obtenida permitió evaluar el rendimiento de la aplicación y la percepción de usabilidad de los usuarios.

Respecto a las fuentes de información, la investigación es de carácter documental-bibliográfica y de campo. La primera se sustentó en la revisión de artículos científicos, libros, trabajos académicos, normas y documentación técnica relacionada con recorridos virtuales, modelado tridimensional, motores gráficos web, usabilidad y accesibilidad. La investigación de campo comprendió el levantamiento de requerimientos funcionales mediante una entrevista informal con el principal interesado del proyecto, el reconocimiento de las instalaciones del Bloque A para la recopilación de información y la ejecución de pruebas técnicas, complementadas con la aplicación de la encuesta SUS a los usuarios del recorrido virtual.

Población y muestra

La investigación tuvo como población objetivo a los estudiantes de tercero de bachillerato del cantón Santo Domingo, debido a que representan uno de los principales grupos potenciales de futuros aspirantes a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo y constituyen el público objetivo para el cual se plantea el recorrido virtual como herramienta de difusión institucional.

De acuerdo con la información publicada por el Diario La Hora, durante el período académico 2025-2026 egresaron aproximadamente 9 000 estudiantes de tercero de bachillerato en el cantón Santo Domingo, cifra que fue considerada como referencia para la población objeto de estudio [32].

Considerando el tamaño de la población y las limitaciones de tiempo y recursos para la ejecución de la investigación, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Según Scharager & Reyes, este tipo de muestreo resulta adecuado en investigaciones aplicadas orientadas a la evaluación de prototipos tecnológicos, donde el interés principal está

centrado en obtener información suficiente para valorar el funcionamiento y la experiencia de uso del sistema por parte de los usuarios [33].

La muestra estuvo conformada por 105 estudiantes de tercero de bachillerato del cantón Santo Domingo, quienes interactuaron con el recorrido virtual y posteriormente participaron en la evaluación de la aplicación. La información obtenida mediante esta muestra permitió analizar la percepción de los usuarios respecto a la facilidad de uso del sistema, así como verificar el comportamiento de la aplicación en diferentes dispositivos, como herramienta de apoyo a la difusión institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo.

Técnica e instrumento

Para la recolección de la información se emplearon las técnicas de observación sistemática y encuesta, las cuales permitieron evaluar el desempeño técnico del recorrido virtual, además de la percepción de los usuarios respecto a la facilidad de uso del sistema.

La técnica de observación sistemática, fue utilizada para realizar la evaluación funcional y técnica de la aplicación mediante de pruebas de caja negra, las cuales están orientadas a verificar el correcto funcionamiento del recorrido virtual sin analizar su estructura interna. Como instrumento se utilizó una ficha de observación, en la cual se registraron los resultados obtenidos durante las pruebas relacionadas con el cumplimiento de los requerimientos funcionales, FPS, el consumo de recursos del sistema tal como memoria RAM y CPU, además como la compatibilidad con diferentes dispositivos y navegadores web, así como el comportamiento general de la aplicación durante su ejecución.

Por otro lado, junto con los pasos para poder evaluar la accesibilidad del recorrido virtual, se tomaron como referencia para este estudio las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (WCAG) propuestas por el W3C. La evaluación llevada a cabo consistió en comprobar el cumplimiento de unos criterios específicos en relación con la percepción de la información, la operatividad de la interfaz, la comprensión del contenido y la robustez de la

aplicación, atendiendo a aquellos aspectos que correspondían a la aplicación del recorrido virtual.

Para conocer la percepción de los usuarios sobre la facilidad de uso del sistema se empleó la técnica de encuesta, utilizando como instrumento el cuestionario SUS, desarrollado por Brooke en el año de 1986, el cual es ampliamente reconocido y empleado para la evaluación de la usabilidad de sistemas interactivos. El cuestionario SUS estuvo conformado por diez preguntas cerradas, estructuradas mediante una escala de Likert de cinco niveles, que permitió medir aspectos relacionados con la facilidad de aprendizaje, simplicidad de uso, confianza durante la interacción, integración de las funcionalidades y satisfacción general del usuario respecto al recorrido virtual desarrollado.

La encuesta fue aplicada de forma digital mediante Google Forms, justo después de que los participantes concluyeron el recorrido virtual, y la información obtenida fue analizada únicamente con fines académicos, controlándose la confidencialidad y el anonimato.

Validación y confiabilidad del instrumento

Con el propósito de contribuir a la calidad de los instrumentos empleados en la investigación, se llevaron a cabo procedimientos para la validez del instrumento acorde con la naturaleza de cada uno de ellos.

Para la evaluación de la accesibilidad, se empleó una lista de verificación basada en las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web siendo más específicos en la WCAG 2, publicadas por el World Wide Web Consortium. Al tratarse de un estándar internacional reconocido y aceptado para la evaluación de la accesibilidad de aplicaciones web, no fue necesario realizar un proceso adicional de validación de este instrumento, utilizándose los criterios oficiales establecidos por dicho organismo.

En cuanto a la evaluación de la usabilidad, se utilizó el cuestionario SUS, la cual es un instrumento estandarizado desarrollado por Brooke en 1986 y ampliamente empleado para medir la percepción de usabilidad de sistemas. Debido a que el cuestionario SUS ha sido

validado en varias investigaciones y presenta altos niveles de confiabilidad reportados en la literatura científica, no fue necesario realizar un proceso adicional de validación de contenido. Además, respecto a la confiabilidad, el cuestionario SUS cuenta con amplia evidencia empírica que respalda su consistencia interna, reportando valores del coeficiente Alfa de Cronbach generalmente superiores a 0.80, lo que lo convierte en un instrumento confiable para la evaluación de la usabilidad de aplicaciones y sistemas interactivos [28].

Consideraciones éticas

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo respetando los principios éticos que rigen la investigación científica, garantizando el respeto a los derechos, la dignidad, la privacidad y la participación voluntaria de las personas involucradas en el estudio.

- **Tipo de participantes:** Se consideraron como población objeto de estudio, a los estudiantes de tercero de bachillerato del cantón Santo Domingo quienes participaron en la evaluación de la usabilidad del recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, ya que la participación de los estudiantes estaba limitada a la interacción con la aplicación web y al posterior llenado del cuestionario SUS.
- **Consentimiento informado:** Antes de la aplicación de los instrumentos se indicó a los participantes respecto a los objetivos de la investigación, las actividades que debían concretar, la naturaleza voluntaria de su participación y el tratamiento de la información recopilada.
- **Confidencialidad:** La información obtenida durante la investigación fue manejada de acuerdo a un carácter confidencial y anónimo, para evitar la identificación de los participantes. La información recolectada fue utilizada solamente para el análisis de resultados de la investigación.

- **Respeto a la normativa institucional:** Durante el desarrollo de la investigación se respetaron las disposiciones éticas establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, así como los principios de integridad, objetividad y responsabilidad científica. También, durante el desarrollo del recorrido virtual se utilizó información pública e institucional sin comprometer información sensible.

Capítulo IV

El presente capítulo expone análisis y discusión de los resultados obtenidos durante el desarrollo del recorrido virtual interactivo 3D del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo. En primer lugar, se presentan resultados correspondientes a los sprints ejecutados con la metodología Scrum, detallando incrementos desarrollados, funcionalidades implementadas y cumplimiento de las tareas planificadas en cada etapa del proyecto. Posteriormente, se describen resultados derivados de la adaptación y optimización de los modelos tridimensionales, implementación de la aplicación web mediante Babylon.js e integración de diferentes componentes del sistema.

Los resultados se analizan en función de los objetivos específicos planteados, permitiendo determinar el cumplimiento de requerimientos funcionales y no funcionales definidos durante la fase metodológica. Asimismo, se describen las etapas de desarrollo, integración de los componentes del sistema y pruebas ejecutadas para evaluar aspectos relacionados con la navegación, rendimiento y accesibilidad de la aplicación.

Análisis y discusión de los resultados

Resultados de los incrementos funcionales del recorrido virtual

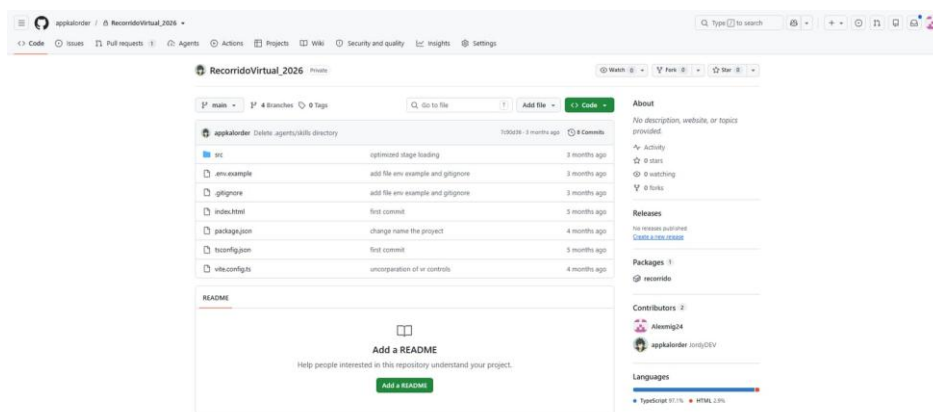
Como parte de la aplicación de la metodología Scrum, el desarrollo del recorrido virtual se organizó en ocho Sprints, cada uno orientado al cumplimiento de objetivos específicos y a la entrega de incrementos funcionales del producto. En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante cada iteración, describiendo funcionalidades implementadas, mejoras incorporadas y productos generados al finalizar cada Sprint. Esta organización permite evidenciar la evolución progresiva del sistema hasta obtener una versión estable y completamente funcional para su posterior evaluación mediante pruebas de rendimiento, usabilidad, accesibilidad y compatibilidad.

Resultados del Sprint 1

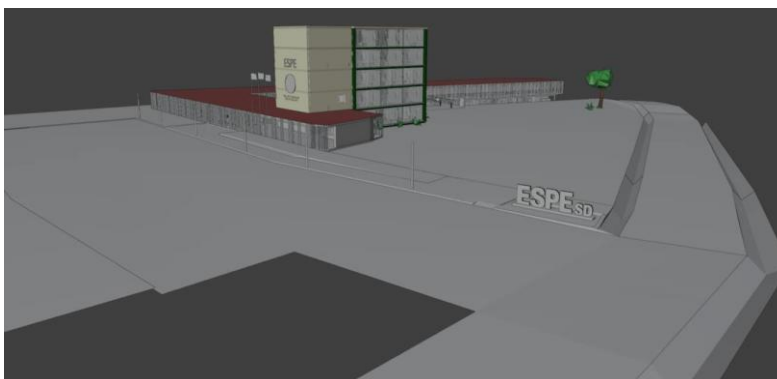
El Sprint 1 tuvo como objetivo establecer la infraestructura inicial del proyecto y preparar los recursos necesarios para desarrollar el recorrido virtual. Como resultado de esta iteración, se configuró el repositorio del proyecto mediante GitHub como sistema de control de versiones, definiendo la estructura de ramas y el flujo de trabajo colaborativo. Asimismo, se implementó el entorno de desarrollo mediante Docker que permitió ejecutar la aplicación localmente bajo una configuración homogénea para todos los integrantes del proyecto. La Figura 4 presenta el repositorio creado en GitHub y la estructura inicial establecida para la gestión del código fuente.

Figura 4

Repositorio del proyecto y estructura inicial implementada en GitHub



En esta iteración también se realizó la actualización y optimización al modelo tridimensional del Bloque A. El proceso incluyó corrección de elementos geométricos, reducción de complejidad poligonal y adecuación de materiales y texturas para su posterior integración en Babylon.js. El resultado de este proceso se muestra en la Figura 5.

Figura 5*Modelo tridimensional del Bloque A optimizado*

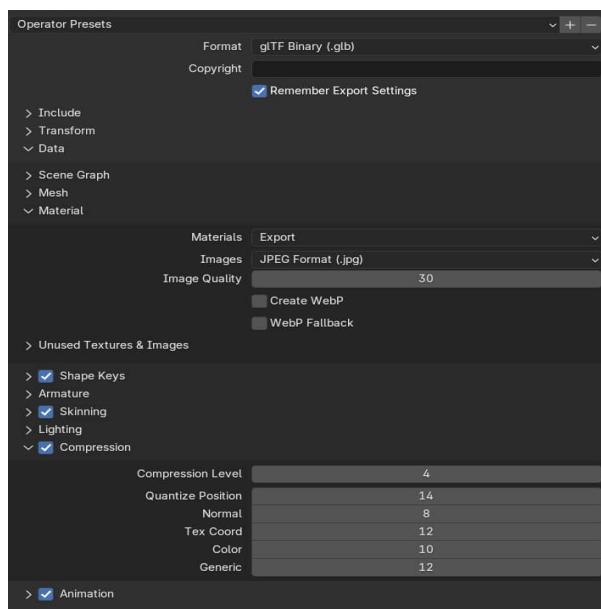
La configuración del repositorio y del entorno de desarrollo permitió establecer condiciones homogéneas para implementar y mejorar el control de los cambios realizados durante el proyecto. Por su parte, la optimización del modelo tridimensional resultó fundamental para facilitar el procesamiento en entornos web y preparar una base gráfica adecuada para funcionalidades posteriores. En consecuencia, los resultados del Sprint 1 proporcionaron infraestructura técnica y recursos iniciales necesarios para continuar con la integración de escenas y el desarrollo progresivo del recorrido virtual.

Resultados del Sprint 2

El Sprint 2 estuvo orientado a construir la escena principal del recorrido virtual y la integración de los modelos tridimensionales optimizados dentro de Babylon.js. Como resultado de esta iteración, los modelos arquitectónicos del Bloque A fueron exportados en formato GLB posteriormente validados para comprobar la correcta conservación de su geometría, materiales y texturas, favoreciendo su compatibilidad con el motor gráfico. La Figura 6 presenta el proceso de exportación y validación de los modelos tridimensionales utilizados durante esta etapa de desarrollo.

Figura 6

Validación de los modelos exportados en formato GLB



Posteriormente, se configuró la escena principal del recorrido virtual mediante la definición de los parámetros fundamentales incluyendo cámara, iluminación y estructura base del escenario. La Figura 7 muestra la configuración inicial de la escena desarrollada en Babylon.js.

Figura 7

Configuración de la escena principal



Finalmente, los modelos tridimensionales fueron incorporados al entorno virtual, obteniéndose un primer prototipo funcional que permitió verificar una correcta representación

de la infraestructura del Bloque A y establecer bases para implementar las demás funcionalidades de navegación e interacción desarrolladas en las siguientes iteraciones. El resultado obtenido puede observarse en la Figura 8, correspondiente al primer prototipo funcional del recorrido virtual.

Figura 8

Primer prototipo funcional con los modelos integrados



Los resultados obtenidos durante este Sprint permitieron validar que los recursos tridimensionales se implementaron correctamente dentro del motor Babylon.js y se pudo comprobar que el entorno virtual se puede visualizar de manera adecuada bajo condiciones reales de ejecución. Asimismo, la generación del primer prototipo funcional redujo la incertidumbre asociada a compatibilidad entre los modelos optimizados y el motor gráfico, proporcionando una base estable para incorporar posteriormente las funcionalidades de interacción, navegación y optimización del recorrido virtual.

Resultados del Sprint 3

El Sprint 3 estuvo orientado a desarrollar las funcionalidades esenciales de navegación dentro del recorrido virtual, permitiendo que el usuario pudiera interactuar con el entorno tridimensional de manera fluida y controlada. Como resultado se implementó el sistema de navegación en primera persona, incorporando controles de desplazamiento y rotación necesarios para explorar el Bloque A. La Figura 9 muestra la implementación del sistema de navegación tridimensional.

Figura 9

Implementación del sistema de navegación tridimensional



Por otro lado, se configuraron las físicas del entorno implementando colisiones, gravedad y límites de navegación, evitando que el usuario atravesase objetos o abandonase áreas definidas del recorrido. La Figura 10 presenta la configuración de estos mecanismos de control que contribuyen a mantener una interacción coherente. Paralelamente, se realizaron optimizaciones en los parámetros de renderizado, iluminación y materiales con el propósito de mejorar el rendimiento y proporcionar una correcta experiencia de navegación.

Figura 10

Configuración de colisiones y límites de navegación del entorno



Finalmente, las funcionalidades desarrolladas durante el Sprint fueron integradas en una única versión funcional del recorrido virtual, esta fue sometida a pruebas preliminares para verificar el funcionamiento de los mecanismos de navegación e interacción con el escenario. El

resultado de esta integración puede observarse en la Figura 11, correspondiente a la versión funcional del recorrido virtual obtenida al finalizar la iteración.

Figura 11

Versión funcional del recorrido virtual con funcionalidades



Los resultados alcanzados durante este Sprint permitieron consolidar las funcionalidades básicas de exploración del entorno tridimensional, proporcionando una navegación controlada y coherente con la distribución física del Bloque A. El incorporar colisiones, gravedad y restricciones de movimiento buscó mejorar la interacción del usuario con el escenario virtual, mientras que las optimizaciones aplicadas al proceso de renderizado contribuyeron a incrementar la estabilidad del sistema durante su ejecución. En conjunto, este incremento funcional constituyó una base sólida para integrar posteriormente las herramientas de interacción avanzada, los puntos de interés y los mecanismos de gamificación desarrollados en las siguientes iteraciones.

Resultados del Sprint 4

El Sprint 4 estuvo orientado a incorporar mecanismos de interacción, permitiendo que los usuarios accedieran a información institucional mediante elementos distribuidos estratégicamente en las diferentes áreas del Bloque A. Como resultado de esta iteración, se implementaron puntos de información interactivos (hotspots), facilitando consultar contenido relevante mientras se navega sin interrumpir la experiencia del usuario. La Figura 12 muestra la implementación de estos puntos de información dentro del recorrido virtual.

Figura 12

Implementación de los puntos de información interactivos (hotspots)



De forma complementaria, se integraron recursos multimedia asociados a cada punto de interés, incluyendo imágenes, videos y documentos relacionados con los diferentes espacios institucionales. Esta funcionalidad permitió enriquecer el recorrido virtual al proporcionar información contextual directamente desde el entorno tridimensional. La Figura 13 presenta un ejemplo de la visualización de los recursos multimedia asociados a uno de los puntos de interés implementados.

Figura 13

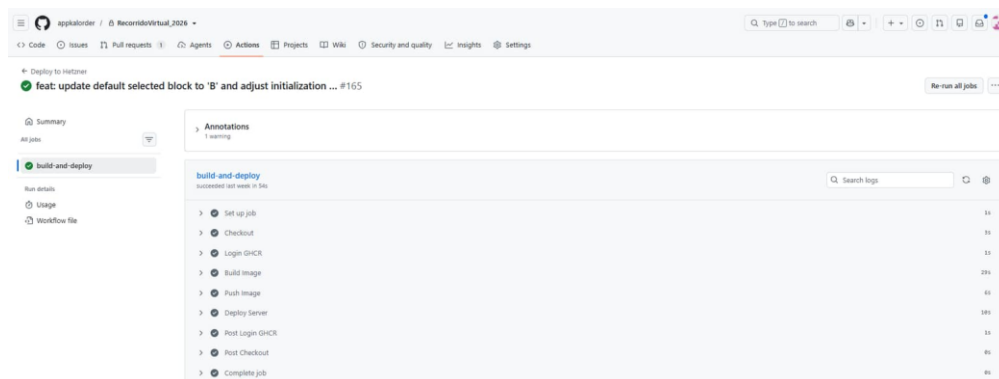
Visualización de los recursos multimedia asociados a un punto de interés



Asimismo, se configuró un flujo de integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions, para automatizar el proceso de construcción y despliegue de la aplicación para facilitar la incorporación de nuevas funcionalidades y validar cambios durante el desarrollo. La Figura 14 muestra el flujo de integración y despliegue continuo configurado para el proyecto.

Figura 14

Flujo de integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions



Finalmente, se realizaron pruebas de integración y ajustes generales, obteniéndose una versión un poco funcional del sistema con las principales características de interacción implementadas y preparada para la incorporación de las funcionalidades finales del proyecto.

Los resultados obtenidos durante este Sprint representaron un avance significativo en la funcionalidad del recorrido virtual, al transformar un entorno orientado a la navegación en una plataforma capaz de ofrecer contenido informativo de manera interactiva. La incorporación de hotspots y recursos multimedia enriqueció la experiencia del usuario al facilitar el acceso contextual a la información institucional sin abandonar el entorno tridimensional. De igual forma, la implementación del flujo de integración y despliegue continuo optimizó el proceso de desarrollo, reduciendo el tiempo requerido para validar cambios y facilitando incorporar nuevas funcionalidades en las próximas iteraciones.

Resultados del Sprint 5

El Sprint 5 estuvo orientado a mejorar la experiencia de navegación incorporando funcionalidades que incrementaran la inmersión y facilitaran al usuario orientarse dentro del recorrido virtual. Como resultado de esta iteración, se implementó una pantalla de carga con indicador de progreso, proporcionando retroalimentación visual al iniciar la aplicación y mejorando la percepción del tiempo de espera. La Figura 15 muestra la pantalla de carga desarrollada para el recorrido virtual.

inmersivas de alta calidad desde los puntos de interés definidos dentro del escenario tridimensional. La Figura 17 muestra la integración de estas fotografías panorámicas dentro del recorrido virtual.

Figura 17

Integración de fotografías panorámicas de 360°



Los resultados obtenidos durante este Sprint fortalecieron significativamente la experiencia de navegación al incorporar mecanismos que facilitaron la orientación espacial e inmersión del usuario dentro del entorno virtual. La implementación del minimapa redujo la probabilidad de desorientación cuando se explora del Bloque A, mientras que integrar fotografías panorámicas de 360° enriqueció el contenido informativo al ofrecer una representación más detallada de los espacios reales de la institución. Asimismo, la pantalla de carga con indicador de progreso proporcionó retroalimentación visual durante la inicialización de la aplicación, contribuyendo a mejorar la percepción de fluidez durante el acceso al recorrido virtual.

Resultados del Sprint 6

El Sprint 6 estuvo orientado a optimizar el rendimiento del recorrido virtual y ampliar su compatibilidad con tecnologías inmersivas. Como resultado de esta iteración, se implementó un mecanismo de carga de recursos mediante Cloudflare R2 que permite almacenar y distribuir modelos tridimensionales, imágenes y demás recursos multimedia de forma más eficiente. Esta optimización contribuyó a reducir los tiempos de carga de la aplicación y mejorar la experiencia

de navegación en diferentes condiciones de conectividad. La Figura 18 muestra la implementación del mecanismo de carga progresiva mediante Cloudflare R2.

Figura 18

Implementación de Cloudflare R2 para carga de recursos

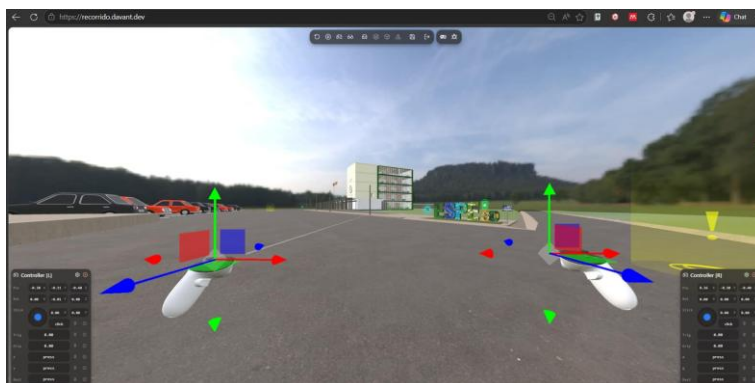


Adicionalmente, se realizaron ajustes de usabilidad enfocados en mejorar la interacción del usuario, optimizando la distribución de los elementos de interfaz, navegación y accesibilidad de las funcionalidades implementadas en iteraciones anteriores. Estas mejoras permitieron ofrecer una experiencia de uso más intuitiva y consistente durante el recorrido virtual.

Finalmente, se incorporó compatibilidad con WebXR, permitiendo ejecutar el recorrido virtual en dispositivos de realidad virtual compatibles, así como el modo estereoscópico disponible en dispositivos móviles. La Figura 19 presenta la ejecución del recorrido virtual mediante dispositivos compatibles con WebXR.

Figura 19

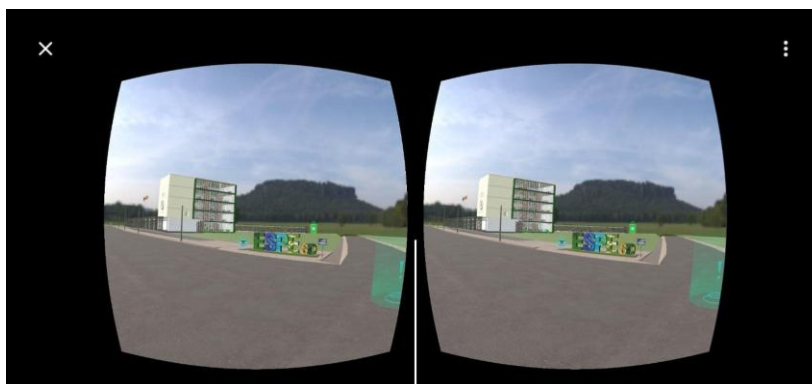
Compatibilidad del recorrido virtual con dispositivos WebXR



Asimismo, la Figura 20 presenta el funcionamiento del recorrido virtual en modo estereoscópico sobre un dispositivo móvil, demostrando la adaptación de la aplicación para este tipo de visualización inmersiva.

Figura 20

Ejecución del recorrido virtual en modo estereoscópico



Una vez integradas estas funcionalidades, se llevaron a cabo pruebas preliminares para verificar el funcionamiento y estabilidad general de la aplicación, obteniéndose un incremento funcional validado y listo para evaluaciones final del sistema.

Los resultados obtenidos durante este Sprint fortalecieron la capacidad del recorrido virtual para operar en distintos entornos tecnológicos, mejorando tanto su rendimiento como su accesibilidad. Implementar carga progresiva de recursos permitió optimizar la distribución del contenido para reducir el impacto de los tiempos de espera durante la navegación. Asimismo, incorporar compatibilidad con WebXR y el modo estereoscópico amplió las posibilidades de utilización del sistema en dispositivos inmersivos, incrementando la versatilidad de la aplicación y preparando el recorrido virtual para su evaluación en diferentes plataformas de acceso.

Resultados del Sprint 7

El Sprint 7 estuvo orientado a fortalecer la arquitectura del recorrido virtual y mejorar la calidad técnica del proyecto con el propósito de facilitar su mantenimiento y futuras ampliaciones. Como resultado de esta iteración, se reorganizó la estructura interna de la aplicación mediante un enfoque modular, separando los componentes reutilizables, los

sistemas de interacción, los elementos de interfaz, los recursos y las escenas tridimensionales.

La estructura principal de directorios y archivos del proyecto se presenta a continuación.

RecorridoVirtual_2026/

```
└─ RecorridoVirtual_2026
   └─ .github/
      └─ workflows/
   └─ public/
      └─ audio/
      └─ images/
      └─ textures/
   └─ scripts/
   └─ src/
      └─ analytics/
      └─ core/
         └─ components/
         └─ config/
         └─ data/
         └─ interfaces/
         └─ systems/
         └─ ui/
         └─ utils/
      └─ scenes/
         └─ BloqueA/
            └─ components/
            └─ data/
         └─ BloqueB/
            └─ components/
            └─ data/
      └─ styles/
└─ docker-compose.yml
└─ Dockerfile
└─ package.json
└─ README.md
```

Asimismo, se llevó a cabo una estructura modularizar y documentación del código fuente, organizando los principales módulos de la aplicación y documentando su funcionamiento para facilitar futuras tareas de mantenimiento y evolución del software. Estas actividades contribuyeron a mejorar legibilidad y simplificar el proceso de incorporación de

nuevas funcionalidades. La Figura 21 muestra la estructura modular y organización del código fuente desarrolladas durante esta iteración.

Figura 21

Estructura del código fuente documentada y organizada en módulos

```

9  export interface CharacterAvatarOptions {
10     /** Escala uniforme (Mixamo / RPM suelen requerir 0.04-0.1 dependiendo del export). */
11     scale?: number;
12     /** Compensación vertical para alinear los pies con la base del collider. */
13     yOffset?: number;
14     /** Rotación Y inicial. Mixamo exporta mirando -Z; usa Math.PI si aparece de espaldas. */
15     yawOffset?: number;
16     /** Aliases de animación: { walk: ["Walking", "Walk"] }. Gana el primer candidato que exista. */
17     animationAliases?: Record<string, string[]>;
18 }
19
20 /**
21  * Carga un personaje GLB rigado (Mixamo, RPM, etc.), lo parenta a un
22  * TransformNode, indexa sus AnimationGroups por nombre y expone "play(name)".
23  * Agnóstico al modelo: ajustar escala/offset/aliases.
24  */
25 export class CharacterAvatar {
26     private scene: Scene;
27     private container?: AssetContainer;
28     private root: TransformNode;
29     private url: string;
30     private animations = new Map<string, AnimationGroup>();
31     /** Por alias, TODOS los grupos que existen (p.ej. idle + [Idle_A..F]) para playRandom. */
32     private aliasGroups = new Map<string, AnimationGroup[]>();
33     private currentAnim?: AnimationGroup;
34     public loaded = false;
35
36     constructor(scene: Scene, parent: TransformNode, url: string) {
37         this.scene = scene;
38         this.url = url;
39         this.root = new TransformNode("characterAvatarRoot", scene);
40         this.root.parent = parent;
41     }

```

Finalmente, se realizaron pruebas de compatibilidad en navegadores con soporte para WebGL, verificando el correcto funcionamiento del recorrido virtual en diferentes plataformas de ejecución. La Figura 22 presenta los resultados de las pruebas de compatibilidad realizadas en distintos navegadores. Posteriormente, todas las funcionalidades desarrolladas durante el Sprint fueron integradas y sometidas a pruebas de integración, obteniéndose una versión estable de la aplicación preparada para la fase final de validación y evaluación del proyecto.

Figura 22

Pruebas de compatibilidad en navegadores con soporte para WebGL





Los resultados obtenidos durante este Sprint mejoraron la calidad técnica del recorrido virtual al consolidar una arquitectura más organizada y preparada para futuras ampliaciones. Modularizar el código facilitó el mantenimiento e incorporación de nuevas funcionalidades sin afectar los componentes existentes, mientras que documentarlo técnicamente favoreció la comprensión de la estructura interna de la aplicación. Asimismo, las pruebas de compatibilidad confirmaron el correcto funcionamiento del sistema en distintos navegadores con soporte para WebGL, incrementando la confiabilidad del recorrido virtual antes de su fase final de evaluación.

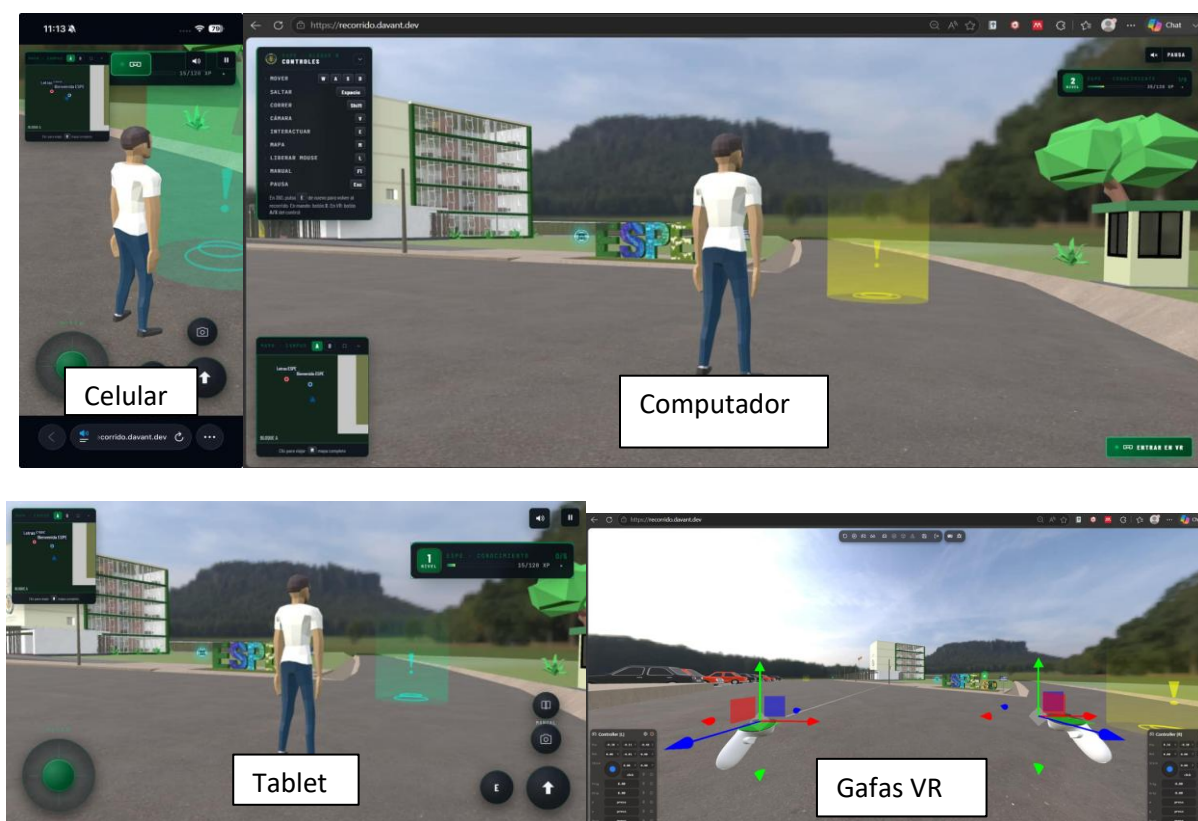
Resultados del Sprint 8

El Sprint 8 correspondió a la fase final de desarrollo, enfocándose en validar integralmente el sistema, corregir incidencias y consolidar la documentación técnica del proyecto. Como resultado de esta iteración, se realizaron pruebas de funcionamiento en diferentes plataformas, incluyendo computadoras, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual compatibles con WebXR, verificando el desempeño de funcionalidades implementadas y estabilidad de la aplicación en distintos entornos de ejecución.

La Figura 23 muestra las pruebas de funcionamiento realizadas en las diferentes plataformas evaluadas, evidenciando la correcta ejecución del recorrido virtual en cada uno de los entornos considerados durante el proceso de validación.

Figura 23

Pruebas de funcionamiento del recorrido virtual en diferentes plataformas



Por su parte, la Figura 24 muestra la validación del recorrido virtual mediante un dispositivo de realidad virtual compatible con WebXR, confirmando el correcto funcionamiento de las características inmersivas implementadas en la aplicación.

Figura 24

Validación del recorrido virtual en un dispositivo de realidad virtual



Posteriormente, se llevó a cabo la verificación del cumplimiento de los requerimientos funcionales y no funcionales definidos para el proyecto. Durante este proceso se identificaron y corrigieron las incidencias detectadas en las pruebas, además de realizar ajustes finales orientados a optimizar el rendimiento, la interacción del usuario y el comportamiento general del recorrido virtual, obteniéndose una versión estable y lista para su evaluación.

Finalmente, se consolidó la documentación técnica del proyecto implementando el archivo README.md del repositorio de GitHub y elaboración de la documentación correspondiente. La Figura 25 muestra el repositorio del proyecto con la documentación técnica consolidada. Con ello se obtuvo una versión final del recorrido virtual debidamente documentada, facilitando su mantenimiento, despliegue y futuras ampliaciones.

Figura 25

Repositorio del proyecto con la documentación técnica



Los resultados obtenidos durante este Sprint permitieron validar el correcto funcionamiento del recorrido virtual en las plataformas objetivo y confirmar el cumplimiento de los requerimientos establecidos para el proyecto. La corrección de las incidencias identificadas durante las pruebas incrementó estabilidad y confiabilidad de la aplicación antes de su evaluación formal, mientras que consolidar la documentación favoreció la mantenibilidad del software y facilitó futuras tareas de despliegue, actualización y evolución del sistema. Con este Sprint se concluyó el proceso de desarrollo mediante Scrum, obteniéndose una versión

funcional del recorrido virtual preparada para las pruebas de rendimiento, usabilidad, accesibilidad y compatibilidad presentadas en las siguientes secciones.

Navegación y elementos informativos

El análisis de los resultados funcionales demuestra que la plataforma cumplió satisfactoriamente con los objetivos de orientación espacial y transferencia de información, ampliando las capacidades de un recorrido virtual tridimensional convencional mediante la integración de afordancias visuales, tecnología inmersiva dual y mecánicas de gamificación.

Señalética Tridimensional y Guía Visual

Para mitigar la desorientación espacial común en entornos virtuales extensos, se implementaron elementos visuales superpuestos que no existen en el campus real, actuando como vectores de guiado intuitivo. Entre estos elementos destacan los puntos de interés (POI) mediante marcadores volumétricos de luz verde proyectados verticalmente desde el terreno. La Figura 26 muestra la implementación de estos marcadores dentro del recorrido virtual, evidenciando su ubicación sobre los diferentes puntos de interés distribuidos en el Bloque A.

Figura 26

Implementación de los marcadores durante la navegación



Esta solución se inspira en patrones de diseño ampliamente utilizados en aplicaciones interactivas y entornos virtuales, donde los marcadores tridimensionales favorecen la orientación espacial y la localización de objetivos. Al ser visibles desde largas distancias dentro del entorno 3D, estos marcadores captan la atención del usuario sin saturar la interfaz de usuario bidimensional, reduciendo carga cognitiva necesaria en la exploración del espacio.

Integración de Fotografía Panorámica 360° para la Fidelidad Contextual

Como complemento a la geometría 3D, se distribuyeron por todo el campus virtual nodos de interacción que despliegan imágenes panorámicas equirectangulares de 360° correspondientes a los diferentes espacios de la institución. La Figura 27 muestra la implementación de estos puntos de interacción dentro del recorrido virtual y la visualización de una fotografía panorámica al ser seleccionada por el usuario.

Figura 27

Integración de fotografías 360° mediante nodos interactivos



Esta estrategia de fidelidad dual cumple un doble propósito informativo. En primer lugar, permite al usuario contrastar el modelo tridimensional con la infraestructura física real en alta definición, incrementando la percepción de correspondencia entre el entorno virtual y el campus. En segundo lugar, facilita la validación visual de espacios interiores importantes, como laboratorios y salas de docentes, evitando alta complejidad en el modelado tridimensional. Esta decisión contribuye a optimizar el rendimiento de la aplicación sin sacrificar el nivel de detalle informativo ofrecido al usuario.

Gamificación y Mecánicas de Exploración Activa como Herramienta Informativa

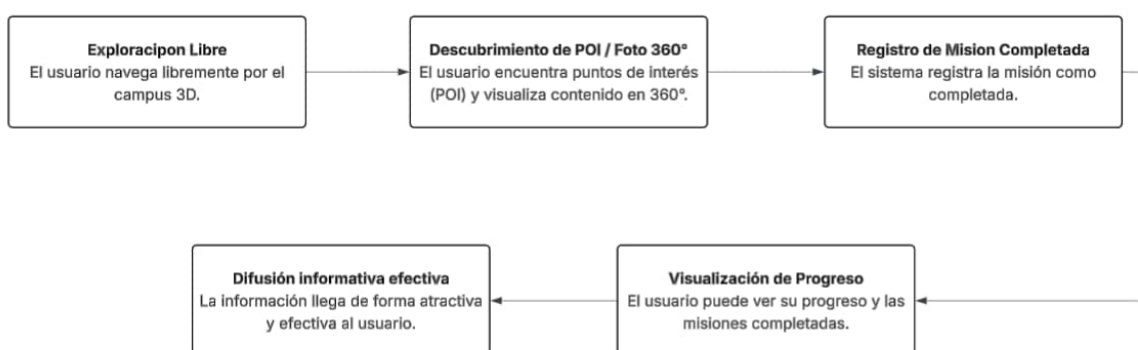
Uno de los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del recorrido virtual fue la incorporación de un esquema de gamificación basado en misiones e incentivos por explorar, este fue diseñado para promover una interacción más activa con el recorrido virtual. Para ello, se implementó un sistema de progresión mediante objetivos distribuidos en diferentes puntos

de interés del Bloque A, permitiendo que el usuario descubra información institucional conforme avanza en la exploración del entorno.

La Figura 28 presenta el flujo de interacción definido para esta mecánica de gamificación implementada, ilustrando la secuencia de acciones que sigue el usuario para completar las misiones y avanzar durante el recorrido virtual.

Figura 28

Flujo del proceso de gamificación durante la navegación



Por otra parte, la Figura 29 muestra su implementación de esta mecánica dentro del recorrido virtual, donde se visualizan el sistema de misiones y el progreso alcanzado por el usuario durante la exploración del entorno.

Figura 29

Implementación del sistema de misiones y progreso



La estructura gamificada favorece la navegación orientada a objetivos mediante pequeños desafíos interactivos que incentivan al usuario a descubrir la totalidad de los bloques universitarios y los puntos panorámicos de 360°. Esta dinámica promueve la exploración del entorno y reduce la probabilidad de omitir espacios relevantes del campus.

Asimismo, al condicionar el progreso del recorrido a la interacción con los puntos informativos, el sistema fomenta un procesamiento activo de información, transformando el contenido en parte integral de la experiencia de exploración.

Finalmente, la incorporación de mecanismos de retroalimentación mediante indicadores de progreso permite que el usuario conozca el nivel de exploración alcanzado, favoreciendo el seguimiento de los objetivos.

Pruebas del sistema

Introducción a las pruebas

Con el propósito de verificar el correcto funcionamiento del recorrido virtual interactivo, se ejecutó un conjunto de pruebas técnicas y no técnicas orientadas a evaluar el comportamiento de la aplicación desde diferentes perspectivas, incluyendo rendimiento, estabilidad, compatibilidad, accesibilidad y usabilidad. Los resultados obtenidos permitieron validar el cumplimiento de los requerimientos funcionales y no funcionales establecidos para el proyecto, así como identificar oportunidades de optimización antes de la evaluación final del sistema.

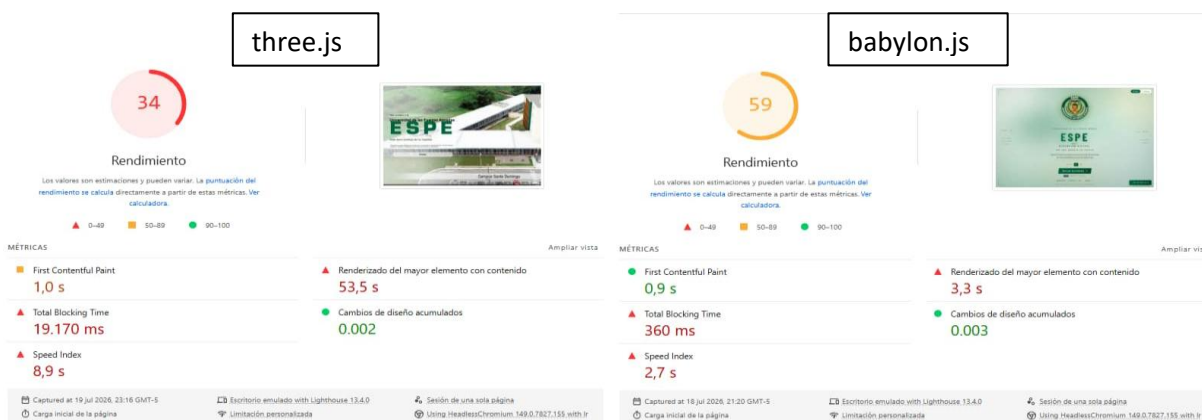
Pruebas de Rendimiento

Para evaluar eficiencia en la etapa de carga inicial de las aplicaciones, se empleó Google PageSpeed Insights. La Figura 30 presenta los resultados obtenidos para ambas implementaciones: la versión previa desarrollada con Three.js y la propuesta desarrollada con Babylon.js. La implementación basada en Three.js obtuvo una puntuación de rendimiento de 34/100, evidenciando un tiempo prolongado de renderizado de los primeros elementos en pantalla (FCP) y una carga de recursos menos optimizada. En contraste, la versión

desarrollada con Babylon.js alcanzó una puntuación de 59/100. Esta mejora representa un incremento en la optimización de los módulos y en la gestión asíncrona de recursos de la aplicación, permitiendo que el usuario acceda con mayor rapidez a la interfaz inicial.

Figura 30

Evaluación del rendimiento de carga inicial



Aunque ambas implementaciones aún presentan oportunidades de mejora de acuerdo con los criterios de Google PageSpeed Insights, el incremento de 34 a 59 puntos evidencia una reducción en el tiempo requerido para presentar el contenido inicial al usuario. Este resultado sugiere que la estrategia de optimización implementada con Babylon.js favorece una experiencia de acceso más fluida, especialmente durante la inicialización de la aplicación.

Resultados de las pruebas de rendimiento del Bloque A. Para la evaluación del rendimiento se utilizaron cuatro equipos diferentes, seleccionados con el propósito de representar distintos escenarios de uso de la aplicación. Las configuraciones empleadas fueron las siguientes:

- **Máquina 1 (Gama media):** Intel Core i7 de 11.^a generación, gráficos integrados Intel Iris Xe y 8 GB de memoria RAM.
- **Máquina 2 (Gama alta):** Intel Core i5 de 12.^a generación, NVIDIA GeForce RTX 3060 y 32 GB de memoria RAM.

- **Máquina 3 (Gama media):** Intel Core i5 de 11.^a generación, NVIDIA GeForce GTX 1650 y 16 GB de memoria RAM.
- **Máquina 4 (Gama baja):** Intel Celeron N4020, gráficos integrados Intel UHD Graphics 600 y 4 GB de memoria RAM.

En cada equipo se ejecutó el recorrido virtual correspondiente al Bloque A tanto en la implementación original desarrollada con Three.js, correspondiente a los trabajos de titulación de Ledesma y posteriormente ampliada por Carvajal y Castellano, como en la implementación propuesta en la presente investigación, desarrollada mediante Babylon.js. Durante la ejecución se registraron las métricas de rendimiento correspondientes a FPS, utilización del procesador (CPU), consumo de memoria RAM y consumo de memoria gráfica (VRAM).

Como ejemplo del procedimiento de medición, la Figura 31 presenta una de las capturas obtenidas durante la ejecución de las pruebas en la Máquina 1.

Figura 31

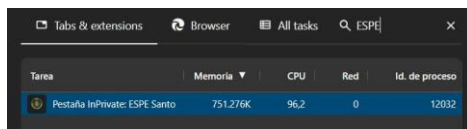
Registro de FPS en la Máquina 1



La Figura 32 muestra otra captura correspondiente al proceso de monitoreo realizado durante la ejecución de las pruebas.

Figura 32

Registro del consumo de memoria RAM en la Máquina 1



investigación mediante Babylon.js, evaluadas bajo las mismas condiciones de hardware y ejecución.

Tabla 23

Comparativa de rendimiento del recorrido virtual del Bloque A

Equipo	Implementación	FPS	CPU (%)	RAM (MB)	GPU / VRAM (MB)
Máquina 1	Three.js (trabajos previos)	60	64	1436.45	750.9
	Babylon.js	42.6	88.1	751.27	416.4
Máquina 2	Three.js (trabajos previos)	180	96	1279.20	637.0
	Babylon.js	180	98	682.62	515.2
Máquina 3	Three.js (trabajos previos)	93	98.3	1349.00	1831.1
	Babylon.js	52	83.8	757.00	1513.4
Máquina 4	Three.js (trabajos previos)	24	35	1598.72	1440.1
	Babylon.js	13	53	987.25	1327.2

Los resultados obtenidos muestran diferencias importantes en el comportamiento de ambas implementaciones según las características del hardware empleado. En términos generales, la versión desarrollada con Babylon.js presentó un consumo considerablemente menor de memoria RAM y memoria gráfica en las cuatro configuraciones evaluadas, evidenciando una gestión más eficiente de los recursos durante la ejecución.

Respecto a los FPS, Three.js alcanzó valores superiores en la mayoría de los equipos evaluados. Sin embargo, esta diferencia debe analizarse considerando que la versión desarrollada mediante Babylon.js incorpora una carga funcional significativamente mayor original. Además del cambio de motor gráfico, la nueva versión integra texturas de mayor calidad, fotografías panorámicas de 360°, mecanismos de gamificación, compatibilidad con WebXR, modo estereoscópico y diversos componentes adicionales de interfaz. Estas funcionalidades incrementan carga de procesamiento durante la ejecución y explican, en parte, la reducción observada en FPS.

A pesar de ello, Babylon.js presentó un consumo considerablemente menor de memoria RAM y memoria gráfica, evidenciando una gestión más eficiente de los recursos disponibles. Este comportamiento refleja un compromiso de diseño entre rendimiento gráfico y enriquecimiento funcional, donde una ligera disminución en FPS permite incorporar capacidades adicionales sin comprometer la estabilidad general de la aplicación.

En conjunto, estos resultados evidencian un compromiso (trade-off) entre el rendimiento gráfico e incorporación de funcionalidades avanzadas. Mientras la implementación basada en Three.js obtuvo mayores FPS en algunos escenarios, la versión desarrollada con Babylon.js integró nuevas capacidades de interacción, inmersión y compatibilidad multiplataforma, al mismo tiempo que redujo significativamente el consumo de memoria. Considerando los objetivos de la investigación, orientados al desarrollo de un recorrido virtual interactivo, escalable y accesible desde diferentes dispositivos, esta relación entre rendimiento y funcionalidad puede considerarse favorable, ya que la disminución en FPS constituye el costo asociado a una aplicación con mayores prestaciones y un uso más eficiente de los recursos de memoria.

Pruebas de Accesibilidad

Con el propósito de evaluar el nivel de accesibilidad del recorrido virtual interactivo, se realizó un análisis tomando como referencia las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web (Web Content Accessibility Guidelines, WCAG 2) propuestas por el World Wide Web Consortium (W3C). Debido a que el recorrido virtual constituye un entorno tridimensional altamente dependiente de información visual e interacción espacial, determinados criterios de las WCAG 2 relacionados con alternativas textuales completas para contenido gráfico y multimedia no resultan directamente aplicables al objetivo de la aplicación. Por ello, el análisis se centró en aquellas pautas relacionadas con interacción, navegación, comprensión del contenido y compatibilidad con diferentes dispositivos de entrada.

En la pauta Perceptible, el recorrido virtual fue concebido como una experiencia principalmente visual, por lo que no se implementaron mecanismos completos de descripción del entorno tridimensional destinados a usuarios con discapacidad visual total, tales como descripciones alternativas completas del entorno tridimensional. No obstante, se procuró facilitar la percepción del contenido mediante una interfaz clara, textos legibles, iconografía comprensible y una adecuada presentación visual de la información.

Respecto a la pauta Operable, la aplicación permite la interacción mediante diferentes mecanismos de entrada, incluyendo teclado, ratón, controles de videojuegos (gamepads), pantallas táctiles y dispositivos de realidad virtual compatibles con WebXR. Asimismo, se implementó un esquema de navegación intuitivo basado en controles ampliamente utilizados en aplicaciones tridimensionales, además de tiempos de carga que permiten la lectura del contenido informativo y un rendimiento optimizado para mantener una experiencia fluida, minimizando posibles molestias ocasionadas por bajas tasas de fotogramas.

En relación con la pauta Comprensible, el recorrido presenta textos con tipografía legible y una organización consistente de la interfaz, manteniendo un comportamiento predecible durante la navegación. Adicionalmente, se implementaron mecanismos para prevenir errores de interacción mediante sistemas de colisiones y límites virtuales que impiden al usuario atravesar objetos del escenario o desplazarse fuera del entorno modelado. También se incorporó la posibilidad de alternar entre temas visuales para mejorar la experiencia de uso de acuerdo con las preferencias del usuario.

Finalmente, en cuanto a la pauta Robusto, la aplicación fue desarrollada considerando la compatibilidad con diferentes navegadores modernos y múltiples plataformas, incluyendo equipos de escritorio, dispositivos móviles y gafas de realidad virtual, favoreciendo así una mayor interoperabilidad y disponibilidad para distintos perfiles de usuarios. Los aspectos evaluados de acuerdo con las pautas WCAG 2 se resumen en la Tabla 24.

Tabla 24*Evaluación de accesibilidad del con base en las pautas WCAG 2*

Pauta principal	Criterio considerado	Cumplimiento
Perceptible	Proporcionar alternativas textuales para contenido no textual.	No aplica
	Proporcionar subtítulos y otras alternativas para contenido multimedia.	No aplica
	Presentar el contenido de diferentes formas sin pérdida de información.	Parcial
	Facilitar que los usuarios puedan ver el contenido.	Cumple
Operable	Proporcionar acceso a las funcionalidades mediante el teclado.	Cumple
	Conceder tiempo suficiente para leer y utilizar el contenido.	Cumple
	Evitar contenido que pueda provocar convulsiones o reacciones físicas.	Cumple
	Facilitar la navegación y localización del contenido.	Cumple
	Proporcionar métodos de entrada diferentes al teclado.	Cumple
Comprensible	Proporcionar texto legible y comprensible.	Cumple
	Mantener una apariencia y funcionamiento predecibles.	Cumple
	Ayudar a prevenir errores de interacción.	Cumple
Robusto	Maximizar la compatibilidad con herramientas y tecnologías actuales y futuras.	Cumple

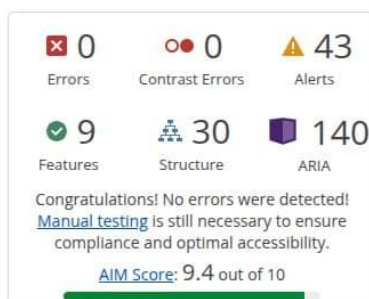
En conjunto, los resultados obtenidos mediante la evaluación basada en WCAG 2 y el análisis automático realizado con WAVE evidencian que el recorrido virtual incorpora buenas prácticas de accesibilidad para aplicaciones web interactivas. Si bien persisten limitaciones inherentes a la representación tridimensional respecto al acceso por parte de usuarios con discapacidad visual total, la aplicación proporciona mecanismos que favorecen la navegación, comprensión del contenido y compatibilidad con distintos dispositivos. Estos resultados

respaldan su utilización como herramienta de orientación institucional accesible para un amplio espectro de usuarios.

Resultados de pruebas de accesibilidad. Con el propósito de evaluar el nivel de accesibilidad del recorrido virtual, se utilizó la herramienta WAVE (Web Accessibility Evaluation Tool) desarrollada por WebAIM, la cual permite identificar problemas relacionados con la estructura, el contenido e implementación de atributos de accesibilidad en aplicaciones web. Como se observa en la Figura 35, estos resultados evidencian que la estructura de la interfaz satisface adecuadamente los criterios automáticos evaluados por WAVE, especialmente en aspectos relacionados con la jerarquía del contenido, contraste de color y utilización de atributos de accesibilidad. Asimismo, se registraron 43 alertas, las cuales corresponden a elementos que requieren revisión manual por parte del evaluador y no representan necesariamente incumplimientos de accesibilidad.

Figura 35

Resultados de la evaluación de accesibilidad mediante WAVE



La presencia de 140 atributos ARIA refleja un esfuerzo por mejorar interpretación e interfaz por parte de tecnologías de asistencia compatibles. Asimismo, los 30 elementos estructurales identificados evidencian una organización adecuada del contenido HTML, favoreciendo la navegación mediante lectores de pantalla y otras herramientas de apoyo. Como resultado global, la herramienta reportó una AIM Score de 9.4 sobre 10, lo que evidencia un alto nivel de conformidad con los criterios automáticos de accesibilidad evaluados por WAVE. Sin embargo, este resultado no debe interpretarse como una certificación de cumplimiento total

de las WCAG 2, ya que determinados criterios únicamente pueden verificarse mediante pruebas manuales y con la participación de usuarios reales.

Considerando que uno de los objetivos de la investigación consistía en desarrollar un recorrido virtual accesible desde diferentes dispositivos y perfiles de usuario, los resultados obtenidos evidencian que la aplicación satisface adecuadamente los criterios automáticos de accesibilidad evaluados y proporciona mecanismos que favorecen una interacción inclusiva dentro de las limitaciones propias de un entorno tridimensional basado en WebGL.

Pruebas de Usabilidad

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo específico orientado a evaluar la usabilidad del recorrido virtual interactivo, la propuesta fue sometida a una evaluación mediante SUS, con el fin de medir percepción de los usuarios respecto a la facilidad de uso, el aprendizaje e interacción con la aplicación. De manera complementaria, se compararon las principales mejoras de usabilidad incorporadas respecto a la versión previamente desarrollada.

Mejoras de usabilidad incorporadas en la propuesta. Como parte del proceso de mejora continua del recorrido virtual, la nueva implementación incorporó diversas funcionalidades orientadas a facilitar la interacción del usuario respecto a la versión previamente desarrollada. Entre ellas destacan la adopción de un esquema de navegación en primera persona basado en controles WASD y Mouse Look, la incorporación de un mejor sistema de colisiones sobre las mallas del escenario y la ampliación de la compatibilidad para dispositivos móviles, mandos de videojuegos y dispositivos compatibles con WebXR. Estas mejoras constituyen la base funcional cuya percepción fue posteriormente evaluada mediante la escala SUS.

Interpretación y Análisis de la Usabilidad del Recorrido Virtual 3D. La evaluación se aplicó a una muestra de 105 participantes conformada por estudiantes, padres de familia y aspirantes externos, considerados usuarios no técnicos. Esta selección buscó representar el perfil de usuarios potenciales del recorrido virtual como herramienta de orientación institucional.

Una vez procesadas las respuestas conforme al procedimiento de cálculo establecido para SUS, la aplicación obtuvo una puntuación global de 83.48 puntos. La Tabla 25 resume los principales resultados obtenidos durante la evaluación de usabilidad.

Tabla 25

Resultado obtenido mediante la encuesta SUS

Indicador	Valor
Participantes	105
Puntaje SUS	83.48
Valor de referencia	68
Categoría	A (Excelente)
Nivel de aceptación	Superior al promedio

De acuerdo con la interpretación propuesta para SUS, una puntuación de 83.48 ubica a la aplicación en categoría A (Excelente), indicando un alto nivel de usabilidad percibida por los participantes. Este resultado indica que los usuarios pudieron interactuar con el recorrido virtual de manera intuitiva y completar las tareas propuestas sin presentar dificultades significativas. Asimismo, al superar ampliamente el valor de referencia de 68 puntos, la aplicación demuestra un nivel de aceptación superior al promedio.

Los resultados obtenidos indican que las mejoras implementadas durante el desarrollo fueron percibidas positivamente por los participantes, especialmente en aspectos relacionados con facilidad de aprendizaje, navegación e interacción con el entorno tridimensional. La puntuación alcanzada sugiere que los usuarios pudieron utilizar la aplicación sin requerir asistencia especializada, lo cual resulta consistente con el objetivo del proyecto de proporcionar una herramienta de orientación accesible para estudiantes, aspirantes y visitantes de la institución.

Asimismo, el resultado obtenido permite inferir que la incorporación de elementos como el minimapa, los puntos de interés, las fotografías panorámicas de 360°, el sistema de misiones

y compatibilidad con múltiples dispositivos contribuyó a mejorar la experiencia general de uso respecto a versiones anteriores del recorrido virtual.

Sistema de métricas de uso

Como funcionalidad adicional, la propuesta incorpora un módulo de bajo acoplamiento de analíticas, en su caso de monitoreo del comportamiento del usuario durante la interacción con el recorrido virtual. Este módulo permite, por ejemplo, registrar indicadores de uso, como el número de dispositivos nuevos, el total de sesiones registradas, el tiempo promedio de permanencia, frecuencia de acceso a los puntos de interés, frecuencia de acceso a los puntos de interés y frecuencia de acceso a las fotografías panorámicas de 360°. Existiendo así una fuente de información cuantitativa de la institución para analizar el uso del recorrido virtual y los espacios donde hay mayor interés por parte de los visitantes.

La información recopilada se presenta mediante un panel de control con gráficos y métricas que permiten interpretar de forma visual el comportamiento de los usuarios. Entre los indicadores representados se incluyen las horas de mayor actividad, el número de sesiones por día, semana y mes, además de la distribución de visitas a los diferentes puntos informativos del recorrido. La Figura 36 presenta la vista general del panel de métricas implementado, donde se visualizan los principales indicadores de uso registrados por el sistema.

Figura 36

Panel de métricas generales del recorrido virtual



Por otra parte, la Figura 37 muestra el análisis de interacción con los puntos de interés y las fotografías panorámicas de 360°, permitiendo identificar el comportamiento de los usuarios durante la exploración del recorrido virtual.

Figura 37

Análisis de interacción de los usuarios con el recorrido virtual



La incorporación de este módulo amplía el alcance del recorrido virtual al proporcionar información útil para la toma de decisiones. Los datos procesados permiten considerar cuál es el patrón de navegación, determinar cuáles son las franjas horarias con mayor uso y determinar cuáles son los espacios con mayor número de consultas realizadas por los usuarios. Esta información ofrece soporte a futuras mejoras del recorrido virtual, a la optimización de los contenidos y a la planificación de estrategias de difusión institucional basadas en la evidencia.

Capítulo V

Conclusiones

Se desarrolló satisfactoriamente un recorrido virtual interactivo del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, empleando modelado tridimensional y el motor gráfico Babylon.js como tecnología Web3D. Los resultados obtenidos demuestran que la propuesta constituyó una herramienta adecuada para la difusión institucional, al integrar recursos de navegación inmersiva, contenido informativo, fotografías panorámicas, gamificación y compatibilidad multiplataforma, manteniendo adecuados niveles de rendimiento, accesibilidad y usabilidad. En consecuencia, la investigación confirma que la combinación de Blender para el modelado tridimensional y Babylon.js para el desarrollo web representa una alternativa tecnológica viable para la implementación de recorridos virtuales interactivos orientados a contextos educativos e institucionales.

La adaptación de los espacios y objetos tridimensionales mediante Blender permitió obtener modelos optimizados y compatibles con tecnologías Web3D, conservando una representación fiel de la infraestructura del Bloque A de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo. La aplicación de técnicas de optimización geométrica y la organización de los recursos facilitaron su integración en el entorno web, contribuyendo a reducir el consumo de memoria y a mejorar el desempeño general de la aplicación sin afectar significativamente la calidad visual del recorrido virtual.

El desarrollo del recorrido virtual mediante Babylon.js permitió implementar una aplicación interactiva que integra navegación en primera persona, puntos de interés, fotografías panorámicas de 360°, minimapa, sistema de misiones basado en gamificación y compatibilidad con dispositivos móviles y tecnologías WebXR. La arquitectura modular facilitó organizar el proyecto y favoreció su escalabilidad y mantenibilidad, obteniéndose una plataforma funcional capaz de apoyar la difusión institucional del Bloque A mediante una experiencia inmersiva accesible desde diferentes dispositivos.

La evaluación técnica y funcional evidenció que el recorrido virtual alcanzó resultados satisfactorios en los tres aspectos analizados. En términos de rendimiento, la implementación desarrollada con Babylon.js redujo el consumo de memoria RAM y memoria gráfica respecto a Three.js, aunque presentó una disminución en FPS debido a la incorporación de nuevas funcionalidades, recursos gráficos de mayor calidad y compatibilidad con múltiples plataformas, constituyendo un compromiso entre rendimiento y enriquecimiento funcional. En cuanto a la accesibilidad, la aplicación obtuvo una puntuación de 9.4 sobre 10 en la herramienta WAVE, sin registrar errores automáticos de accesibilidad ni de contraste. Finalmente, la evaluación mediante SUS alcanzó una puntuación de 83.48, correspondiente a la categoría A (Excelente), lo que indica una elevada percepción de facilidad de uso y aceptación por parte de los usuarios participantes.

Recomendaciones

Se recomienda ampliar el recorrido virtual hacia las demás instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, como son instalaciones de ganadería, con el fin de consolidar una plataforma institucional de orientación y difusión. La arquitectura modular implementada durante el desarrollo facilita la incorporación de nuevos escenarios y funcionalidades sin requerir modificaciones significativas en la estructura general de la aplicación.

Se recomienda continuar mejorando la estrategia de carga de recursos mediante la compresión de texturas, la optimización del tamaño de los modelos tridimensionales y la implementación de esquemas de carga diferida (lazy loading) para los elementos que no son necesarios durante la inicialización de la escena.

Se recomienda continuar fortaleciendo las características de accesibilidad mediante la incorporación de funcionalidades adicionales dirigidas a usuarios con diferentes necesidades, tales como navegación mediante teclado, comandos por voz, opciones de alto contraste, personalización del tamaño de los elementos de la interfaz y alternativas para usuarios con

discapacidades visuales o motoras. Estas mejoras permitirían incrementar el grado de inclusión de la aplicación y favorecer su utilización por una población más diversa.

Se recomienda integrar el recorrido virtual con otros servicios digitales de la universidad, como sistemas de información académica, mapas interactivos, calendarios de eventos, información de carreras, laboratorios y dependencias administrativas. Esta integración permitiría transformar el recorrido virtual en una herramienta institucional de consulta permanente, ampliando su utilidad más allá de la difusión inicial de la infraestructura.

Como trabajo futuro, se recomienda desarrollar investigaciones comparativas que evalúen el desempeño de diferentes motores gráficos y tecnologías Web3D en escenarios de mayor complejidad geométrica y funcional. Asimismo, resulta de interés analizar el impacto de la incorporación de inteligencia artificial, recorridos personalizados, asistentes virtuales, experiencias colaborativas multiusuario y técnicas de realidad aumentada o realidad mixta sobre la usabilidad, accesibilidad y experiencia de usuario en recorridos virtuales destinados a entornos educativos e institucionales.

Se recomienda realizar estudios comparativos que incorporen métricas adicionales de rendimiento, como consumo energético, utilización de la GPU, tiempos de carga en redes móviles y comportamiento en dispositivos de realidad virtual y realidad aumentada, con el fin de ampliar la evidencia sobre las ventajas y limitaciones de diferentes motores gráficos Web3D en aplicaciones de recorridos virtuales.

Referencias

- [1] W. S. Ledesma Merchán, «Desarrollo de un recorrido virtual interactivo orientado como medio de información para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo.», Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información., 2025. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/42272>
- [2] K. L. Carvajal Araujo y M. S. Castellano Beltrán, «Desarrollo de un recorrido virtual interactivo para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Santo Domingo, fase 2 y tomas aéreas», Carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información., 2025. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/53592>
- [3] A. Yusuf, R. Fitri, y P. W. Prasetyo, «Metaverse-Based Virtual Campus Tour for Higher Education: Insights from Development to User Experience Validation», *J. Metaverse*, n.º 6, pp. 1-25, ene. 2026, doi: 10.57019/jmv.1770621.
- [4] M. Pinargote, A. Muñoz, y C. Orellana, «El Rol de la Realidad Virtual en la Educación Superior», *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 8, n.º 3, pp. 9037-9045, jul. 2024, doi: 10.37811/cl_rcm.v8i3.12061.
- [5] A. R. Khairnar, A. R. Kendre, S. H. Pardeshi, Y. A. Badgujar, y S. G. Chordiya, «Virtual Campus Tour Using VR», vol. 13, n.º 6, 2025, [En línea]. Disponible en: <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2506129.pdf>
- [6] I. Córdova, «Tour Virtual: Del Legado a la Memoria del Observatorio Astronómico de Quito.», 2025, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/31694/1/TTQ2524.pdf>
- [7] M. Hamzaturrazak, E. M. A. Jonemaro, y A. Pinandito, «Performance Analysis of 3D Rendering Method on Web-Based Augmented Reality Application Using WebGL and OpenGL Shading Language», en *Proceedings of the 8th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology*, en SIET '23. New York, NY, USA:

- Association for Computing Machinery, dic. 2023, pp. 637-643. doi: 10.1145/3626641.3626949.
- [8] Three.js ORG, «Three.js Documents», Three.js. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://threejs.org/docs/>
- [9] Babylon.js ORG, «Babylon.js: Powerful, Beautiful, Simple, Open - Web-Based 3D At Its Best», Babylon.js. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.babylonjs.com>
- [10] G. Damasco, «WebXR: Experiencias Inmersivas sin Aplicaciones», VEXperience. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://vexperience.org/realidad-aumentada/webxr-experiencias-inmersivas-sin-aplicaciones/>
- [11] Mozilla ORG Contributors, «WebGL best practices - Web APIs | MDN», MDN Web Docs. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API/WebGL_best_practices
- [12] S. N. Kamal y A. A. Ibrahim, «3D Model Visualization Funtion For Responsive Web Design», *Iraqi J. Comput. Sci. Math.*, pp. 76-91, oct. 2023, doi: 10.52866/ijcsm.2023.04.04.007.
- [13] A. Francisco, D. Fernández, y J. Chua, «Diseño, Desarrollo e Implementación de Recorrido Virtual en 3D como Fortalecimiento Académico y Tecnológico en Campus Universitario: Design, Development and Implementation of Virtual Tour in 3D as Academic and Technological Strengthening University Campus», *Tecnol. Educ. Rev. CONAIC*, vol. 6, pp. 7-13, ene. 2021, doi: 10.32671/terc.v6i1.41.
- [14] K. Bahirat, C. Lai, R. P. McMahan, y B. Prabhakaran, «Designing and Evaluating a Mesh Simplification Algorithm for Virtual Reality», *ACM Trans Multimed. Comput Commun Appl*, vol. 14, n.º 3s, p. 63:1-63:26, jun. 2018, doi: 10.1145/3209661.

- [15] C. Zhang, B. He, R. Guo, y D. Ma, «When a tree model meets texture baking: an approach for quality-preserving lightweight visualization in virtual 3D scene construction», *Int. J. Digit. Earth*, vol. 16, n.º 1, pp. 645-670, oct. 2023, doi: 10.1080/17538947.2023.2177758.
- [16] The Khronos, «glTF™ 2.0 Specification», The Khronos Group. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://registry.khronos.org/glTF/specs/2.0/glTF-2.0.html>
- [17] S. A. Maggiolo Ruiz, «Desarrollo de herramientas de visualización de datos basadas en Three.js», 2022, Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/52473>
- [18] The Khronos, «glTF - Runtime 3D Asset Delivery», The Khronos Group. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.khronos.org/glTF/>
- [19] J. Peñaranda y D. Valladarez, «Propuesta metodológica para la creación y evaluación de sistemas de recorrido virtual web inmersivo», mar. 2023, [En línea]. Disponible en: <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/41392/4/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf>
- [20] Kevin Haro, «Desarrollo de un paseo virtual turístico de las instalaciones de la Laguna de Cuicocha como aplicación móvil que fomente el turismo en el Cantón Cotacachi», 2026, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/19256/2/04%20SOF%20151%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [21] E. Abad-Segura, M.-D. González-Zamar, J. C. Infante-Moro, y G. Ruipérez García, «Sustainable Management of Digital Transformation in Higher Education: Global Research Trends», *Sustainability*, vol. 12, n.º 5, p. 2107, ene. 2020, doi: 10.3390/su12052107.
- [22] World Wide Web Consortium, «Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1», W3C Recommendation. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>

- [23]Z. Zhang, J. Xu, X. Shen, H. Zhao, y Y. Niu, «WebGL-based virtual reality technology construction and optimization», en *International Conference on Optics, Electronics, and Communication Engineering (OECE 2024)*, SPIE, nov. 2024, p. 393. doi: 10.1117/12.3048388.
- [24]Z. Wang, H. Xiao, C. Guan, L. Zhou, y D. Fu, «Research on the Development of a Building Model Management System Integrating MQTT Sensing», *Sensors*, vol. 25, n.º 19, p. 6069, ene. 2025, doi: 10.3390/s25196069.
- [25]ISO ORG, «ISO 9241-11:2018(en), Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts», Online Browsing Platform (OBP). Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- [26]D. Bowman, E. Kruijff, J. LaViola, y Ivan Poupyrev, Eds., *3D user interfaces: theory and practice*, 3. print. Boston, Mass. Munich: Addison-Wesley, 2011.
- [27]Kenneth Malave, «Antes de 1997 nadie usaba WASD en el teclado para jugar en PC, hasta que llegó un chino obsesionado con Quake», 3DJuegos México. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.3djuegos.com.mx/pc/antes-1997-nadie-usaba-wasd-teclado-para-jugar-pc-que-llego-chino-obsesionado-quake>
- [28]J. Brooke, «SUS: A quick and dirty usability scale», *Usability Eval Ind*, vol. 189, nov. 1995.
- [29]C. Drumond, «¿Qué es “scrum”? Guía para el marco de trabajo ágil», Atlassian. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.atlassian.com/es/agile/scrum>
- [30]M. Pharr, W. Jakob, y Greg Humphreys, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, MIT Press. 2023. Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://pbr-book.org/4ed/contents?debug=1>
- [31]ISO ORG, «ISO 9241-210:2019(en), Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems», Online Browsing Platform (OBP). Accedido:

27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en>

[32] Diario La Hora, «Más de 9.000 estudiantes se graduarán en Santo Domingo», La Hora.

Accedido: 27 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en:

<https://www.lahora.com.ec/santodomingo/Mas-de-9.000-estudiantes-se-graduaron-en-Santo-Domingo-20250131-0018.html>

[33] J. Scharager y P. Reyes, «Muestreo no-probabilístico», 2001, [En línea]. Disponible en:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31715755/muestreo-libre.pdf?1392395541=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMetodologia_de_la_Investigacion_Escuela.pdf&Expires=1785215127&Signature=OTI6MJBvmw4bq-v6hU18DVCxAcB23hNAfl-mP0RuoTKuwGXeZ4eL~xxm1Ly5xIN5D-PT80urHUxgKphcfPJNG1AetUaIG75jssi~iEa0IBLL1SSgcvFmw69cCDdNx4QaOX9Od4Wt85e~7UcHn7Q7snEycRrBQ4QDImBjpNuD8MsiQqJUVJ8bDsSKOU8XSi8adc~rRCWt3LR9LgBzofe0VhejP~DVa-BHAb2NFMSPxBPn7xeYcfWeAruOY8ViGUtqaJunfIFvln4FxZW9hAmiv11~RSs7q5ct65dvFKWnLgv8hpmANC1OEKiAWq1OXnAF9C4AvdIKuoiO44tqQPJRQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA