



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
CARRERA DE REALIDAD VIRTUAL Y VIDEOJUEGOS**

**Diseño del componente visual, interfaz inmersiva y optimización gráfica
de Explorador Global, simulación educativa de comercio exterior en
realidad virtual**

**PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN REALIDAD
VIRTUAL Y VIDEOJUEGOS**

**AUTOR: JOHN ALEXANDER MATUTE DOMINGUEZ
DIRECTOR: ING. JOHN LUIS ESTRADA GUAYTA, M.S.**

CUENCA - ECUADOR

2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

CARRERA DE REALIDAD VIRTUAL Y VIDEOJUEGOS

**Diseño del componente visual, interfaz inmersiva y optimización gráfica de
Explorador Global, simulación educativa de comercio exterior en realidad
virtual**

PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN REALIDAD VIRTUAL Y VIDEOJUEGOS

AUTOR: JOHN ALEXANDER MATUTE DOMINGUEZ

DIRECTOR: ING. JOHN LUIS ESTRADA GUAYTA, M.S.

CUENCA- ECUADOR

2026



Universidad
Católica
de Cuenca

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

John Alexander Matute Dominguez portador de la cédula de ciudadanía N.º **0150232841**. Declaro ser el autor de la obra: "Diseño del componente visual, interfaz inmersiva y optimización gráfica de Explorador Global, simulación educativa de comercio exterior en realidad virtual.", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto.

Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **20 de julio de 2026**

F: 

John Alexander Matute Dominguez

C.I. 0150232841



Universidad
Católica
de Cuenca

CERTIFICADO

Certificado

Certifico que el presente Trabajo de investigación fue desarrollado por **John Alexander Matute Dominguez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0150232841** con el tema **“Diseño del componente visual, interfaz inmersiva y optimización gráfica de Explorador Global, simulación educativa de comercio exterior en realidad virtual”**, bajo mi supervisión.



Alcance documentario en línea:
Código de verificación: **JOHN LUIS ESTRADA GUAYTA**

F:

Ing. John Luis Estrada Guayta, M.S.

Docente – Tutor

Dedicatoria

Dedico este trabajo con mucho cariño a mi mami, María Domínguez, y a mi papi, Pedro Matute, por estar siempre a mi lado y apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado. Gracias por impulsarme a seguir adelante y a no rendirme en cada etapa de mi vida, por confiar siempre en mí y por acompañarme incluso en los momentos más difíciles. Su apoyo ha sido fundamental para que hoy pueda llegar hasta aquí.

A mis hermanas, Evely y Madison, por apoyarme en todo momento, por acompañarme durante este camino y por compartir conmigo tantos momentos importantes de mi vida.

A mi prima Leanela, por estar siempre presente y brindarme su apoyo a pesar de la distancia, demostrando que esta nunca ha sido un impedimento para acompañarme y hacerme sentir su cariño.

A toda mi familia, a mis abuelos, tíos, primos y demás familiares, quienes de una u otra manera siempre han estado presentes, brindándome su apoyo y palabras de ánimo para seguir adelante y no rendirme ante las dificultades. Gracias por acompañarme durante este camino y por confiar en mí.

A todos ustedes, gracias por formar parte de mi vida y de este camino. Cada palabra de apoyo, cada consejo y cada momento compartido han contribuido a que hoy pueda culminar una etapa tan importante. Este logro también es de ustedes.

Agradecimiento

Primero, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la paciencia y la perseverancia necesarias para continuar durante todo este proceso.

Agradezco profundamente a mis padres, María Domínguez y Pedro Matute, a mis hermanas, Evely y Madison, y a toda mi familia, por su apoyo constante, sus palabras de ánimo y por acompañarme a lo largo de esta etapa.

Expreso un agradecimiento especial a mi tutor, Ing. John Luis Estrada Guayta, M.S. por su guía, disposición y enseñanzas durante el desarrollo de este trabajo. Sus recomendaciones fueron fundamentales para llevar adelante el proyecto.

Asimismo, agradezco al Lcdo. Adrián Alvarado Guzmán, Mgs., por su orientación en los contenidos relacionados con los procesos de comercio exterior representados en Explorador Global, y a Juan Sebastian Solis Argudoo, por su apoyo y observaciones durante las revisiones del desarrollo.

Finalmente, agradezco a todos los docentes que formaron parte de mi preparación universitaria, por compartir sus conocimientos y experiencias, los cuales contribuyeron a mi formación académica y profesional.

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar el componente visual, la interfaz inmersiva espacial y la optimización gráfica de Explorador Global, una simulación educativa de realidad virtual dirigida a estudiantes universitarios de Negocios Internacionales. La propuesta respondió a la necesidad de representar procesos de exportación, importación, logística y documentación aduanera mediante escenarios e interfaces claras, legibles y coherentes, considerando las restricciones técnicas de Meta Quest 3. Se aplicó un proceso iterativo que comprendió análisis de referentes, elaboración de una biblia de arte, diseño de esquemas de interfaz, modelado 3D, integración en Unity y optimización gráfica, utilizando Blender, Unity, Meta XR SDK, Figma y Affinity. Como resultado, se produjeron una biblia de arte, 20 recursos tridimensionales optimizados, 10 interfaces inmersivas, cuatro escenarios integrados y una compilación ejecutable en Meta Quest 3. La validación se realizó con 24 estudiantes de cuarto ciclo, quienes completaron cuatro tareas cada uno, para un total de 96 ejecuciones; 75 se completaron de forma autónoma (78,1 %) y 21 con ayuda (21,9 %), sin tareas no completadas. La claridad de la información visual obtuvo una media de 4,29/5, mientras que la legibilidad de textos y documentos alcanzó 3,54/5, siendo este último el criterio con menor valoración media. Las pruebas técnicas mostraron mayor estabilidad en la versión optimizada, aunque el escenario portuario mantuvo caídas de rendimiento en áreas con alta densidad de recursos. Se concluye que la propuesta estableció una base visual funcional, coherente y optimizada, con mejoras pendientes en legibilidad y rendimiento.

Palabras clave: Realidad virtual, Comercio exterior, Interfaz inmersiva, Dirección de arte, Optimización gráfica.

Abstract

This project aimed to design the visual component, the spatial immersive interface, and the graphical optimization of “Explorador Global”, a virtual-reality educational simulation for college students majoring in International Business. The proposal addressed the need to represent export, import, logistics, and customs documentation processes through clear, legible, and coherent scenarios and interfaces, while taking into account the technical limitations of the Meta Quest 3. An iterative process was applied that included benchmark analysis, the creation of an art bible, interface mockup design, 3D modeling, integration into Unity, and graphical optimization, using Blender, Unity, Meta XR SDK, Figma, and Affinity. As a result, an art bible, 20 optimized 3D assets, 10 immersive interfaces, four integrated scenarios, and an executable build for Meta Quest 3 were produced. Validation was conducted with 24 students in the fourth academic cycle, each of whom completed four tasks, for a total of 96 trials; 75 were completed independently (78.1%) and 21 with assistance (21.9%), with no incomplete tasks. Visual information clarity obtained a mean score of 4.29/5, while text and document readability reached 3.54/5, the lowest mean among the evaluated criteria. Technical tests showed greater stability in the optimized version, although the port scenario continued to experience performance drops in areas with a high density of resources. It is concluded that the proposal established a functional, coherent, and optimized visual foundation, with room for improvement in terms of readability and performance.

Keywords: *Virtual reality, Foreign trade, Immersive interface, Art direction, Graphics optimization.*

Contenido

Declaratoria de autoría y responsabilidad	II
Certificado.....	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento.....	V
Resumen	VI
Índice de tablas	XII
Índice de ilustraciones	XIII
Índice de figuras.....	XIV
Glosario de términos técnicos	XV
Introducción	1
Capítulo I.....	3
1. Marco Referencial	3
1.1. Contextualización del problema	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Formulación del problema	7
1.4. Justificación	7
1.5. Objetivos	9
1.5.1. Objetivo general.....	9
1.5.2. Objetivos específicos	9
1.6. Alcance del proyecto	10
1.7. Delimitaciones.....	12
1.8. Beneficiarios	14
1.8.1. Beneficiarios directos.....	14
1.8.2. Beneficiarios indirectos	14
1.9. Metodología general.....	15
1.9.1. Metodología de investigación	15
1.9.2. Metodología de desarrollo	16
1.10. Resultados esperados	17
1.11. Relación con el protocolo de investigación.....	18
Capítulo II	21
2. Marco Teórico	21
2.1. Antecedentes de investigación	21
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Realidad virtual, inmersión e interacción.....	23
2.2.2. Comprensión de procedimientos y aprendizaje situado	23
2.2.3. Carga cognitiva en entornos inmersivos	24
2.2.4. Usabilidad y unidades de observación	25

2.2.5.	Legibilidad y jerarquía visual.....	26
2.2.6.	Dirección de arte y coherencia visual.....	27
2.2.7.	Producción de assets 3D	27
2.2.8.	Optimización gráfica en visores autónomos	28
2.3.	Bases metodológicas	29
2.3.1.	Metodología de investigación	29
2.3.2.	Metodología de desarrollo basada en Kanban	31
2.4.	Bases tecnológicas.....	34
2.4.1.	Realidad virtual autónoma y Meta Quest 3.....	34
2.4.2.	Unity 6000.3.5f2 y Universal Render Pipeline	34
2.4.3.	Interfaz World Space y Sistema XR.....	35
2.4.4.	Perfilado en el dispositivo.....	35
2.5.	Arquitecturas, modelos y estándares.....	37
2.5.1.	Modelo de organización tecnológica del componente visual	37
2.5.2.	Flujo de producción e integración de assets	38
2.5.3.	Modelo de rendimiento para 72 Hz	38
2.6.	Herramientas de desarrollo.....	39
2.6.1.	Unity frente a Unreal Engine	39
2.6.2.	Blender frente a Autodesk Maya.....	41
2.6.3.	Affinity frente a Adobe Creative Cloud	42
2.6.4.	Figma frente a Penpot	43
2.7.	Marco conceptual.....	45
2.7.1.	Experiencia y dispositivo.....	45
2.7.2.	Preproducción y producción visual	45
2.7.3.	Usabilidad, legibilidad y rendimiento	46
2.7.4.	Conceptos aduaneros representados	47
2.8.	Relación entre la teoría y la propuesta tecnológica	47
Capítulo III.....		51
3.	Manual de usuario	51
3.1.	Presentación de la propuesta y perfil del usuario.....	51
3.1.1.	Descripción general de Explorador Global	51
3.1.2.	Perfil del usuario	51
3.1.3.	Requisitos mínimos y condiciones de uso.....	52
3.2.	Acceso e inicio de la experiencia	52
3.2.1.	Preparación del espacio y del visor	52
3.2.2.	Inicio de la aplicación	53
3.2.3.	Tutorial inicial.....	53
3.2.4.	Selección del módulo e inicio del recorrido	54
3.3.	Navegación y controles	55

3.3.1.	Seguimiento de manos	55
3.3.2.	Locomoción gestual y teletransportación	55
3.3.3.	Giro y desplazamiento por pasos.....	57
3.3.4.	Selección de botones y elementos de interfaz.....	58
3.3.5.	Agarre y manipulación de objetos.....	59
3.4.	Funciones e interacciones disponibles	60
3.4.1.	Sistema de etapas y tareas.....	60
3.4.2.	Interacción con documentos.....	60
3.4.3.	Validación de objetos y acciones.....	61
3.4.4.	Progreso y finalización de etapas.....	61
3.4.5.	Recorridos de exportación e importación	61
3.5.	Evidencia de uso	62
3.5.1.	Inicio y selección del recorrido	62
3.5.2.	Inicio de una actividad	63
3.5.3.	Interacción y validación durante la actividad	64
3.5.4.	Finalización de una etapa.....	65
Capítulo IV		67
4.	Manual técnico de implementación.....	67
4.1.	Dirección de arte y propuesta visual.....	67
4.2.	Diseño de escenarios y elementos gráficos.....	71
4.2.1.	Escenarios	71
4.2.2.	Interfaces	73
4.3.	Producción de assets 2D y 3D.....	80
4.3.1.	Recursos producidos.....	80
4.3.2.	Proceso general de producción	87
4.4.	Pipeline de producción artística.....	89
4.5.	Preparación y animación de objetos.....	91
4.6.	Materiales, texturas, iluminación y renderización	97
4.6.1.	Materiales y texturas	97
4.6.2.	Iluminación y renderización	101
4.7.	Integración de recursos visuales en el motor	106
4.8.	Optimización gráfica.....	110
4.8.1.	Geometría, materiales y texturas.....	111
4.8.2.	Visibilidad y organización de escenas	114
4.9.	Software, formatos y organización de recursos	115
4.10.	Validación técnica de recursos visuales.....	119
4.10.1.	Validación técnica.....	119
4.10.2.	Validación con usuarios	126
4.11.	Procedimiento para ampliar recursos artísticos.....	134

4.11.1.	Incorporar un nuevo asset 3D	134
4.11.2.	Incorporar una nueva interfaz	136
4.11.3.	Incorporar una nueva escena	137
4.12.	Conclusiones y recomendaciones	140
4.12.1.	Conclusiones	140
4.12.2.	Recomendaciones.....	142

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Etapas técnicas del desarrollo de Explorador Global</i>	31
Tabla 2 <i>Comparación entre Unity y Unreal Engine para Explorador Global</i>	40
Tabla 3 <i>Comparación entre Blender y Autodesk Maya para Explorador Global</i>	41
Tabla 4 <i>Comparación entre Affinity y Adobe Creative Cloud para Explorador Global</i>	43
Tabla 5 <i>Comparación entre Figma y Penpot para Explorador Global</i>	44
Tabla 6 <i>Trazabilidad entre fundamentos y decisiones de la propuesta</i>	48
Tabla 7 <i>Lineamientos visuales aplicados en Explorador Global</i>	67
Tabla 8 <i>Interfaces definidas para Explorador Global</i>	73
Tabla 9 <i>Inventario de los veinte modelos tridimensionales producidos</i>	80
Tabla 10 <i>Geometría base de los escenarios producidos para Explorador Global</i>	83
Tabla 11 <i>Etapas del pipeline y herramientas utilizadas</i>	89
Tabla 12 <i>Tipos de recursos de textura utilizados</i>	97
Tabla 13 <i>Técnicas de optimización aplicadas por escenario</i>	110
Tabla 14 <i>Software y formatos utilizados en la producción visual</i>	115
Tabla 15 <i>Configuración de la prueba técnica</i>	119
Tabla 16 <i>Resultados técnicos de la versión base y la versión optimizada</i>	122
Tabla 17 <i>Resultados de la validación por tarea</i>	127
Tabla 18 <i>Resultados descriptivos del cuestionario post-experiencia</i>	131
Tabla 19 <i>Lista de comprobación para ampliar recursos artísticos</i>	139

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Proceso iterativo de desarrollo del componente visual de Explorador Global</i>	33
Ilustración 2 <i>Ecosistema tecnológico utilizado en Explorador Global</i>	36
Ilustración 3 <i>Presentación del tutorial inicial de interacción</i>	54
Ilustración 4 <i>Secuencia de activación de la locomoción gestual</i>	56
Ilustración 5 <i>Confirmación de un punto de teletransportación</i>	57
Ilustración 6 <i>Control gestual de giro durante la navegación</i>	58
Ilustración 7 <i>Selección de un elemento de interfaz mediante hand tracking</i>	59
Ilustración 8 <i>Secuencia básica de aproximación y agarre de un objeto</i>	60
Ilustración 9 <i>Selección de los módulos de exportación e importación</i>	62
Ilustración 10 <i>Panel informativo al inicio de una etapa</i>	63
Ilustración 11 <i>Manipulación y traslado de un objeto dentro del escenario</i>	64
Ilustración 12 <i>Panel de finalización de una etapa de Explorador Global</i>	65
Ilustración 13 <i>Página de dirección de arte de la biblia visual</i>	69
Ilustración 14 <i>Moodboards y referencias visuales utilizados durante la preproducción</i>	70
Ilustración 15 <i>Síntesis visual de los cuatro escenarios definida en la biblia de arte</i>	72
Ilustración 16 <i>Boceto inicial del panel de selección de módulo elaborado en Affinity</i>	75
Ilustración 17 <i>Diseño del panel de selección de módulo desarrollado en Figma</i>	76
Ilustración 18 <i>Panel de selección de módulo integrado como World Space UI en Unity</i>	77
Ilustración 19 <i>Estructura modular de la interfaz en World Space</i>	79
Ilustración 20 <i>Conjunto de modelos tridimensionales producidos para Explorador Global</i>	82
Ilustración 21 <i>Escenarios integrados de Explorador Global</i>	85
Ilustración 22 <i>Conjunto de interfaces diseñadas para Explorador Global</i>	86
Ilustración 23 <i>Proceso de producción e integración del contenedor seleccionado</i>	88
Ilustración 24 <i>Pipeline de producción artística de Explorador Global</i>	91
Ilustración 25 <i>Animación de las puertas del contenedor mediante fotogramas clave en Blender</i>	93
Ilustración 26 <i>Estados de apertura y cierre del contenedor en el Animator de Unity</i>	94
Ilustración 27 <i>Preparación de la animación de la grúa RTG en Blender</i>	95
Ilustración 28 <i>Organización del trolley y hoist mediante capas del Animator en Unity</i>	96
Ilustración 29 <i>Conjunto de materiales creados durante la producción</i>	99
Ilustración 30 <i>Selección de texturas y mapas utilizados en Explorador Global</i>	100
Ilustración 31 <i>Escenario antes de generar la iluminación horneada</i>	102
Ilustración 32 <i>Configuración de Baked Global Illumination y Lightmapping Settings en Unity</i>	103
Ilustración 33 <i>Resultado visual después de generar los lightmaps</i>	105
Ilustración 34 <i>Prefab del contenedor con Animator y Box Collider configurados</i>	107
Ilustración 35 <i>Configuración del LOD Group del contenedor en Unity</i>	109
Ilustración 36 <i>Comparación visual de los tres niveles de detalle del contenedor</i>	112
Ilustración 37 <i>Revisión de geometría y triangulación durante la reducción manual en Blender</i>	113
Ilustración 38 <i>Comparación de contenido visible con Occlusion Culling en el área de aforo</i>	114
Ilustración 39 <i>Organización de archivos y estructura interna de los recursos artísticos de Explorador Global en Unity</i>	117
Ilustración 40 <i>Organización de archivos y estructura interna de los recursos artísticos de Explorador Global en Blender</i>	118
Ilustración 41 <i>Registro técnico mediante OVR Metrics Tool</i>	121
Ilustración 42 <i>Flujo para incorporar un nuevo asset 3D</i>	135
Ilustración 43 <i>Flujo para incorporar una nueva interfaz</i>	136
Ilustración 44 <i>Flujo para incorporar una nueva escena</i>	138

Índice de figuras

Figura 1 Comparación del FPS promedio por escenario	123
Figura 2 Comparación de APP T promedio por escenario	124
Figura 3 Comparación de STALE promedio por escenario.....	125
Figura 4 Distribución del nivel de autonomía por tarea	129
Figura 5 Tiempo medio de ejecución por tarea	130
Figura 6 Valoración media de los criterios del cuestionario post-experiencia	133

Glosario de términos técnicos

Asset 3D: Recurso tridimensional preparado para cumplir una función dentro de una escena.

Wireframe: Representación esquemática utilizada para definir la estructura y distribución de una interfaz antes de su diseño final.

World Space UI: Interfaz ubicada dentro del espacio tridimensional de la escena mediante un Canvas configurado en World Space.

Prefab: Recurso reutilizable de Unity que conserva un objeto y la configuración de sus componentes.

LOD (Level of Detail): Conjunto de variantes de un modelo que permite utilizar diferente complejidad geométrica según su tamaño aparente o distancia.

Static Batching: Técnica de optimización que agrupa objetos estáticos compatibles para reducir el trabajo asociado a las llamadas de dibujo durante el renderizado.

Occlusion Culling: Técnica de optimización que evita renderizar objetos que se encuentran completamente ocultos por otros elementos desde el punto de vista de la cámara.

Pipeline: Secuencia de herramientas y operaciones utilizada para producir, transferir, integrar y comprobar un recurso.

Collider: Componente que define una zona física utilizada para colisiones o interacciones.

PBR (Physically Based Rendering): Modelo de renderizado de materiales que representa propiedades físicas de una superficie, como rugosidad y metalicidad, para determinar su respuesta ante la iluminación.

Baking u horneado: Proceso mediante el cual determinada información, como iluminación o detalles de una superficie, se calcula previamente y se almacena en texturas o mapas para utilizarla posteriormente durante la ejecución.

Lightmap: Textura que almacena información de iluminación precalculada para superficies compatibles.

Draw call: Instrucción enviada por la aplicación al sistema gráfico para solicitar el renderizado de un conjunto de elementos con una configuración determinada.

Hand tracking: Seguimiento de las manos del usuario para utilizarlas como medio de interacción sin controladores físicos

Hardware standalone: Dispositivo capaz de ejecutar una aplicación de forma independiente, sin requerir un computador externo para su procesamiento durante el uso

Introducción

La realidad virtual permite presentar procesos técnicos dentro de escenarios tridimensionales interactivos en los que el usuario observa el entorno, consulta información y ejecuta acciones vinculadas con una tarea [1], [2]. En aplicaciones educativas e inmersivas, la organización de la información y de las interfaces debe considerar la actividad prevista, las características del usuario y las condiciones del dispositivo [3]. Esta relación resulta pertinente para Explorador Global, donde documentos, objetos logísticos, señalética e interfaces deben mantenerse vinculados con las acciones representadas y con las restricciones de Meta Quest 3.

Explorador Global es una simulación educativa de realidad virtual dirigida principalmente a estudiantes universitarios de Negocios Internacionales. La aplicación integra escenarios, documentos, elementos logísticos e interfaces inmersivas para representar procesos de exportación e importación. El presente trabajo se concentra en la dirección de arte, el diseño de la interfaz inmersiva, la creación de assets 3D, la integración de los recursos visuales en Unity y la optimización gráfica para Meta Quest 3. La propuesta busca apoyar la interpretación funcional inmediata de los procesos representados mediante una organización visual clara, legible y coherente, sin sustituir los procedimientos oficiales ni la práctica profesional.

La gestión del desarrollo se plantea mediante Kanban y se articula con siete etapas técnicas que comprenden el análisis de referentes, la elaboración de la biblia de arte y los wireframes, la producción de assets 3D, la integración de escenas e interfaces en Unity, la optimización gráfica y la validación. La comprobación se plantea mediante pruebas técnicas en Meta Quest 3 y una evaluación piloto con usuarios, cuyos procedimientos se desarrollan

en los apartados metodológicos correspondientes. La propuesta tecnológica se organiza en cuatro capítulos:

Capítulo I: En este capítulo se presenta el marco referencial, el problema, la justificación, los objetivos, el alcance, las delimitaciones, los beneficiarios, la metodología general, los resultados esperados y la relación con el protocolo aprobado.

Capítulo II: Este capítulo reúne las bases teóricas, metodológicas y tecnológicas que respaldan las decisiones del proyecto.

Capítulo III: Corresponde al manual del usuario y explica el acceso, los controles, las funciones y el recorrido dentro de la aplicación.

Capítulo IV: Se documenta la implementación técnica del componente visual, incluida la dirección de arte, la producción e integración de recursos, la optimización, la validación y el procedimiento para ampliar los recursos artísticos.

Capítulo I

1. Marco Referencial

1.1. Contextualización del problema

La realidad virtual permite representar espacios, objetos, información y procedimientos mediante entornos tridimensionales interactivos. En educación, la realidad virtual puede utilizarse para presentar información y actividades dentro de un entorno simulado. Cabrera-Duffaut et al. [1] reúnen ejemplos del uso de estas plataformas en distintas carreras y áreas de la educación superior. Su aporte cambia según la tecnología empleada, los objetivos de formación, el perfil de los usuarios y las tareas que deben realizar.

En el campo de la logística y las operaciones portuarias, la realidad virtual permite representar terminales de contenedores, zonas de carga, almacenes, maquinaria, recorridos y actividades operativas. Živičnjak et al. [4] documentaron la construcción de un entorno virtual basado en una terminal de contenedores, mientras que Lewczuk y Żuchowicz [5] analizaron el empleo de simulaciones en sistemas de intralogística. En esos casos, la realidad virtual permitió representar espacios de trabajo ligados a la logística y reunir varias operaciones dentro de una misma experiencia. Sin embargo, cada proyecto respondió a condiciones y objetivos propios.

En el comercio exterior no se trabaja con un solo elemento. A lo largo del proceso se revisan documentos, se toman decisiones logísticas, se controlan mercancías y se avanza por distintas etapas dentro de espacios operativos. Cuando estos procesos pasan a un entorno virtual, los textos, objetos, señales y acciones deben relacionarse con lo que ocurre en cada parte de la experiencia. En consecuencia, el desarrollo de una propuesta de este tipo no se limita a reproducir visualmente oficinas o zonas portuarias, sino que requiere establecer una

relación coherente entre el espacio, los documentos, la interfaz y las actividades representadas.

En el contexto universitario, la representación inmersiva de actividades de comercio exterior plantea la necesidad de articular información documental, objetos logísticos y secuencias operativas dentro de un mismo entorno. Esta situación resulta especialmente relevante para estudiantes que deben interpretar procedimientos compuestos por varias etapas y relacionar la información presentada con acciones concretas. Por ello, el problema no se limita a reproducir espacios de trabajo, sino a organizar visualmente contenidos y acciones de forma que puedan reconocerse y seguirse dentro de una experiencia de realidad virtual.

El contexto institucional corresponde a la Universidad Católica de Cuenca, con la participación de la Facultad de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica y la Carrera de Realidad Virtual y Videojuegos en el desarrollo tecnológico de la propuesta. Los usuarios principales pertenecen a la Carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Jurídicas. Para definir las actividades de comercio exterior se toman como referencia las prácticas del Laboratorio de Comercio Exterior y Logística Internacional, especialmente el tratamiento de documentos y procesos logísticos.

En este contexto, la representación inmersiva de procesos de comercio exterior plantea dos exigencias simultáneas: que la información visual pueda reconocerse y seguirse dentro del espacio tridimensional y que la complejidad gráfica se mantenga dentro de las capacidades del dispositivo objetivo. Cuando alguna de estas condiciones no se cumple, pueden aparecer dificultades de lectura, orientación, interacción o estabilidad durante el uso.

1.2. Planteamiento del problema

En una experiencia de realidad virtual, la organización visual del entorno puede influir en la orientación y en el reconocimiento de los elementos relevantes. La iluminación,

el contraste, el color y las señales visuales deben mantener una relación coherente con las acciones previstas para reducir ambigüedades durante la interacción [3], [6], [7].

Los paneles inmersivos forman parte del espacio tridimensional y, por ello, deben comprobarse considerando su escala, distancia, orientación, contraste y densidad de información. Estas variables condicionan la lectura y la interacción dentro del dispositivo, por lo que su revisión debe realizarse en el visor y en relación con la tarea que ejecuta el usuario [3], [6].

Una interfaz puede conservar una apariencia visual atractiva y, al mismo tiempo, presentar dificultades de uso. Schlüter y Kretschmer [8] estudiaron un juego usado en formación logística y se enfocaron en su facilidad de uso y ergonomía. Por otro lado, Alnuaimi y Awad [9] analizaron la usabilidad de un laboratorio inmersivo e identificaron aspectos relacionados con la ubicación y accesibilidad de elementos de la interfaz. Chen et al. [3] también plantean que una interfaz de realidad virtual debe revisarse teniendo en cuenta la tarea, el dispositivo y el tipo de usuario. En conjunto, estos antecedentes muestran que la calidad visual no evita por sí sola problemas de localización, accesibilidad o interacción dentro de un entorno inmersivo.

En cada actividad podrán coincidir documentos, paneles, objetos logísticos y señales de avance. Si estos elementos se presentan con jerarquías poco claras, ubicaciones inadecuadas o una densidad excesiva de información, el usuario podrá tener dificultades para localizar la información pertinente, distinguir los elementos interactivos y reconocer la secuencia de acciones prevista.

Los paneles y documentos formarán parte del espacio tridimensional y deberán relacionarse con la actividad a la que pertenecen. Cuando la ubicación, la orientación o la cantidad de información no correspondan con el contexto de uso, podrán aparecer

dificultades de lectura, localización y reconocimiento de las acciones necesarias para avanzar.

Además, el proyecto deberá ajustarse a las capacidades de Meta Quest 3. Al ejecutarse la experiencia en un visor autónomo, los modelos, materiales, paneles y la iluminación de cada escena se ejecutarán directamente en el dispositivo. La densidad geométrica, la cantidad de objetos visibles, los materiales, la resolución de las texturas, las transparencias y las llamadas de dibujo podrán afectar la estabilidad del rendimiento. Miranto et al. [10] registraron variaciones asociadas con estos factores en una simulación ejecutada en un visor autónomo, lo que respalda la necesidad de evaluar Explorador Global directamente en el dispositivo objetivo.

La parte visual no puede separarse del rendimiento. Una reducción excesiva de geometría o de calidad en las texturas puede afectar la claridad de la escena, mientras que conservar más detalle del necesario puede incrementar el costo de procesamiento y reducir la estabilidad. Esta tensión obliga a considerar conjuntamente la fidelidad visual y las restricciones de ejecución del visor, sin asumir que una mayor cantidad de detalle produzca necesariamente una mejor experiencia.

El problema principal radica en la dificultad de mantener una relación clara entre la representación visual, la interfaz inmersiva, los documentos, los objetos logísticos y las acciones que forman parte del recorrido, al mismo tiempo que se respetan las restricciones de rendimiento de Meta Quest 3. Si estos componentes presentan jerarquías ambiguas, ubicaciones poco adecuadas o un costo gráfico excesivo, pueden aparecer dificultades para interpretar la información, reconocer las acciones necesarias y mantener una ejecución estable de la experiencia.

1.3. Formulación del problema

A partir del contexto y del problema expuestos, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo desarrollar e implementar un componente visual e interfaz inmersiva para una simulación educativa de comercio exterior que permita representar de manera clara y funcional los procesos logísticos y documentales, considerando las condiciones de usabilidad y rendimiento de Meta Quest 3?

1.4. Justificación

La propuesta parte de la necesidad de representar procesos de comercio exterior en los que intervienen documentos, decisiones logísticas, mercancías, controles aduaneros y distintos espacios de trabajo. En una experiencia inmersiva, la disposición de paneles, instrucciones, señales y objetos debe responder a la tarea y al contexto de uso, debido a que la organización de la interfaz interviene en la localización de información y en la ejecución de las acciones previstas [6].

En la dimensión visual, la jerarquía tipográfica, el contraste, la señalética, el color y la composición permiten diferenciar información, estados y elementos interactivos. En realidad virtual, además, la legibilidad depende de condiciones como el tamaño aparente, la distancia, la orientación y las características del dispositivo [6]. Por esta razón, la dirección de arte y los lineamientos visuales se plantean para mantener una relación coherente entre los escenarios, la interfaz y los recursos gráficos del proyecto [7].

La evaluación de las interfaces de realidad virtual depende de la tarea y las condiciones en que se utilizan, según Chen et al. [3]. Además, Alnuaimi y Awad [9] muestran que las pruebas con usuarios pueden detectar problemas que durante el diseño no siempre

son evidentes. Estas investigaciones respaldan que las decisiones de Explorador Global se comprueben en el contexto donde se prevé utilizar la propuesta.

La parte tecnológica se centra en integrar todo el componente visual dentro de un visor autónomo. Los escenarios, assets, texturas, materiales, interfaces e iluminación utilizan los mismos recursos de procesamiento, que son limitados en este tipo de dispositivo. Por ello, la optimización gráfica debe considerarse desde la producción de los recursos y no solamente al finalizar las escenas. Miranto et al. [10] señalan que la cantidad de objetos y las propiedades de los materiales pueden influir en el rendimiento de una aplicación de realidad virtual. En consecuencia, las estrategias de optimización seleccionadas deben quedar documentadas y comprobarse directamente en Meta Quest 3.

Como aporte metodológico, el proyecto propone articular la investigación con un proceso de desarrollo gestionado mediante Kanban. Esta metodología permite visualizar, priorizar y dar seguimiento al flujo de tareas, mientras que las actividades técnicas se distribuyen en etapas de análisis, dirección de arte, interfaz, producción 3D, integración, optimización y validación. Esta separación permite distinguir la gestión del trabajo de las etapas técnicas del desarrollo.

La viabilidad de la propuesta se sustenta en la disponibilidad de documentos de preproducción, una biblia de arte, wireframes, diseños UI/UX, planificación de assets y un entorno tecnológico compatible con la producción, integración y comprobación del prototipo. Estos recursos permiten abordar el componente visual dentro del alcance definido y comprobar su funcionamiento en el dispositivo objetivo. De esta manera, la propuesta reúne la representación de procesos de comercio exterior con el reto de mantener calidad visual y rendimiento dentro de un hardware standalone.

La pertinencia del contenido disciplinar se apoya, además, en un proceso de revisión periódica con participación de la Carrera de Negocios Internacionales. Este acompañamiento permite contrastar la representación de los procesos de comercio exterior, las interfaces y los escenarios antes de incorporar cambios relacionados con el contenido académico. La evidencia de estas revisiones y de la comprobación de una versión funcional del prototipo se documenta posteriormente en el capítulo técnico y en los anexos correspondientes.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar el componente visual, la interfaz inmersiva espacial y la optimización gráfica de una simulación educativa de comercio exterior en realidad virtual, mediante la elaboración de una biblia de arte, assets tridimensionales y recursos de UI/UX en World Space, que permitan la comprensión de procesos logísticos de importación y exportación, bajo criterios de usabilidad, claridad y compatibilidad con las restricciones de rendimiento de dispositivos Meta Quest.

1.5.2. Objetivos específicos

- Definir la dirección de arte del proyecto mediante la elaboración de una biblia de arte y propuestas de concept art que orienten la composición visual, la coherencia formal y la identidad visual de la simulación.
- Diseñar los wireframes espaciales y la organización visual de la interfaz inmersiva en World Space para la interacción con documentación logística y elementos operativos, priorizando la claridad informativa y la ergonomía cognitiva del estudiante.
- Desarrollar los assets tridimensionales del entorno de comercio exterior, incluidos escenarios, utilería logística y elementos portuarios, mediante procesos de modelado

y texturizado bajo criterios de optimización visual adaptados a plataformas autónomas.

- Integrar los assets visuales y la interfaz inmersiva en World Space dentro del entorno de realidad virtual en Unity, asegurando coherencia espacial, legibilidad, jerarquía visual y una disposición adecuada de los recursos en la escena.
- Evaluar el rendimiento visual y la usabilidad de la propuesta en el dispositivo objetivo, mediante la verificación de la estabilidad de FPS, la claridad perceptiva y la comprensión de la interacción por parte del usuario.

1.6. Alcance del proyecto

Este proyecto comprende el diseño, la producción, la integración y la optimización del componente visual de Explorador Global. El alcance incluye los recursos necesarios para mantener coherencia visual, facilitar el uso y ejecutar la experiencia en Meta Quest 3. También se considera la organización de estos elementos como apoyo para interpretar los procesos logísticos y documentales representados.

La dirección de arte comprende la definición de la identidad visual, la paleta de colores, las tipografías, las formas, los materiales, la iluminación y la composición de los espacios. Estos criterios se detallan en una biblia de arte y en propuestas de concept art, las cuales sirven de guía para el desarrollo de escenarios y la interfaz.

En la producción 3D se incluyen los assets necesarios para las cuatro escenas contempladas en el proyecto: estación espacial, oficina de documentación, puerto - área de embarcación y puerto - área de aforo, además de contenedores, mobiliario, objetos de utilería logística y otros recursos vinculados con las actividades representadas.

El diseño de la interfaz contempla la creación de wireframes y paneles en World Space, que son necesarios para presentar instrucciones, documentos, estados de validación,

advertencias, listas de verificación, información relacionada con cada actividad y los resultados obtenidos.

La integración se contempla en Unity e incluye los escenarios, assets 3D, materiales, iluminación e interfaces. La optimización comprende la revisión y reducción de geometría cuando sea necesaria, la eliminación de caras no visibles, la reutilización de materiales, el uso de niveles de detalle en recursos seleccionados, Static Batching, Occlusion Culling y la iluminación horneada en superficies compatibles. Estas técnicas se aplicarán según las necesidades de cada escenario y se comprobarán posteriormente en Meta Quest 3.

La validación del componente contemplará una comprobación técnica de rendimiento en Meta Quest 3 y una evaluación piloto con usuarios, orientadas a describir el funcionamiento de la propuesta dentro del alcance definido. Los participantes, instrumentos, tareas, indicadores y procedimientos de evaluación se detallan en la metodología de investigación.

Explorador Global se encuentra en una etapa inicial de prototipado funcional. La versión considerada en este trabajo está formada por los cuatro escenarios definidos: Estación espacial, Oficina de documentación, Puerto – área de embarcación y Puerto – área de aforo, con las interfaces y actividades implementadas dentro del alcance del proyecto. Por ello, las pruebas realizadas corresponden al segmento funcional disponible en esta etapa y no a una aplicación comercial o pedagógica completamente terminada ni a la implementación definitiva de todos los módulos que podrían incorporarse en versiones futuras.

La representación del contenido de comercio exterior, las interfaces y los escenarios se contempla con acompañamiento periódico de la Carrera de Negocios Internacionales. Estas revisiones permiten contrastar los avances del prototipo y mantener la correspondencia

del contenido mostrado con los procesos académicos representados, sin modificar el alcance tecnológico del presente trabajo.

Quedan fuera del alcance la arquitectura general del sistema, la persistencia de datos, la lógica completa de las etapas, la programación de las interacciones XR y otros componentes funcionales que no se relacionen con el diseño o la optimización visual. Tampoco se contempla una evaluación a largo plazo del aprendizaje, del rendimiento académico o de la adquisición de competencias. La contribución a la comprensión se prevé analizar mediante indicadores inmediatos sobre la interpretación de la información, el seguimiento de las tareas y la percepción de claridad dentro de la versión evaluable.

1.7. Delimitaciones

Delimitación temática: La propuesta aborda la dirección de arte y la producción de assets 3D. También comprende la interfaz inmersiva en World Space, la composición espacial, los materiales, la iluminación y la señalética, junto con la integración en Unity y la optimización gráfica.

Delimitación funcional: El desarrollo y la evaluación abarcan únicamente las escenas, los paneles, los documentos y las funciones que se contemplan como operativas en la versión del prototipo seleccionada para las pruebas. Los diseños o funciones que no lleguen a implementarse se mantendrán como elementos de preproducción y no se presentarán como funcionalidades operativas.

Delimitación tecnológica: Meta Quest 3 se establece como plataforma objetivo. Los assets se producen con Blender 5.1 y la integración se realiza en Unity 6000.3.5f2, utilizando Universal Render Pipeline y Meta XR All-in-One SDK 85.0.0. Las pruebas se plantean con una compilación ejecutada directamente en el visor seleccionado.

Delimitación geográfica: La validación se contempla en el contexto académico de la Universidad Católica de Cuenca y en los espacios disponibles para probar el prototipo, en relación con el Laboratorio de Comercio Exterior y Logística Internacional.

Delimitación poblacional: La propuesta está dirigida a los estudiantes de la Carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca, quienes constituyen la población académica destinataria de Explorador Global.

Delimitación metodológica y evaluativa: La evaluación con usuarios se plantea con carácter piloto y descriptivo y contempla un grupo de 24 estudiantes de cuarto ciclo de la Carrera de Negocios Internacionales. La selección de este grupo responde a su pertenencia a la población académica destinataria de la propuesta y a la posibilidad de coordinar la aplicación de las pruebas con el apoyo del director de carrera, quien imparte clases a estos estudiantes. La evaluación se aplicará a los 24 estudiantes que conforman el grupo. Los resultados tendrán alcance descriptivo y se circunscribirán a los participantes evaluados, sin plantearse como estimaciones estadísticamente generalizables a la totalidad de estudiantes de la carrera. Se registrará además su experiencia previa con realidad virtual para contextualizar posibles dificultades relacionadas con la familiaridad con el dispositivo y la interacción inmersiva. Se observarán cuatro tareas relacionadas con la comprensión de las indicaciones iniciales, el uso de un control UI, la manipulación de un panel y la selección de elementos logísticos de acuerdo con el producto asignado. La Tarea 4 incorpora, además de la interacción con la interfaz, una decisión relacionada con conocimientos disciplinares de comercio exterior, por lo que las dificultades registradas en esa actividad no se atribuirán exclusivamente al diseño UI/UX. El cuestionario posterior es un instrumento propio de propósito descriptivo y no una escala estandarizada de usabilidad; no se contempla una validación psicométrica del instrumento ni el cálculo de una puntuación global de usabilidad.

La comprobación técnica se limita a tres evaluaciones por versión y escenario mediante OVR Metrics Tool, interpretadas como mediciones discretas y no como telemetría continua de toda la experiencia. No se contemplan pruebas pretest/posttest ni mediciones de retención, transferencia, rendimiento académico o adquisición de competencias.

1.8. Beneficiarios

1.8.1. Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos son los estudiantes de la Carrera de Negocios Internacionales en la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca que utilicen Explorador Global en las actividades contempladas en el prototipo. La propuesta presenta de forma inmersiva y visualmente ordenada documentos, escenarios, operaciones y secuencias relacionadas con el comercio exterior. Esta organización se plantea para apoyar la comprensión funcional de los procesos logísticos y documentales representados.

Los docentes que empleen Explorador Global como recurso de apoyo en actividades académicas también forman parte de los beneficiarios directos. La disposición visual de los escenarios, paneles, documentos e instrucciones ofrece otra forma de presentar y acompañar los procedimientos logísticos y documentales, aunque no reemplaza la orientación pedagógica del docente.

1.8.2. Beneficiarios indirectos

Entre los beneficiarios indirectos se encuentran la Carrera de Negocios Internacionales y la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca, así como el Laboratorio de Comercio Exterior y Logística Internacional. La documentación visual, técnica y metodológica puede servir como apoyo para futuras iniciativas académicas vinculadas con la simulación inmersiva y el comercio exterior. También pueden beneficiarse

investigadores, diseñadores y desarrolladores que continúen ampliando Explorador Global o creen experiencias inmersivas de carácter técnico o procedimental.

1.9. Metodología general

1.9.1. Metodología de investigación

La investigación se plantea con un enfoque mixto para integrar información cuantitativa y cualitativa. La evaluación con usuarios se concibe como un estudio piloto, descriptivo, de corte transversal y sin manipulación experimental de variables [11], [12], [13].

Para la evaluación con usuarios se contempla trabajar con un grupo de 24 estudiantes de cuarto ciclo de Negocios Internacionales, seleccionado mediante un procedimiento no probabilístico. La elección de este grupo responde a su pertenencia a la población académica destinataria de la propuesta y a la posibilidad de coordinar la aplicación de las pruebas con el apoyo del director de carrera, quien imparte clases a estos estudiantes. La evaluación contempla la participación de los 24 estudiantes que conforman el grupo. Debido al carácter no probabilístico de la selección, los resultados se analizarán de forma descriptiva y se circunscribirán a los participantes evaluados, sin plantearse como estimaciones estadísticamente generalizables a la totalidad de la Carrera de Negocios Internacionales.

La dimensión cuantitativa considera las métricas técnicas de rendimiento obtenidas en Meta Quest 3 y los registros de cumplimiento, tiempos, errores y valoraciones del cuestionario. La dimensión cualitativa considera las observaciones consignadas durante las tareas y las respuestas abiertas. Ambos tipos de información se integrarán de manera complementaria para contrastar los conteos y promedios con las dificultades observadas durante el uso [11].

Los instrumentos previstos son una ficha individual de observación y un cuestionario post-experiencia, contruidos específicamente para la prueba piloto a partir de los criterios definidos en el objetivo de evaluación. La ficha operacionaliza el funcionamiento inmediato de la interacción mediante el registro del tiempo, el resultado de la tarea, los errores de interpretación, la dificultad principal, los incidentes técnicos, la ayuda aplicada y una observación breve. El cuestionario complementa estos registros mediante ocho afirmaciones orientadas a la claridad perceptiva y a aspectos de la interacción: claridad de la información visual, legibilidad de textos y documentos, organización de la información, localización de elementos, distinción de elementos interactivos, reconocimiento de la respuesta del sistema, facilidad para seguir la secuencia y adecuación de la cantidad de información. Las afirmaciones se valoran mediante una escala de cinco puntos, desde 1 = totalmente en desacuerdo hasta 5 = totalmente de acuerdo, además de campos abiertos para comentarios. Los instrumentos tienen un propósito descriptivo y no se plantean como escalas estandarizadas ni como mediciones de aprendizaje; sus resultados se analizarán por indicador y por criterio, sin calcular una puntuación global de usabilidad.

1.9.2. Metodología de desarrollo

Para gestionar el desarrollo se adopta Kanban como una metodología visual de gestión del flujo de trabajo. Su aplicación permite representar las tareas, priorizarlas y dar seguimiento a su avance mediante estados visibles, favoreciendo ajustes continuos durante el desarrollo [14].

Kanban se articula con siete etapas técnicas del componente visual: análisis y fundamentación, dirección de arte, diseño de interfaz inmersiva, producción de assets 3D, integración en Unity, optimización gráfica y validación. Estas etapas no constituyen fases

propias de Kanban; funcionan como el recorrido técnico dentro del cual se organizan las tareas del proyecto.

En las revisiones del trabajo se priorizan los objetivos y las tareas pendientes y se actualiza su estado conforme avanzan. Si durante la integración, la optimización o la validación se detecta una incidencia, la tarea vuelve a la etapa técnica responsable para ser ajustada y comprobada nuevamente. La descripción final del tablero debe conservar únicamente los estados y prácticas que hayan sido utilizados realmente por el equipo.

1.10. Resultados esperados

Los resultados esperados para el proyecto son los siguientes:

1. Una biblia de arte que registre la identidad visual de Explorador Global, incluyendo la paleta cromática, la tipografía, el lenguaje de formas, los materiales, la iluminación y los criterios de composición.
2. Propuestas de concept art y referencias visuales destinadas a orientar el desarrollo de los escenarios, la señalética y los elementos principales de la simulación.
3. Wireframes espaciales y un sistema de interfaz configurado en World Space para presentar documentos, instrucciones, advertencias, estados, listas de verificación y paneles operativos.
4. Un conjunto de assets 3D modelados, texturizados y preparados para integrarse en hardware standalone.
5. Escenarios integrados visualmente en Unity, con sus respectivos materiales, iluminación e interfaces de acuerdo con las actividades contempladas en el alcance.
6. Una versión optimizada del componente visual mediante iluminación horneada cuando corresponda, niveles de detalle (LOD), reutilización de materiales, reducción de geometría y descarte por oclusión según las necesidades de cada escenario.

7. Una compilación del prototipo que pueda ejecutarse en Meta Quest 3 dentro de las escenas y funciones consideradas en el alcance.
8. Un registro técnico de rendimiento que permita describir el comportamiento gráfico de la versión sometida a evaluación.
9. Un registro descriptivo procedente de la observación con usuarios y del cuestionario post-experiencia sobre claridad visual, legibilidad, organización de la información y criterios de usabilidad de la interfaz.
10. Un manual del usuario que describa el acceso, los controles, la navegación, las funciones y el recorrido disponible en la versión del prototipo.
11. Un manual técnico de implementación que documente la dirección de arte, la producción de assets, el pipeline artístico y la integración, junto con la optimización y los procedimientos necesarios para ampliar los recursos visuales.
12. Criterios y recomendaciones ajustados al contexto del proyecto para orientar futuras iteraciones y ampliaciones de Explorador Global.

1.11. Relación con el protocolo de investigación

La propuesta tecnológica mantiene relación con el protocolo de investigación en aspectos como el título, el objeto de estudio, el objetivo general, los objetivos específicos, el alcance tecnológico y la secuencia prevista para el desarrollo. El trabajo se centra en el componente visual de Explorador Global y reúne la dirección de arte, la interfaz inmersiva y la producción de assets tridimensionales. También incluye su integración en Unity, la optimización gráfica y la evaluación en dispositivos Meta Quest.

El objetivo general conserva la redacción aprobada en el protocolo. Los objetivos específicos siguen el orden establecido: definir la dirección de arte, diseñar la interfaz inmersiva, producir los assets tridimensionales, realizar la integración visual en Unity y

evaluar el rendimiento y la usabilidad. De cada objetivo se obtienen productos y evidencias que pueden verificarse dentro del proceso de desarrollo tecnológico.

La metodología de investigación mantiene el enfoque mixto y el carácter piloto previstos para describir el funcionamiento de la propuesta mediante datos cuantitativos y cualitativos. La metodología de desarrollo se organiza mediante Kanban y se articula con siete etapas técnicas: análisis y fundamentación, dirección de arte, interfaz inmersiva, producción 3D, integración, optimización y validación. La comprobación técnica se plantea en Meta Quest 3 y la evaluación con usuarios contempla un grupo de 24 estudiantes de cuarto ciclo, seleccionado por su pertenencia a la población académica destinataria de la propuesta y por la posibilidad de coordinar las pruebas con el apoyo del director de carrera. La evaluación se prevé con los 24 estudiantes que conforman el grupo y mediante cuatro tareas. Los resultados tendrán alcance descriptivo y no se interpretarán como una demostración causal de aprendizaje ni como estimaciones estadísticamente generalizables a toda la Carrera de Negocios Internacionales.

El alcance permanece restringido a la capa visual, espacial y gráfica de la simulación. Quedan fuera la arquitectura general del sistema, la persistencia de datos y la lógica completa de las etapas. Tampoco abarca la programación integral de las interacciones XR ni una evaluación pedagógica longitudinal.

La revisión del contenido y de los avances del prototipo se articula mediante el acompañamiento periódico de representantes de la Carrera de Negocios Internacionales. Durante el desarrollo se mantienen revisiones de interfaces, escenarios y contenidos relacionados con los procesos de comercio exterior, de modo que los cambios vinculados con esta información puedan contrastarse antes de incorporarse. La ejecución de este acompañamiento y la revisión de una versión funcional del prototipo por autoridades

académicas se documentan como evidencia complementaria en el Capítulo IV y en el Anexo C.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de investigación

Los antecedentes se organizan en cuatro líneas relacionadas con la propuesta: realidad virtual en educación superior, simulación de operaciones logísticas, interfaces en entornos inmersivos y producción visual y rendimiento gráfico. Su función es identificar aportes aplicables al problema y delimitar qué aspectos pueden trasladarse a Explorador Global sin asumir que los resultados obtenidos en otros contextos sean equivalentes.

Las revisiones sobre el uso de realidad virtual en educación superior coinciden en que la inmersión, por sí sola, no genera aprendizaje automáticamente. Cabrera-Duffaut et al. [1], Radianti et al. [2] y Maroungkas et al. [15] vinculan los resultados con el diseño pedagógico, el tipo de interacción, las teorías utilizadas y también con la manera de evaluar. De esta manera, es necesario distinguir entre las propiedades del sistema, la inmersión y la interacción, de las respuestas que presenta el usuario, como presencia, desempeño inmediato o valoración. También existen resultados que necesitarían evaluaciones posteriores, entre ellos la retención y transferencia.

Los estudios sobre logística tienen cercanía con el tema, aunque no cumplen la misma función. Schlüter y Kretschmer [8] evaluaron un juego destinado al entrenamiento en almacenes. Rodríguez Villalobos y Sempere Ripoll [16] describieron una factoría de aprendizaje relacionada con operaciones logísticas, y Živičnjak et al. [4] desarrollaron la representación de una terminal de contenedores para estudiantes. Además, Lewczuk y Źuchowicz [5] emplearon realidad virtual para estudiar la seguridad intralogística. Estos trabajos apoyan el uso de espacios, objetos y secuencias de operaciones dentro de una representación virtual. Sin embargo, no comprueban que una simulación de apoyo pueda

reemplazar normativa, práctica supervisada o los sistemas oficiales utilizados en comercio exterior.

La interfaz constituye otra línea relevante. Chen et al. [3] organizan los componentes que forman las interfaces de interacción en realidad virtual, mientras Yeo et al. [17] revisan distintas técnicas de interfaz tridimensional. Ambos estudios aportan criterios para relacionar selección, confirmación, respuesta visual y ubicación espacial de la información. En Explorador Global, estos trabajos orientan la definición de tareas y criterios observables relacionados con reconocimiento de acciones, localización de elementos y lectura dentro del visor.

La producción visual y el rendimiento gráfico constituyen una tercera línea de revisión. Miranto et al. [10] señalan que la complejidad de los assets y de sus materiales influye en el rendimiento de una simulación de realidad virtual. Este estudio no establece una cantidad universal de polígonos, tampoco exige aplicar cada técnica disponible de optimización. Pero sí respalda que el rendimiento debe medirse en el dispositivo objetivo. Además, se debe revisar geometría, materiales, texturas, transparencias, iluminación y llamadas de dibujo según el costo que se observe durante las pruebas, ya que el rendimiento depende de estos elementos y su comportamiento dentro de la escena.

En conjunto, los antecedentes muestran que la realidad virtual puede representar espacios y procedimientos logísticos, pero que la utilidad de una solución depende de la organización de la interfaz, el contexto de uso y la comprobación en el dispositivo objetivo. Estos aportes sirven como base para definir criterios de claridad, interacción y rendimiento de Explorador Global, sin convertir resultados ajenos en evidencia del proyecto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Realidad virtual, inmersión e interacción

La realidad virtual funciona como un sistema interactivo que muestra un entorno digital, el cual actualiza su punto de vista según la posición y orientación del usuario. La inmersión reúne características objetivas del sistema, entre ellas el seguimiento, campo visual, estereoscopía y tiempo de respuesta. La presencia corresponde a la sensación subjetiva de estar ubicado dentro del entorno, y la interacción incluye las acciones y respuestas con las que el usuario puede cambiar el estado de la experiencia. Estas dimensiones mantienen una relación entre sí, pero no significan lo mismo ni permiten, por sí solas, llegar a una conclusión sobre resultados educativos [1], [2], [15].

Además, es necesario diferenciar los distintos niveles de resultados que pueden observarse en una experiencia inmersiva. El desempeño inmediato describe lo que una persona consigue durante una sesión. El aprendizaje implica un cambio atribuible a la experiencia, mientras que la retención requiere comprobar ese cambio después de cierto intervalo. La transferencia supone aplicar lo aprendido dentro de una situación diferente. Estas categorías no deben utilizarse como equivalentes, porque cada una requiere condiciones e instrumentos de evaluación distintos.

2.2.2. Comprensión de procedimientos y aprendizaje situado

Un procedimiento puede entenderse como una secuencia organizada de estados, decisiones, documentos y acciones vinculados con una finalidad. Su comprensión exige reconocer el contexto, identificar las acciones pertinentes, interpretar la información disponible y relacionar cada resultado con el siguiente paso del flujo. Desde esta perspectiva, la claridad procedimental depende de cómo se representan las relaciones entre acciones,

información y secuencia, sin que una presentación clara constituya por sí sola evidencia de aprendizaje.

La comprensión funcional inmediata puede distinguirse de resultados educativos de mayor alcance. Se refiere al desempeño observable durante una sesión, como localizar información, interpretar instrucciones, reconocer acciones requeridas y ejecutar una secuencia dentro del contexto presentado. No equivale a demostrar aprendizaje, retención o transferencia, porque estos resultados requieren diseños de evaluación y comparaciones temporales específicas.

El aprendizaje situado establece una relación con el contexto, ya que el conocimiento se comprende junto con las actividades, los objetos y las condiciones propias de una práctica. Las revisiones sobre aplicaciones inmersivas en educación superior indican que el contexto, las actividades y los elementos de diseño deben mantener relación con los objetivos formativos [2], [15]. En entornos inmersivos, vincular información, objetos y secuencias con un contexto puede ofrecer un marco de referencia más concreto que presentar contenidos de forma descontextualizada. Sin embargo, la contextualización por sí sola no demuestra que una experiencia reproduzca por completo la práctica profesional ni que produzca mejores resultados de aprendizaje.

2.2.3. Carga cognitiva en entornos inmersivos

La teoría de la carga cognitiva parte de que la memoria de trabajo tiene una capacidad limitada. La carga intrínseca proviene de la complejidad de la tarea y de la relación que existe entre sus propios elementos. La carga extrínseca, en cambio, depende de cómo se presenta la información y la interacción al usuario. El modelo CAMIL vincula la inmersión con factores cognitivos y afectivos, incluida la carga cognitiva, pero no considera que aumentar la inmersión produzca por sí mismo mejores resultados [18]. En realidad virtual también pueden

aparecer otras demandas, como orientarse en el espacio, adaptarse al seguimiento de manos y aprender gestos. Además, el usuario debe buscar elementos dentro del entorno y leer información ubicada a diferentes distancias. El diseño puede disminuir contenidos redundantes, agrupar la información y mantener una respuesta consistente del sistema, pero no puede cambiar la complejidad normativa que forma parte del procedimiento [19].

Desde esta perspectiva, la teoría de la carga cognitiva permite distinguir entre la complejidad inherente a una tarea y las demandas añadidas por la forma de presentar la información. Jerarquizar el contenido, reducir elementos redundantes, mantener una respuesta consistente del sistema y evitar decoraciones que compitan con la tarea son decisiones orientadas a limitar una posible carga extrínseca. La existencia de este fundamento no demuestra una reducción efectiva de la carga cognitiva, ya que comprobarla requiere un instrumento y un diseño de evaluación específicos.

2.2.4. Usabilidad y unidades de observación

La usabilidad se relaciona con el grado en que usuarios específicos pueden alcanzar objetivos dentro de un contexto de uso determinado [20]. En una interfaz inmersiva, su análisis debe situarse en el contexto de uso, porque la facilidad para alcanzar un objetivo depende de la tarea, el perfil del usuario, el dispositivo, la forma de interacción y las condiciones del entorno. Por ello, la usabilidad no debe reducirse a una impresión estética ni a un único indicador aislado.

Las unidades de observación permiten delimitar qué comportamiento se registra durante una evaluación de uso. En tareas de interacción pueden considerarse, por ejemplo, la finalización de una acción, la necesidad de asistencia, los errores observados y el tiempo requerido. Estas medidas describen aspectos del desempeño durante el uso, pero no

sustituyen por sí solas una escala estandarizada ni permiten inferir aprendizaje, retención o transferencia.

Cuando una tarea combina la interacción con conocimientos disciplinares, el resultado puede depender de ambos componentes. En esos casos, los errores o las solicitudes de ayuda no deberían atribuirse automáticamente a la interfaz, ya que parte de la dificultad puede provenir del dominio previo del contenido. Separar ambos factores exige instrumentos o diseños específicos capaces de distinguir la dificultad de uso de la dificultad conceptual.

2.2.5. Legibilidad y jerarquía visual

La legibilidad en realidad virtual depende de varios factores, como el tamaño aparente del texto, la distancia desde la que se observa, el contraste y la resolución efectiva. También influyen su orientación y la posición que ocupa dentro del espacio. Kilpeläinen y Häkkinen [6] encontraron diferencias de legibilidad entre distintos dispositivos y señalaron que las especificaciones nominales no permiten anticipar por sí solas el resultado final. En interfaces inmersivas, el contenido debe comprobarse a la distancia y orientación de uso reales, porque una composición legible en una pantalla bidimensional no necesariamente conserva el mismo resultado dentro de un visor.

La jerarquía visual organiza la prioridad entre acciones, información de apoyo y detalles secundarios. El contraste, el tamaño aparente, la separación, la posición espacial y la consistencia de los estados contribuyen a que el usuario identifique qué información requiere atención primero [3], [6]. La legibilidad, sin embargo, no equivale a la comprensión total del contenido ni puede garantizarse de forma universal, ya que depende de las condiciones perceptivas, la tarea y las características del dispositivo.

2.2.6. Dirección de arte y coherencia visual

La dirección de arte funciona como un conjunto de decisiones que convierte objetivos narrativos y funcionales en criterios para trabajar la forma, el color, los materiales, la iluminación y la composición. La literatura sobre diseño gráfico aplicado a videojuegos señala que el concepto visual, la interfaz y los elementos incluidos en la escena deben coordinarse para mantener una experiencia coherente [7]. La coherencia no implica uniformidad absoluta: la señalización, las áreas de riesgo y los elementos interactivos pueden requerir contrastes intencionales para diferenciar su función sin romper el lenguaje visual general.

Una biblia de arte puede utilizarse como documento interno para registrar referencias, paleta de colores, tipografía, lenguaje de formas, tratamiento de superficies y ejemplos de aplicación. Su función es mantener continuidad entre las distintas etapas de producción y facilitar que las decisiones visuales puedan reproducirse de manera consistente. Este tipo de documento organiza criterios de trabajo, pero no constituye por sí mismo una fuente científica ni demuestra la efectividad del resultado visual.

2.2.7. Producción de assets 3D

La producción de un asset 3D parte de definir su función, su escala y las condiciones en las que será observado. Luego se realizan el modelado, la revisión de la topología y las normales, además del desplegado UV; también se preparan las texturas, los materiales y la exportación. El desenvolvemento UV, la edición de normales y el horneado de mapas constituyen operaciones distintas dentro del proceso de preparación de un recurso tridimensional [21], [22], [23]. Su aplicación depende de las necesidades del recurso y del balance entre calidad visual, complejidad y costo de producción.

Mediante el horneado, la información de una representación más compleja puede transferirse a mapas. Los atlas permiten agrupar texturas y los niveles de detalle sustituyen la geometría según la distancia. Sin embargo, no todos los assets necesitan estas técnicas. Determinar la opción adecuada exige equilibrar reutilización, nitidez visual, impacto en memoria, cantidad de materiales y costo de mantenimiento. Antes de integrar un recurso en un motor en tiempo real, deben comprobarse la escala, la orientación, el pivote, la nomenclatura, las UV, las normales y los materiales para reducir inconsistencias durante la transferencia.

2.2.8. Optimización gráfica en visores autónomos

Un visor autónomo integra el seguimiento, la visualización y el procesamiento dentro de límites de energía y temperatura. La frecuencia de actualización define un presupuesto temporal para cada fotograma: a medida que aumenta la frecuencia, disminuye el tiempo disponible para completar el trabajo de renderizado. Por ello, la estabilidad debe analizarse considerando tanto el trabajo de CPU como el de GPU y las condiciones reales de ejecución. Meta Platforms recomienda relacionar la frecuencia utilizada con el presupuesto disponible para cada fotograma [24].

Las transparencias y los elementos superpuestos pueden aumentar el procesamiento de fragmentos. Las luces y sombras dinámicas también añaden costo, mientras que las texturas ocupan memoria y consumen ancho de banda. Una cantidad elevada de objetos o de estados distintos en los materiales puede incrementar las llamadas de dibujo. Entre las opciones de optimización se encuentran la compresión ASTC, la instanciación de geometría repetida, el SRP Batcher, el descarte por oclusión y el renderizado foveado cuando la plataforma y la configuración lo permiten [24], [25]. La pertinencia de cada técnica debe determinarse mediante perfilado y no por su aplicación automática.

La optimización gráfica puede abordarse como un proceso de medición e iteración. Primero se obtiene una línea base, después se identifica el costo principal y se modifica el recurso o la configuración responsable; finalmente, se repite la medición para contrastar el comportamiento antes y después del ajuste. Las herramientas de perfilado permiten observar métricas relacionadas con CPU, GPU y estabilidad de fotogramas durante este proceso [26], [27]. Este enfoque evita asumir que una técnica de optimización resulta beneficiosa sin comprobar su efecto en el contexto de ejecución.

2.3. Bases metodológicas

2.3.1. Metodología de investigación

La propuesta se orienta al desarrollo y evaluación de un componente tecnológico aplicado a una necesidad concreta. La evaluación con usuarios se plantea como un estudio piloto, descriptivo, transversal y no experimental, debido a que se observará una versión funcional del prototipo en un momento determinado, sin asignación aleatoria, grupo de comparación ni manipulación dirigida a establecer relaciones causales [12], [13]. El enfoque es mixto porque integra información cuantitativa y cualitativa para complementar los resultados descriptivos [11].

Para la evaluación con usuarios se contempla un grupo de 24 estudiantes de cuarto ciclo de Negocios Internacionales, seleccionado mediante un procedimiento no probabilístico. La elección del grupo responde a su pertenencia a la población académica destinataria de la propuesta y a la posibilidad de coordinar las pruebas con el apoyo del director de carrera, quien imparte clases a estos estudiantes. La prueba se aplicará a los 24 integrantes del grupo. Debido al carácter no probabilístico de la selección, los resultados tendrán alcance descriptivo y se circunscribirán a los participantes evaluados, sin plantearse como estimaciones estadísticamente generalizables a la totalidad de la carrera. Como

instrumentos se prevén una ficha individual de observación y un cuestionario post-experiencia, aplicados a cada participante. Las fichas registrarán tiempo, resultado de la tarea, errores de interpretación, dificultad principal, incidentes técnicos, ayuda aplicada y observaciones; el cuestionario utilizará ocho afirmaciones valoradas de 1 a 5 y campos abiertos.

Los indicadores previstos incluyen porcentaje de ejecución autónoma, ejecución con ayuda, tareas no completadas, errores de interpretación y tiempos como información descriptiva. El cuestionario permitirá complementar estos registros con valoraciones de claridad de la información visual, legibilidad de textos y documentos, organización de la información, localización de elementos, distinción de elementos interactivos, reconocimiento de la respuesta del sistema, facilidad para seguir la secuencia y adecuación de la cantidad de información. El análisis se limitará al funcionamiento inmediato de la versión que se someta a evaluación.

Para el análisis se distinguirán las dificultades asociadas directamente con la interacción de aquellas que puedan depender del contenido disciplinar de la actividad. Esta diferenciación resulta especialmente relevante en la Tarea 4, cuya resolución requiere tanto utilizar la interfaz como seleccionar los elementos logísticos correspondientes de acuerdo con el producto asignado. Debido a que la evaluación no contempla una medición específica de conocimientos disciplinares, las dificultades que se registren en esta tarea se interpretarán de forma descriptiva y no se atribuirán exclusivamente al diseño UI/UX ni se utilizarán como evidencia de aprendizaje.

La comprobación técnica se plantea en Meta Quest 3 mediante OVR Metrics Tool. Se prevén tres evaluaciones de la versión base y tres de la versión optimizada; en cada evaluación se revisarán consecutivamente los cuatro escenarios. Los registros contemplan

BAT, CPU L, GPU L, FPS, DRR, STALE, CPU U, GPU U y APP T, y para el análisis comparativo se sintetizarán FPS, APP T, STALE y DRR. Estas mediciones se entienden como registros de las evaluaciones y no como un seguimiento continuo de toda la escena [26].

2.3.2. Metodología de desarrollo basada en Kanban

Kanban se emplea para visualizar, priorizar y dar seguimiento a las tareas del componente visual durante su desarrollo [14]. Esta metodología se articula con siete etapas técnicas: análisis y fundamentación, dirección de arte, interfaz inmersiva, producción de assets 3D, integración en Unity, optimización gráfica y validación. Las etapas representan el flujo técnico del proyecto y no deben presentarse como fases propias de Kanban.

La Tabla 1 organiza las etapas técnicas y muestra su propósito, el producto o evidencia esperada y la relación con los objetivos específicos.

Tabla 1

Etapas técnicas del desarrollo de Explorador Global

Etapas	Propósito y actividades principales	Producto o evidencia	Relación con los objetivos
1. Análisis y fundamentación	Revisar alcance, antecedentes, restricciones del visor y criterios visuales.	Criterios y delimitación del componente visual.	Objetivo general y todos los objetivos específicos.
2. Dirección de arte	Definir referencias, paleta, formas, materiales, tipografía y composición.	Biblia de arte y conceptos visuales.	OE1.
3. Interfaz inmersiva	Definir tareas, wireframes, paneles World Space, estados e interacción.	Wireframes y especificación de interacción.	OE2.
4. Producción de assets 3D	Modelar, preparar UV, texturizar y exportar según necesidad.	Assets y materiales preparados.	OE3.
5. Integración en Unity	Importar recursos, crear prefabs y configurar URP, Canvas e interacción XR.	Escena integrada y compilación funcional.	OE4.
6. Optimización gráfica	Perfilar en Quest 3, ajustar los recursos	Versión optimizada y registro de ajustes.	OE3 y OE4; prepara OE5.

7. Validación	necesarios y repetir la evaluación técnica. Aplicar evaluación de uso y comprobación técnica.	Registros de tareas, valoraciones y métricas.	OE5.
---------------	--	---	------

Nota. Elaboración propia a partir de la metodología de desarrollo definida para Explorador Global. OE = objetivo específico.

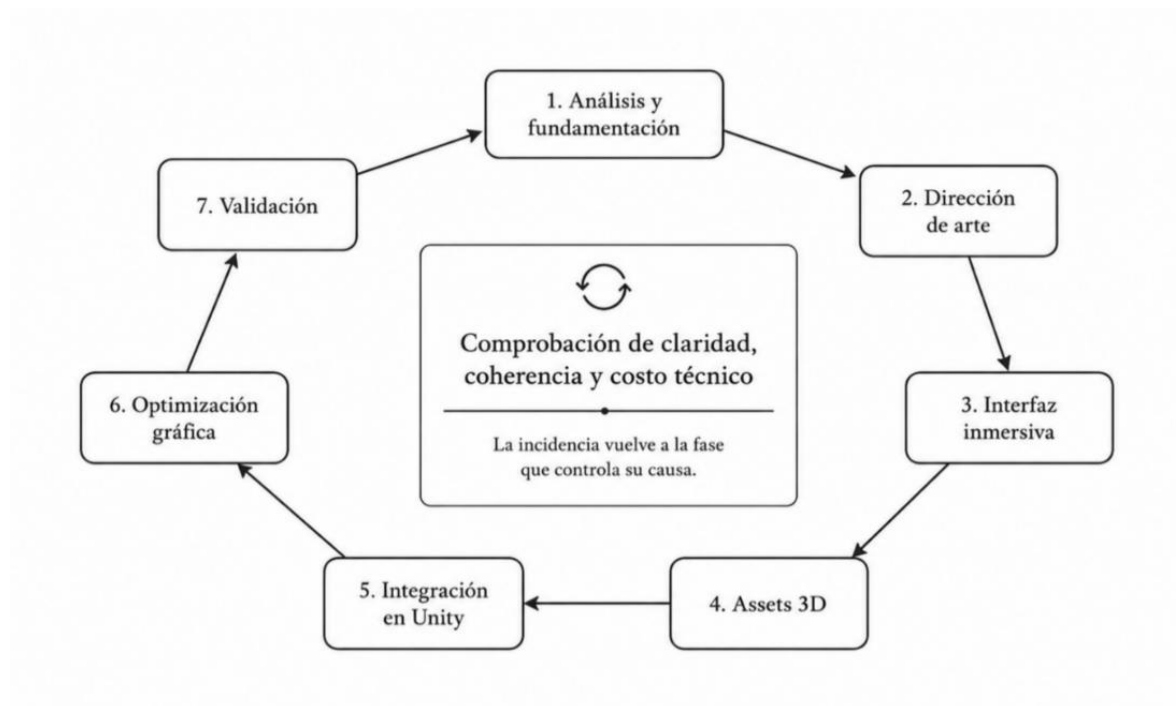
Las siete filas corresponden a etapas técnicas del componente visual y no a fases propias de Kanban.

Kanban gestiona el avance y la prioridad de las tareas, mientras las siete etapas describen el trabajo técnico del componente visual. Si durante la integración, la optimización o la validación se detecta una incidencia, la tarea puede regresar a la etapa correspondiente antes de continuar. La secuencia permite identificar qué producto se espera en cada etapa y cómo se relaciona con los objetivos específicos, desde la definición visual hasta la validación.

La Ilustración 1 representa la relación iterativa entre las etapas técnicas. Una incidencia detectada durante integración, optimización o validación puede devolver la tarea a la etapa que controla su causa, mientras Kanban permite actualizar su estado y prioridad dentro del flujo de trabajo.

Ilustración 1

Proceso iterativo de desarrollo del componente visual de Explorador Global



Nota. Elaboración propia a partir de la metodología de desarrollo definida para Explorador Global. El diagrama representa las siete etapas técnicas y el retorno de tareas cuando una comprobación requiere ajustes.

El diagrama muestra que el proceso técnico no se considera estrictamente lineal: los hallazgos de una etapa pueden generar ajustes en otra. Kanban se utiliza para gestionar esas tareas y su avance; el ciclo de siete etapas representa la secuencia técnica del componente visual. El sentido del retorno es mantener la corrección en el punto donde se origina el problema: una dificultad de interfaz puede requerir revisar el diseño, mientras que una incidencia geométrica debe resolverse en la producción 3D. Por ello, el diagrama no representa siete bloques aislados, sino un recorrido con retroalimentación entre actividades relacionadas. Esta lectura también evita interpretar Kanban como una secuencia fija de fases, ya que su función dentro del proyecto es hacer visible el estado de las tareas que avanzan o regresan dentro del flujo técnico.

2.4. Bases tecnológicas

2.4.1. Realidad virtual autónoma y Meta Quest 3

Una experiencia autónoma ejecuta la aplicación directamente en el visor, sin depender de un computador que renderice la escena durante su uso. Meta Quest 3 reúne en el mismo dispositivo el seguimiento, la pantalla y el procesamiento. Esta característica hace que las limitaciones de energía, memoria y rendimiento también se concentren en el equipo. La fidelidad visual, por tanto, debe definirse junto con el presupuesto técnico y comprobarse en la compilación preparada para el visor, no solamente dentro del editor.

Quest 3 se establecerá como dispositivo objetivo del proyecto. La propuesta contemplará seguimiento de manos y una frecuencia objetivo de 72 Hz. Estas condiciones delimitarán la comprobación y evitarán generalizar los resultados futuros a otros visores, modalidades de entrada o frecuencias diferentes. El dispositivo funcionará como plataforma de ejecución y resultará indispensable para revisar la apariencia visual y el rendimiento técnico.

2.4.2. Unity 6000.3.5f2 y Universal Render Pipeline

Unity 6000.3.5f2 se establece como la versión de trabajo para la propuesta. Se utiliza para integrar escenas, prefabs, materiales, iluminación e interfaces, además de generar la compilación destinada a Meta Quest 3. Su selección responde a la compatibilidad con el ecosistema XR previsto para Quest, la disponibilidad de Universal Render Pipeline y la posibilidad de integrar en un mismo entorno los recursos visuales y la interfaz World Space.

La canalización seleccionada para el proyecto es Universal Render Pipeline (URP). A través de ella se controlan los shaders, los materiales, las luces, las sombras y otras

funciones de renderizado dentro del flujo previsto. La comparación oficial entre canalizaciones indica que sus prestaciones cambian según la plataforma y la función empleada [28]. URP se selecciona por su adecuación al alcance gráfico del proyecto y su orientación a múltiples plataformas, incluida Android.

2.4.3. Interfaz World Space y Sistema XR

Los paneles de Explorador Global se plantean mediante Canvas World Space. Bajo esta configuración, los textos y controles utilizan las mismas coordenadas del entorno, lo que permite ubicarlos cerca del objeto o de la etapa que describen. El sistema XR enlaza el seguimiento de manos y el reconocimiento de gestos con eventos de enfoque y selección. Cuando la acción lo requiere, el usuario puede confirmar mediante el gesto de pellizco (pinch), acompañado por una respuesta visual. Para que ambos niveles funcionen de forma adecuada, se deben comprobar en el visor la escala, la distancia, la orientación, el puntero asociado a la mano, el orden de renderizado y la respuesta visual.

Meta XR All-in-One SDK 85.0.0 se contempla para integrar el proyecto con el ecosistema Quest y habilitar la modalidad de seguimiento de manos prevista. Su descripción se limita a las funciones necesarias para la propuesta y debe verificarse con la configuración que se utilice durante la implementación.

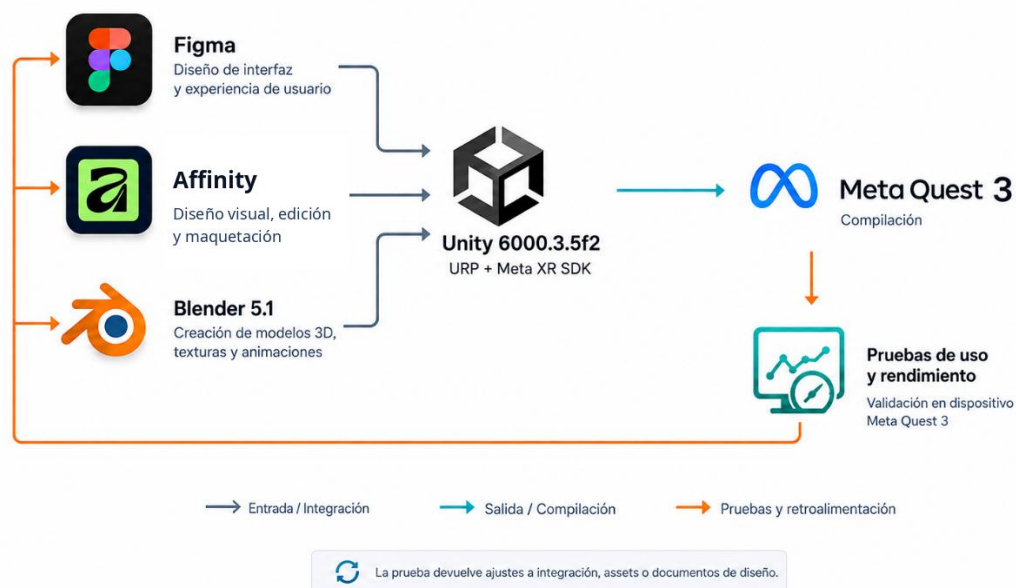
2.4.4. Perfilado en el dispositivo

El perfilado final se plantea directamente en Meta Quest 3. OVR Metrics Tool permite registrar métricas disponibles en el dispositivo, mientras Unity Profiler funciona como herramienta de apoyo durante el desarrollo para revisar costos relacionados con CPU y GPU [26], [27]. Las capturas del Performance HUD se consideran una forma de evidencia de los registros de la versión base y la versión optimizada; el procedimiento concreto se documentará en el capítulo técnico.

La Ilustración 2 presenta de forma resumida el ecosistema tecnológico previsto para el proyecto. Affinity y Figma concentran la preproducción visual; Blender se utiliza para la producción 3D; y Unity reúne los recursos, URP y Meta XR SDK antes de generar una compilación para Meta Quest 3. Las comprobaciones previstas durante el desarrollo pueden generar ajustes en cualquiera de estas etapas.

Ilustración 2

Ecosistema tecnológico utilizado en Explorador Global



Nota. Elaboración propia a partir de la configuración tecnológica prevista para el proyecto. El diagrama relaciona las herramientas de producción con la integración en Unity, la ejecución en Meta Quest 3 y la comprobación en dispositivo.

La representación resume el flujo de transferencia entre herramientas: Affinity y Figma concentran la preproducción visual, Blender la producción 3D, Unity la integración y Meta Quest 3 la comprobación en dispositivo. Las conexiones de retorno representan ajustes previstos cuando una incidencia se origina en una etapa anterior. La representación permite distinguir además entre herramientas de creación, herramienta de integración y plataforma de comprobación. Affinity, Figma y Blender generan o preparan recursos editables; Unity

concentra su ensamblaje dentro de la experiencia; y Meta Quest 3 permite revisar el resultado en las condiciones de ejecución previstas. Esta separación es importante porque un problema detectado en el visor no necesariamente se corrige en Unity: puede requerir volver al archivo de interfaz, al modelo o a la textura de origen.

2.5. Arquitecturas, modelos y estándares

2.5.1. Modelo de organización tecnológica del componente visual

La organización tecnológica se presenta a través de cinco niveles y no pretende describir una arquitectura completa de software. En el primer nivel están las fuentes editables, como los wireframes, la biblia de arte, las composiciones gráficas, los modelos, las UV y las texturas. El segundo nivel agrupa los recursos de intercambio ya preparados para incorporarse en Unity. Luego se encuentra la escena implementada, en la que se reúnen los prefabs, los materiales, los Canvas World Space y los componentes interactivos. El cuarto nivel incluye la compilación junto con la configuración correspondiente a la plataforma. Finalmente, el quinto nivel es la ejecución en Quest 3, que permite revisar la apariencia, la interacción y el rendimiento.

Este modelo permite identificar en qué parte del proceso puede originarse un problema. Si un texto no se lee correctamente, la causa puede encontrarse en el tamaño de la letra, la escala del Canvas o la distancia prevista dentro de la escena. Si un material aparece de forma incorrecta, la causa puede relacionarse con los mapas, la importación o la configuración del shader. Una disminución del rendimiento también puede asociarse con geometría, materiales, transparencias, iluminación o lógica. Las incidencias detectadas durante la comprobación deberán regresar al nivel que controle su causa, sin asumir que cada ajuste obliga a reconstruir todo el sistema.

2.5.2. Flujo de producción e integración de assets

El proceso de creación de un asset parte de las referencias, la función que debe cumplir y la escala prevista. Después se desarrolla el modelado y se comprueba que la topología esté optimizada y no genere artefactos en la superficie. En las etapas siguientes se preparan las UV, las texturas y las normales, además de los mapas horneados cuando son necesarios. Antes de exportar el recurso, se comprueba que los nombres sean correctos, que el pivote esté ubicado adecuadamente, que la orientación y las transformaciones sean correctas y que los mapas o texturas horneados estén preparados de forma adecuada. Al integrarlo en Unity, se revisan la importación, el shader y la escala, junto con las colisiones, la iluminación y su comportamiento dentro de la escena. La comprobación final se realiza en Quest 3, ya que una apariencia adecuada en Blender o en el editor no garantiza el mismo resultado dentro de la aplicación autónoma.

El horneado, los atlas y los niveles de detalle se consideran decisiones que dependen de cada caso. La comprobación de un ajuste debe relacionar el problema identificado, el cambio aplicado y la revisión posterior de su comportamiento. El procedimiento de implementación se documenta con detalle en el Capítulo IV.

2.5.3. Modelo de rendimiento para 72 Hz

La frecuencia objetivo de 72 Hz corresponde a un intervalo nominal aproximado de 13,89 ms por fotograma, obtenido mediante la relación $1000/72$. Este valor se utiliza como referencia para interpretar el comportamiento gráfico previsto y no constituye por sí solo una garantía de estabilidad [24], [26]. La lectura se complementará con Average FPS, App GPU Time, Stale Frame Count y Display Refresh Rate disponibles mediante OVR Metrics Tool.

Para la comparación se prevén tres evaluaciones de la versión base y tres de la versión optimizada. En cada evaluación se revisarán consecutivamente los cuatro escenarios y se

registrará DRR junto con las demás métricas previstas. El análisis utilizará promedios por escenario y versión; el procedimiento y los valores obtenidos se documentarán únicamente en el capítulo técnico.

2.6. Herramientas de desarrollo

Para seleccionar las herramientas de desarrollo se consideran las funciones necesarias en cada etapa del proyecto, su adecuación a la plataforma objetivo, el tipo de recursos que deben producirse y las condiciones de acceso al software. La comparación no busca establecer una superioridad general entre aplicaciones, sino identificar cuál responde mejor a las necesidades concretas de Explorador Global. En este sentido, se analizan Unity frente a Unreal Engine para la integración y ejecución en realidad virtual; Blender frente a Autodesk Maya para la producción tridimensional; Affinity frente a Adobe Creative Cloud para la producción gráfica; y Figma frente a Penpot para el diseño y prototipado de interfaces.

2.6.1. Unity frente a Unreal Engine

Unity y Unreal Engine permiten desarrollar experiencias de realidad virtual y trabajar con dispositivos Meta Quest. Unity dispone de XR Plug-in Management para gestionar los proveedores XR y puede utilizar OpenXR dentro de este sistema [29]. A esto se suma la disponibilidad del Meta XR All-in-One SDK, que proporciona componentes específicos para desarrollar funciones de realidad virtual y realidad mixta en dispositivos Quest. Meta también ofrece Building Blocks para incorporar funciones habituales como el rig de cámara, controladores y seguimiento de manos. Unreal Engine, por su parte, dispone de soporte para dispositivos Meta Quest mediante OpenXR y herramientas propias para experiencias XR [30].

Para Explorador Global, la selección de Unity responde principalmente a la relación directa entre estas herramientas XR, Universal Render Pipeline y el desarrollo previsto para

Meta Quest 3. El proyecto requiere integrar escenarios, prefabs, interfaces World Space, seguimiento de manos, materiales y técnicas de optimización dentro de una compilación para un visor autónomo. Estas necesidades pueden resolverse dentro del ecosistema de Unity sin requerir características de renderizado o producción adicionales que no forman parte del alcance de la propuesta.

La Tabla 2 compara ambas alternativas según su integración con Meta Quest, las funciones XR, el renderizado y su adecuación al alcance del proyecto.

Tabla 2

Comparación entre Unity y Unreal Engine para Explorador Global

Criterio	Unity	Unreal Engine
Integración con Meta Quest	Compatible con OpenXR, XR Plug-in Management y Meta XR All-in-One SDK.	Compatible con Meta Quest mediante OpenXR y herramientas XR propias.
Interacción XR	Meta XR SDK incorpora recursos específicos para controladores, seguimiento de manos y componentes reutilizables.	Permite implementar interacción XR mediante OpenXR y sus sistemas de interacción.
Renderizado para el proyecto	URP permite configurar materiales, iluminación y renderizado dentro de un pipeline orientado a múltiples plataformas.	Dispone de su propia canalización gráfica y herramientas de renderizado para XR.
Adecuación al alcance	Reúne en un mismo entorno las funciones necesarias para integrar World Space UI, assets, interacción XR y optimización para Quest 3.	Puede cubrir el mismo objetivo general, aunque sus características adicionales no representan una necesidad específica para el componente desarrollado.

Nota. Elaboración propia con base en la documentación oficial de Unity Technologies [29] y Epic Games [30], junto con la configuración tecnológica definida para Explorador Global.

Ambas alternativas permiten desarrollar aplicaciones de realidad virtual para Meta Quest, por lo que la decisión no se fundamenta en la ausencia de compatibilidad de Unreal Engine. Unity se seleccionará porque las necesidades específicas del proyecto coinciden directamente con su ecosistema XR y con las herramientas proporcionadas por Meta para este motor. La combinación de XR Plug-in Management, Meta XR SDK, Canvas World Space y URP cubrirá la integración de la interfaz, el seguimiento de manos, los recursos visuales y la generación de la aplicación para Quest 3. Unreal Engine constituye una

alternativa técnicamente válida, pero no aporta una ventaja determinante para las funciones contempladas en el alcance de Explorador Global.

2.6.2. Blender frente a Autodesk Maya

Blender y Autodesk Maya ofrecen herramientas completas para producción tridimensional. Blender es un software libre y de código abierto que integra modelado, esculpido, UV, materiales, animación, renderizado y otras funciones dentro de una misma aplicación [31]. Autodesk Maya dispone igualmente de herramientas profesionales de modelado, edición UV, rigging, animación y renderizado orientadas a producción audiovisual y de videojuegos [32].

En Explorador Global, la producción tridimensional requiere principalmente modelado de entornos y utilería, preparación UV, texturizado, horneado de mapas, animación de objetos y exportación de recursos hacia Unity. Blender cubre estas operaciones dentro de una misma herramienta y, al ser gratuito y de código abierto, permite mantener disponibles tanto el programa como los archivos editables sin incorporar un costo adicional de licenciamiento.

La Tabla 3 presenta la comparación de ambas herramientas según el contexto del proyecto.

Tabla 3

Comparación entre Blender y Autodesk Maya para Explorador Global

Criterio	Blender	Autodesk Maya
Modelado y preparación 3D	Modelado, UV, normales, materiales, esculpido y herramientas de preparación de malla.	Modelado poligonal y NURBS, UV, esculpido y herramientas avanzadas de producción.
Animación	Permite animación mediante keyframes, rigging y sistemas de animación integrados.	Ofrece un conjunto amplio de herramientas profesionales de rigging y animación.

Flujo requerido	Reúne las operaciones necesarias para producir, preparar y exportar los assets del proyecto.	También cubre las operaciones requeridas y añade herramientas orientadas a pipelines profesionales de mayor escala.
Acceso	Software libre y de código abierto, sin costo de licencia.	Software comercial distribuido mediante licencia de Autodesk.

Nota. Elaboración propia con base en la documentación oficial de Blender Foundation [31] y Autodesk [32].

Las dos aplicaciones satisfacen las necesidades básicas de producción 3D de la propuesta. La elección de Blender se fundamenta en que integra las operaciones necesarias para modelar, preparar UV, trabajar materiales, animar y exportar los recursos del proyecto sin requerir una licencia comercial. Maya incorpora herramientas profesionales especialmente relevantes para pipelines complejos de animación y producción audiovisual, pero esas capacidades no representan un requisito adicional para los assets de Explorador Global. En este contexto, Blender permite cubrir el proceso tridimensional completo con una menor barrera de acceso y sin reducir las funciones necesarias para el alcance establecido.

2.6.3. Affinity frente a Adobe Creative Cloud

Affinity y Adobe Creative Cloud permiten cubrir las tareas de diseño gráfico necesarias para la preproducción visual. La versión actual de Affinity integra herramientas de diseño vectorial, edición de imágenes y maquetación dentro de una única aplicación, permitiendo combinar funciones de Vector, Pixel y Layout en un mismo espacio de trabajo [33]. Adobe Creative Cloud ofrece herramientas especializadas para estas tareas mediante aplicaciones como Illustrator, Photoshop e InDesign [34].

Esta diferencia resulta relevante para Explorador Global porque la preparación de moodboards, concept art, composiciones gráficas y páginas de la biblia de arte requiere alternar con frecuencia entre imágenes ráster, elementos vectoriales, texto y maquetación. Affinity permite trabajar estos recursos dentro de un mismo documento y entorno, evitando separar cada tipo de operación entre varias aplicaciones.

La Tabla 4 compara Affinity y Adobe Creative Cloud según las funciones necesarias para la producción gráfica y la preproducción visual del proyecto.

Tabla 4

Comparación entre Affinity y Adobe Creative Cloud para Explorador Global

Criterio	Affinity	Adobe Creative Cloud
Diseño vectorial	Herramientas vectoriales integradas en el mismo entorno.	Illustrator proporciona herramientas especializadas de diseño vectorial.
Edición de imágenes	Herramientas Pixel y edición fotográfica integradas.	Photoshop concentra las funciones especializadas de edición de imágenes.
Maquetación	Herramientas Layout disponibles dentro de la misma aplicación.	InDesign se utiliza como aplicación específica para maquetación.
Flujo de trabajo	Permite combinar vector, imagen y maquetación sin cambiar de aplicación.	Distribuye estas funciones entre distintas aplicaciones del ecosistema Creative Cloud.
Acceso	La versión actual de Affinity se ofrece gratuitamente.	Creative Cloud se comercializa mediante planes de suscripción.

Nota. Elaboración propia con base en información oficial de Affinity [33] y Adobe [34].

Affinity se selecciona principalmente porque concentra en una misma aplicación las tres áreas utilizadas durante la producción gráfica del proyecto: diseño vectorial, edición de imágenes y maquetación. Esta integración resulta útil para una biblia de arte en la que fotografías de referencia, formas vectoriales, diagramas, textos y composiciones conviven dentro de las mismas páginas. Adobe Creative Cloud ofrece herramientas más especializadas mediante Photoshop, Illustrator e InDesign, pero para cubrir las mismas tareas es necesario trabajar entre varias aplicaciones. Para el alcance de Explorador Global, Affinity proporciona las funciones requeridas dentro de un entorno unificado y sin incorporar un costo de licencia, por lo que se ajusta mejor al flujo previsto de preproducción visual.

2.6.4. Figma frente a Penpot

Figma y Penpot están orientados al diseño de interfaces, sistemas de componentes y prototipos interactivos. Figma permite organizar componentes y variantes y definir interacciones reutilizables entre sus distintos estados [35]. Penpot también proporciona

componentes, variantes, design tokens y prototipado, con la característica adicional de ser una plataforma de código abierto que puede utilizarse mediante alojamiento propio [36].

Para Explorador Global resulta especialmente relevante disponer de componentes reutilizables, debido a que las interfaces comparten botones, estados, jerarquías, encabezados y estructuras similares. El sistema de variantes y componentes interactivos de Figma permite representar estas diferencias sin reconstruir cada elemento como un recurso completamente independiente.

La Tabla 5 compara Figma y Penpot según las funciones necesarias para diseñar y prototipar las interfaces de Explorador Global.

Tabla 5

Comparación entre Figma y Penpot para Explorador Global

Criterio	Figma	Penpot
Wireframes y UI	Diseño de interfaces, Auto Layout, componentes y organización de pantallas.	Diseño de interfaces, componentes y herramientas de organización visual.
Componentes y estados	Variantes y componentes interactivos permiten reutilizar estados y comportamientos de prototipo.	Componentes, variantes y design tokens para sistemas reutilizables.
Prototipado	Permite conectar pantallas y definir interacciones reutilizables entre componentes.	Permite crear flujos y prototipos interactivos.
Colaboración	Trabajo colaborativo y gestión de sistemas de diseño dentro de la plataforma.	Trabajo colaborativo con la ventaja adicional de código abierto y autoalojamiento.
Adecuación al proyecto	Sus componentes y variantes se ajustan al diseño de una familia de paneles con estructura y estados compartidos.	Constituye una alternativa adecuada cuando se prioriza el control de infraestructura, el software abierto o el autoalojamiento.

Nota. Elaboración propia con base en la documentación oficial de Figma [35] y Penpot [36].

Figma se selecciona porque sus herramientas de componentes, variantes y prototipado se ajustan a la necesidad de construir un sistema de interfaces relacionado y no un conjunto de pantallas independientes. La posibilidad de reutilizar componentes y representar distintos estados permite mantener consistencia entre botones, paneles y acciones durante la preproducción. Penpot ofrece capacidades comparables y presenta ventajas

importantes relacionadas con código abierto y autoalojamiento; sin embargo, estas características no constituyen requisitos del proyecto. La elección de Figma responde, por tanto, a la adecuación de su sistema de componentes y prototipos al diseño de las interfaces previstas, sin asumir que Penpot sea incapaz de desarrollar el mismo tipo de producto.

2.7. Marco conceptual

2.7.1. Experiencia y dispositivo

La realidad virtual es un entorno digital que permite interactuar y cambia el punto de vista según los movimientos que realiza el usuario. Un simulador educativo representa de forma controlada algunos elementos de una situación, con el fin de apoyar la observación o la práctica. No sustituye documentos oficiales, sistemas institucionales, asesoría profesional ni los procedimientos que están vigentes. Un visor autónomo reúne visualización, seguimiento y procesamiento en el mismo dispositivo, sin necesitar renderizado externo durante su uso. La interfaz inmersiva incluye controles y representaciones colocadas dentro del entorno tridimensional. En una World Space UI, el Canvas funciona como un objeto de la escena, y su escala y distancia deben revisarse directamente dentro del visor.

2.7.2. Preproducción y producción visual

La dirección de arte reúne las decisiones que organizan la intención visual, las formas, los colores, los materiales, la iluminación y la composición del proyecto [7]. La biblia de arte funciona como un documento interno donde se registran estas reglas y ejemplos de aplicación. Un wireframe representa de forma esquemática la estructura y el recorrido de una interfaz antes de su integración visual final [3], [17]. Un asset 3D es un recurso tridimensional creado para cumplir una función dentro de la escena y puede incorporar geometría, UV, materiales, texturas, colisiones o variantes según las necesidades del proyecto [21], [22], [23].

Un material PBR organiza las propiedades de una superficie según un modelo de respuesta frente a la luz. El baking o proceso de horneado transfiere o calcula con anticipación cierta información, colocándola en mapas u otros recursos que luego son utilizados durante la ejecución. Un LOD (level of detail) corresponde a una variante que se elige de acuerdo con la distancia o la importancia visual del objeto. La draw call es una orden de dibujo enviada al sistema gráfico, aunque su costo no depende solamente de cuántas existan, también del contexto. El occlusion culling evita preparar o dibujar objetos que se consideran ocultos desde la vista, siempre que la escena y su configuración sean adecuados para utilizarlo.

2.7.3. Usabilidad, legibilidad y rendimiento

La claridad visual describe qué tan fácilmente una composición comunica la prioridad, el estado y la relación entre sus elementos. La legibilidad corresponde a la posibilidad de reconocer y leer signos bajo condiciones específicas, como tamaño aparente, distancia, contraste, resolución y orientación [6]. Dentro de este estudio, la usabilidad se delimita al cumplimiento de tareas, los errores de interpretación, la ayuda requerida y las valoraciones asociadas con la interfaz, de acuerdo con el contexto de uso definido [20]. No se utiliza como sinónimo de aprendizaje ni como una puntuación estandarizada de satisfacción global.

Los fotogramas por segundo (FPS) indican la frecuencia con la que la aplicación genera imágenes. El tiempo de fotograma muestra cuánto dura cada ciclo en milisegundos. Para una frecuencia de 72 Hz, el intervalo nominal corresponde a 13,89 ms. La interpretación debe considerar la estabilidad y el trabajo de CPU y GPU, junto con las condiciones del registro. OVR Metrics Tool y Unity Profiler permiten observar métricas relacionadas con

este comportamiento [24], [26], [27]. Los FPS y el tiempo de fotograma no explican por sí solos la latencia total, la calidad visual ni toda la experiencia del usuario.

2.7.4. Conceptos aduaneros representados

La declaración aduanera de importación (DAI) y la declaración aduanera de exportación (DAE) corresponden a declaraciones vinculadas con sus respectivos regímenes y procedimientos. La forma en que se elaboran y transmiten, así como los documentos que las respaldan, depende de la normativa y de los sistemas oficiales. Dentro de la simulación se presentan como versiones educativas simplificadas, por lo que no generan efectos jurídicos ni reemplazan los trámites realizados ante el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador.

El aforo corresponde al acto mediante el cual la administración aduanera realiza las verificaciones necesarias para la determinación tributaria. El artículo 140 del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones contempla la revisión del origen, naturaleza, cantidad, valor, peso, medida y clasificación arancelaria de las mercancías [37]. El Reglamento contempla las modalidades de aforo automático, documental, físico y físico no intrusivo, desarrolladas principalmente en sus artículos 78, 80, 82, 83 y 83.1 [38].

El depósito temporal corresponde a un servicio aduanero regulado para las mercancías bajo las condiciones del artículo 53 del Reglamento. El documento de transporte se define en el artículo 2, letra dd, y se reconoce como documento de soporte en el artículo 73, letra a. La declaración aduanera se regula en el artículo 63 [38]. Estos conceptos establecen el vocabulario previsto para la experiencia, aunque su aplicación práctica debe revisarse con la normativa vigente y con los procedimientos oficiales.

2.8. Relación entre la teoría y la propuesta tecnológica

La teoría se vincula con la propuesta cuando aporta un criterio que puede convertirse en una decisión concreta y en una forma prevista de comprobación. La representación situada

orienta la relación entre espacios, objetos y secuencias; la carga cognitiva y la jerarquía visual ayudan a controlar información secundaria; la usabilidad define indicadores observables; y la dirección de arte organiza los recursos visuales. Estas relaciones no convierten automáticamente una decisión de diseño en un resultado, porque cada una necesita una forma explícita de verificación.

La producción de assets y el modelo PBR conectan el trabajo previsto en Blender con los materiales de URP. La base tecnológica relaciona los Canvas World Space y el seguimiento de manos con la ejecución en Quest 3. El modelo de rendimiento transforma el objetivo de 72 Hz en un presupuesto nominal de 13,89 ms que deberá comprobarse durante las pruebas. Kanban organiza el seguimiento de las tareas, mientras el flujo técnico permite que una incidencia regrese a diseño, producción 3D o Unity según su causa. La Tabla 6 resume estas relaciones y evita incluir como variables aquello que no se plantea medir, como satisfacción global, confort clínico o eficacia pedagógica.

Tabla 6

Trazabilidad entre fundamentos y decisiones de la propuesta

Fundamento	Criterio derivado	Decisión aplicada	Evidencia o forma de comprobación
Representación situada	Relacionar contexto, objetos y secuencia sin equiparar simulación y práctica completa.	Escenas y cuatro tareas vinculadas con situaciones aduaneras delimitadas.	Revisión de correspondencia con el alcance, observación de las tareas y contraste con normativa oficial.
Carga cognitiva y jerarquía visual	Distinguir complejidad intrínseca de carga extrínseca potencial; priorizar la acción.	Agrupación de campos, instrucciones breves, estados consistentes y reducción de información secundaria.	Errores de interpretación, necesidad de ayuda, comentarios y valoración descriptiva de claridad visual.
Usabilidad y legibilidad	Comprobar el uso en contexto y la lectura en el visor.	Canvas World Space ajustado a la interacción mediante seguimiento de manos, considerando distancia, contraste, tamaño aparente y respuesta visual.	Registros previstos de ejecución autónoma, asistencia, errores de interpretación y valoraciones de claridad y legibilidad; procedimiento detallado en 4.10.2.

Dirección de arte	Mantener reglas visuales reproducibles y distinguir teoría de evidencia interna.	Biblia de arte, paleta, formas, tipografía y criterios de composición.	Revisión de coherencia entre documentos de preproducción, interfaz y escena integrada.
Producción de assets	Preparar cada recurso según función y validar la transferencia entre herramientas.	Modelado, UV, normales, texturas y exportación; baking, atlas o LOD solo cuando se justifican.	Lista de revisión por asset y comprobación de escala, material y costo en Unity y Quest 3.
Rendimiento gráfico	Trabajar con presupuesto nominal y localizar el límite de CPU o GPU.	Objetivo de 72 Hz; control de materiales, luces, transparencias, geometría y llamadas de dibujo según perfilado.	Tres evaluaciones previstas por versión mediante OVR Metrics Tool, con síntesis por escenario y versión; procedimiento detallado en 4.10.1.
Desarrollo iterativo	Corregir en el nivel responsable y volver a comprobar.	Bucles entre diseño, Blender, Unity y pruebas en Quest 3.	Registro de incidencia, cambio, compilación, condición de prueba y resultado observado.
Gestión Kanban y flujo técnico	Visualizar y priorizar tareas; corregir en la etapa responsable y volver a comprobar.	Tablero de trabajo asociado con las etapas técnicas del componente visual.	Registro de tareas, incidencias, cambios y comprobaciones previstas.

Nota. Elaboración propia a partir de los fundamentos y decisiones desarrollados en los apartados 2.2–2.6. La validación de uso se detalla en el apartado 4.10.2 y la validación técnica en el apartado 4.10.1.

La trazabilidad permite que cada decisión del proyecto tenga un fundamento identificable y una forma concreta de revisión posterior. De este modo, el Capítulo II justifica lo que se propone realizar, mientras el Capítulo IV documenta la implementación y los resultados obtenidos. La tabla también evita que una decisión interna se presente como resultado científico únicamente por estar relacionada con un fundamento teórico. Cada fila separa el criterio que orienta el diseño, la forma concreta en que se prevé aplicarlo y la evidencia que permitiría revisarlo posteriormente. Esta organización resulta especialmente importante en aspectos como carga cognitiva, usabilidad y rendimiento, donde el proyecto utiliza conceptos de referencia sin afirmar variables que no serán medidas directamente. Así, la trazabilidad funciona como puente entre la fundamentación del Capítulo II y la evidencia de implementación que se documenta en el Capítulo IV.

La propuesta queda limitada a un componente visual e inmersivo que puede comprobarse, no a una arquitectura completa ni a una demostración sobre eficacia

pedagógica. El Capítulo III explica el acceso, los controles y el recorrido desde la experiencia del usuario. El Capítulo IV documenta la dirección de arte, la creación de assets, el pipeline artístico, los materiales, la iluminación, la integración visual, la optimización, la validación técnica y el procedimiento para ampliar los recursos artísticos.

Capítulo III

3. Manual de usuario

3.1. Presentación de la propuesta y perfil del usuario

3.1.1. Descripción general de Explorador Global

Explorador Global es una simulación educativa de realidad virtual que representa actividades vinculadas con procesos de exportación e importación mediante escenarios tridimensionales, documentos, paneles informativos y objetos logísticos. La experiencia está dirigida principalmente a estudiantes universitarios de la Carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca.

La aplicación organiza las actividades de forma secuencial y permite que el usuario consulte instrucciones, seleccione opciones, interactúe con elementos del entorno y avance entre etapas. La representación tiene un propósito académico y no sustituye los procedimientos oficiales, la normativa vigente ni la práctica profesional del comercio exterior.

3.1.2. Perfil del usuario

El usuario principal de Explorador Global corresponde a estudiantes de la Carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca, quienes utilizan la simulación como recurso de apoyo para interactuar con actividades relacionadas con procesos de exportación e importación.

No se requiere experiencia avanzada previa con dispositivos de realidad virtual. El usuario puede presentar un nivel básico o incluso no haber utilizado anteriormente un visor, debido a que la aplicación incorpora un tutorial inicial y ayudas contextuales destinadas a explicar las acciones esenciales de navegación e interacción. Para utilizar adecuadamente la

experiencia, se espera que el estudiante pueda seguir instrucciones breves, identificar información presentada en paneles y ejecutar las acciones indicadas durante cada etapa.

3.1.3. Requisitos mínimos y condiciones de uso

Para utilizar la versión documentada de Explorador Global se requieren las siguientes condiciones:

- Un visor Meta Quest 3 con la aplicación Explorador Global instalada.
- Un espacio físico despejado que permita mover los brazos con seguridad durante la interacción.
- Iluminación ambiental suficiente para favorecer el reconocimiento de las manos por las cámaras del visor.
- Las cámaras externas del visor deben permanecer descubiertas durante la sesión.
- Las manos deben mantenerse, cuando sea posible, dentro del campo de seguimiento del visor para conservar una interacción estable.

Antes de comenzar, el usuario debe comprobar que no existan obstáculos, muebles u otras personas dentro del área inmediata de movimiento. Aunque el desplazamiento virtual se realiza principalmente mediante teletransportación, las tareas de selección y manipulación requieren movimientos reales de las manos y los brazos.

3.2. Acceso e inicio de la experiencia

3.2.1. Preparación del espacio y del visor

El usuario debe colocarse el visor dentro de un área libre de obstáculos y verificar que las cámaras dispongan de iluminación suficiente. Al iniciar el seguimiento, ambas manos deben situarse frente al visor hasta que aparezca su representación virtual. Si una mano deja

de reconocerse temporalmente, debe volver a colocarse dentro del campo de visión de las cámaras hasta recuperar el seguimiento.

3.2.2. Inicio de la aplicación

Una vez preparada el área de uso, el usuario ejecuta Explorador Global desde el visor. La experiencia presenta el entorno inicial y activa el sistema de seguimiento de manos. Antes de continuar con los módulos de comercio exterior, se muestra una guía inicial destinada a familiarizar al usuario con las acciones básicas de interacción.

3.2.3. Tutorial inicial

El tutorial introduce los gestos necesarios para desenvolverse dentro de la aplicación. Durante esta guía, el usuario observa la demostración, reproduce la acción indicada y comprueba la respuesta del sistema antes de continuar. La guía se concentra en el desplazamiento, la selección y la manipulación mediante seguimiento de manos.

Ilustración 3

Presentación del tutorial inicial de interacción



Nota. Captura de pantalla del tutorial inicial de Explorador Global, utilizado para introducir las acciones básicas antes de comenzar el recorrido.

La captura muestra la guía presentada al inicio de la experiencia. Su función es preparar al usuario antes de las actividades de exportación o importación y reducir la necesidad de aprender los controles durante una tarea del recorrido.

3.2.4. Selección del módulo e inicio del recorrido

Después del tutorial, el usuario accede a la selección del recorrido y elige entre los módulos disponibles de exportación e importación. La elección determina la secuencia de actividades, documentos y escenarios que se presentarán durante la sesión. Ambos recorridos comparten los mismos principios de navegación e interacción descritos en este manual.

3.3. Navegación y controles

3.3.1. Seguimiento de manos

La interacción principal utiliza seguimiento de manos. Las manos virtuales representan la posición y orientación de las manos reales y permiten ejecutar las acciones comunes sin depender de controladores físicos. La aplicación admite el uso de la mano izquierda y de la derecha en las interacciones documentadas.

Para mantener una respuesta estable, el usuario debe evitar ocultar las manos durante periodos prolongados y procurar que los gestos se realicen frente al visor. Cuando el seguimiento se pierde, la acción debe repetirse después de que la mano vuelva a ser reconocida.

3.3.2. Locomoción gestual y teletransportación

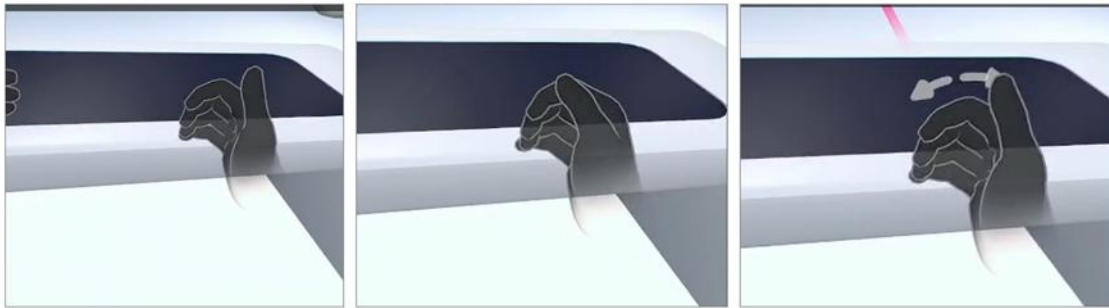
El desplazamiento principal se realiza mediante locomoción gestual y teletransportación. El usuario adopta la postura mostrada por el tutorial, activa el gesto correspondiente, orienta el destino y confirma el movimiento. La aplicación traslada al usuario al punto indicado sin representar un desplazamiento continuo entre ambas posiciones.

1. Adopte la postura gestual indicada por el tutorial y mantenga la mano dentro del campo de seguimiento.
2. Active el gesto acercando el pulgar hacia la zona indicada del dedo índice.
3. Oriente el destino hacia una posición válida del escenario.
4. Repita el gesto de confirmación para ejecutar la teletransportación.

La Ilustración 4 resume los tres momentos iniciales necesarios para activar la locomoción gestual antes de seleccionar el destino.

Ilustración 4

Secuencia de activación de la locomoción gestual



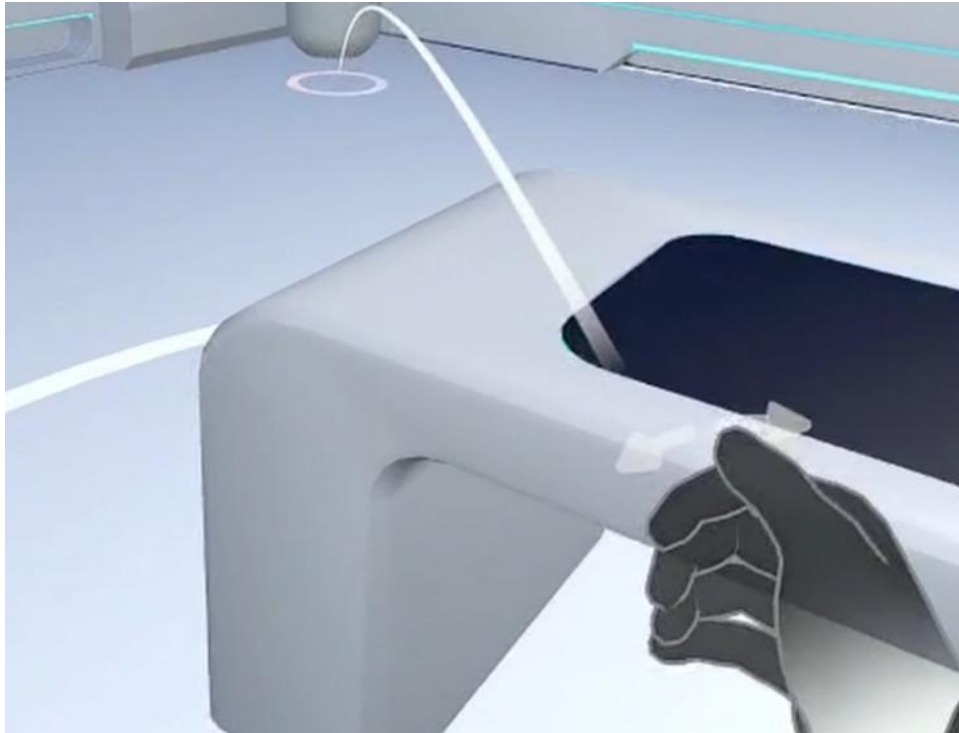
Nota. Capturas de pantalla de Explorador Global. (a) postura inicial de la mano; (b) aproximación del pulgar hacia el dedo índice; (c) activación del gesto de locomoción.

La secuencia permite observar que el desplazamiento no se activa con un único movimiento aislado. Primero se adopta la postura de la mano, después se aproxima el pulgar al índice y, finalmente, el sistema reconoce el gesto de locomoción. Mantener esta secuencia facilita que el usuario identifique el momento en que puede orientar el destino dentro del escenario.

Una vez activada la locomoción, el usuario orienta el destino y confirma el punto seleccionado mediante el mismo sistema gestual, como se muestra en la Ilustración 5.

Ilustración 5

Confirmación de un punto de teletransportación



Nota. Captura de pantalla de la locomoción gestual utilizada para seleccionar y confirmar un punto de teletransportación.

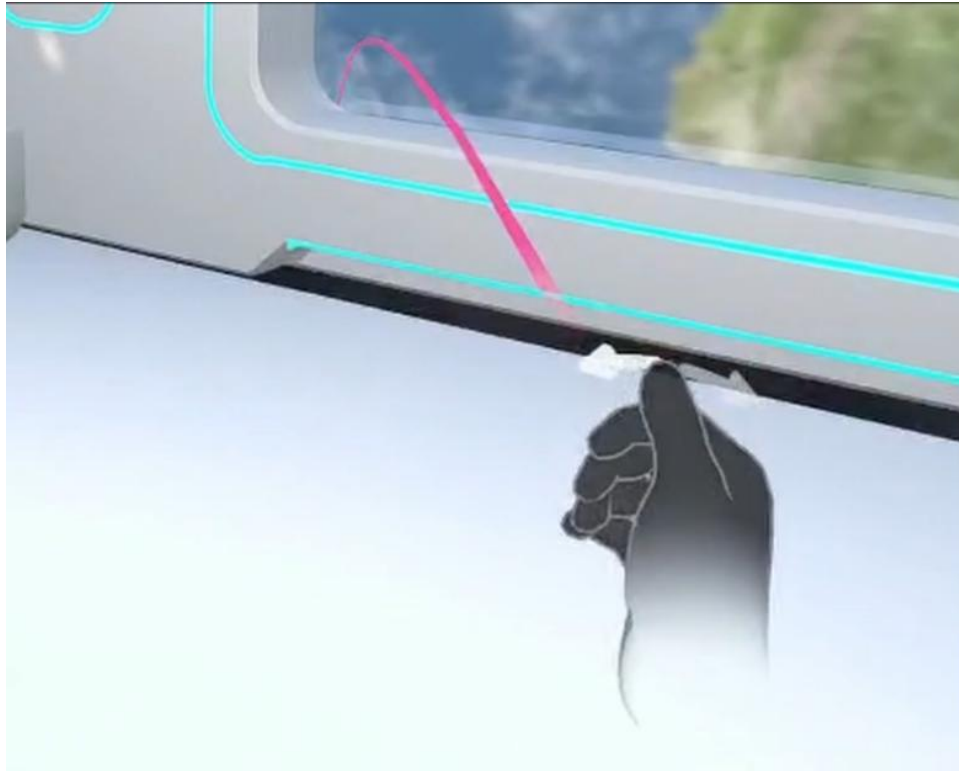
La imagen documenta el momento en que el usuario confirma el desplazamiento con la mano. El sistema de teletransportación permite cambiar de posición dentro del escenario manteniendo el control directo sobre el destino.

3.3.3. Giro y desplazamiento por pasos

Además de la teletransportación, el sistema documentado permite realizar ajustes de orientación y pequeños desplazamientos. El giro se ejecuta mediante un movimiento lateral de la mano mientras se mantiene la postura de locomoción. El desplazamiento por pasos se realiza con el movimiento del pulgar hacia delante o hacia atrás, según la dirección requerida.

Ilustración 6

Control gestual de giro durante la navegación



Nota. Captura de pantalla del gesto utilizado para ajustar la orientación del usuario dentro del escenario.

La captura muestra el control de giro integrado al sistema de locomoción. Esta acción permite reorientar la vista sin exigir un desplazamiento físico amplio dentro del área real de uso.

3.3.4. Selección de botones y elementos de interfaz

Los paneles de la aplicación incluyen botones y elementos interactivos para comenzar etapas, seleccionar opciones y confirmar acciones. Para utilizarlos, el usuario orienta la mano hacia el elemento, comprueba que el indicador de selección se encuentre sobre el objetivo y ejecuta el gesto de pulsación. Después debe esperar la respuesta visual o sonora antes de repetir la acción.

Ilustración 7

Selección de un elemento de interfaz mediante hand tracking



Nota. Captura de pantalla del indicador de selección situado sobre un elemento interactivo de la interfaz.

La imagen evidencia la relación entre la orientación de la mano y el elemento seleccionado. El indicador permite comprobar qué control recibirá la acción antes de efectuar la confirmación.

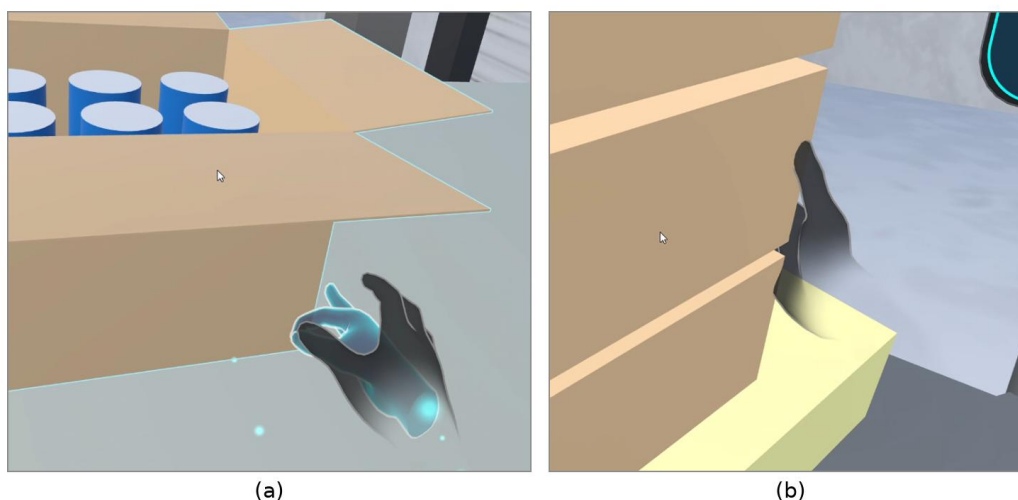
3.3.5. Agarre y manipulación de objetos

Los objetos configurados como manipulables pueden agarrarse con cualquiera de las dos manos. El usuario aproxima la mano al elemento, cierra la mano para sujetarlo, lo desplaza o inspecciona según la actividad y abre la mano para liberarlo. La representación virtual de la mano se adapta al agarre configurado para los objetos que lo requieren.

1. Acerque la mano al objeto que desea manipular.
2. Cierre la mano hasta que el sistema reconozca el agarre.
3. Mueva o inspeccione el objeto de acuerdo con la instrucción de la etapa.
4. Abra la mano para soltar el objeto en la posición requerida.

Ilustración 8

Secuencia básica de aproximación y agarre de un objeto



Nota. Capturas de pantalla de Explorador Global. (a) aproximación de la mano a un objeto manipulable; (b) objeto sostenido mediante seguimiento de manos.

La evidencia muestra una de las interacciones físicas comunes del simulador. El agarre permite trasladar elementos y colocarlos en las posiciones solicitadas por las actividades del recorrido.

3.4. Funciones e interacciones disponibles

3.4.1. Sistema de etapas y tareas

Los recorridos se organizan mediante etapas consecutivas. Al comenzar una actividad, el usuario recibe un panel con información sobre el objetivo y las acciones requeridas. Después de iniciar la etapa, debe completar las tareas visibles o indicadas por el sistema antes de avanzar. Algunas etapas se desarrollan dentro del mismo escenario y otras implican una transición hacia un entorno diferente.

3.4.2. Interacción con documentos

En las actividades que utilizan documentación, el usuario consulta la información presentada y ejecuta la acción solicitada sobre los elementos interactivos. Según la tarea,

puede seleccionar datos, arrastrar elementos hacia una posición determinada o confirmar la información mediante los controles de la interfaz. El estado mostrado por el sistema permite identificar si una acción continúa pendiente, requiere corrección o fue aceptada.

3.4.3. Validación de objetos y acciones

Determinadas actividades requieren colocar un objeto en una zona específica o seleccionar una opción válida. Cuando la acción coincide con lo solicitado, el sistema presenta la respuesta correspondiente y la tarea puede avanzar. Si el elemento o la opción no son correctos, la actividad permanece pendiente y el usuario debe corregir la acción antes de continuar.

3.4.4. Progreso y finalización de etapas

La interfaz de progreso informa la etapa actual y el avance alcanzado durante la sesión. Una etapa finaliza cuando el sistema reconoce las tareas necesarias y habilita la transición correspondiente. Si el recorrido no avanza, el usuario debe comprobar que no existan actividades pendientes.

Ante una etapa que no finaliza, se recomienda revisar:

- Las tareas indicadas en el panel de progreso;
- Los objetos que todavía no han sido colocados;
- Los documentos o campos que continúan pendientes;
- Las zonas de validación relacionadas con la actividad; y
- Las ayudas visuales o sonoras que indiquen la siguiente acción.

3.4.5. Recorridos de exportación e importación

Explorador Global dispone de recorridos de exportación e importación que utilizan los mismos mecanismos generales de interacción, pero presentan actividades, documentos y

decisiones diferentes. El usuario debe seguir las instrucciones de cada etapa y completar las acciones en el orden establecido por el sistema. Este manual se concentra en la operación de la aplicación y no reemplaza la explicación académica del contenido aduanero representado.

3.5. Evidencia de uso

Este apartado presenta una secuencia documentada del uso de Explorador Global mediante capturas obtenidas durante la ejecución de la aplicación. Las evidencias muestran el acceso al recorrido, el inicio de una actividad, la interacción con elementos del escenario y la finalización de una etapa, con el propósito de relacionar los controles y funciones descritos anteriormente con su aplicación dentro de la experiencia.

3.5.1. Inicio y selección del recorrido

Después de completar el tutorial, el usuario selecciona el módulo que desea ejecutar. La pantalla diferencia los recorridos de exportación e importación y permite iniciar la secuencia correspondiente mediante la misma interacción gestual utilizada en los demás paneles.

Ilustración 9

Selección de los módulos de exportación e importación



Nota. Captura de pantalla de la interfaz de selección de módulos de Explorador Global.

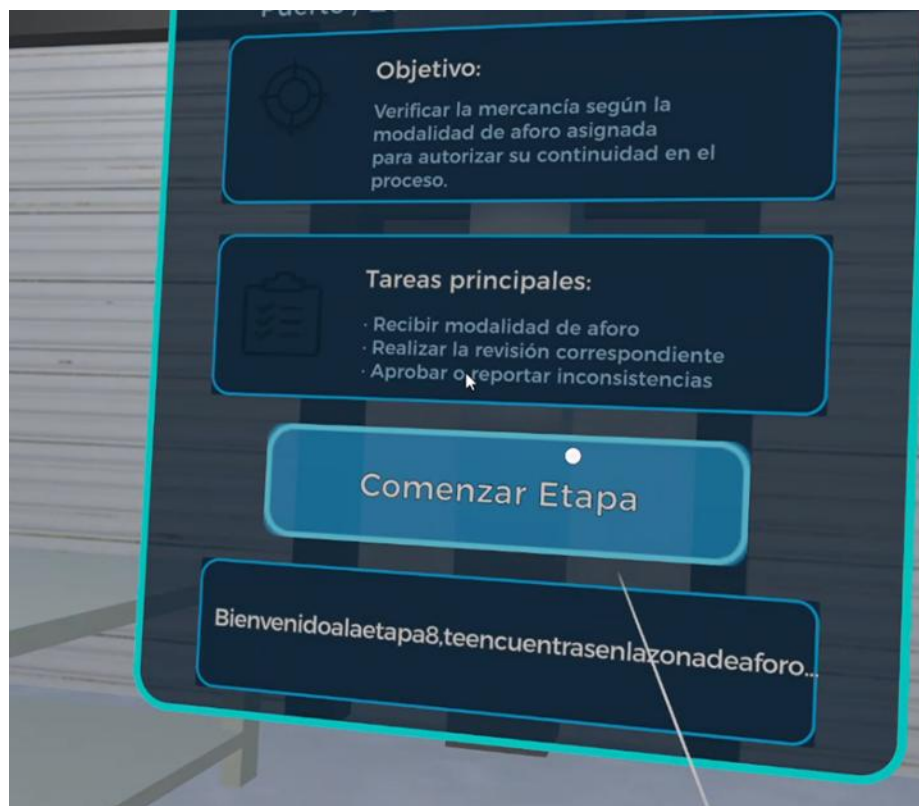
La interfaz muestra el punto de decisión que determina el recorrido de la sesión. Una vez confirmada la opción, el sistema presenta las etapas asociadas al módulo seleccionado.

3.5.2. Inicio de una actividad

Al acceder a una etapa, el sistema presenta un panel informativo con el objetivo y las acciones que deben completarse. El usuario revisa esta información antes de iniciar la actividad para identificar qué elementos del escenario o de la interfaz deberá utilizar.

Ilustración 10

Panel informativo al inicio de una etapa



Nota. Captura de pantalla del panel de una etapa antes de comenzar la actividad correspondiente.

La evidencia permite observar cómo se presenta la información previa a la acción. El panel funciona como referencia para relacionar el objetivo de la etapa con las tareas que el usuario debe ejecutar dentro del entorno.

3.5.3. Interacción y validación durante la actividad

Durante el recorrido, el usuario combina navegación, selección de interfaz y manipulación de objetos según las instrucciones disponibles. Cuando una actividad requiere trasladar un elemento, el objeto puede sujetarse, moverse y colocarse en la posición indicada antes de que el sistema registre la acción.

Ilustración 11

Manipulación y traslado de un objeto dentro del escenario



Nota. Captura de pantalla de Explorador Global durante la manipulación y traslado de un objeto mediante seguimiento de manos.

La captura evidencia una interacción física utilizada durante las tareas del simulador. El usuario sujeta y desplaza el objeto hasta la posición indicada por la actividad; cuando se cumple la condición requerida, el sistema registra la acción y permite continuar con el flujo correspondiente.

3.5.4. Finalización de una etapa

Cuando las tareas requeridas han sido completadas, el sistema presenta la confirmación correspondiente y administra la transición hacia la siguiente parte del recorrido. Esta respuesta permite al usuario reconocer que la actividad actual terminó antes de continuar.

Ilustración 12

Panel de finalización de una etapa de Explorador Global



Nota. Captura de pantalla del panel mostrado al completar una etapa de Explorador Global.

La imagen documenta el cierre de una actividad y la comunicación del estado final al usuario. La confirmación funciona como punto de transición entre la tarea completada y la siguiente etapa del recorrido.

En conjunto, la secuencia evidencia el flujo básico de uso de la aplicación: preparación e ingreso, selección del recorrido, consulta de instrucciones, ejecución de interacciones, validación de tareas y finalización de la etapa. Las funciones específicas varían

entre exportación e importación, pero mantienen los mismos principios generales de navegación y respuesta descritos en este capítulo.

Capítulo IV

4. Manual técnico de implementación

4.1. Dirección de arte y propuesta visual

La dirección de arte se definió durante la preproducción a partir del análisis de referencias, la elaboración de moodboards y la construcción de la biblia de arte en Affinity. El objetivo fue establecer un lenguaje visual común antes de producir los escenarios, los modelos y las interfaces. Se adoptó un estilo semirrealista simplificado, con recursos de complejidad geométrica media, formas modulares y referencias procedentes de entornos industriales, portuarios, institucionales y tecnológicos.

La biblia de arte registró los criterios de claridad, coherencia, inmersión y funcionalidad, además de la paleta, la tipografía, el lenguaje de formas y el tratamiento general de las superficies. Los moodboards permitieron reunir referencias de puertos, oficinas, contenedores, maquinaria, señalética y utilería logística. A partir de estos materiales se prepararon propuestas visuales para los escenarios, utilizadas como guía de composición durante el modelado y la integración posterior en Unity. De esta forma, la dirección de arte no se limitó a una selección cromática, sino que funcionó como referencia para mantener continuidad entre Affinity, Figma, Blender y Unity.

La Tabla 7 presenta de forma resumida los lineamientos utilizados durante la producción de los escenarios, las interfaces y los recursos gráficos.

Tabla 7

Lineamientos visuales aplicados en Explorador Global

Componente	Criterio definido	Aplicación en el proyecto
Estilo	Semirrealismo y complejidad media (mid-poly)	Volúmenes reconocibles, detalle controlado y superficies coherentes con un entorno logístico.
Paleta	Azules y grises como base; cian y naranja como acentos.	Fondos y estructuras frías, interacción en cian y alertas con uso restringido del naranja.

Tipografía	Montserrat con niveles jerárquicos consistentes.	Títulos, textos breves, etiquetas y acciones diferenciados por peso y tamaño aparente.
Lenguaje de formas	Módulos rectangulares, ordenados y repetibles.	Mobiliario, paneles y estructuras agrupados mediante proporciones y alineaciones comunes.
Interfaz	Contraste, separación y estados visuales claros.	Paneles fijos en World Space con controles diferenciados y transparencia reducida.
Escenarios	Composición por zonas y circulación despejada.	Separación entre elementos interactivos, operativos y ambientales.
Retroalimentación visual	Acentos luminosos controlados.	Foco, selección, confirmación y advertencia sin saturar la escena.

Nota. Elaboración propia con base en la biblia de arte, los moodboards y las propuestas visuales de Explorador Global.

Los lineamientos muestran que la identidad visual no depende de un único recurso, sino de la relación entre estilo, paleta, tipografía, lenguaje de formas, interfaz, composición de escenarios y retroalimentación. Esta coordinación permite aplicar criterios comunes en recursos con funciones distintas sin exigir que todos tengan la misma apariencia. En la práctica, cada lineamiento cumple una función diferente: la paleta diferencia fondos y acentos, la tipografía ordena la información, el lenguaje de formas aporta continuidad entre objetos y la composición separa zonas operativas de elementos ambientales. La tabla también muestra que la interfaz y los escenarios comparten criterios de contraste y organización, lo que reduce cambios visuales bruscos entre una actividad y otra. Estos lineamientos se utilizan como referencia de producción y no como indicadores aislados de efectividad; su aporte se observa en conjunto en los recursos desarrollados posteriormente.

La Ilustración 13 presenta la página de dirección de arte utilizada para definir el enfoque, la intención y las prioridades visuales del proyecto.

Ilustración 13

Página de dirección de arte de la biblia visual



Nota. Página de elaboración propia tomada de la biblia de arte de Explorador Global. Resume el enfoque visual, la intención y los criterios generales definidos para orientar la producción.

La página concentra cuatro prioridades —claridad, coherencia, inmersión y funcionalidad— que sirven como referencia para evaluar decisiones posteriores de escenarios e interfaz. Su función es establecer una guía de producción, no demostrar por sí misma la efectividad visual del resultado final. La combinación de estas prioridades permite revisar una decisión desde más de un punto de vista: un elemento puede ser coherente con el estilo y, al mismo tiempo, necesitar ajustes si dificulta la lectura o la función prevista. La página también resume el tono semirrealista y tecnológico que se traslada después a interfaces, materiales y escenarios. Por ello, su valor dentro del documento es demostrar que la

producción parte de criterios previamente definidos y no de decisiones visuales aisladas tomadas durante la integración.

La Ilustración 14 muestra el moodboard empleado para reunir referencias de espacios portuarios, institucionales, utilería y señalética vinculadas con Explorador Global.

Ilustración 14

Moodboards y referencias visuales utilizados durante la preproducción



Nota. Composición de elaboración propia a partir de referencias visuales externas recopiladas durante la preproducción. Las referencias utilizadas se detallan en las páginas 18 y 19 de la Biblia de arte incorporada en el Anexo A.

Las referencias se agrupan por entorno portuario, espacios institucionales y utilería para evitar trasladar una sola imagen como modelo directo. El valor del moodboard está en identificar rasgos de infraestructura, materiales, señalética y proporciones que después se reinterpretan dentro del lenguaje visual propio del proyecto. La separación por categorías facilita identificar patrones comunes sin copiar literalmente una referencia particular. En el

entorno portuario se observan escalas, maquinaria y organización del espacio; en los interiores se revisan distribución, mobiliario y tratamiento institucional; y en la utilería se reconocen objetos necesarios para las actividades logísticas. Esta lectura permite convertir el material de referencia en criterios propios de diseño y mantener una relación visual reconocible con el contexto de comercio exterior sin depender de una reproducción exacta de un espacio real.

4.2. Diseño de escenarios y elementos gráficos

4.2.1. Escenarios

Los escenarios se diseñaron como espacios funcionales vinculados con las actividades del prototipo. La Estación espacial concentra la orientación inicial, la selección de módulo y la preparación del caso. La Oficina de documentación prioriza la lectura y consulta de información. El Puerto – área de embarcación organiza la escala amplia del muelle, las grúas, los contenedores y la embarcación, mientras que el Puerto – área de aforo reúne almacenamiento, inspección, productos y equipos de apoyo. Durante esta etapa se definieron la función de cada espacio, la distribución general y los criterios visuales que servirían de guía para la producción posterior.

La Ilustración 15 presenta la síntesis visual de los cuatro escenarios definida en la biblia de arte como guía para su desarrollo e integración.

Ilustración 15

Síntesis visual de los cuatro escenarios definida en la biblia de arte



Nota. Elaboración propia a partir de la síntesis de escenarios incluida en la biblia de arte. La composición organiza la función y el criterio visual previsto para los cuatro escenarios.

Esta síntesis se utilizó como referencia de diseño para mantener una relación común entre la función de cada espacio, la composición prevista y los elementos visuales que posteriormente se producirían e integrarían. En este apartado se documentan esas decisiones de diseño; los escenarios ya producidos se presentan después, dentro de la producción de assets 2D y 3D. La Estación espacial y la Oficina de documentación se plantean como ambientes interiores con mayor control de lectura y orientación, mientras los dos espacios portuarios requieren composiciones más amplias y una presencia mayor de infraestructura y utilería logística. A pesar de estas diferencias funcionales, la síntesis conserva criterios comunes de señalética, materiales y organización visual. De esta manera, la ilustración sirve

como referencia previa para comprobar si la producción posterior mantiene la intención definida para cada escenario sin perder continuidad entre los cuatro espacios.

4.2.2. Interfaces

El diseño de interfaz tuvo dos niveles de preproducción. Algunos paneles comenzaron con bocetos iniciales elaborados en Affinity para resolver de manera rápida la distribución general. Después, el sistema completo de interfaces se desarrolló en Figma, donde se definieron los wireframes, códigos de color, botones, jerarquía tipográfica, estados y organización del contenido. Esta etapa permitió consolidar una estructura visual común antes de llevar los paneles a Unity.

En Unity, los paneles se integraron mediante Canvas en World Space y se adaptaron al seguimiento de manos. La implementación conservó la jerarquía y el lenguaje visual definidos en Figma, pero requirió revisar directamente dentro de la escena aspectos como tamaño aparente, contraste, orientación y separación entre controles. La estructura reutilizable de los paneles se mantuvo organizada mediante Header, Content y Footer, lo que facilitó conservar consistencia entre pantallas con funciones diferentes.

La Tabla 8 reúne las diez interfaces definidas para el sistema y resume la función principal prevista para cada una durante la etapa de diseño.

Tabla 8

Interfaces definidas para Explorador Global

Recurso	Escenario	Descripción
Panel de bienvenida	Estación espacial	Introduce la experiencia y presenta el acceso inicial al usuario.
Panel Tutorial de movimiento	Estación espacial	Explica las acciones básicas de desplazamiento y orientación.
Panel Tutorial de interacción	Estación espacial	Presenta la forma de interactuar con los elementos mediante seguimiento de manos.
Panel Menú principal	Estación espacial	Centraliza el acceso a las opciones principales de la experiencia.

Panel Selección de módulo	Estación espacial	Permite elegir entre los módulos de exportación e importación.
Panel Configuración de caso	Estación espacial	Organiza las variables iniciales necesarias para preparar la actividad.
Panel Ajustes	Todos los escenarios	Agrupar las opciones de configuración disponibles para el usuario.
Panel de información inicial de etapa	Todos los escenarios	Presenta el contexto, instrucciones y datos necesarios al comenzar una etapa.
Factura comercial	Oficina de documentación	Muestra un documento comercial utilizado durante las actividades de consulta.
Comparación de opciones	Oficina de documentación	Permite revisar alternativas y seleccionar la opción correspondiente.

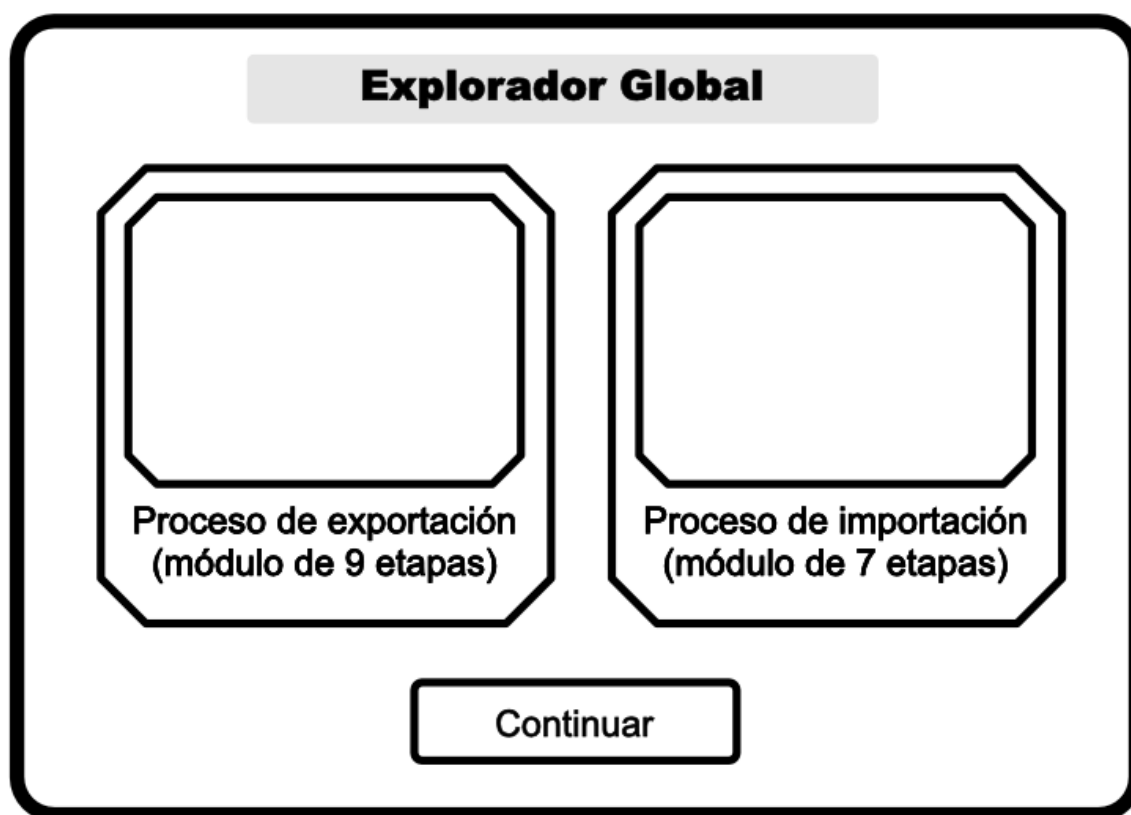
Nota. Elaboración propia a partir del sistema de interfaces definido para Explorador Global. El panel de información inicial de etapa se reutiliza cuando se requiere presentar contexto o instrucciones.

La tabla evidencia que varias interfaces se concentran en la Estación espacial porque allí se agrupan la orientación, los tutoriales y la configuración inicial. Los paneles reutilizables reducen la necesidad de crear estructuras diferentes para funciones equivalentes y favorecen una jerarquía visual consistente. Esta distribución también permite identificar qué paneles son específicos y cuáles pueden reutilizarse en varias etapas. La Estación espacial concentra las funciones de entrada porque reúne bienvenida, tutoriales, menú, selección y configuración, mientras la Oficina incorpora recursos de consulta y comparación documental. El panel de información inicial de etapa actúa como componente transversal y evita repetir estructuras con la misma función. En conjunto, la tabla demuestra que el sistema de interfaz se diseñó como una familia de recursos relacionados y no como pantallas independientes sin una lógica común.

La Ilustración 16 muestra uno de los bocetos iniciales elaborados en Affinity para resolver rápidamente la distribución general del panel de selección de módulo.

Ilustración 16

Boceto inicial del panel de selección de módulo elaborado en Affinity



Nota. Boceto de elaboración propia realizado en Affinity como exploración inicial de la distribución del panel de selección de módulo.

El boceto resuelve únicamente la distribución general de selección y confirmación. En esta etapa todavía no se definen con detalle la identidad cromática, la iconografía ni los estados visuales que aparecen en el diseño posterior. Su valor está en resolver primero las relaciones espaciales básicas entre título, opciones y acción de continuidad, antes de invertir tiempo en acabados gráficos. Esta separación permite detectar de forma temprana si la cantidad de bloques o la disposición general resulta adecuada para la tarea. Además, facilita comparar el cambio entre la idea inicial y la propuesta desarrollada en Figma, haciendo visible qué decisiones de jerarquía y estilo se incorporaron después.

La Ilustración 17 presenta el diseño desarrollado posteriormente en Figma, donde se definieron la jerarquía, los códigos de color, los botones y la organización visual del contenido.

Ilustración 17

Diseño del panel de selección de módulo desarrollado en Figma



Nota. Diseño de elaboración propia realizado en Figma como referencia visual para la posterior integración del panel.

La comparación con el boceto anterior permite observar la incorporación de jerarquía tipográfica, códigos de color, iconografía y acciones secundarias. Estos elementos convierten la distribución inicial en una especificación visual más cercana a la interfaz que será integrada en el motor. El diseño final organiza con mayor claridad la selección principal y separa las acciones complementarias, como volver o continuar una sesión. La incorporación de color e iconografía refuerza la diferenciación entre opciones sin depender únicamente del texto. Aun

así, esta versión continúa siendo una especificación bidimensional: su tamaño real, distancia de lectura y respuesta a la interacción deben comprobarse posteriormente dentro de Unity. Por ello, la ilustración representa un paso de definición visual intermedio entre el boceto y la interfaz inmersiva.

La Ilustración 18 permite comprobar cómo el diseño definido en Figma se trasladó a un Canvas World Space dentro de Unity. El conjunto final de interfaces producidas se presenta posteriormente en el apartado 4.3.

Ilustración 18

Panel de selección de módulo integrado como World Space UI en Unity



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. Muestra la adaptación del panel diseñado en Figma a un Canvas World Space dentro del escenario.

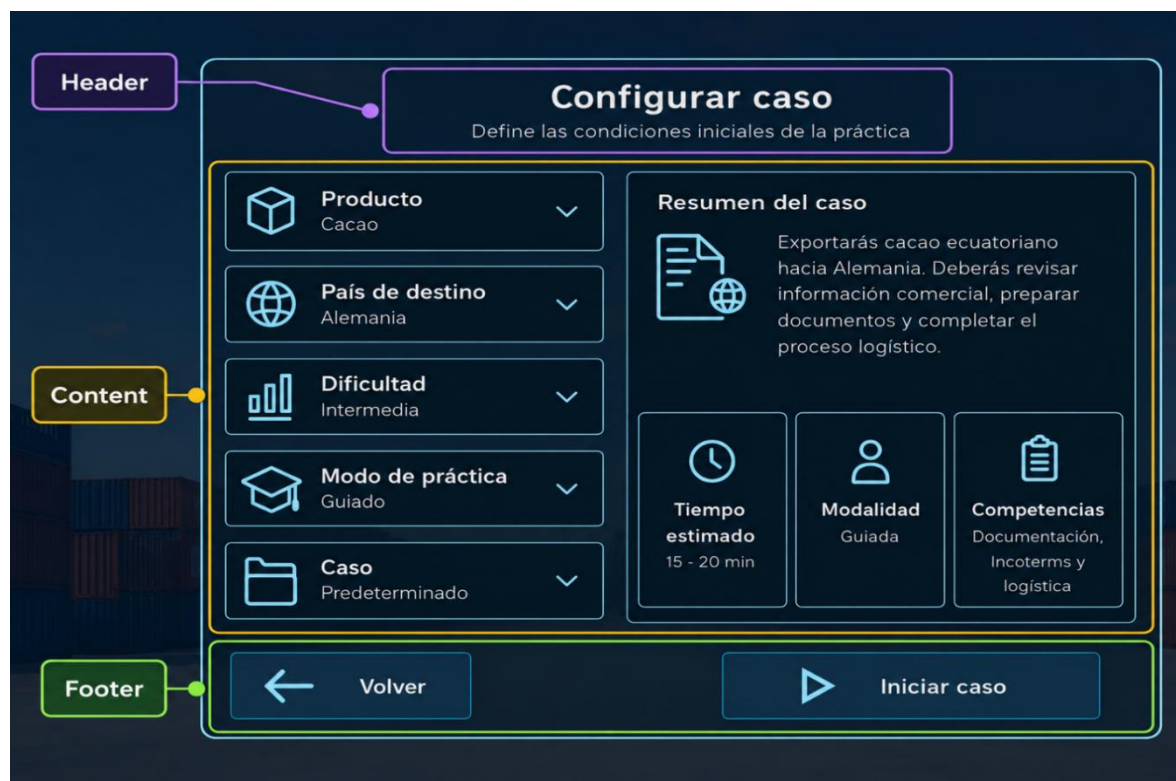
La integración en World Space conserva la organización principal definida en Figma, pero añade condiciones propias del entorno tridimensional: escala aparente, distancia, orientación respecto del usuario e interacción mediante manos. Estas variables deben comprobarse dentro de la escena y no únicamente en el diseño bidimensional. La captura

muestra además que el panel deja de ser una superficie aislada y pasa a convivir con elementos del escenario, la perspectiva de la cámara y el espacio de interacción de las manos. Esto obliga a revisar si el contenido conserva su prioridad frente al fondo y si los controles mantienen suficiente separación para ser seleccionados. La integración, por tanto, no consiste únicamente en copiar el diseño de Figma, sino en adaptarlo a condiciones espaciales que pueden modificar su lectura y su comportamiento.

La estructura reutilizable se organizó en tres partes: Header, Content y Footer. El Header muestra la identidad del panel y su estado. En el Content se ubican la información, los documentos o los controles, mientras que el Footer agrupa la navegación, las opciones de confirmación y las acciones complementarias. Esta distribución se presenta en la Ilustración 19.

Ilustración 19

Estructura modular de la interfaz en World Space



Nota. Elaboración propia a partir de la estructura modular definida para los paneles de Explorador Global. Header, Content y Footer corresponden a las tres áreas utilizadas para organizar la interfaz.

La separación en Header, Content y Footer permite reutilizar una misma lógica estructural entre paneles con contenidos distintos. El Header identifica el contexto, el Content concentra la información o controles y el Footer agrupa navegación y confirmaciones. Esta organización reduce variaciones innecesarias entre paneles y permite que el usuario encuentre información semejante en zonas previsibles de la interfaz. Al mismo tiempo, el área Content conserva flexibilidad para documentos, listas, opciones o datos con estructuras diferentes. La modularidad también facilita el mantenimiento, porque un ajuste general de cabecera o de acciones puede replicarse sin reconstruir completamente cada pantalla. Por ello, la ilustración evidencia una decisión de sistema y no solamente la composición de un panel individual.

4.3. Producción de assets 2D y 3D

4.3.1. Recursos producidos

La producción tridimensional se concentró en los recursos necesarios para completar los cuatro escenarios. El inventario final contiene veinte modelos propios. Los escenarios completos no se contabilizan dentro de esos veinte recursos porque corresponden a composiciones formadas por geometría base, props, materiales, iluminación e interfaces. La Tabla 9 presenta los modelos, el conteo de vértices registrado y el escenario donde se utilizan principalmente.

Tabla 9

Inventario de los veinte modelos tridimensionales producidos

Recurso	Vértices	Escenario	Descripción
Planeta Tierra	7938	Estación espacial	Elemento de ambientación y referencia visual del escenario inicial.
Mesa digital	496	Estación espacial	Mobiliario utilizado como soporte visual para el área principal de interfaz.
Gabinete de almacenamiento	852	Estación espacial	Mobiliario ambiental destinado a completar la composición del escenario.
Maceta con planta	685	Estación espacial	Elemento ambiental utilizado para equilibrar y humanizar la composición interior.
Mesa digital 2	244	Oficina de documentación	Mobiliario de apoyo para paneles y actividades documentales.
Estantería vertical suspendida	351	Oficina de documentación	Módulo de almacenamiento suspendido empleado en la composición del mobiliario.
Estantería vertical	328	Oficina de documentación	Mueble vertical destinado a organizar elementos del entorno documental.
Gabinete bajo de almacenamiento	335	Oficina de documentación	Módulo bajo utilizado para completar las zonas de almacenamiento.
Gabinete mural suspendido	271	Oficina de documentación	Módulo mural utilizado para organizar visualmente el mobiliario de oficina.
Buque portacontenedores	6638	Puerto – área de embarcación	Elemento portuario principal utilizado para

Grúa RTG	10252	Puerto – área de embarcación	representar las operaciones con contenedores. Grúa de patio utilizada para representar el movimiento y manipulación de contenedores.
Grúa STS	8407	Puerto – área de embarcación	Grúa portuaria utilizada para representar operaciones entre muelle y embarcación.
Contenedor de 40 pies	7124	Puerto – área de embarcación	Unidad de carga reutilizable; incluye puertas independientes preparadas para animación.
Poste de iluminación	280	Puerto – área de embarcación	Elemento de infraestructura destinado a completar la composición del patio portuario.
Palet	176	Puerto – área de embarcación	Soporte logístico utilizado para representar mercancías y carga agrupada.
Estante de almacenamiento	416	Puerto – área de aforo	Estructura utilizada para organizar productos y cajas dentro del área de inspección.
Caja cerrada	80	Puerto – área de aforo	Bulto logístico cerrado utilizado como mercancía y elemento de almacenamiento.
Caja abierta	122	Puerto – área de aforo	Variante abierta utilizada para representar revisión o manipulación de mercancía.
Báscula	1660	Puerto – área de aforo	Equipo utilizado para representar actividades de pesaje dentro del área de aforo.
Lata de atún	192	Puerto – área de aforo	Producto de ejemplo utilizado como mercancía durante las actividades de inspección.

Nota. Elaboración propia a partir del inventario de modelos 3D del proyecto. Los conteos corresponden a los modelos registrados y no representan un límite general de geometría aplicable a todos los assets.

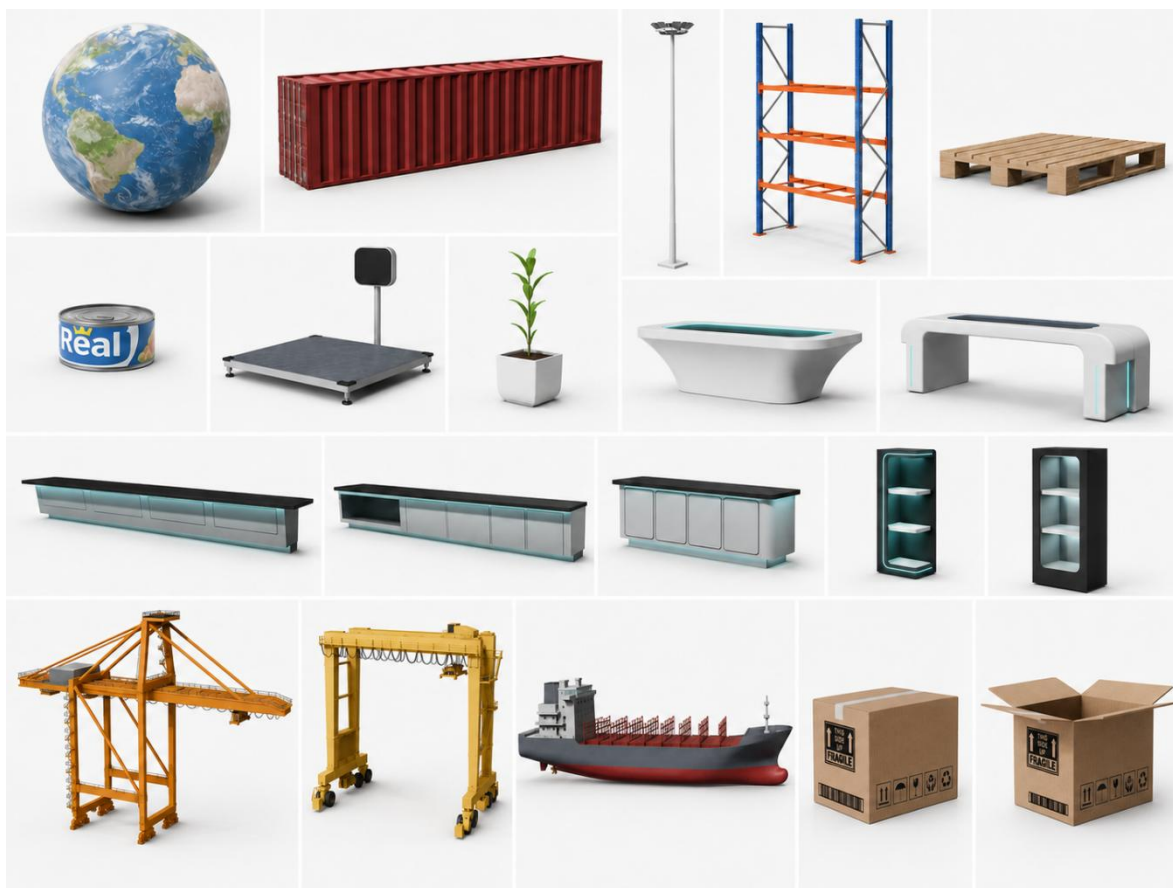
Los recursos portuarios de mayor escala, como las grúas y el contenedor, concentran más geometría que la utilería pequeña; sin embargo, estos valores no se utilizan como un límite universal. La complejidad se interpreta junto con la función del objeto, su distancia de observación y su repetición dentro de la escena. El inventario también permite reconocer qué

recursos tienen mayor probabilidad de repetirse, como contenedores, cajas, estanterías o elementos de mobiliario, condición que puede ser tan relevante como el número de vértices de un modelo aislado. Por ello, el conteo se utiliza como dato de trazabilidad de la producción y no como medida directa del rendimiento. La tabla sirve además para comprobar que los veinte modelos cubren las necesidades de los cuatro escenarios y para relacionar cada asset con el contexto donde adquiere su función principal.

La Ilustración 20 presenta en una sola composición los veinte modelos del inventario. La imagen permite observar la variedad de mobiliario, utilería, infraestructura portuaria y mercancías desarrolladas, sin pretender comparar la escala real entre los objetos.

Ilustración 20

Conjunto de modelos tridimensionales producidos para Explorador Global



Nota. Composición de elaboración propia a partir de los veinte modelos registrados en la Tabla 9. Los objetos se muestran de forma aislada y no conservan una escala comparativa entre sí.

La composición evidencia que la producción cubre mobiliario, infraestructura portuaria, mercancías y utilería. Al presentarlos aislados se facilita reconocer el alcance del inventario, mientras la integración espacial y las proporciones relativas se evalúan en los escenarios completos. La agrupación permite comprobar visualmente que el alcance no se concentra en una sola categoría de objetos: incluye desde mobiliario interior y pequeños productos hasta maquinaria y estructuras portuarias. Esta diversidad explica por qué la cantidad de detalle y el tratamiento de materiales no pueden ser idénticos para todos los recursos. La imagen funciona también como evidencia general del inventario descrito en la Tabla 9, mientras que la relación de escala, ubicación y repetición se aprecia con mayor precisión en las composiciones de los escenarios finales.

Además de los veinte modelos individuales, la producción incluyó la geometría base de los cuatro escenarios y el conjunto de recursos visuales que posteriormente conformaron cada entorno. Para separar estas evidencias de las decisiones de diseño descritas en el apartado 4.2, la Tabla 10 registra aquí la geometría base producida para cada escenario, sin sumar los props incorporados posteriormente.

Tabla 10

Geometría base de los escenarios producidos para Explorador Global

Recurso	Vértices sin props	Descripción
Estación espacial	4636	Escenario inicial de orientación y selección de módulo; concentra los paneles de inicio y mantiene circulación despejada.
Oficina de documentación	1065	Entorno destinado a la consulta de documentos y procedimientos; prioriza

Puerto – área de embarcación	5146	las áreas de lectura y el mobiliario modular. Base del entorno portuario para operaciones de carga y descarga; recibe grúas, contenedores, embarcación y utilería logística.
Puerto – área de aforo	1948	Base del espacio de inspección y almacenamiento; organiza estanterías, productos, cajas, báscula y paneles de actividad.

Nota. Elaboración propia a partir del conteo de vértices registrado en los archivos de modelado. Los valores corresponden a la geometría base de cada escenario y excluyen los props incorporados posteriormente.

Entre las geometrías base, el Puerto – área de embarcación registra el mayor conteo, seguido por la Estación espacial, el Puerto – área de aforo y la Oficina de documentación. Como los props están excluidos, la comparación describe únicamente la estructura base de cada entorno y no su costo final en ejecución. El orden de los valores responde a las necesidades estructurales de cada entorno y no implica que el escenario con más vértices base sea necesariamente el más costoso durante la ejecución. El rendimiento final depende también de los props incorporados, los materiales, la iluminación, la cantidad de objetos visibles y otros componentes de la escena. Por ello, la tabla separa deliberadamente la geometría base del inventario de assets y permite documentar cuánto corresponde a la estructura propia del escenario antes de añadir el contenido reutilizable.

Una vez incorporados los modelos, materiales, iluminación y elementos de interfaz, los cuatro espacios conformaron los escenarios finales de la propuesta. La Ilustración 21 muestra estos resultados ya integrados.

Ilustración 21

Escenarios integrados de Explorador Global



Nota. Composición de capturas de elaboración propia obtenidas de los cuatro escenarios integrados en Unity.

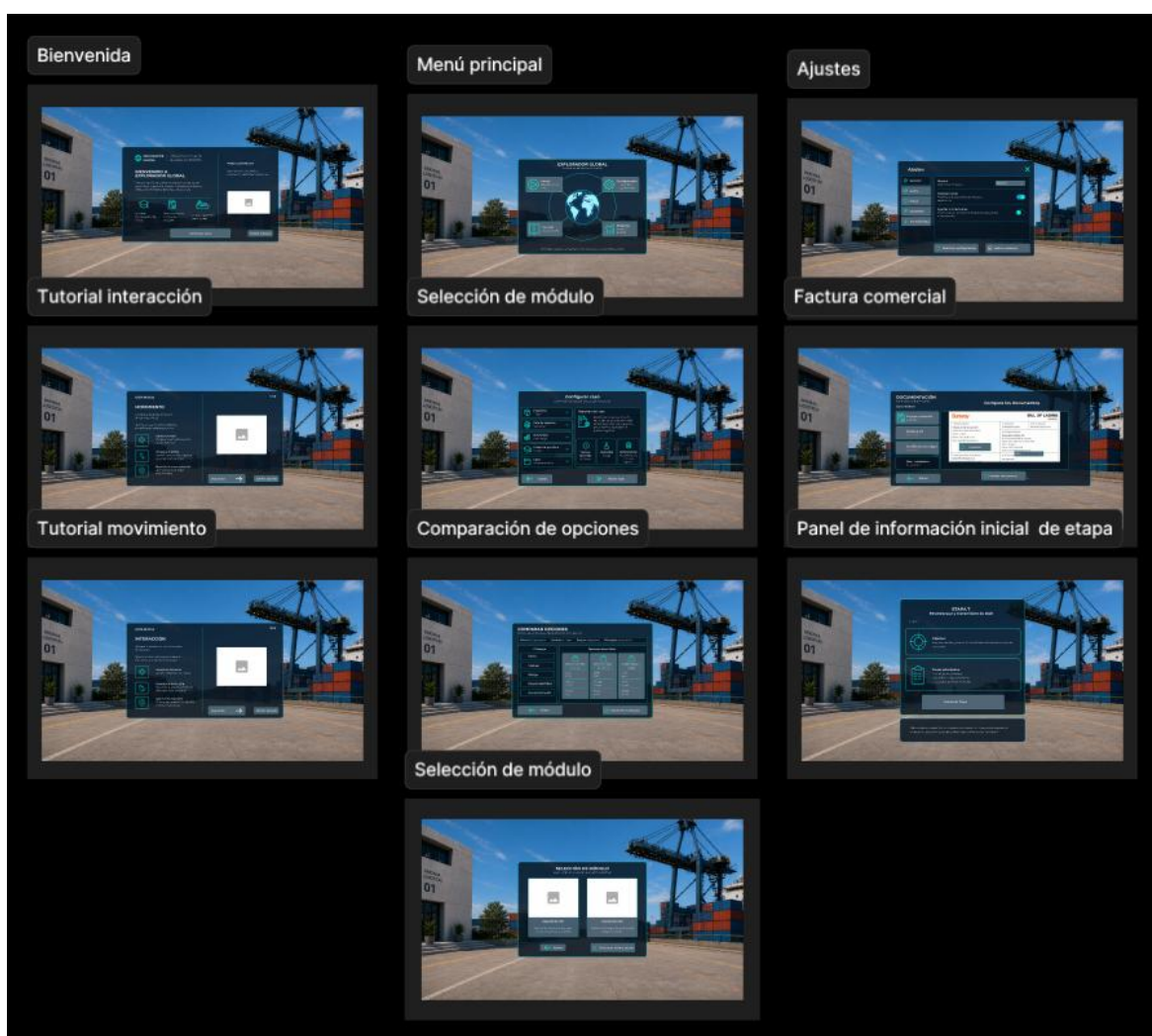
Los escenarios integrados muestran dos ambientes interiores y dos espacios portuarios con funciones diferentes, pero mantienen una relación visual mediante materiales, señalética y criterios de interfaz compartidos. La composición permite comprobar el resultado global sin confundirlo con el inventario de modelos individuales. Las imágenes permiten observar cómo los recursos producidos dejan de funcionar como piezas aisladas y adquieren una función dentro de cada entorno. Los interiores mantienen una composición más contenida y orientada a paneles y documentación, mientras los espacios portuarios incorporan mayor escala, profundidad y densidad de objetos. A pesar de ello, se conservan acentos, materiales y criterios de interfaz que relacionan visualmente las escenas. La

composición sirve así como evidencia de integración y como referencia para entender por qué las necesidades de optimización no son iguales en todos los escenarios.

La producción de recursos 2D también incluyó el conjunto final de interfaces. La Ilustración 22 reúne las diez interfaces resultantes del proceso descrito en el apartado 4.2.2, permitiendo diferenciarlas de los bocetos, wireframes y decisiones de preproducción mostrados anteriormente.

Ilustración 22

Conjunto de interfaces diseñadas para Explorador Global



Nota. Composición de elaboración propia a partir de las diez interfaces registradas en la Tabla 8.

El conjunto final evidencia que las interfaces comparten una identidad y una estructura visual común aunque atienden funciones distintas, desde orientación y tutoriales hasta consulta documental y selección de opciones. La repetición de paleta, tipografía, marcos y jerarquías permite reconocer que los paneles pertenecen al mismo sistema aunque cambie el contenido. También se observa que existen interfaces de orientación, configuración, consulta y comparación, lo que obliga a conservar consistencia sin eliminar las diferencias funcionales. La composición respalda el alcance registrado en la Tabla 8 y permite comprobar el resultado de producción de los recursos 2D antes de analizar su uso dentro de cada escena.

4.3.2. Proceso general de producción

El proceso se organizó en doce operaciones: búsqueda de referencias, definición de proporciones, modelado en Blender, comprobación de escala y ajuste de la geometría. Después se realizaron el desarrollo UV, el texturizado y horneado, la exportación, la importación en Unity, la creación de materiales, la integración y la optimización. Tanto en Blender como en Unity se mantuvo la equivalencia de 1 unidad = 1 metro. Cuando un recurso tenía más geometría de la necesaria, se devolvía a Blender para simplificarlo antes de integrarlo nuevamente.

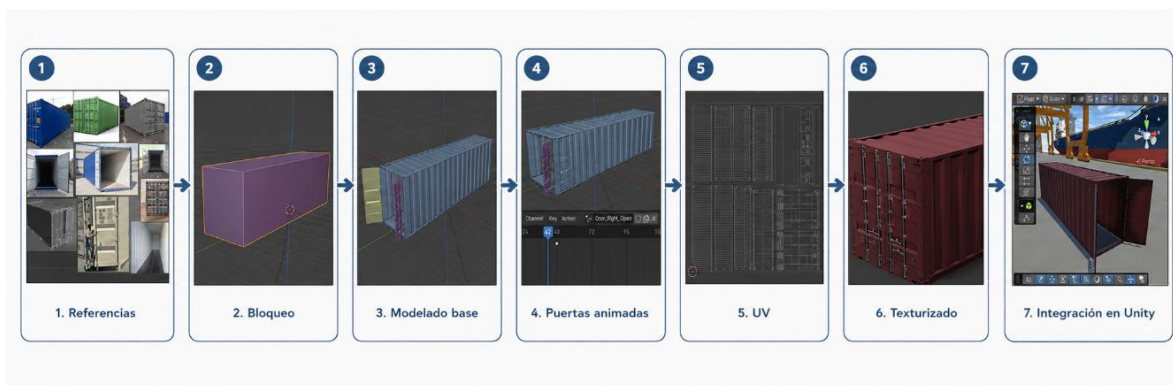
Como ejemplo representativo se utilizó el contenedor de 40 pies. Primero se establecieron sus proporciones y volúmenes principales. Luego se modelaron por separado el cuerpo, la estructura y las dos puertas. Antes de exportarlo, se revisaron la geometría, la escala, las UV y la superficie. Los puntos de origen de las puertas se ajustaron para mantener correctamente su giro durante la animación preparada en Blender. Una vez dentro de Unity, se comprobaron la escala, orientación y materiales, además de la apertura de las puertas y su

integración con el conjunto portuario. La densidad geométrica, los mapas utilizados y los parámetros de exportación se ajustaron según las necesidades de cada recurso, sin establecer valores únicos para todos los assets.

La Ilustración 23 presenta de forma resumida este proceso aplicado al contenedor seleccionado.

Ilustración 23

Proceso de producción e integración del contenedor seleccionado



Nota. Elaboración propia a partir del proceso de producción del contenedor de 40 pies. La secuencia incluye modelado, preparación de puertas, UV, texturizado e integración en Unity.

El contenedor funciona como ejemplo porque combina modelado, preparación de puertas animadas, UV, texturizado e integración. Por ello, permite visualizar cómo un mismo recurso atraviesa varias etapas y cómo las decisiones tomadas en Blender condicionan su comportamiento posterior en Unity. La secuencia permite identificar dependencias que no son visibles cuando se observa únicamente el modelo final: la posición del origen condiciona la apertura de las puertas, las UV condicionan el texturizado y la preparación de la malla condiciona la importación posterior. Si alguna de estas comprobaciones falla en Unity, el recurso debe volver a la etapa donde se origina el problema. Por ello, el ejemplo del contenedor resume de manera concreta el carácter iterativo del pipeline y sirve como modelo de referencia para otros assets que requieren preparación, materiales o animación.

4.4. Pipeline de producción artística

El pipeline aplicado inició con el análisis de referencias, la elaboración de moodboards y la biblia de arte en Affinity. En esta misma herramienta se desarrolló el concept art, mientras los wireframes fueron preparados en Figma. Luego, el trabajo continuó en Blender con el modelado, el despliegue UV, el horneado de mapas y el texturizado. También se animaron los objetos que necesitaban movimiento.

Después se realizó la exportación desde Blender y la importación en Unity. Dentro del motor se crearon y configuraron los materiales, se prepararon los prefabs y se integraron los recursos en las escenas. El proceso incluyó además la configuración de la iluminación, la optimización, las pruebas en Meta Quest 3, las correcciones necesarias y la preparación de la versión final.

La Tabla 11 organiza las principales operaciones según las etapas de trabajo, las herramientas utilizadas y los productos de control.

Tabla 11

Etapas del pipeline y herramientas utilizadas

Etapas	Operaciones	Herramientas	Producto de control
Referencias y dirección	Análisis, moodboards, biblia de arte y concept art.	Affinity.	Criterios visuales y conceptos.
Diseño de interfaz	Wireframes y organización de paneles.	Figma.	Estructura y flujo visual.
Producción 3D	Modelado, UV, horneado, texturizado y animación cuando correspondía.	Blender 5.1.	Recurso y clips preparados para exportación.
Transferencia	Exportación e importación.	Blender y Unity.	Escala, normales y archivos revisados.
Integración	Materiales, prefabs, escena e iluminación.	Unity 6000.3.5f2.	Recurso visual integrado.
Validación e iteración	Prueba en el visor, identificación de incidencias y retorno a la etapa responsable.	Unity, Blender, Figma, Affinity y Meta Quest 3.	Correcciones aplicadas y nueva comprobación.

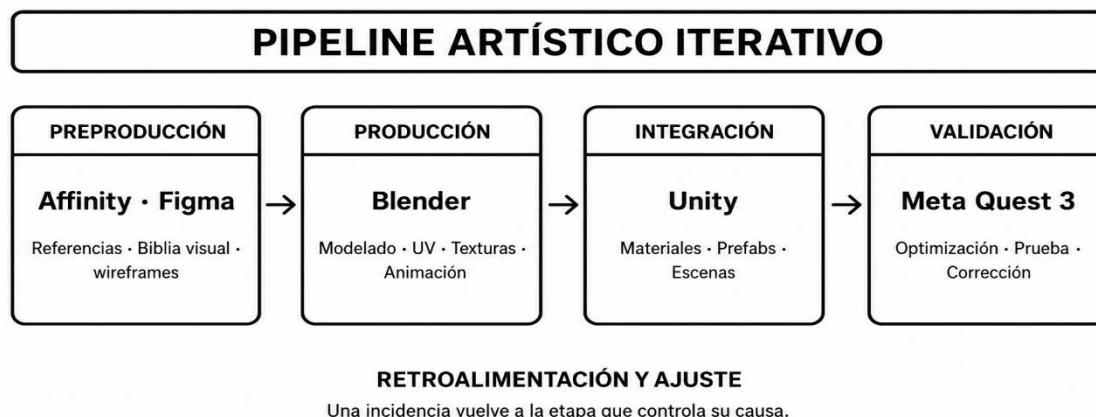
Nota. Elaboración propia a partir del flujo de producción aplicado en Explorador Global. La tabla resume las etapas documentadas, las herramientas empleadas y los retornos utilizados durante la iteración.

La tabla muestra un flujo que comienza con preproducción, continúa con producción 3D e integración y termina con comprobación en dispositivo. La presencia de una etapa de validación e iteración indica que los recursos pueden volver a la herramienta responsable cuando se detecta una incidencia. El producto de control asociado a cada etapa permite saber qué debe revisarse antes de continuar con el siguiente traspaso. Por ejemplo, la transferencia entre Blender y Unity no se considera completa únicamente por importar un archivo, sino después de revisar escala, normales y apariencia. De la misma manera, la integración no termina con colocar el prefab en la escena, porque todavía debe comprobarse en el dispositivo. La tabla evidencia así que cada herramienta participa en una función concreta y que la validación forma parte del pipeline, en lugar de quedar como una actividad separada al final.

El flujo de trabajo se desarrolló de forma iterativa. Cuando un modelo mantenía más geometría de la necesaria, regresaba a Blender para ser ajustado. Si una interfaz presentaba problemas de legibilidad, se modificaban la composición, el contraste o la cantidad de texto. En las escenas con demasiados elementos visibles se reorganizaba su visibilidad, y cuando la carga gráfica resultaba elevada, se revisaban las mallas, los materiales, la iluminación y el contenido mostrado. La Ilustración 24 resume estos retornos entre las distintas etapas.

Ilustración 24

Pipeline de producción artística de Explorador Global



Nota. Elaboración propia a partir del flujo de producción aplicado en Explorador Global. El diagrama resume las etapas de preproducción, producción, integración y validación.

El retorno representado evita entender el pipeline como una cadena cerrada. Una incidencia de interfaz puede volver a Figma o Affinity, un problema geométrico a Blender y una configuración de escena a Unity antes de generar una nueva comprobación en Meta Quest 3. Esta lógica resulta útil para mantener la causa de una incidencia vinculada con la herramienta que puede resolverla. Si un texto pierde legibilidad, modificar únicamente la escena puede no ser suficiente; si un modelo presenta exceso de geometría, el ajuste debe realizarse en Blender antes de volver a exportarlo. El diagrama resume ese criterio de retorno y muestra que la validación en Meta Quest 3 puede iniciar una nueva iteración. Así, el pipeline documenta tanto la transferencia de recursos como el mecanismo utilizado para corregirlos.

4.5. Preparación y animación de objetos

Como la versión desarrollada no incluye personajes, este apartado no aborda procesos de rigging ni skinning. El trabajo de animación se enfocó en los objetos del entorno que

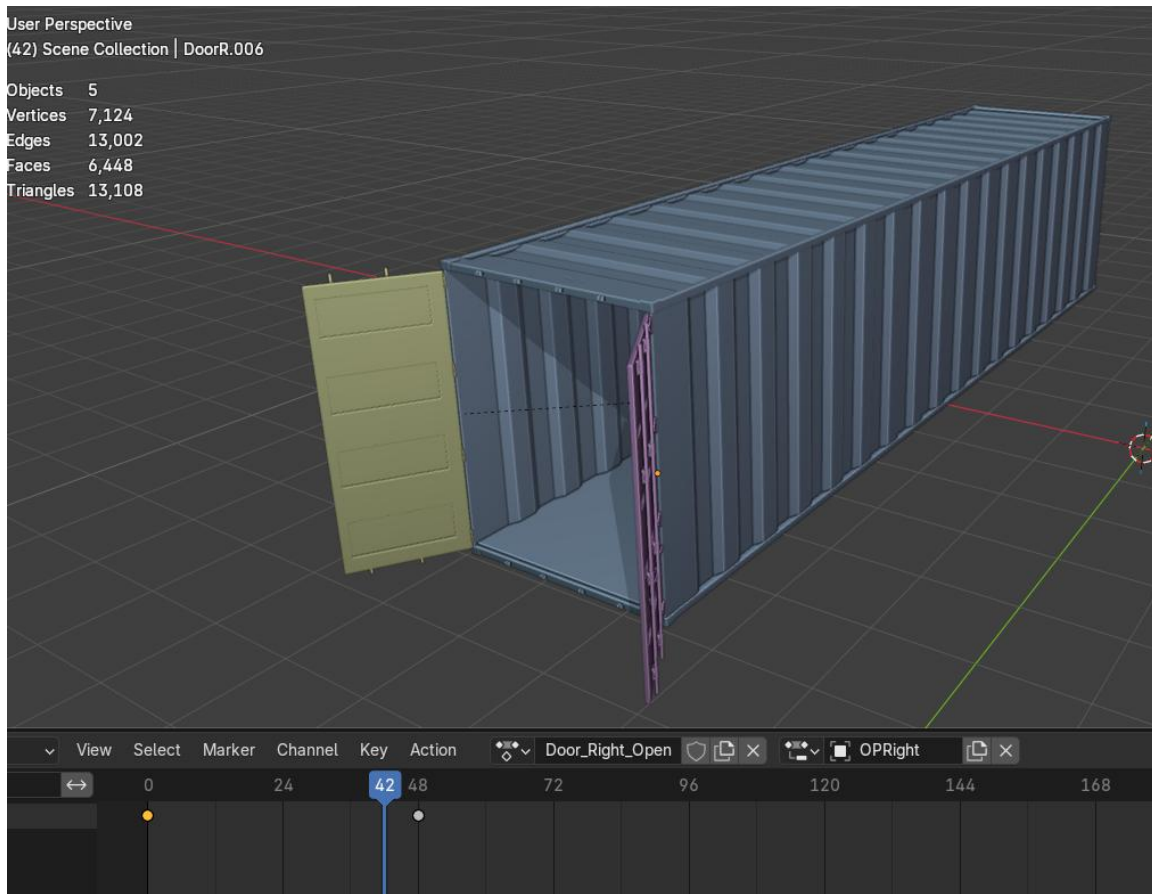
necesitaban movimiento para representar las actividades, entre ellos las grúas y los contenedores.

Las animaciones se elaboraron en Blender. Para ello, las partes móviles se mantuvieron separadas, se revisaron sus puntos de origen y transformaciones, y los movimientos se crearon mediante fotogramas clave. En el caso de los contenedores, cada puerta permaneció como una pieza independiente para conservar su giro y hacer posible la apertura y el cierre. En las grúas STS y RTG se preparó el desplazamiento del trolley hacia adelante y hacia atrás y el movimiento vertical del hoist.

Una vez exportados los recursos, los clips se comprobaron en Unity para verificar que actuaran sobre el objeto correspondiente, mantuvieran la escala y la orientación, y pudieran reproducirse correctamente dentro de la escena. Después se configuró un Animator para cada objeto animado. La Ilustración 25 muestra la preparación de las puertas del contenedor mediante fotogramas clave en Blender.

Ilustración 25

Animación de las puertas del contenedor mediante fotogramas clave en Blender



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Blender. Las puertas se mantuvieron como piezas independientes y se animaron mediante fotogramas clave desde sus respectivos puntos de giro.

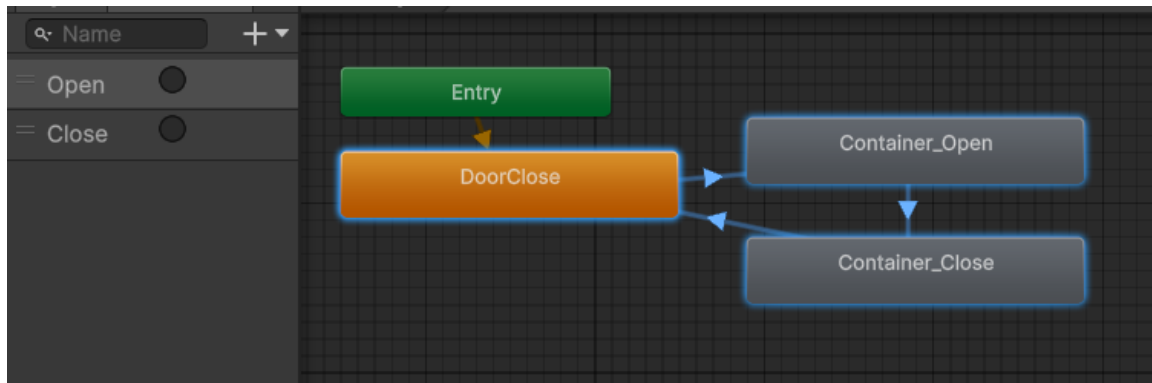
Mantener cada puerta como objeto independiente y ubicar correctamente su origen permite que el giro se produzca desde la bisagra. Esta preparación evita depender de una deformación de malla para una animación que solo requiere rotación rígida. La solución es apropiada para este recurso porque las puertas se comportan como piezas rígidas y no requieren deformación. Separarlas del cuerpo principal permite ajustar cada rotación sin alterar la geometría del contenedor y facilita conservar la misma malla durante la exportación. Además, la preparación del origen en Blender determina que el movimiento se

mantenga coherente al integrarse en Unity, por lo que esta comprobación forma parte del proceso técnico y no solo de la apariencia de la animación.

La Ilustración 26 presenta los estados de apertura y cierre organizados posteriormente en el Animator de Unity.

Ilustración 26

Estados de apertura y cierre del contenedor en el Animator de Unity



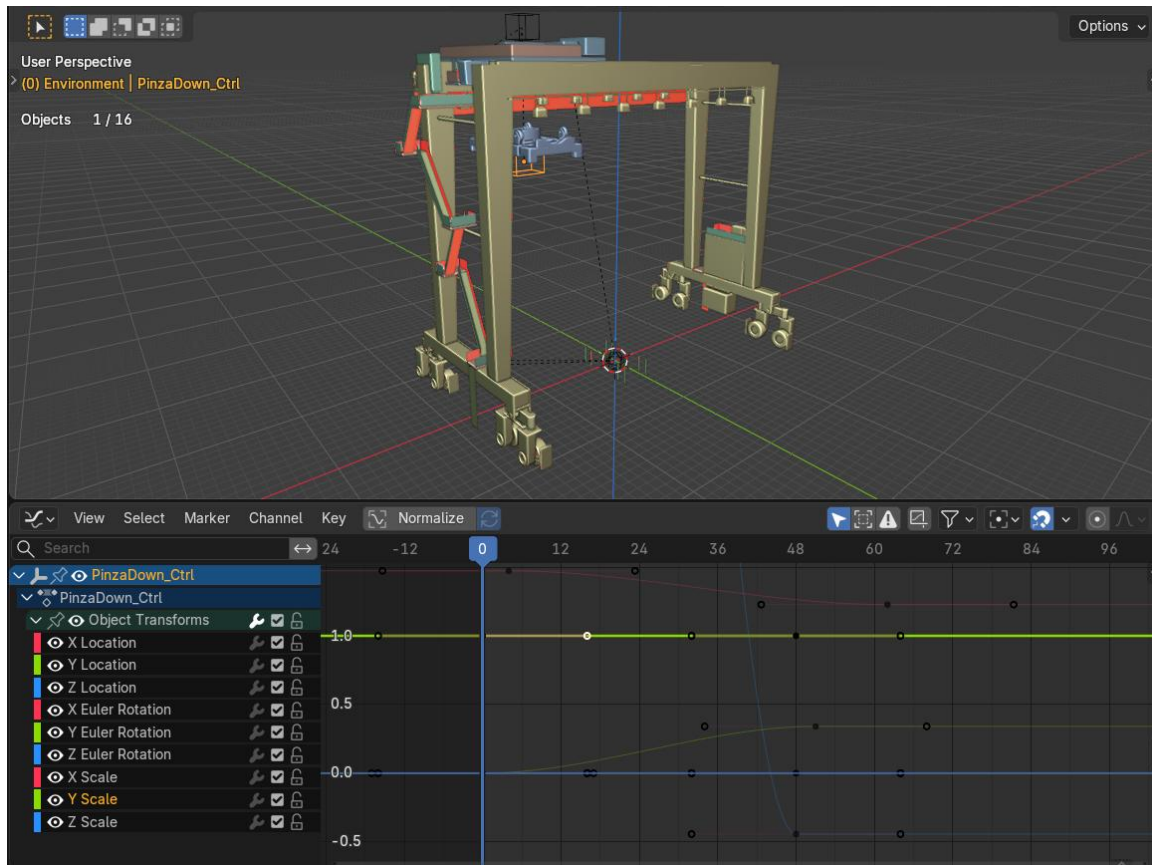
Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. El Animator organiza los clips de apertura y cierre importados desde Blender.

Los estados Open y Close organizan la reproducción de los clips preparados en Blender. La lógica que activa esos estados pertenece a la programación del proyecto, mientras este apartado documenta la preparación e integración del recurso animado. La representación en el Animator permite verificar que los clips importados se encuentran disponibles como estados separados y que la transición visual puede organizarse sin modificar nuevamente la animación de origen. Esto mantiene una separación clara entre la producción artística del movimiento y la lógica que decide cuándo debe ejecutarse. La ilustración, por tanto, demuestra la integración del recurso animado dentro del motor, pero no atribuye al componente artístico el control programado de la interacción.

La Ilustración 27 documenta la preparación de la animación de la grúa RTG en Blender. El mismo criterio de piezas móviles independientes se utilizó en la grúa STS.

Ilustración 27

Preparación de la animación de la grúa RTG en Blender



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Blender. Se muestran los fotogramas clave utilizados para preparar los movimientos del trolley y del hoist de la grúa RTG.

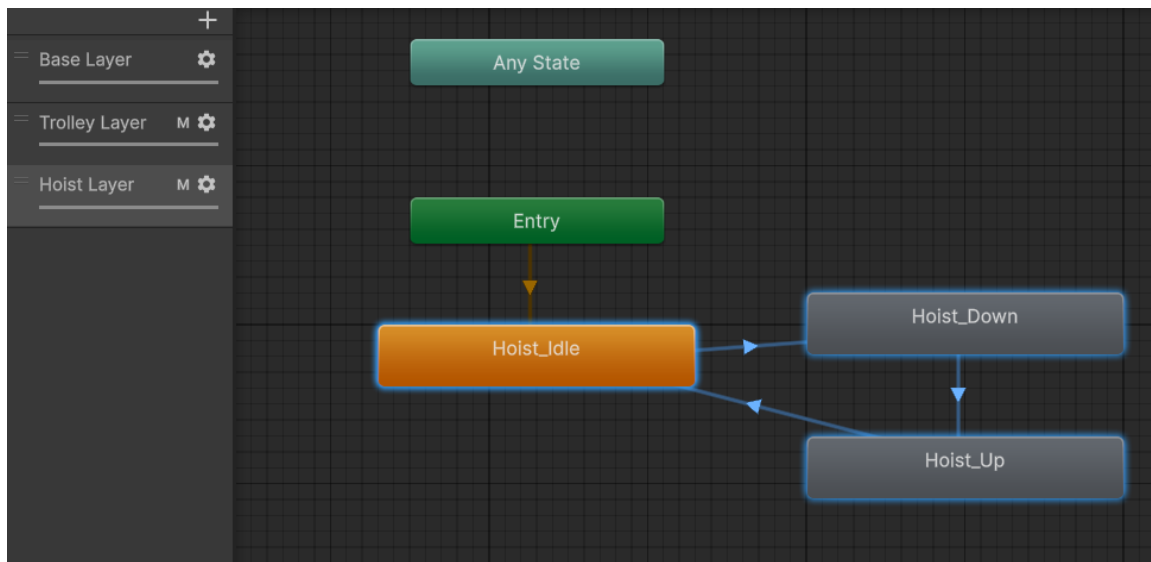
La grúa se prepara separando el desplazamiento horizontal del trolley y el movimiento vertical del hoist. Esta separación permite controlar dos funciones mecánicas diferentes sin tratar la grúa como una única animación rígida. Esta organización también permite ajustar tiempos y recorridos de cada movimiento sin rehacer una secuencia completa de la grúa. El trolley controla el desplazamiento sobre la estructura, mientras el hoist representa la subida y bajada del elemento de carga; separar ambos movimientos facilita su reutilización en diferentes momentos de la operación. La captura evidencia la preparación

artística del movimiento y sirve como antecedente directo de la organización por capas que posteriormente se configura en Unity.

La Ilustración 28 muestra la organización de esos movimientos en Unity mediante capas independientes para Trolley y Hoist dentro del Animator.

Ilustración 28

Organización del trolley y hoist mediante capas del Animator en Unity



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. Los movimientos del trolley y del hoist se organizan mediante capas independientes del Animator.

Las capas del Animator mantienen separados los movimientos del trolley y del hoist para que cada uno conserve su propio estado. Esta organización facilita reutilizar el mismo criterio de animación en las grúas STS y RTG. Al trabajar en capas, un estado del trolley puede mantenerse mientras el hoist cambia de posición, lo que evita tener que crear un clip completo para cada combinación posible. Esta estructura facilita mantener una lógica de animación semejante entre las dos grúas aunque sus modelos y recorridos no sean idénticos. La ilustración evidencia la organización de los clips dentro del motor; la activación y sincronización de esos estados continúa perteneciendo a la programación de la experiencia.

4.6. Materiales, texturas, iluminación y renderización

4.6.1. Materiales y texturas

Los materiales se prepararon para Universal Render Pipeline. Las superficies opacas utilizaron materiales URP Lit y, cuando la función del recurso lo requería, se incorporaron emisión o transparencia. El texturizado y el horneado de mapas se realizaron en Blender con apoyo del add-on JTexture. No todos los materiales utilizaron la misma combinación de mapas: la selección dependió de la superficie, la distancia de observación y la importancia visual del recurso.

La resolución habitual de las texturas fue de 2K, aunque se redujo cuando el recurso podía mantener su lectura con menor resolución. También se reutilizaron materiales, atlas y texturas repetibles cuando el contenido lo permitía. Este criterio evitó generar configuraciones independientes para elementos equivalentes y ayudó a mantener coherencia entre objetos relacionados. La Tabla 12 vincula los distintos tipos de recursos de textura con la función que cumplen y la forma en que fueron aplicados.

Tabla 12

Tipos de recursos de textura utilizados

Recurso	Función	Aplicación
Color base	Definir la información cromática principal.	Superficies de escenarios, mobiliario, utilería y elementos gráficos.
Mapas PBR	Controlar la respuesta material cuando el recurso lo requiere.	Metales, plásticos, concreto y otras superficies preparadas.
Emisión	Representar acentos auto iluminados.	Paneles y recursos luminosos con uso controlado.
Transparencia	Permitir lectura por superposición o paso visual.	Vidrios y paneles que justifican este tratamiento.
Atlas	Reunir recursos reutilizados.	Elementos repetidos o relacionados.
Textura repetible	Cubrir superficies extensas sin archivos únicos de gran tamaño.	Áreas modulares compatibles con repetición.

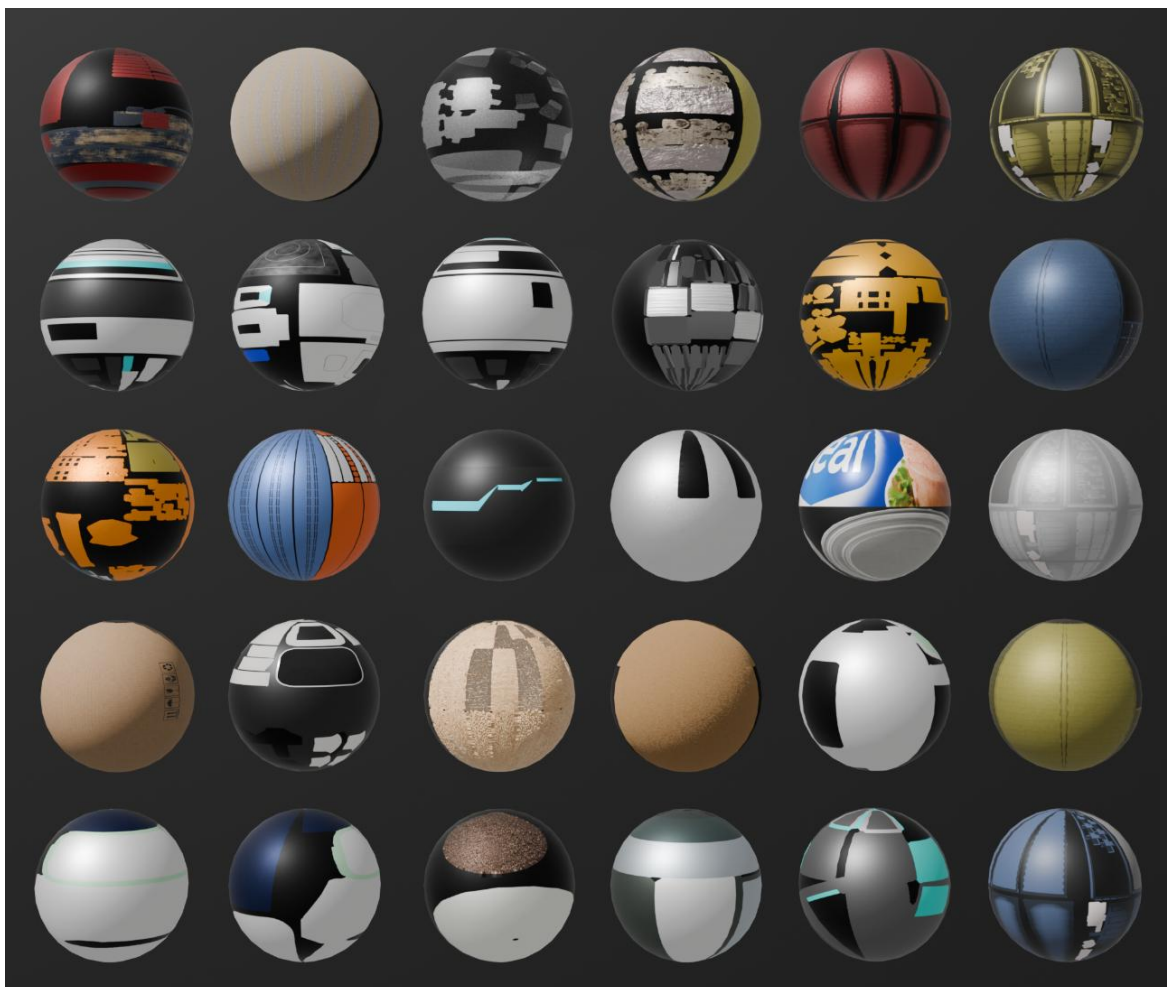
Nota. Elaboración propia a partir de los recursos de textura utilizados en los materiales del proyecto. La aplicación de cada tipo de mapa depende de las necesidades de la superficie y no implica que todos los materiales utilicen la misma combinación.

La tabla distingue recursos de uso general, como color base y mapas PBR, de recursos condicionales, como emisión, transparencia, atlas o texturas repetibles. Esto evita asumir que todos los materiales requieren la misma combinación de mapas. Esta diferenciación permite asignar recursos únicamente cuando aportan información necesaria a la superficie. Un material simple puede resolverse con menos mapas, mientras que superficies metálicas, transparentes o luminosas requieren propiedades adicionales. El criterio reduce la creación de configuraciones redundantes y facilita revisar el costo y la función de cada material. La tabla sirve, por tanto, como referencia del sistema de texturizado utilizado y no como una plantilla obligatoria para todos los assets.

La Ilustración 29 presenta el conjunto de materiales creados durante la producción para los distintos escenarios y recursos.

Ilustración 29

Conjunto de materiales creados durante la producción



Nota. Composición de elaboración propia a partir de una selección de materiales creados para los recursos visuales de Explorador Global.

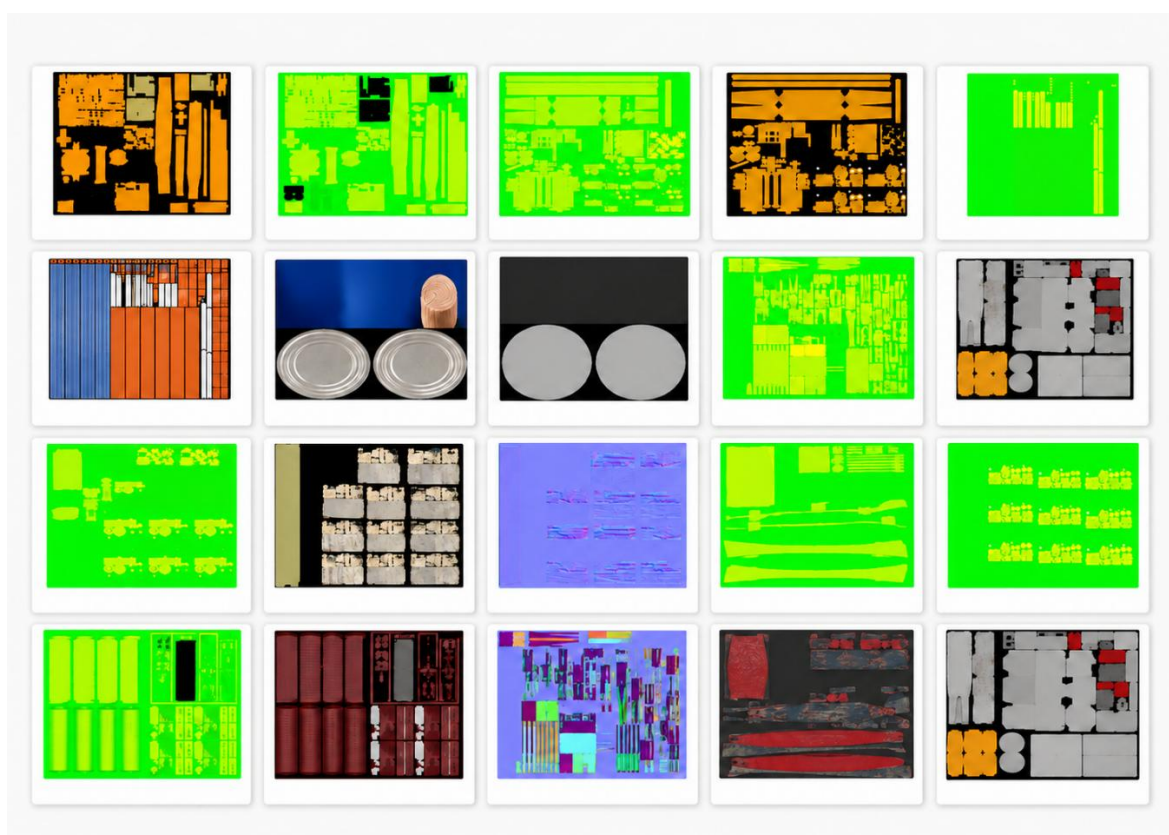
La variedad de materiales responde a superficies con funciones distintas, pero la reutilización se prioriza cuando varios objetos comparten propiedades equivalentes. De esta forma, la producción busca coherencia visual sin multiplicar configuraciones innecesarias. En la composición se aprecia que existen familias de superficies con acabados distintos para interiores, maquinaria, contenedores y elementos tecnológicos. La variedad no implica que cada objeto utilice un material completamente independiente, ya que los recursos

equivalentes pueden compartir configuraciones cuando su apariencia lo permite. Esta estrategia facilita mantener continuidad entre elementos relacionados y, al mismo tiempo, controlar la cantidad de materiales diferentes que deben gestionarse en Unity.

La Ilustración 30 muestra una selección representativa de las texturas y mapas utilizados. La imagen no pretende incluir la totalidad de los archivos generados.

Ilustración 30

Selección de texturas y mapas utilizados en Explorador Global



Nota. Composición de elaboración propia a partir de una selección de texturas y mapas utilizados durante la producción; no representa la totalidad de los archivos generados.

La muestra confirma que el texturizado no se limita al color base y puede incorporar información material según las necesidades del recurso. La selección es representativa y no implica que todos los assets utilicen todos los canales mostrados. La selección permite reconocer que la apariencia final depende de distintos tipos de información gráfica y no de

una única imagen aplicada al objeto. Algunos mapas describen color o propiedades de superficie y otros aportan información complementaria según el material preparado. Su inclusión en la composición demuestra la variedad del proceso de texturizado, pero no debe interpretarse como una lista de canales obligatorios. La decisión de utilizar cada recurso se mantiene vinculada con la función del asset y con el resultado visual requerido.

4.6.2. Iluminación y renderización

La iluminación de los escenarios se configuró mediante lightmaps e iluminación horneada, con el propósito de almacenar previamente el aporte lumínico de las superficies estáticas y reducir el cálculo de iluminación en tiempo real. Para los elementos que requerían conservar respuesta dinámica se utilizó un esquema de iluminación mixta.

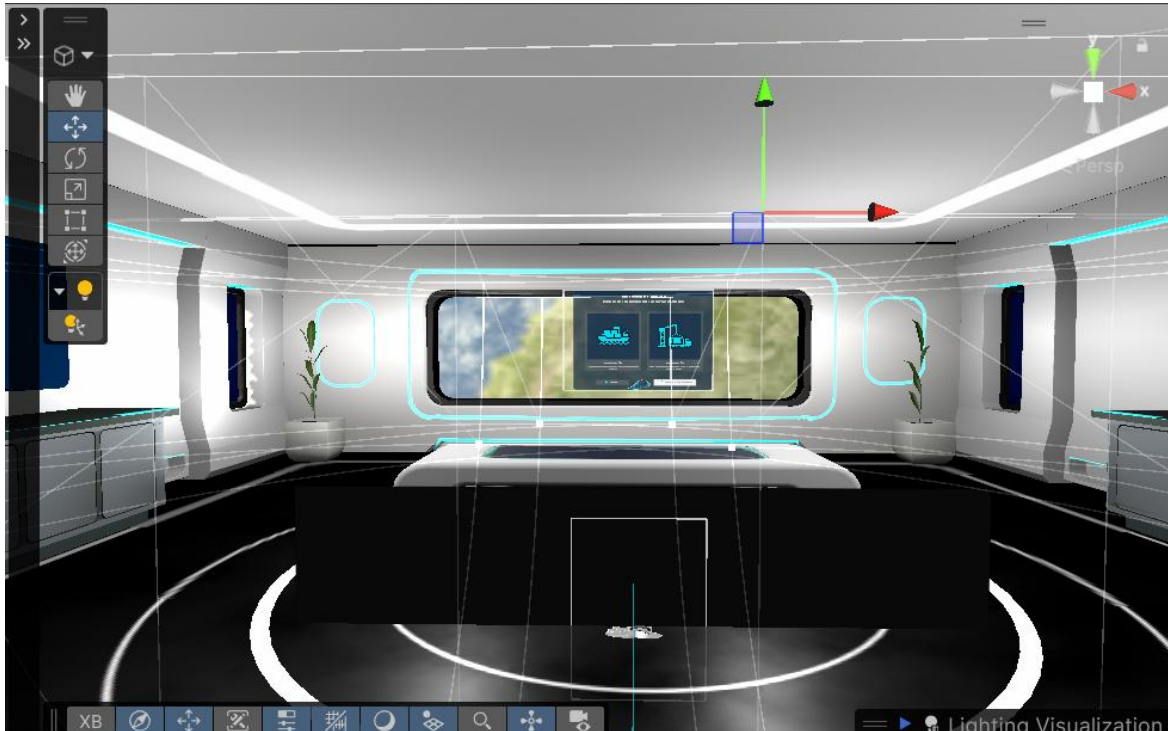
La captura de configuración documenta Baked Global Illumination activado, Lighting Mode en Shadowmask y Progressive GPU como lightmapper. En el horneado mostrado se utilizaron 32 Direct Samples, 512 Indirect Samples, 256 Environment Samples, dos rebotes, una resolución de 20 texels por unidad, tamaño máximo de lightmap de 4096 y modo Non-Directional. Estos valores corresponden a la configuración registrada en la evidencia y deben entenderse como parámetros de la versión documentada, no como una regla universal para cualquier escena.

El proceso se revisó comparando la apariencia antes del horneado, la configuración del panel Lighting y el resultado posterior. El horneado de iluminación se considera también una estrategia de optimización para contenido estático; sin embargo, no se atribuye a esta técnica una mejora numérica independiente en las métricas, porque la validación técnica refleja el conjunto de ajustes aplicados a cada versión.

La Ilustración 31 muestra el estado del escenario antes de generar la iluminación horneada.

Ilustración 31

Escenario antes de generar la iluminación horneada



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity antes de generar los lightmaps, utilizada como referencia para comparar el resultado del horneado.

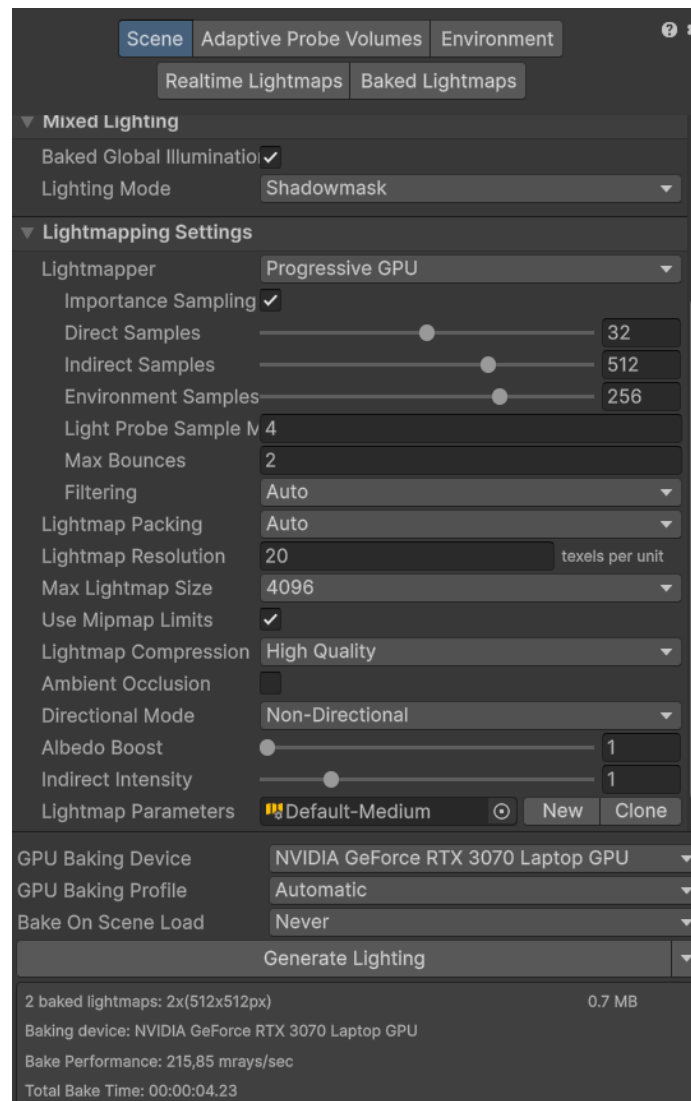
Esta imagen funciona como referencia previa al horneado y permite comparar la distribución lumínica antes de generar los lightmaps. La comparación posterior debe interpretarse como evidencia visual del procedimiento, no como una medición aislada de rendimiento. El estado previo permite identificar la apariencia de las superficies y la distribución general de la luz antes de incorporar la información almacenada en los lightmaps. Su utilidad principal es establecer un punto visual de referencia para las capturas siguientes, donde se documentan la configuración y el resultado del horneado. Al tratarse de

una comparación visual, no permite aislar por sí sola cambios de rendimiento ni sustituye las métricas registradas posteriormente mediante OVR Metrics Tool.

La Ilustración 32 documenta la configuración de Baked Global Illumination y los parámetros de Lightmapping Settings utilizados durante el horneado.

Ilustración 32

Configuración de Baked Global Illumination y Lightmapping Settings en Unity



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. Registra la configuración de Baked Global Illumination y Lightmapping Settings utilizada en la versión documentada.

La configuración deja trazables los parámetros utilizados en la versión documentada, de modo que el proceso pueda repetirse o ajustarse. Los valores corresponden a este proyecto y no se plantean como una configuración universal para escenas de realidad virtual. La evidencia permite registrar no solo que se utilizó iluminación horneada, sino también con qué parámetros se generó en la versión documentada. Esto facilita que una futura modificación pueda partir de valores conocidos y comparar el efecto de un cambio en resolución, muestras o número de rebotes. La configuración debe leerse junto con el resultado visual y con las restricciones de cada escena, ya que aumentar parámetros no implica automáticamente una mejora adecuada para el proyecto. Su función en el manual técnico es aportar trazabilidad al procedimiento.

La Ilustración 33 presenta el resultado visual del escenario después de generar los lightmaps.

Ilustración 33

Resultado visual después de generar los lightmaps



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity después de generar los lightmaps con la configuración documentada.

El resultado permite observar el efecto final de la iluminación horneada sobre las superficies compatibles. Su incorporación forma parte del conjunto de optimizaciones y no permite atribuir por sí sola una variación concreta de FPS. La comparación con el estado previo permite verificar que el proceso de horneado se incorporó efectivamente al escenario y que la información de iluminación quedó aplicada sobre las superficies compatibles. Este resultado también demuestra que la configuración documentada produce una apariencia utilizable dentro del entorno, aunque cualquier ajuste posterior debe volver a comprobarse en la escena y en el visor. La evidencia visual complementa la descripción del procedimiento, mientras la mejora de rendimiento se analiza únicamente a partir del conjunto de optimizaciones registrado en la validación técnica.

4.7. Integración de recursos visuales en el motor

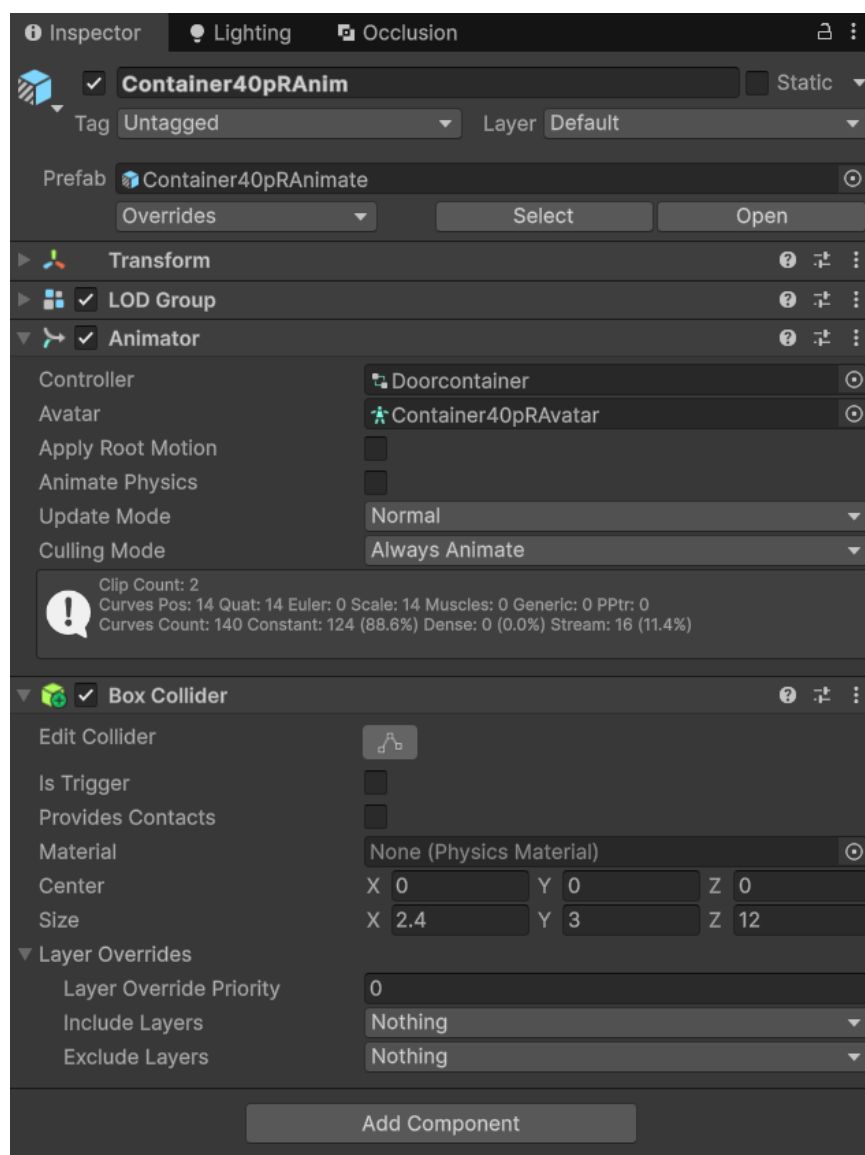
La integración visual comprendió el traslado de los recursos desde Blender hasta su comprobación directa en el visor. Se mantuvo la equivalencia de una unidad por metro, valor que se revisó antes de colocar cada elemento dentro del escenario. El procedimiento aplicado fue el siguiente:

1. Importar el recurso procedente de Blender y comprobar escala, orientación y normales.
2. Crear o asignar los materiales y mapas de textura necesarios.
3. Preparar un prefab reutilizable para mantener la configuración del recurso.
4. Configurar colliders cuando el objeto necesitaba una zona física de interacción o bloqueo.
5. Asignar el Animator a los objetos que incluían clips preparados en Blender.
6. Configurar LOD Group cuando el recurso requería variantes por distancia.
7. Colocar el prefab en el escenario y revisar su relación con el resto de la composición.
8. Integrar los Canvas World Space y comprobar su posición respecto de la actividad representada.
9. Revisar iluminación, lightmaps, visibilidad y apariencia final.
10. Comprobar el recurso dentro de Meta Quest 3.

La Ilustración 34 muestra el prefab del contenedor con los componentes Animator y Box Collider configurados dentro del Inspector de Unity.

Ilustración 34

Prefab del contenedor con Animator y Box Collider configurados



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en el Inspector de Unity. Muestra el prefab del contenedor con los componentes Animator y Box Collider configurados.

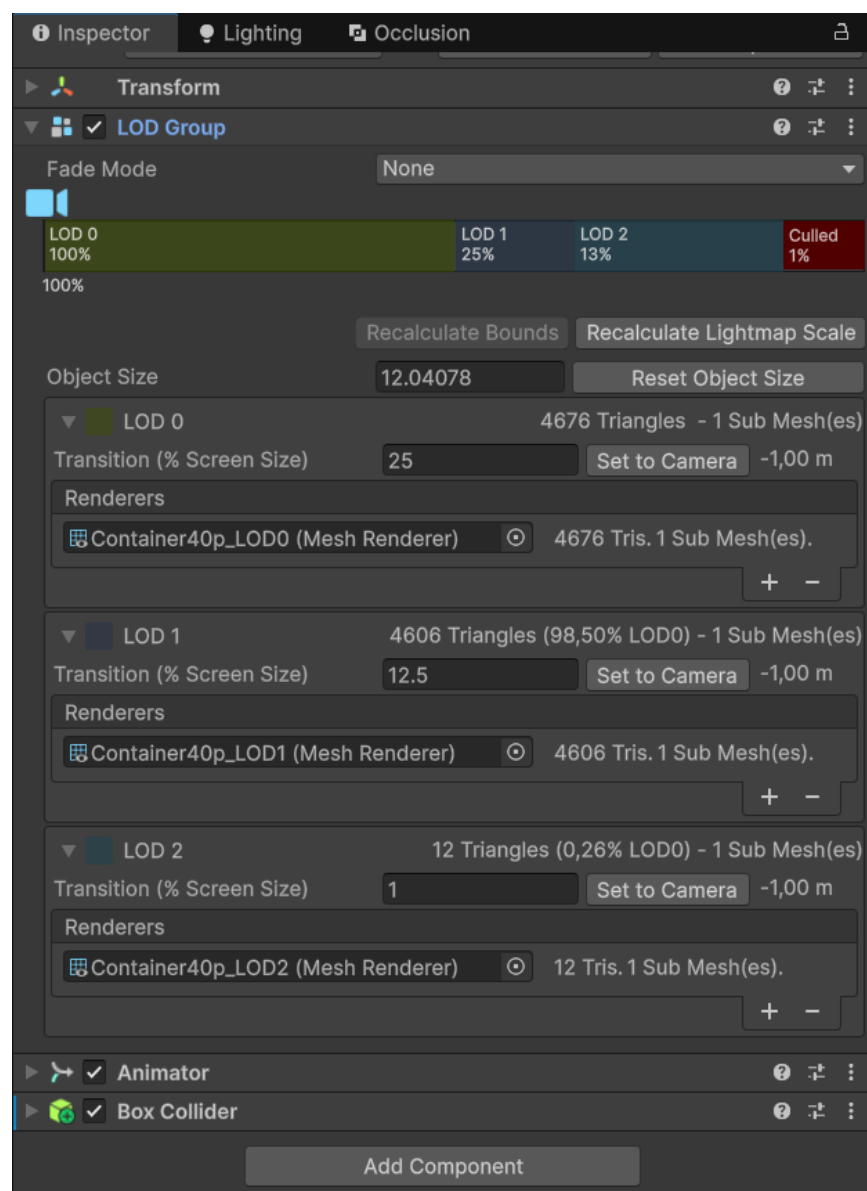
El prefab concentra en un mismo recurso la representación visual y los componentes necesarios para su uso dentro de la escena. Esta organización facilita reutilizar el contenedor y mantener una configuración común entre instancias. La presencia del Animator y del Box Collider muestra que el prefab no contiene únicamente la malla, sino también parte de la

configuración necesaria para comportarse correctamente dentro del entorno. Mantener estos componentes dentro del mismo recurso reduce diferencias entre copias y facilita que una corrección pueda propagarse a las instancias relacionadas. La captura sirve además como evidencia del paso entre un asset producido en Blender y un recurso preparado para ser utilizado dentro de Unity.

La Ilustración 35 presenta la configuración del LOD Group del mismo recurso con tres niveles de detalle.

Ilustración 35

Configuración del LOD Group del contenedor en Unity



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. El LOD Group organiza las variantes del contenedor según su tamaño aparente en pantalla.

El LOD Group centraliza la transición entre las variantes del modelo según su tamaño aparente. La reducción debe conservar una silueta suficiente en los niveles intermedios y reservar la representación mínima para las distancias donde el detalle deja de ser perceptible. La captura permite comprobar que las variantes están reunidas dentro de un único

componente y que cada una se activa en un rango distinto de tamaño en pantalla. Este enfoque evita mantener la geometría de mayor detalle cuando el objeto ocupa una porción reducida de la vista. La configuración debe revisarse visualmente para evitar cambios perceptibles demasiado bruscos y para asegurar que el nivel más simplificado se utilice solo cuando la distancia hace innecesario el detalle. Por ello, el LOD Group combina una decisión de rendimiento con un criterio de continuidad visual.

4.8. Optimización gráfica

La Tabla 13 presenta las principales técnicas de optimización aplicadas en cada escenario y el criterio utilizado para comprobarlas. Los resultados finales provienen del conjunto de intervenciones realizadas, por lo que no es posible asignar una mejora numérica independiente a una sola técnica.

Tabla 13

Técnicas de optimización aplicadas por escenario

Escenario	Problema observado	Técnicas aplicadas	Criterio de comprobación
Estación espacial	Geometría y materiales superiores a lo necesario en algunos recursos.	Reducción manual, eliminación de caras, materiales compartidos, static batching y occlusion culling. Sin LOD.	Revisión visual, compatibilidad estática y prueba en el visor.
Oficina de documentación	Cantidad de geometría y materiales en mobiliario y elementos repetidos.	Reducción manual, eliminación de caras, materiales compartidos, static batching y occlusion culling. Sin LOD.	Revisión de lectura, visibilidad y comportamiento en Meta Quest 3.
Puerto – área de embarcación	Alta densidad de contenedores, grúas y embarcación.	Reducción manual, eliminación de caras, materiales compartidos, static batching, occlusion culling y LOD en contenedores.	Comparación de la versión base y la optimizada mediante OVR Metrics Tool.

Puerto – área de aforo	Geometría, materiales y contenido parcialmente oculto por estantes y estructuras.	Reducción manual, eliminación de caras, materiales compartidos, static batching, occlusion culling y LOD en contenedores.	Revisión de contenido visible y medición en el dispositivo.
------------------------	---	---	---

Nota. Elaboración propia a partir de los ajustes de optimización implementados en los cuatro escenarios. Las técnicas se aplicaron según la función, la visibilidad y la compatibilidad de los recursos; los resultados técnicos reflejan el conjunto de ajustes.

La tabla muestra que las estrategias no se aplican de forma idéntica en los cuatro escenarios. Las decisiones dependen de la densidad geométrica, la repetición de recursos, la visibilidad y la compatibilidad de cada técnica con la función del entorno. Los escenarios interiores se benefician principalmente de reducción, materiales compartidos, Static Batching y oclusión, mientras el puerto de embarcación añade LOD por la mayor presencia de contenedores y elementos repetidos a diferentes distancias. Esta diferencia muestra que la optimización se ajusta a la composición real de cada entorno y no a una lista aplicada de forma automática. La columna de comprobación refuerza además que una técnica solo se conserva cuando puede revisarse visualmente o mediante la prueba en el dispositivo. Por ello, los resultados técnicos posteriores deben interpretarse como efecto del conjunto de ajustes y no de una intervención aislada.

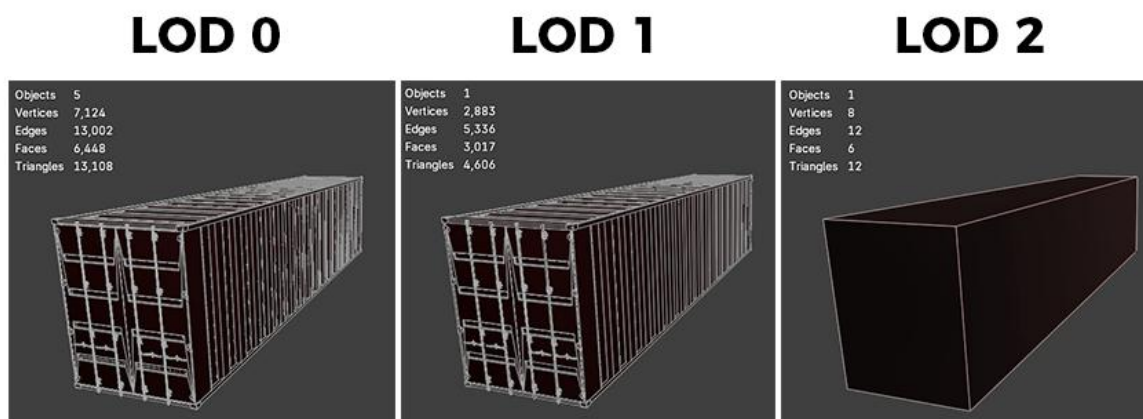
4.8.1. Geometría, materiales y texturas

En los modelos que conservaban más detalle del necesario, la geometría se redujo manualmente y también se eliminaron las caras que no eran visibles. La reutilización de recursos evitó crear copias de modelos equivalentes. Para los materiales y las texturas, varios objetos semejantes compartieron configuraciones, mientras la resolución se ajustó según su importancia dentro de la escena y la distancia desde la que serían observados.

La Ilustración 36 compara visualmente los tres niveles de detalle preparados para el contenedor.

Ilustración 36

Comparación visual de los tres niveles de detalle del contenedor



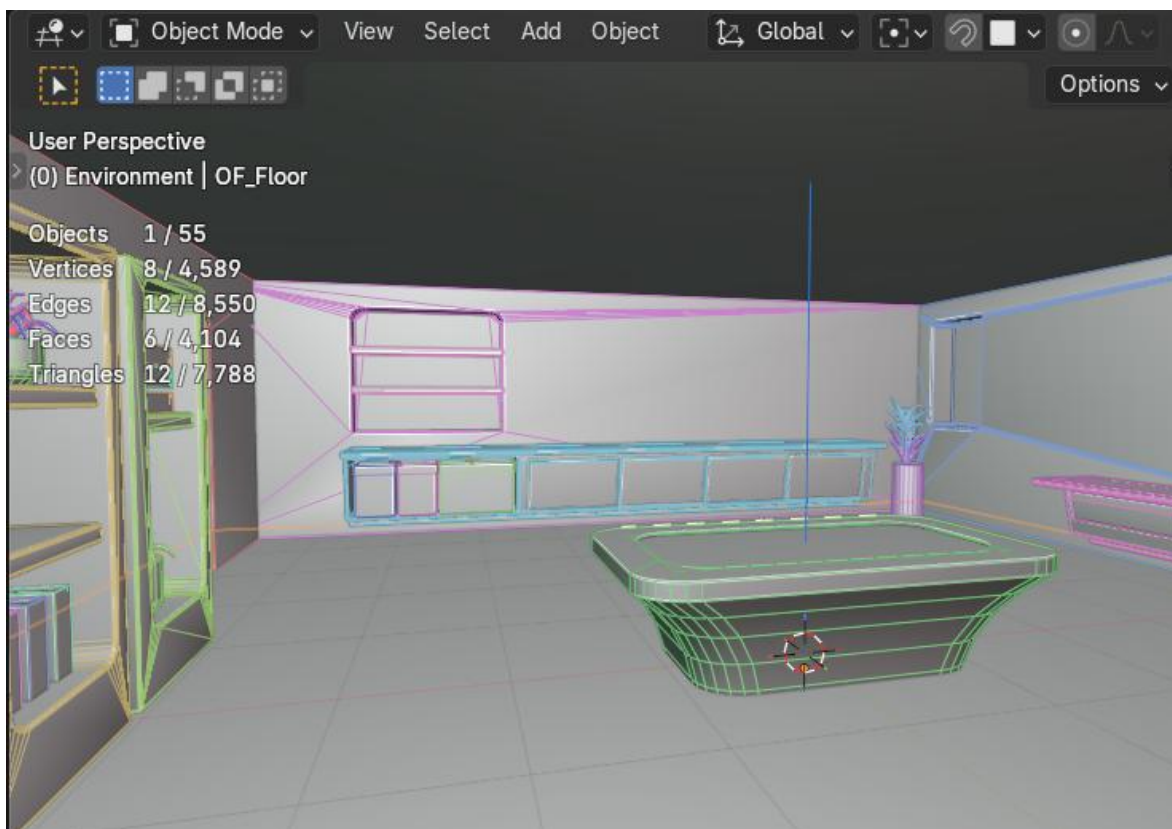
Nota. Comparación de elaboración propia a partir de las variantes LOD0, LOD1 y LOD2 del contenedor utilizadas en Unity.

La diferencia entre LOD0, LOD1 y LOD2 evidencia una reducción progresiva de geometría conforme disminuye la necesidad de detalle visual. El objetivo no es conservar la misma cantidad de polígonos, sino mantener una representación suficiente para la distancia donde se utiliza cada nivel. El nivel de mayor detalle conserva la forma necesaria para las distancias cercanas, mientras los niveles posteriores reducen elementos que dejan de aportar información perceptible al alejarse. La comparación permite revisar si la silueta general y la identificación del contenedor se mantienen durante esa simplificación. Esta evidencia es relevante en el área portuaria porque el mismo tipo de recurso puede aparecer repetido en distintos planos de profundidad, haciendo innecesario utilizar siempre la malla más compleja.

La Ilustración 37 documenta la revisión de geometría y triangulación realizada durante la reducción manual de una escena en Blender.

Ilustración 37

Revisión de geometría y triangulación durante la reducción manual en Blender



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Blender. La reducción se realizó mediante simplificación y eliminación de geometría; la triangulación mostrada corresponde a una revisión de la malla y no constituye por sí sola una reducción.

La revisión en Blender permite localizar geometría que puede simplificarse o eliminarse antes de volver a integrar el recurso. La triangulación forma parte de la revisión de la malla, pero la reducción efectiva proviene de las decisiones de simplificación y descarte de geometría innecesaria. La captura sirve como evidencia del trabajo de diagnóstico previo a la simplificación: revisar aristas, superficies y zonas ocultas permite decidir qué información geométrica puede retirarse sin afectar la apariencia necesaria. Después de modificar la malla, el recurso debe volver a comprobarse con sus normales, UV y materiales antes de integrarlo nuevamente. Esta secuencia evita asociar la optimización únicamente con

una reducción numérica y mantiene como criterio principal que el objeto conserve la función visual que necesita dentro de la escena.

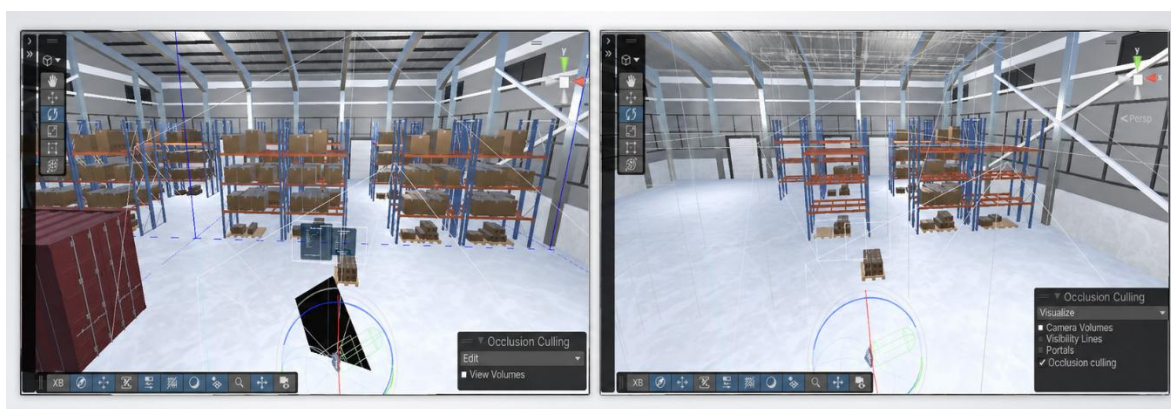
4.8.2. Visibilidad y organización de escenas

Para controlar la visibilidad se utilizó occlusion culling, con el fin de evitar el procesamiento de contenido oculto detrás de las estructuras. También se aplicó static batching en los objetos estáticos que eran compatibles. Los niveles de detalle se emplearon principalmente en los contenedores ubicados en las áreas portuarias. No fueron necesarios en la Estación espacial ni en la Oficina de documentación, debido a que sus modelos ya mantenían una complejidad controlada. Además, la división del proyecto en escenas redujo la cantidad de recursos activos al mismo tiempo.

La Ilustración 38 muestra el efecto del Occlusion Culling sobre el contenido oculto dentro del área de aforo.

Ilustración 38

Comparación de contenido visible con Occlusion Culling en el área de aforo



Nota. Comparación de elaboración propia obtenida en Unity. Se muestra la diferencia de contenido visible desde el mismo sector del área de aforo al aplicar Occlusion Culling.

La comparación muestra que el contenido completamente oculto desde la vista puede excluirse del conjunto visible cuando la configuración de oclusión lo determina. Esta técnica

resulta especialmente pertinente en zonas con estructuras que bloquean gran parte de los objetos situados detrás. La utilidad de esta técnica aumenta cuando existen estanterías, paredes u otras estructuras capaces de ocultar grupos completos de recursos desde determinadas posiciones. Al descartar objetos que no aportan información a la vista actual, se reduce trabajo innecesario sin eliminar esos elementos de la escena. La comparación también muestra que el beneficio depende de la estructura del entorno y del punto de observación, por lo que no debe asumirse el mismo efecto en zonas abiertas donde la mayoría de los objetos permanece visible.

4.9. Software, formatos y organización de recursos

La Tabla 14 reúne el software documentado, su función y los formatos asociados al flujo artístico.

Tabla 14

Software y formatos utilizados en la producción visual

Software	Función	Formatos o recursos
Blender 5.1	Modelado, UV, horneado, texturizado y exportación.	.blend, .fbx y .png.
Unity 6000.3.5f2	Integración, materiales, prefabs, iluminación y optimización.	.fbx, .png, .unity y .prefab.
Figma	Wireframes y diseño de interfaces.	.svg, .png y .pdf.
Affinity	Diseño visual, edición de imágenes, moodboards, concept art y maquetación.	.svg, .png y .pdf.
Meta XR All-in-One SDK 85.0.0	Integración con Meta Quest 3 y seguimiento de manos.	Recursos integrados en Unity.
OVR Metrics Tool	Validación técnica en Meta Quest 3.	Performance HUD.

Nota. Elaboración propia a partir del software, los complementos y los formatos utilizados durante la producción visual.

Los formatos indicados corresponden a archivos fuente, recursos de intercambio o elementos integrados en Unity según cada herramienta.

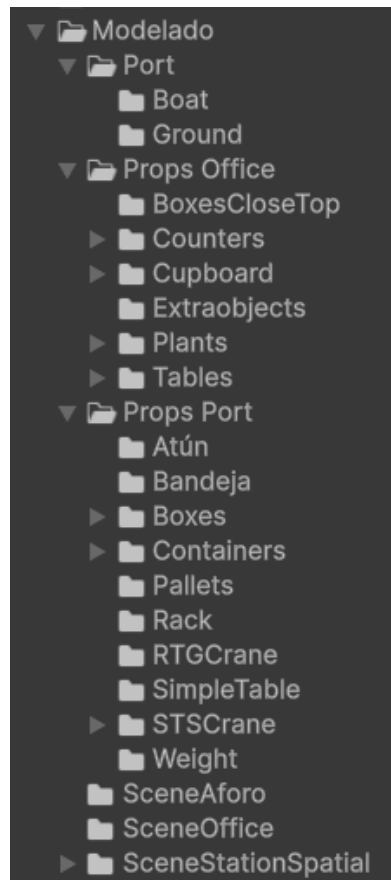
La tabla resume el papel de cada herramienta dentro del flujo artístico y los formatos utilizados para transferir recursos entre etapas. Mantener formatos editables y de intercambio claramente diferenciados facilita corregir un recurso en su herramienta de origen sin perder la versión destinada al motor. La distinción entre archivos fuente y formatos de intercambio

permite saber dónde debe realizarse cada corrección. Los archivos editables conservan la información necesaria para modificar modelos, interfaces o composiciones, mientras los formatos de transferencia se preparan para integrarse en la siguiente herramienta. Esta organización reduce el riesgo de editar únicamente una copia exportada y perder la fuente original del recurso. Además, facilita que futuras ampliaciones mantengan el mismo flujo de producción y puedan localizar rápidamente el archivo responsable de cada elemento.

La estructura de carpetas ayudó a organizar los recursos según su origen, la función que cumplían y el escenario donde serían utilizados. La Ilustración 39 presenta la organización aplicada a los archivos artísticos del proyecto.

Ilustración 39

Organización de archivos y estructura interna de los recursos artísticos de Explorador Global en Unity



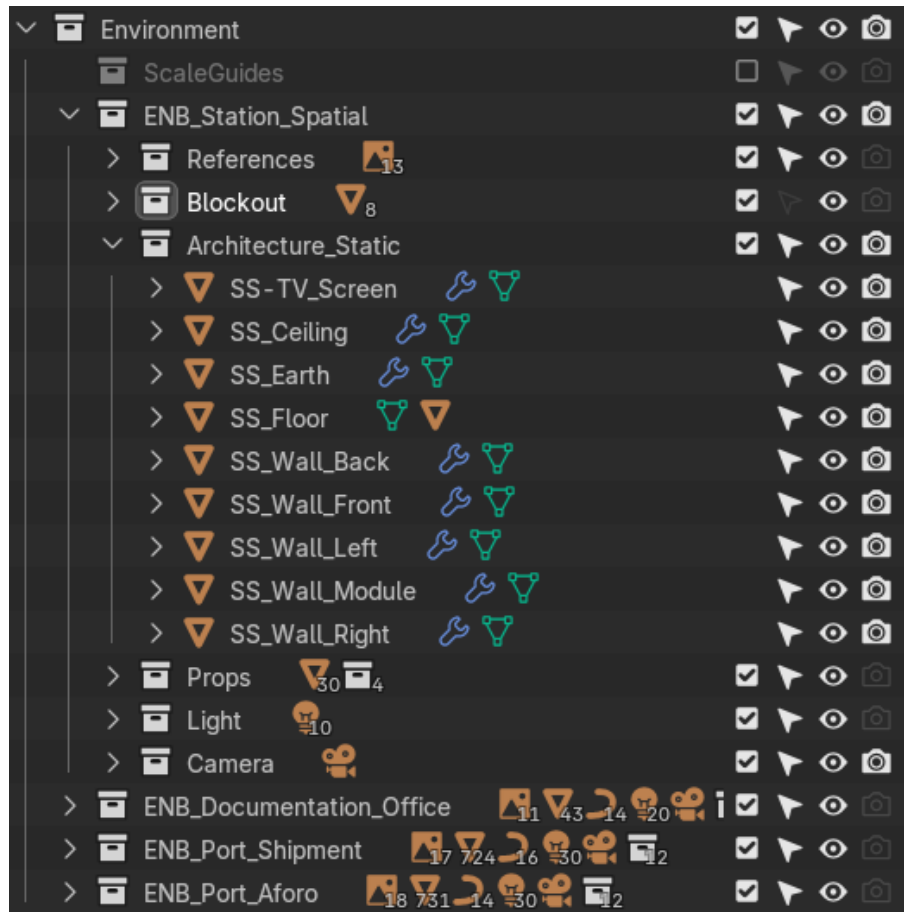
Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Unity. Muestra la organización utilizada para los archivos de modelado y los recursos correspondientes a los escenarios implementados.

Esta organización se limita a los archivos artísticos registrados y no describe la arquitectura completa del proyecto en Unity. Su propósito es ordenar los recursos según su procedencia y el escenario donde se utilizan, facilitando su revisión, transferencia y mantenimiento. La separación por escenario y tipo de recurso permite evitar que modelos, texturas o archivos de apoyo queden mezclados sin una relación reconocible. Esta estructura facilita localizar el archivo editable antes de realizar una corrección y mantener separadas las fuentes de trabajo de los recursos destinados a integración. También constituye una referencia para futuras ampliaciones, ya que permite incorporar nuevos contenidos siguiendo una lógica

existente en lugar de crear ubicaciones independientes. La organización interna de Blender se documenta de forma complementaria mediante la Ilustración 40.

Ilustración 40

Organización de archivos y estructura interna de los recursos artísticos de Explorador Global en Blender



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Blender. El Outliner muestra la organización y agrupación de los objetos utilizados durante el trabajo de modelado y preparación de los escenarios.

La captura del Outliner permite identificar la forma en que se agrupan y nombran los recursos dentro del archivo de Blender. Esta evidencia complementa la organización de carpetas mostrada anteriormente porque documenta la estructura interna de trabajo y facilita localizar objetos durante correcciones o ampliaciones.

La comparación que justifica las herramientas empleadas aparece en el apartado 2.6. En esta sección se mantienen el inventario de software, los formatos usados y la forma en que fueron organizados los recursos artísticos.

4.10. Validación técnica de recursos visuales

4.10.1. Validación técnica

La validación técnica se realizó directamente en Meta Quest 3 mediante OVR Metrics Tool. Se compararon dos estados del proyecto: una versión base, correspondiente a los escenarios antes de aplicar las optimizaciones documentadas, y una versión optimizada. Para cada estado se efectuaron tres evaluaciones. En cada una se revisaron consecutivamente los cuatro escenarios: Estación espacial, Oficina de documentación, Puerto – área de embarcación y Puerto – área de aforo.

La Tabla 15 reúne la configuración utilizada y las evidencias consideradas durante la validación.

Tabla 15

Configuración de la prueba técnica

Parámetro	Configuración documentada
Dispositivo	Meta Quest 3.
Herramienta	OVRR Metrics Tool.
Comparación	Versión base y versión optimizada.
Escenarios	Estación espacial, Oficina de documentación, Puerto – área de embarcación y Puerto – área de aforo.
Evaluaciones	Tres por cada versión.
Procedimiento	En cada evaluación se revisaron consecutivamente los cuatro escenarios.
Frecuencia registrada	72 Hz en DRR durante todas las evaluaciones.
Datos registrados	BAT, CPU L, GPU L, FPS, DRR, STALE, CPU U, GPU U y APP T.
Evidencia	Registros de las tres evaluaciones realizadas para cada versión.

Nota. Elaboración propia a partir de los registros de la validación técnica. BAT = Battery Level; CPU L = CPU Level; GPU

L = GPU Level; FPS = Average FPS; DRR = Display Refresh Rate; STALE = Stale Frame Count; CPU U = CPU Utilization;

GPU U = GPU Utilization; APP T = App GPU Time.

Los registros incluyeron BAT, CPU L, GPU L, FPS, DRR, STALE, CPU U, GPU U y APP T. Para facilitar la comparación entre la versión base y la optimizada, la Tabla 16

sintetiza FPS, APP T, STALE y DRR. Los demás valores permanecen como parte del registro de cada evaluación. La comparación refleja el conjunto de cambios aplicados a la versión optimizada y no permite atribuir la variación observada a una sola técnica de optimización. La configuración delimita de forma explícita el dispositivo, la herramienta, las versiones comparadas, los escenarios, el número de evaluaciones y los campos registrados. Esto permite entender qué condiciones forman parte de la evidencia y evita incorporar supuestos no documentados, como tiempos de estabilización o puntos de observación que no constan en los registros. La tabla funciona como base metodológica para interpretar los resultados de la Tabla 16 y para repetir en el futuro una comprobación siguiendo el mismo conjunto de parámetros registrados.

La Ilustración 41 presenta una captura representativa del Performance HUD utilizado durante las pruebas en Meta Quest 3.

Ilustración 41

Registro técnico mediante OVR Metrics Tool



Nota. Captura de elaboración propia obtenida en Meta Quest 3 durante la ejecución del prototipo. El Performance HUD muestra las métricas registradas mediante OVR Metrics Tool; APP T se presenta en microsegundos en la captura y se expresa en milisegundos en la Tabla 16.

La captura documenta el Performance HUD utilizado durante las pruebas y los campos observados. La comparación entre las dos versiones no se obtiene de esta imagen aislada, sino de los registros de las tres evaluaciones y de los promedios presentados en la Tabla 16.

La Tabla 16 muestra el promedio aritmético de las tres evaluaciones realizadas para cada escenario y versión. Para mantener correspondencia con los registros consolidados de la validación, el campo APP T se presenta en milisegundos. Además, se incorpora DRR

dentro de la tabla y se añade una fila de promedio general para resumir el comportamiento de las doce evaluaciones de cada versión.

Tabla 16

Resultados técnicos de la versión base y la versión optimizada

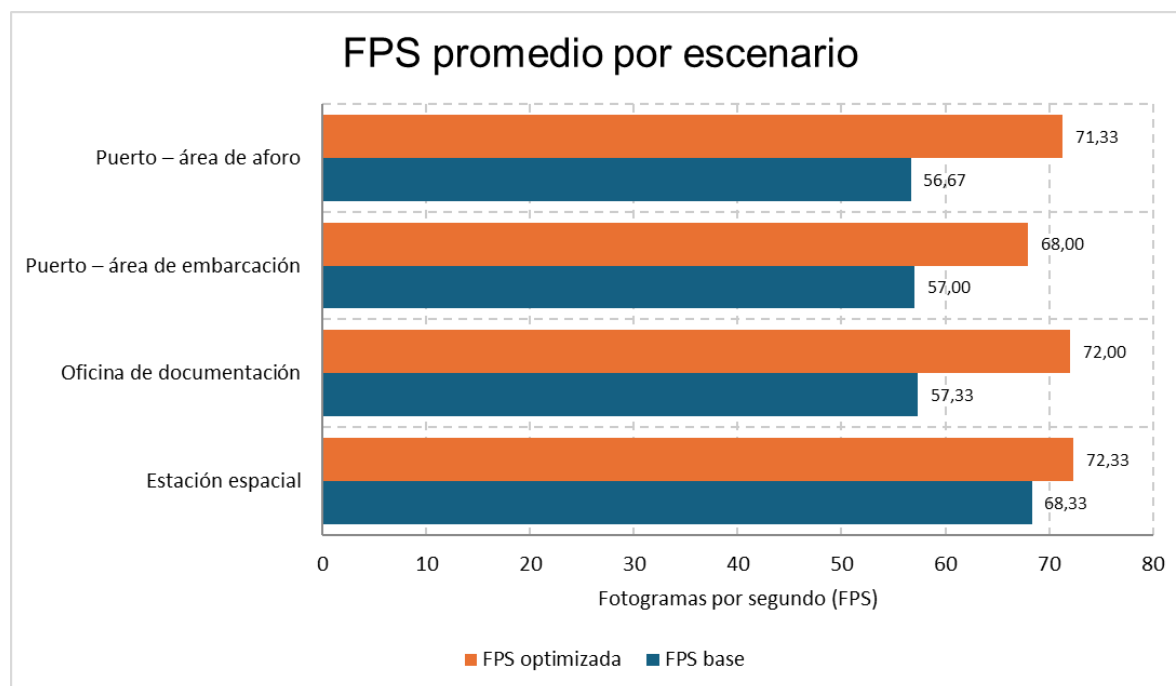
Escenario	FPS Base	FPS Optimizada	APP T Base (ms)	APP T Optimizada (ms)	STALE Base	STALE Optimizada	DRR Base (Hz)	DRR Optimizada (Hz)
Estación espacial	68,33	72,33	11,49	11,37	7,33	0,67	72	72
Oficina de documentación	57,33	72,00	14,05	11,31	17,00	2,33	72	72
Puerto - área de embarcación	57,00	68,00	16,77	10,84	17,33	1,33	72	72
Puerto - área de aforo	56,67	71,33	13,80	11,19	15,33	2,67	72	72
Promedio general	59,83	70,92	14,03	11,18	14,25	1,75	72	72

Nota. Elaboración propia a partir de tres evaluaciones por escenario y versión registradas mediante OVR Metrics Tool. Los valores corresponden al promedio de las tres evaluaciones; APP T se convirtió de microsegundos a milisegundos. La última fila resume las doce mediciones de cada versión. APP T se expresa en ms y DRR en Hz. B. = versión base; Opt. = versión optimizada.

Los resultados consolidados y la evidencia representativa de la validación técnica se presentan en este apartado. Los registros individuales utilizados para obtener los promedios se conservaron como respaldo del proceso de medición y no se duplican en los anexos.

En el conjunto de los cuatro escenarios, el promedio general aumentó de 59,83 a 70,92 FPS, equivalente a una mejora aproximada del 18,5 %. En paralelo, APP T disminuyó de 14,03 a 11,18 ms, una reducción aproximada del 20,3 %, y STALE descendió de 14,25 a 1,75, equivalente a una reducción del 87,7 %. DRR permaneció en 72 Hz en todas las evaluaciones, por lo que su valor se mantiene como referencia de frecuencia y no requiere un gráfico independiente.

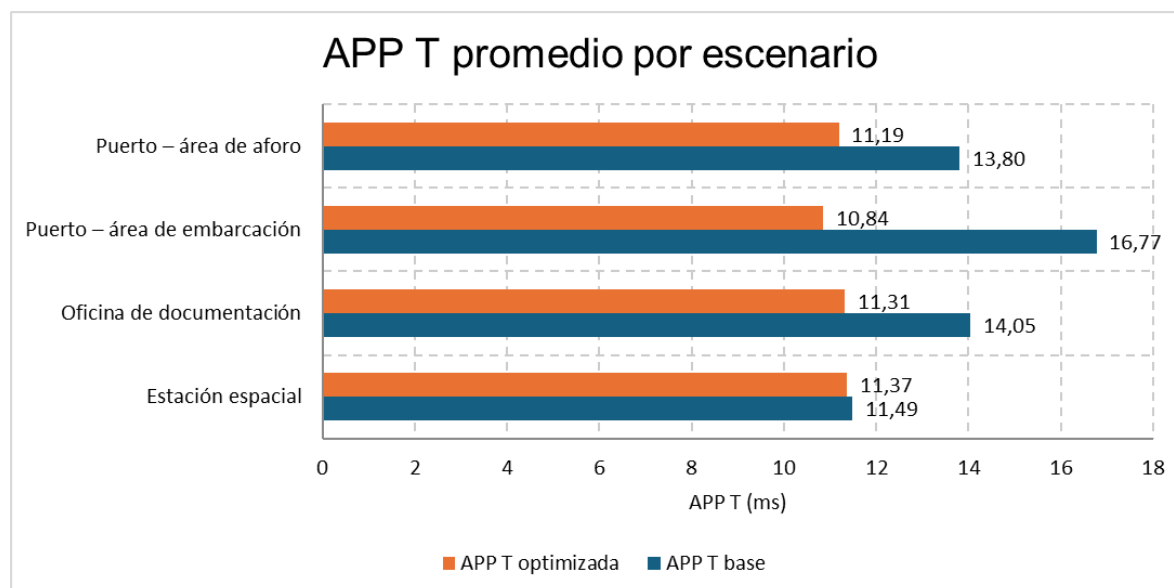
La Figura 1 compara el FPS promedio de la versión base y la versión optimizada en los cuatro escenarios e incorpora la referencia nominal de 72 FPS.

Figura 1*Comparación del FPS promedio por escenario*

Nota. Elaboración propia a partir de los promedios calculados con las tres evaluaciones de cada escenario y versión. La referencia de 72 FPS corresponde al objetivo nominal utilizado para la comparación.

El gráfico evidencia un aumento de FPS en los cuatro escenarios. La Estación espacial pasa de 68,33 a 72,33 FPS; la Oficina de documentación, de 57,33 a 72,00 FPS; el Puerto – área de embarcación, de 57,00 a 68,00 FPS; y el Puerto – área de aforo, de 56,67 a 71,33 FPS. Las mayores mejoras relativas corresponden al Puerto – área de aforo (25,9 %) y a la Oficina de documentación (25,6 %). El Puerto – área de embarcación mejora un 19,3 %, pero sus tres evaluaciones optimizadas registran 71, 65 y 68 FPS, valores inferiores al objetivo nominal de 72 FPS; por esta razón, no se afirma que este escenario mantenga de forma estable la frecuencia objetivo.

La Figura 2 muestra la variación de APP T entre las dos versiones. En esta métrica, un valor menor representa un menor tiempo registrado para la aplicación.

Figura 2*Comparación de APP T promedio por escenario*

Nota. Elaboración propia a partir de las tres evaluaciones realizadas para cada escenario y versión. APP T corresponde a App GPU Time y se expresa en milisegundos después de convertir los valores registrados por OVR Metrics Tool.

APP T disminuye en los cuatro escenarios, aunque con magnitudes diferentes. La reducción es mínima en la Estación espacial, de 11,49 a 11,37 ms (1,0 %), mientras que en la Oficina de documentación baja de 14,05 a 11,31 ms (19,5 %), en el Puerto – área de embarcación de 16,77 a 10,84 ms (35,3 %) y en el Puerto – área de aforo de 13,80 a 11,19 ms (18,9 %). El Puerto – área de embarcación presenta la reducción más amplia de esta métrica, aun cuando su FPS promedio continúa por debajo de los otros escenarios optimizados.

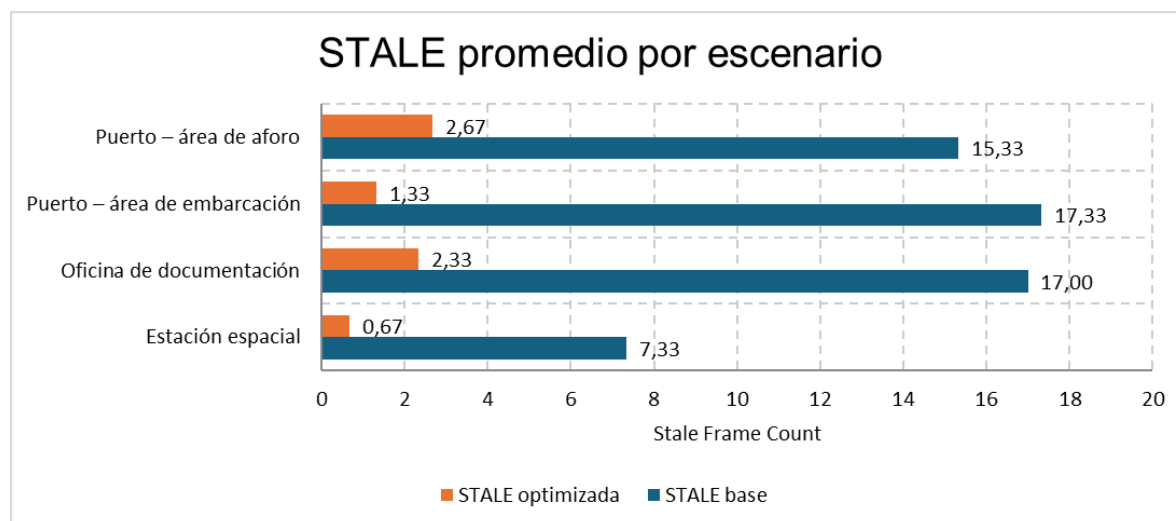
Considerando el presupuesto nominal de 13,89 ms por fotograma correspondiente a 72 Hz, cinco de las doce mediciones de App GPU Time de la versión base superaron este valor. En la versión optimizada, ninguna de las doce mediciones excedió el presupuesto temporal. Sin embargo, el Puerto – área de embarcación mantuvo un promedio de 68,00 FPS aun cuando sus mediciones de App GPU Time permanecieron dentro del presupuesto; por

ello, la diferencia restante respecto al objetivo de 72 FPS no puede atribuirse exclusivamente al tiempo de renderizado GPU registrado.

La Figura 3 compara el promedio de STALE registrado antes y después de la optimización.

Figura 3

Comparación de STALE promedio por escenario



Nota. Elaboración propia a partir de los registros de Stale Frame Count de las tres evaluaciones por escenario y versión.

La disminución de STALE es consistente en los cuatro escenarios. La Estación espacial pasa de 7,33 a 0,67; la Oficina de documentación de 17,00 a 2,33; el Puerto – área de embarcación de 17,33 a 1,33; y el Puerto – área de aforo de 15,33 a 2,67. En términos relativos, las reducciones se encuentran entre 82,6 % y 92,3 %, lo que muestra que la versión optimizada registra una cantidad considerablemente menor de fotogramas obsoletos durante las evaluaciones.

La lectura conjunta de FPS, APP T y STALE respalda una mejora global de la versión optimizada: aumentan los FPS y disminuyen APP T y los fotogramas obsoletos, mientras DRR permanece en 72 Hz. Estos datos corresponden a los registros obtenidos durante las evaluaciones y no constituyen un seguimiento continuo de toda la escena.

4.10.2. Validación con usuarios

La validación con usuarios se planteó como un piloto descriptivo en el que participaron 24 estudiantes de cuarto ciclo de la Carrera de Negocios Internacionales de la Facultad de Ciencias Jurídicas de la Universidad Católica de Cuenca. El grupo fue seleccionado mediante un procedimiento no probabilístico, considerando su pertenencia a la población académica destinataria de la propuesta y la posibilidad de coordinar las pruebas con el apoyo del director de carrera, quien impartía clases a estos estudiantes. La evaluación se aplicó a los 24 integrantes del grupo. Debido al carácter no probabilístico de la selección, los resultados se interpretan de forma descriptiva y se circunscriben a los participantes evaluados, sin plantearse como estimaciones estadísticamente generalizables a la totalidad de la Carrera de Negocios Internacionales. Los registros se identificaron con los códigos U001 a U024. Respecto a la experiencia previa con realidad virtual, tres participantes no tenían experiencia, siete presentaban un nivel bajo, nueve un nivel medio y cinco un nivel alto.

Las pruebas se realizaron con la versión 1.0 en Meta Quest 3 utilizando seguimiento de manos. Cada participante ejecutó cuatro tareas, para un total de 96 ejecuciones. La Tarea 1 consistió en leer el texto de bienvenida y confirmar la comprensión de las indicaciones iniciales. La Tarea 2 requirió completar el tutorial de interacción mediante el botón UI indicado. En la Tarea 3 se debía sujetar y colocar un panel UI en la posición correspondiente. Finalmente, la Tarea 4 consistió en seleccionar el pallet y el contenedor adecuados según el producto asignado.

En cada ficha se registraron el tiempo de ejecución, el resultado, los errores de interpretación, la dificultad principal, los incidentes técnicos, la ayuda aplicada y una observación breve. Una ejecución se consideró autónoma cuando el participante alcanzó el

resultado esperado sin recibir ayuda; se registró como "con ayuda" cuando fue necesaria una intervención del evaluador, y como "no completada" cuando no se alcanzó el resultado esperado. Por tanto, para calcular el porcentaje de ejecución autónoma se consideraron como autónomas las tareas finalizadas correctamente sin asistencia externa.

De las 96 ejecuciones, 75 se completaron sin ayuda, equivalentes a un porcentaje de ejecución autónoma del 78,1 %, y 21 se completaron con ayuda, equivalentes al 21,9 %. No se registraron tareas no completadas ni incidentes técnicos durante las actividades. El 78,1 % describe exclusivamente la proporción de ejecuciones realizadas sin asistencia externa y no constituye una puntuación global de usabilidad. Debido a que las cuatro tareas presentan demandas diferentes, sus resultados se analizan posteriormente de forma individual.

La Tabla 17 resume los resultados por tarea e incluye el nivel de autonomía, el tiempo medio, los errores de interpretación y la principal dificultad observada.

Tabla 17

Resultados de la validación por tarea

Tarea	Sin ayuda	Con ayuda	No completada	Tiempo medio (s)	Errores y dificultad principal
1	23	1	0	26,3	Localización del panel de bienvenida.
2	22	2	0	23,0	Uso del gesto de pellizco para avanzar.
3	17	7	0	31,4	Agarre y desplazamiento del panel UI.
4	13	11	0	50,3	Selección del pallet y contenedor según el producto.

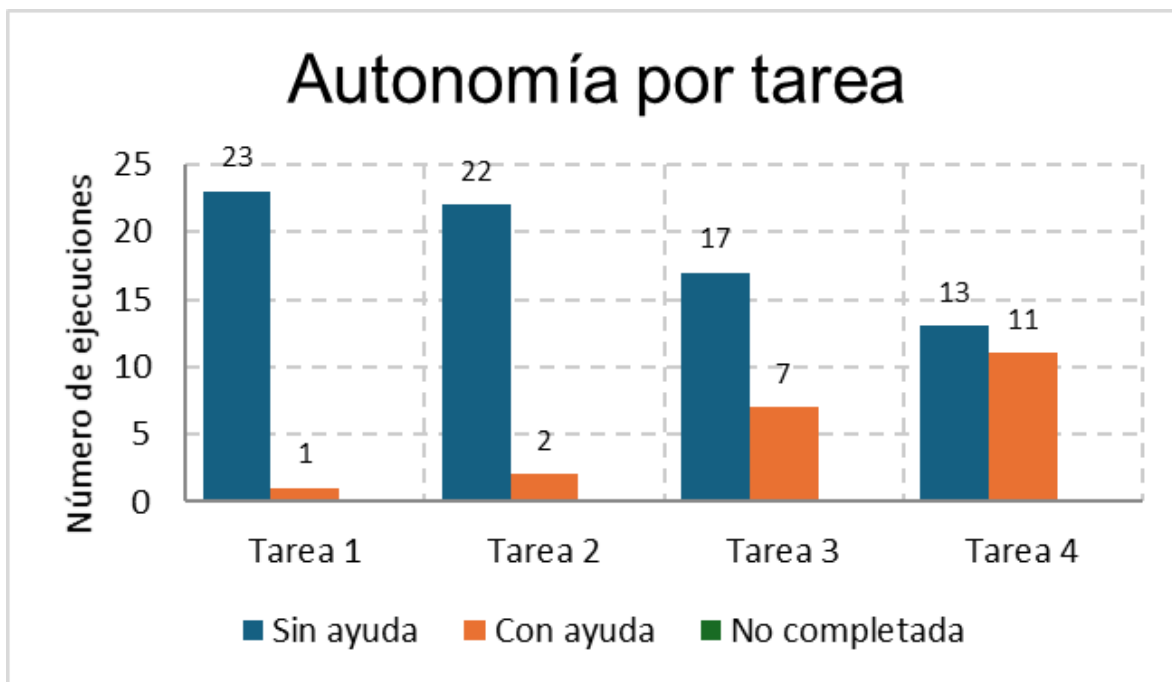
Nota. Elaboración propia a partir de las 24 fichas de observación. El tiempo medio corresponde al promedio de las 24 ejecuciones registradas para cada tarea; n = 24 por tarea.

Las Tareas 1 y 2 presentaron el mayor nivel de autonomía. En la Tarea 1, 23 de 24 ejecuciones se completaron sin ayuda (95,8 %) y una requirió asistencia; en la Tarea 2, 22 de 24 se completaron de forma autónoma (91,7 %) y dos requirieron ayuda. En la Tarea 3, 17 participantes completaron la actividad de forma autónoma y siete necesitaron ayuda (70,8 %

de ejecución autónoma), mientras que en la Tarea 4 se registraron 13 ejecuciones autónomas y 11 con ayuda (54,2 % de ejecución autónoma). Los 21 errores de interpretación registrados se concentraron en los mismos casos que requirieron asistencia.

La Tarea 4 reunió la mayor cantidad de errores y solicitudes de ayuda, con 13 ejecuciones autónomas y 11 con asistencia. A diferencia de las actividades anteriores, esta tarea no depende únicamente del manejo de la interfaz, ya que requiere identificar qué pallet y contenedor corresponden al producto asignado. Por tanto, el resultado combina exigencias de interacción con conocimientos disciplinares de comercio exterior. Las fichas registran que las dificultades se concentraron principalmente en esta decisión; sin embargo, debido a que no se aplicó una medición específica de los conocimientos disciplinares relacionados con la selección logística, no es posible determinar qué proporción de la dificultad corresponde al dominio disciplinar y cuál a la interfaz. En consecuencia, los resultados de la Tarea 4 se interpretan de forma diferenciada, no se utilizan aisladamente como evidencia de problemas de UI/UX ni se consideran evidencia de aprendizaje.

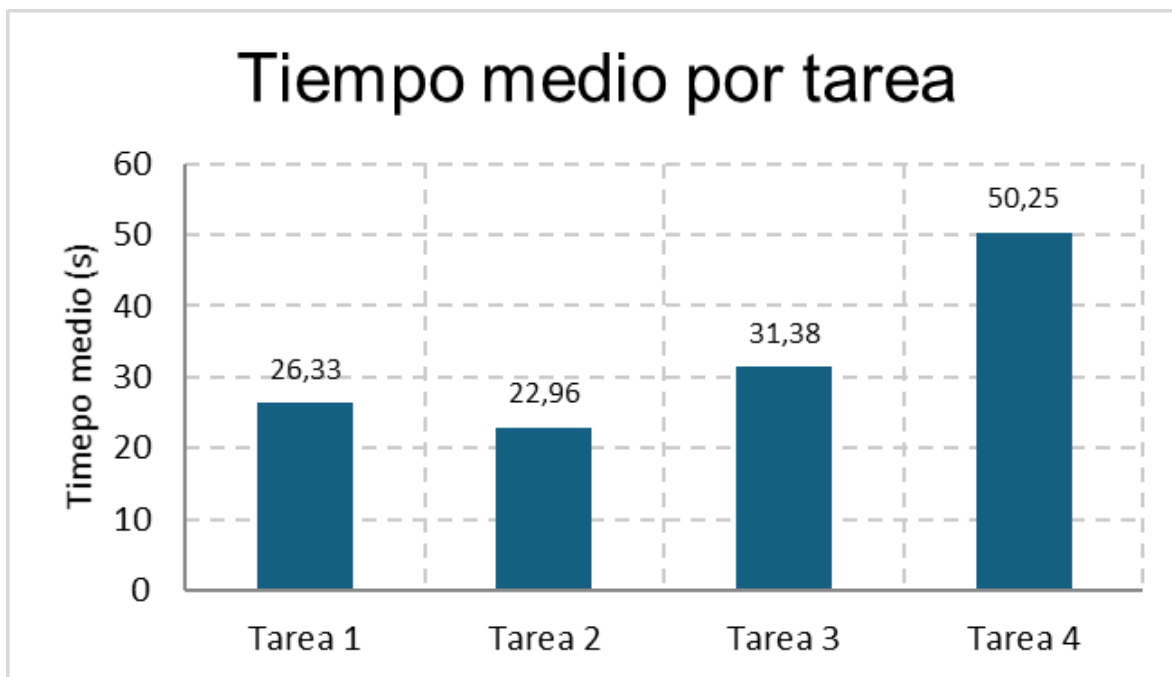
La Figura 4 permite comparar visualmente la autonomía alcanzada en las cuatro tareas y muestra cómo la necesidad de asistencia aumenta en las dos actividades finales.

Figura 4*Distribución del nivel de autonomía por tarea*

Nota. Elaboración propia a partir de las 24 fichas de observación. Cada tarea reúne 24 ejecuciones y no se registraron tareas no completadas.

La distribución muestra una menor proporción de ejecuciones autónomas en las Tareas 3 y 4 respecto de las dos primeras. En la Tarea 3, siete participantes requirieron ayuda, principalmente por dificultades asociadas con el gesto de agarre y el desplazamiento del panel, por lo que mantiene una relación directa con la interacción. En cambio, en la Tarea 4 fueron necesarias 11 asistencias y la actividad incorpora además una decisión disciplinar sobre la correspondencia entre producto, pallet y contenedor. Por este motivo, la menor autonomía registrada en esta última actividad no puede interpretarse exclusivamente como una dificultad de usabilidad de la interfaz.

El tiempo de ejecución complementa el análisis de autonomía. La Figura 5 presenta el promedio obtenido para cada tarea a partir de los 24 registros individuales.

Figura 5*Tiempo medio de ejecución por tarea*

Nota. Elaboración propia a partir de las 24 fichas de observación. Los valores corresponden al promedio aritmético de 24 registros por tarea.

La Tarea 2 registró el menor tiempo medio, con 23,0 s, seguida de la Tarea 1 con 26,3 s. La Tarea 3 alcanzó 31,4 s y la Tarea 4 llegó a 50,3 s, el valor más alto del conjunto. Las Tareas 3 y 4 presentaron mayores tiempos medios y una mayor necesidad de asistencia que las dos primeras. En la Tarea 3, este comportamiento se relacionó principalmente con la manipulación del panel mediante seguimiento de manos. En la Tarea 4, además de la interacción con el sistema, intervino una decisión de carácter disciplinar relacionada con la selección del pallet y del contenedor; por ello, su mayor tiempo de ejecución tampoco puede atribuirse exclusivamente a la interfaz.

Después de las tareas, los 24 participantes respondieron un cuestionario post-experiencia de elaboración propia compuesto por ocho afirmaciones. Los ítems se construyeron a partir de los criterios definidos para el objetivo específico de evaluación, de

manera que complementaran la observación de las tareas con una valoración descriptiva de la claridad perceptiva y de aspectos concretos de la interacción. Se organizaron mediante códigos Q1–Q8 y correspondieron a los siguientes criterios: claridad de la información visual (Q1), legibilidad de textos y documentos (Q2), organización de la información (Q3), localización de elementos (Q4), distinción de elementos interactivos (Q5), reconocimiento de la respuesta del sistema (Q6), facilidad para seguir la secuencia (Q7) y adecuación de la cantidad de información (Q8). Los instrumentos utilizados en esta evaluación no fueron sometidos a una revisión formal de contenido. Asimismo, el cuestionario no fue sometido a validación psicométrica, por lo que sus resultados se interpretan exclusivamente con propósito descriptivo dentro de esta prueba piloto.

Las afirmaciones se valoraron mediante una escala de cinco puntos: 1 = totalmente en desacuerdo, 2 = en desacuerdo, 3 = ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4 = de acuerdo y 5 = totalmente de acuerdo. El instrumento también incluyó una pregunta abierta sobre la parte más difícil de comprender y un espacio opcional para sugerencias. El cuestionario tuvo un propósito descriptivo y no se utilizó como una escala estandarizada de usabilidad; por ello, los resultados se analizaron individualmente por criterio y no se calculó una puntuación global de usabilidad. La Tabla 18 presenta los estadísticos descriptivos de las 192 respuestas obtenidas, mientras que en el Anexo B se presentan las capturas de los instrumentos aplicados.

Tabla 18

Resultados descriptivos del cuestionario post-experiencia

Código	Criterio evaluado	Media	Mediana	Mín.	Máx.
Q1	Claridad de la información visual	4,29	4,0	3	5
Q2	Legibilidad de textos y documentos	3,54	4,0	2	5
Q3	Organización de la información	4,13	4,0	3	5
Q4	Localización de elementos	4,13	4,0	3	5
Q5	Distinción de elementos interactivos	3,71	4,0	2	5

Q6	Reconocimiento de la respuesta del sistema	4,17	4,0	3	5
Q7	Facilidad para seguir la secuencia	4,38	4,5	3	5
Q8	Adecuación de la cantidad de información	3,71	4,0	2	5

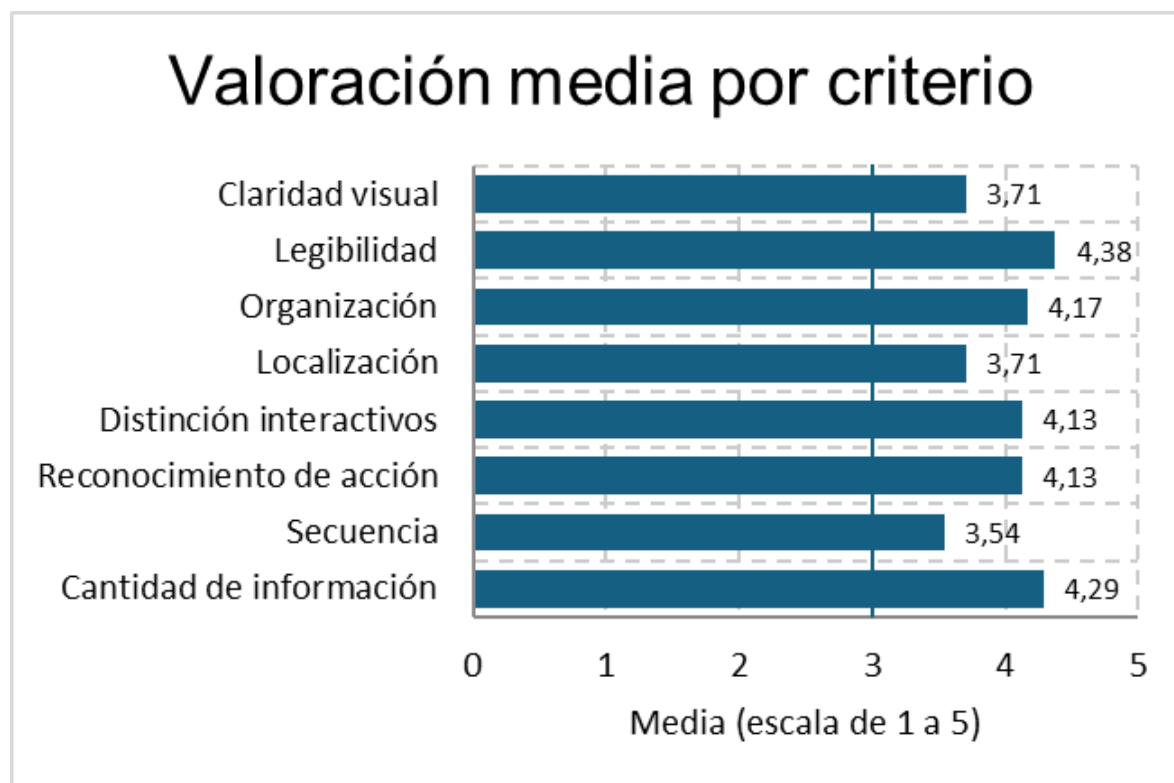
Nota. Elaboración propia a partir de los 24 cuestionarios post-experiencia. La escala utilizada fue de 1 = totalmente en desacuerdo a 5 = totalmente de acuerdo; 3 correspondió a “ni de acuerdo ni en desacuerdo”. n = 24 participantes.

La valoración media más alta correspondió a la facilidad para seguir la secuencia (Q7), con 4,38 sobre 5, seguida de la claridad de la información visual (Q1), con 4,29. El reconocimiento de la respuesta del sistema (Q6) alcanzó 4,17; la organización de la información (Q3) y la localización de elementos (Q4), 4,13 en ambos casos; la distinción de elementos interactivos (Q5) y la adecuación de la cantidad de información (Q8), 3,71; y la legibilidad de textos y documentos (Q2) presentó la media más baja, con 3,54 sobre 5.

La Figura 6 facilita la comparación entre los ocho criterios y permite identificar con mayor claridad la diferencia entre las dimensiones mejor valoradas y aquellas que requieren ajustes.

Figura 6

Valoración media de los criterios del cuestionario post-experiencia



Nota. Elaboración propia a partir de los 24 cuestionarios post-experiencia. La línea de referencia en 3 corresponde a la categoría “ni de acuerdo ni en desacuerdo” de la escala empleada.

El gráfico muestra que la facilidad para seguir la secuencia alcanza la valoración media más alta, con 4,38 sobre 5, seguida de la claridad visual con 4,29. La legibilidad presenta la media más baja, con 3,54, mientras que la distinción de elementos interactivos y la adecuación de la cantidad de información alcanzan 3,71. Los resultados mantienen a la legibilidad como el criterio con mayor necesidad de ajuste y sugieren priorizar mejoras en tamaño de texto, contraste y presentación de información secundaria antes de ampliar el contenido de la experiencia.

Las respuestas abiertas complementan estos resultados. Se reiteraron observaciones relacionadas con el tamaño de textos secundarios, la necesidad de acercarse a determinados

paneles y la claridad de algunas instrucciones. También se registraron dificultades puntuales con los gestos de pellizco y agarre, además de dudas al diferenciar opciones de contenedor en la Tarea 4. Estas observaciones son coherentes con la menor valoración media de legibilidad y con la mayor necesidad de asistencia registrada en las Tareas 3 y 4, sin atribuir las dificultades de la última actividad exclusivamente a la interfaz.

De forma complementaria a la evaluación con estudiantes, durante el desarrollo se realizaron reuniones periódicas de revisión con participación de la Carrera de Negocios Internacionales, en las que se revisaron avances relacionados con las interfaces, los escenarios y los contenidos de comercio exterior representados en el prototipo. Asimismo, una versión funcional de Explorador Global fue probada por el Econ. David Vásquez Corral, MSc., decano de la Facultad de Ciencias Jurídicas, y por el Lcdo. Adrián Alvarado Guzmán, Mgs., director de la Carrera de Negocios Internacionales, quienes manifestaron conformidad con el contenido mostrado. Estas actividades funcionaron como acompañamiento y retroalimentación disciplinar durante el desarrollo. Las evidencias de reuniones de seguimiento se presentan en el Anexo C.

4.11. Procedimiento para ampliar recursos artísticos

4.11.1. Incorporar un nuevo asset 3D

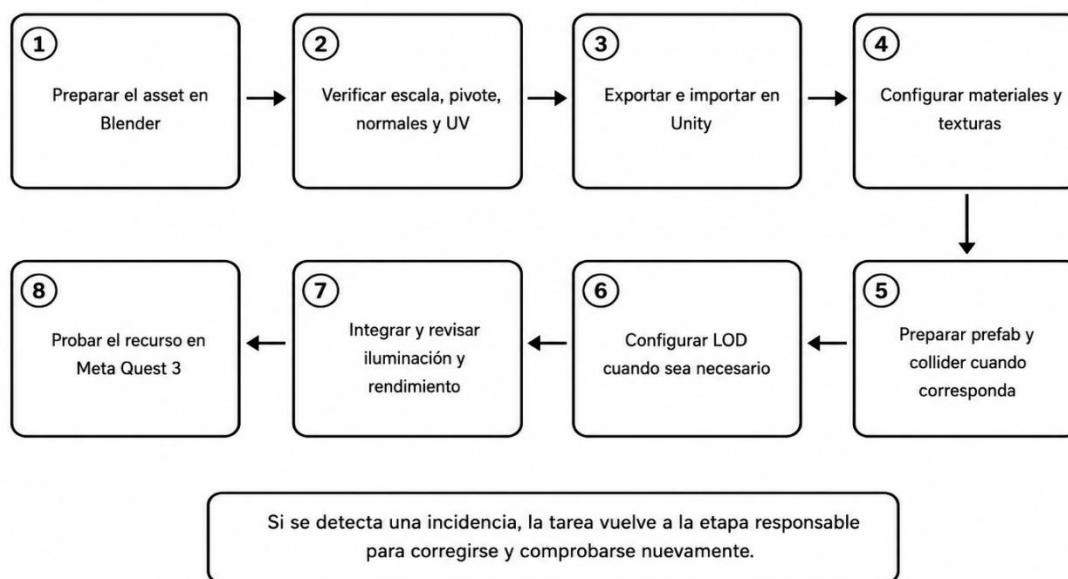
Para conservar la trazabilidad del recurso y verificar su funcionamiento en el dispositivo objetivo, el procedimiento se resume en un flujo de trabajo visual que reúne la preparación en Blender, la transferencia a Unity, la configuración del recurso y la comprobación en Meta Quest 3.

La Ilustración 42 sintetiza el procedimiento para incorporar un nuevo asset 3D y muestra el retorno a la etapa responsable cuando se detecta una incidencia.

Ilustración 42

Flujo para incorporar un nuevo asset 3D

Flujo para incorporar un nuevo asset 3D



Nota. Elaboración propia a partir del procedimiento técnico definido para incorporar assets 3D. El flujo resume las comprobaciones realizadas en Blender y Unity y la prueba final en Meta Quest 3.

El flujo separa las comprobaciones del recurso en su herramienta de origen de las configuraciones que corresponden al motor. La prueba en Meta Quest 3 cierra el ciclo; si aparece un problema de escala, material, LOD o rendimiento, el recurso vuelve a la etapa donde se origina la causa. Las primeras comprobaciones se realizan antes de exportar porque problemas de pivote, normales, UV o geometría se resuelven de forma más segura en Blender. Una vez integrado el recurso, el flujo de trabajo traslada la revisión hacia materiales, prefab, collider, LOD e iluminación según corresponda. Esta separación evita intentar corregir en Unity una causa que pertenece al archivo de origen y facilita documentar dónde debe regresar el recurso si la prueba final detecta una incidencia. De esta manera, el

procedimiento funciona como guía de mantenimiento y no solo como una secuencia de importación.

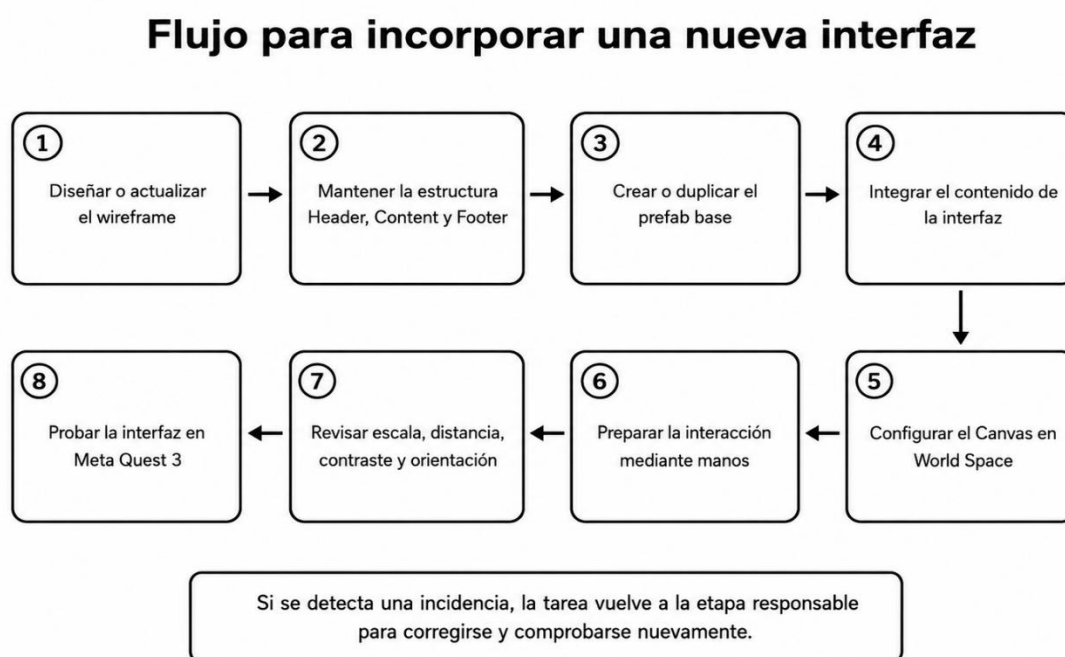
4.11.2. Incorporar una nueva interfaz

Para ampliar la interfaz se mantiene la estructura utilizada en los paneles existentes y se resume el procedimiento mediante un flujo de trabajo que parte del wireframe, continúa con la integración en World Space y termina con la comprobación en Meta Quest 3.

La Ilustración 43 sintetiza el procedimiento para incorporar una nueva interfaz, desde su preparación visual hasta la comprobación en Meta Quest 3.

Ilustración 43

Flujo para incorporar una nueva interfaz



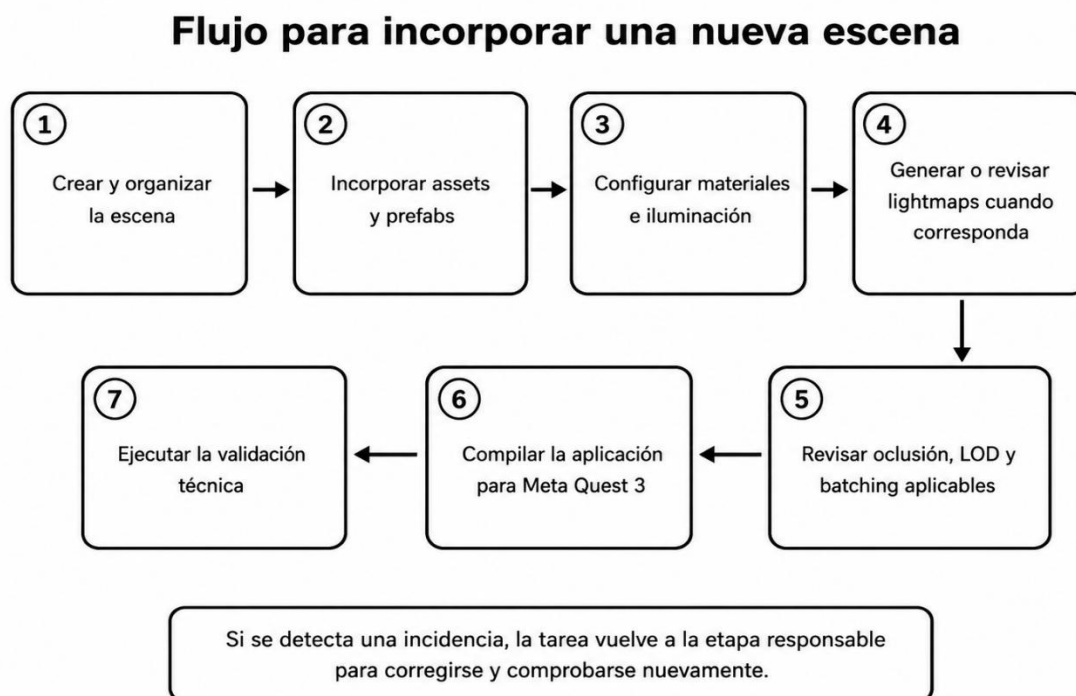
Nota. Elaboración propia a partir del procedimiento utilizado para ampliar la interfaz. El flujo resume la preparación del diseño, la integración como Canvas World Space y la comprobación en Meta Quest 3.

El procedimiento mantiene la estructura Header, Content y Footer como criterio reutilizable, pero obliga a comprobar cada interfaz en el espacio tridimensional. La revisión

final debe considerar escala, distancia, contraste, orientación e interacción antes de dar el recurso por conforme. El flujo diferencia la definición visual del panel de su comportamiento dentro del entorno inmersivo. La estructura y el contenido pueden prepararse en Figma, pero la escala, la distancia, la orientación y la interacción dependen de la integración en Unity y de la comprobación en Meta Quest 3. Si el problema corresponde a jerarquía o composición, la corrección debe volver al diseño; si corresponde a posición, Canvas o respuesta de interacción, se resuelve en el motor. Esta separación permite que la ampliación de interfaces conserve el mismo criterio utilizado durante el desarrollo original.

4.11.3. Incorporar una nueva escena

La Ilustración 44 resume el procedimiento para incorporar una nueva escena y las comprobaciones realizadas antes de considerarla lista para el proyecto.

Ilustración 44*Flujo para incorporar una nueva escena*

Nota. Elaboración propia a partir del procedimiento técnico definido para ampliar Explorador Global. El flujo resume la organización de recursos, la configuración visual, la revisión de visibilidad y la validación de una nueva escena en Meta Quest 3.

El flujo concentra primero la organización de la escena y sus recursos, después las configuraciones visuales y de visibilidad y, finalmente, la compilación y validación en Meta Quest 3. Cuando una comprobación falla, la corrección debe realizarse en la configuración o recurso que origina la incidencia antes de repetir la prueba. La secuencia muestra que ampliar una escena no consiste únicamente en duplicar un entorno y añadir objetos. Es necesario comprobar organización, prefabs, materiales, iluminación, visibilidad y comportamiento de los recursos antes de generar una nueva compilación. La validación en el visor permite detectar problemas que pueden proceder de un asset individual o de la composición general de la escena, por lo que el retorno debe dirigirse al nivel responsable. El flujo de trabajo

ofrece así una guía para mantener coherencia visual y técnica cuando el proyecto incorpore nuevos espacios.

La Tabla 19 agrupa las comprobaciones mínimas necesarias para completar cualquiera de los tres procedimientos.

Tabla 19

Lista de comprobación para ampliar recursos artísticos

Elemento	Verificaciones mínimas	Registro
Asset 3D	Escala, orientación, pivote, normales, UV, material, collider, LOD, iluminación y prueba en visor.	Pendiente / Conforme
Interfaz	Estructura, contenido, Canvas World Space, interacción, escala, distancia, contraste y orientación.	Pendiente / Conforme
Escena	Organización, prefabs, iluminación, oclusión, LOD, materiales, compilación y validación.	Pendiente / Conforme

Nota. Elaboración propia a partir de los procedimientos descritos en los apartados 4.11.1–4.11.3. “Pendiente” indica una verificación aún no realizada y “Conforme” que la comprobación aplicable al recurso fue completada.

La lista de comprobación funciona como cierre común de los tres flujos de trabajo. El estado “Conforme” debe utilizarse únicamente cuando las verificaciones aplicables al recurso hayan sido revisadas; si una condición no corresponde —por ejemplo, LOD en un asset que no lo requiere—, debe registrarse de forma explícita en lugar de forzar su aplicación. La tabla resume los criterios comunes que deben revisarse después de seguir cualquiera de los tres flujos de trabajo y permite dejar constancia del estado del recurso incorporado. Las verificaciones se adaptan al tipo de elemento: una interfaz no necesita UV o LOD, mientras una escena exige revisar aspectos de organización, iluminación y visibilidad que no corresponden a un asset aislado. El registro evita considerar finalizado un recurso únicamente porque se haya importado correctamente y obliga a comprobar también su funcionamiento dentro del contexto donde será utilizado. De esta forma, la lista actúa como cierre del procedimiento y como apoyo para futuras tareas de mantenimiento.

4.12. Conclusiones y recomendaciones

4.12.1. Conclusiones

El objetivo general se cumplió mediante el diseño, la integración y la optimización del componente visual y de la interfaz inmersiva de un prototipo funcional de Explorador Global para Meta Quest 3. La propuesta reunió una biblia de arte, assets tridimensionales, interfaces UI/UX en World Space y cuatro escenarios integrados en Unity. Dentro del alcance de esta etapa de prototipado, la contribución a la comprensión se interpretó como comprensión funcional inmediata del segmento evaluado, es decir, como la capacidad del usuario para localizar información, interpretar instrucciones, reconocer acciones y ejecutar las tareas previstas durante la sesión, sin atribuir estos resultados a aprendizaje, retención o transferencia.

En el área de dirección de arte y producción visual, la biblia de arte y los moodboards permitieron establecer la paleta cromática, la tipografía, el lenguaje de formas, los materiales y los criterios de composición que orientaron la producción. A partir de estos lineamientos se desarrollaron veinte modelos tridimensionales propios y se integraron los cuatro escenarios del prototipo, manteniendo continuidad visual entre Affinity, Figma, Blender y Unity.

En el área de interfaz inmersiva y claridad, se diseñaron diez interfaces principales organizadas en World Space mediante una estructura reutilizable. La evaluación con 24 estudiantes produjo 96 ejecuciones: 75 se completaron de forma autónoma (78,1 %) y 21 con ayuda (21,9 %), sin tareas no completadas. Estos datos describen el desempeño inmediato de las actividades y no constituyen una puntuación global de usabilidad. En el cuestionario post-experiencia, la facilidad para seguir la secuencia alcanzó una media de 4,38 sobre 5 y la

claridad de la información visual 4,29, mientras que la legibilidad obtuvo 3,54 sobre 5 y se mantuvo como el criterio con menor valoración media. La Tarea 4 se interpretó de manera diferenciada porque incorpora una decisión de carácter disciplinar además de la interacción con la interfaz.

En el área de producción e integración técnica, el flujo entre Blender y Unity permitió preparar modelos, materiales, prefabs y animaciones de objetos, además de aplicar estrategias de optimización según las características de cada escenario. Los niveles de detalle se utilizaron principalmente en contenedores de las zonas portuarias, mientras que la reducción geométrica, los materiales compartidos, Static Batching, Occlusion Culling y la iluminación horneada se aplicaron cuando resultaron pertinentes para la escena.

En el área de rendimiento y compatibilidad con Meta Quest 3, la versión optimizada mejoró el promedio general de 59,83 a 70,92 FPS; App GPU Time disminuyó de 14,03 a 11,18 ms y Stale Frame Count de 14,25 a 1,75. Ninguna de las doce mediciones optimizadas de App GPU Time superó el presupuesto nominal de 13,89 ms correspondiente a 72 Hz. Sin embargo, el Puerto – área de embarcación mantuvo un promedio de 68,00 FPS, por lo que el objetivo nominal de 72 FPS no se sostuvo de forma estable en todos los escenarios y este entorno continúa siendo la principal prioridad de optimización.

En el área de revisión del contenido, las reuniones periódicas con la Carrera de Negocios Internacionales y la comprobación de una versión funcional por el Econ. David Vásquez Corral, MSc., y el Lcdo. Adrián Alvarado Guzmán, Mgs., aportaron seguimiento disciplinar sobre los contenidos, interfaces y escenarios mostrados. En conjunto, las evidencias obtenidas permiten concluir que el prototipo alcanzó una base visual e inmersiva funcional dentro del alcance establecido, con oportunidades de mejora identificadas

principalmente en la legibilidad de determinados textos y en el rendimiento del Puerto – área de embarcación.

4.12.2. Recomendaciones

Aumentar el tamaño y el contraste de los textos que recibieron una valoración menor. También conviene dividir los documentos extensos y disminuir la información secundaria en aquellos paneles donde se presentaron dificultades de lectura.

Revisar la posición de los paneles secundarios y dar mayor visibilidad a la acción de confirmación, mediante instrucciones breves, botones con más presencia y estados visuales que mantengan consistencia.

Continuar con la optimización del Puerto - área de embarcación, principalmente en la densidad de contenedores, los materiales compartidos, los niveles de detalle y el contenido visible. Después de cada ajuste, se debe repetir la medición utilizando el procedimiento técnico documentado.

Mantener las revisiones periódicas con representantes de la Carrera de Negocios Internacionales durante futuras ampliaciones del prototipo, especialmente cuando se incorporen o modifiquen contenidos, documentos, interfaces o actividades relacionadas con los procesos de comercio exterior.

Volver a realizar la evaluación con usuarios una vez aplicadas las mejoras, conservando los resultados separados por tarea, tipo de ayuda, error y experiencia previa con realidad virtual.

Mantener actualizado el inventario de modelos e interfaces, junto con las versiones del software y la evidencia técnica, para facilitar el mantenimiento y la posterior ampliación del proyecto.

Referencias

- [1] A. Cabrera-Duffaut, A. M. Pinto-Llorente, y A. Iglesias-Rodríguez, «Immersive learning platforms: analyzing virtual reality contribution to competence development in higher education—a systematic literature review», *Front. Educ.*, vol. 9, p. 1391560, jul. 2024, doi: 10.3389/educ.2024.1391560.
- [2] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, y I. Wohlgenannt, «A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda», *Comput. Educ.*, vol. 147, p. 103778, abr. 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [3] M.-X. Chen, H. Hu, R. Yao, L. Qiu, y D. Li, «A Survey on the Design of Virtual Reality Interaction Interfaces», *Sensors*, vol. 24, n.º 19, p. 6204, sep. 2024, doi: 10.3390/s24196204.
- [4] M. Živičnjak, M. Mikulčić, T. Rožić, y B. Rigo, «Application of container terminal virtual reality in student education», *Transp. Res. Procedia*, vol. 74, pp. 26-33, 2023, doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.108.
- [5] K. Lewczuk y P. Żuchowicz, «Virtual Reality Application for the Safety Improvement of Intralogistics Systems», *Sustainability*, vol. 16, n.º 14, p. 6024, jul. 2024, doi: 10.3390/su16146024.
- [6] M. Kilpeläinen y J. Häkkinen, «An effective method for measuring text legibility in XR devices reveals clear differences between three devices», *Front. Virtual Real.*, vol. 4, sep. 2023, doi: 10.3389/frvir.2023.1243387.
- [7] M. Okur, R. Kızıl, y E. Atamaz, «The art of graphic design in video games: beyond the visual», *Amazon. Investiga*, vol. 13, n.º 78, pp. 9-26, jun. 2024, doi: 10.34069/AI/2024.78.06.1.
- [8] C. Schlüter y V. Kretschmer, «Next level training in logistics: evaluation of a virtual reality-based serious game for warehouse logistics», en *Proceedings of the 19th International Conference on Modeling & Applied Simulation (MAS 2020)*, CAL-TEK srl, 2020, pp. 138-145. doi: 10.46354/i3m.2020.mas.018.
- [9] M. A. Alnuaimi y M. Awad, «VR Environment of Digital Design Laboratory: A Usability Study», 8 de noviembre de 2024, *In Review*. doi: 10.3389/frvir.2025.1566680.
- [10] C. Miranto, A. Firmanda, H. Rante, S. Sukaridhoto, M. Agus Zainuddin, y H. Rahman, «Performance analysis of 3D assets in virtual reality simulations for climate change: a case study in sustainable energy systems», *Bull. Electr. Eng. Inform.*, vol. 14, n.º 5, pp. 3659-3670, oct. 2025, doi: 10.11591/eei.v14i5.9532.
- [11] K. A. Aschbrenner, G. Kruse, J. J. Gallo, y V. L. Plano Clark, «Applying mixed methods to pilot feasibility studies to inform intervention trials», *Pilot Feasibility Stud.*, vol. 8, n.º 1, p. 217, sep. 2022, doi: 10.1186/s40814-022-01178-x.
- [12] C. D. Pfladderer *et al.*, «Consolidated guidance for behavioral intervention pilot and feasibility studies», *Pilot Feasibility Stud.*, vol. 10, n.º 1, p. 57, abr. 2024, doi: 10.1186/s40814-024-01485-5.
- [13] A. Cvetkovic-Vega, J. L. Maguiña, A. Soto, J. Lama-Valdivia, y L. E. C. López, «Estudios transversales», *Rev. Fac. Med. Humana*, vol. 21, n.º 1, pp. 179-185, ene. 2021, doi: 10.25176/rfmh.v21i1.3069.
- [14] H. Alaidaros, M. Omar, y R. Romli, «The state of the art of agile kanban method: challenges and opportunities», *Indep. J. Manag. Prod.*, vol. 12, n.º 8, pp. 2535-2550, dic. 2021, doi: 10.14807/ijmp.v12i8.1482.
- [15] A. Maroungkas, C. Troussas, A. Krouska, y C. Sgouropoulou, «Virtual Reality in Education: A Review of Learning Theories, Approaches and Methodologies for the Last Decade», *Electronics*, vol. 12, n.º 13, p. 2832, jun. 2023, doi: 10.3390/electronics12132832.
- [16] A. R. Villalobos y F. S. Ripoll, «Factoría de aprendizaje mediante realidad virtual, una innovación docente en la formación integral de la dirección de operaciones logísticas.», en *IN-RED 2021: VII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*, oct. 2021. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://ocs.editorial.upv.es/index.php/INRED/INRED2021/paper/view/13690>
- [17] A. Yeo, B. W. J. Kwok, A. Joshna, K. Chen, y J. S. A. Lee, «Entering the Next Dimension: A Review of 3D User Interfaces for Virtual Reality», *Electronics*, vol. 13, n.º 3, p. 600, feb. 2024, doi: 10.3390/electronics13030600.
- [18] G. Makransky y G. B. Petersen, «The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality», *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 33, n.º 3, pp. 937-958, sep. 2021, doi: 10.1007/s10648-020-09586-2.

- [19] V. Grecu, R. E. Petruse, M.-B. Chiliban, y E.-T. Tâlván, «The Cognitive Cost of Immersion: Experimental Evidence from VR-Based Technical Training», *Appl. Sci.*, vol. 15, n.º 23, p. 12534, nov. 2025, doi: 10.3390/app152312534.
- [20] «ISO 9241-11:2018», ISO. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63500.html>
- [21] «Introduction - Blender 5.2 LTS Manual». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/uv/unwrapping/introduction.html>
- [22] «Editing Normals - Blender 5.2 LTS Manual». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/editing/mesh/normals.html>
- [23] «Render Baking - Blender 5.2 LTS Manual». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cycles/baking.html>
- [24] «Basic Optimization Workflow for Meta Quest Apps». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/po-perf-opt-mobile/>
- [25] U. Technologies, «Unity - Manual: Occlusion culling». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/OcclusionCulling.html>
- [26] «Monitor Performance with OVR Metrics Tool». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/native/android/ts-ovrmetricstool/>
- [27] U. Technologies, «Unity - Manual: Unity Profiler». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/Profiler.html>
- [28] U. Technologies, «Unity - Manual: Render pipeline feature comparison». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/render-pipelines-feature-comparison.html>
- [29] U. Technologies, «Unity - Manual: XR Plug-in Management settings». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/6000.3/Documentation/Manual/xr-plugin-management.html>
- [30] «Developing for Head-Mounted Experiences with OpenXR in Unreal Engine | Unreal Engine 5.8 Documentation | Epic Developer Community», Epic Games Developer. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/developing-for-head-mounted-experiences-with-openxr-in-unreal-engine>
- [31] «About Blender - Blender 5.2 LTS Manual». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/index.html
- [32] «Autodesk Maya 2027 | Download & Buy Official Maya». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/maya/overview>
- [33] «Obtén Affinity | Potencia profesional sin ataduras», Affinity. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.affinity.studio/es_419/get-affinity
- [34] «Adobe Creative Cloud | Professional Creative Software». Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.adobe.com/creativecloud.html>
- [35] «Guide to prototyping in Figma», Figma Learn - Help Center. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://help.figma.com/hc/en-us/articles/360040314193-Guide-to-prototyping-in-Figma>
- [36] «Penpot: The open-source design platform for teams.», Penpot. Accedido: 6 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://penpot.app/>
- [37] *Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones*, vol. 351. [En línea]. Disponible en: <https://www.aduana.gob.ec/gacnorm/data/CODIGO-ORGANICO-DE-LA-PRODUCCION-COMERCIO-E-INVERSIONES.pdf>
- [38] *Reglamento al Título de la Facilitación Aduanera para el Comercio, del Libro V del Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones*, vol. 452. [En línea]. Disponible en: <https://www.aduana.gob.ec/gacnorm/data/REGLAMENTO-AL-TITULO-DE-LA-FACILITACION-ADUANERA-PARA-EL-COMERCIO-DEL-LIBRO-V-DEL-COPCI.pdf>

Anexos

Anexo A: Biblia de arte



DOCUMENTO DE DISEÑO VISUAL - - -

REFERENCIAS VISUALES

En esta sección se presentan las fuentes de las imágenes y recursos visuales utilizados como referencia para la definición de escenarios, utilería, interfaz, documentos y dirección de arte del proyecto Explorador Global.

- R01.** Radio Visión Cuenca. (2019, 29 de noviembre). Puerto Marítimo de Guayaquil recibe al buque con mayor longitud que ha llegado al Ecuador. <https://www.radiovisioncuenca.com/puerto-maritimo-de-guayaquil-recibe-al-buque-con-mayor-longitud-que-ha-llegado-al-ecuador/>
- R02.** Ponce, K. (2025, 24 de noviembre). Confección Guayaquil marca un nuevo hito con la mayor recalada de contenedores en la historia del país. Ecuador Comunicación. <https://ecuadorcomunicacion.com/confeccion-guayaquil-marca-un-nuevo-hito-con-la-mayor-recalada-de-contenedores-en-la-historia-del-pais>
- R03.** MundoMarítimo. (2020, 25 de junio). Confección Guayaquil entrega al Estado de Ecuador más de US\$11.8 millones en el primer semestre pese a pandemia. <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/confeccion-guayaquil-entrega-al-estado-de-ecuador-mas-de-us118-millones-en-el-primer-semestre-pese-a-pandemia>
- R04.** Group Titans Cargo. (s. f.). ¿Por qué un buen despacho aduanero puede marcar la diferencia? <https://www.grouptitanscargo.com/post/por-que-un-buen-despacho-aduanero-puede-marcar-la-diferencia>
- R05.** Macías Cargo. (s. f.). Soluciones logísticas. <https://macias-cargo.com/soluciones-logisticas/>
- R06.** [Fotografía de un almacén industrial con trabajadores]. (s. f.). Google Images. <https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcQhSChnxQ7HFnKfNBR-ZSnSdeJcGx4D1t9sa8969n4N5xLV86E>
- R07.** Equipo técnico CIMTRA. (2026, 18 de mayo). Construir showroom o concept store: alturas, iluminación, acabados y costos. CIMTRA. <https://cimtra.net/blog/showrooms-concept-stores-especificaciones/>
- R08.** [Reel de referencia visual]. (s. f.). Instagram. <https://www.instagram.com/reel/DajLVR0TnA/>
- R09.** SpaceOfMuse. (s. f.). 15 futuristic home office ideas featuring smart mirror displays. <https://spaceofmuse.com/futuristic-home-office-smart-mirror-ideas/>
- R10.** Global Containers S. A. (s. f.). Container 40 pies HC [Fotografía de producto]. Construx Ecuador. https://www.construx.com.ec/exhibidores/global_containers_s_a/producto/container_40_pies_hc
- R11.** ALFASA. (s. f.). Características del palet europeo. <https://alfasa.es/caracteristicas-palet-europeo/>
- R12.** Weihua Crane. (s. f.). Ship to shore (STS) container crane [Fotografía de producto]. <https://www.globalweihua.com/products/port-crane/ship-to-shore-container-crane/>
- R13.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://in.pinterest.com/pin/>
- 1010354497676078306/
- R14.** Lracking. (s. f.). Consejos esenciales para un diseño óptimo de sistema de estanterías drive-in. <https://es.lracking.com/drive-in-racking-system-design/>
- R15.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://www.pinterest.com/pin/507358714295160847/>
- R16.** Ruggeri, A. (2017, 12 de enero). Simple sci-fi game UI design [Diseño de interfaz]. Behance. <https://www.behance.net/gallery/47343313/SIMPLE-SCI-FI-GAME-UI-DESIGN>
- R17.** Torres, J. C. (2016, 23 de diciembre). Samsung Gear VR Internet app gets WebVR support. SlashGear. <https://www.slashgear.com/samsung-gear-vr-internet-app-gets-webvr-support-23468594/>
- R18.** CoinRank. (2025). Heaven: An innovative launchpad platform in the Solana ecosystem. Binance Square. <https://www.binance.com/en/square/post/28558471792065>
- R19.** Ibáñez, Á. (2019, 13 de noviembre). Un nuevo sistema de realidad virtual con «seguimiento de las manos» que no requiere mandos especiales. Tecvolución. <https://tecvolucion.com/realidad-virtual-manos/>
- R20.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://www.pinterest.com/pin/377387643770483482/>
- R21.** Lopez, D. (s. f.). Declaración Aduanera Simplificada Ecuador [Documento]. Scribd. <https://es.scribd.com/document/572580517/Pre-Liquidacion-Eg405>
- R22.** Caiza Hurtado, E. G. (s. f.). Declaración Aduanera Simplificada [Importación]. Ecuador 1061 [Documento]. Studocu. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-guayaquil/negociacion-comercial/declaracion-aduanera-simplificada-importacion-ecuador-1061/157893843>
- R23.** Depositphotos. (s. f.). Vectores de aluminio. imágenes vectoriales [Colección de imágenes vectoriales]. <https://depositphotos.com/es/vectors/aluminio.html>
- R24.** Fabricut Contract. (s. f.). 65052W Colour Index Spearmin [Muestra de revestimiento]. <https://www.fabricutcontract.com/wallcovering/926359/65052w-colour-index/spearmin>
- R25.** AJ Madison. (s. f.). Fisher & Paykel FFBMRE107 Column Set with 30 Inch Refrigerator Panel Ready [Fotografía de producto]. <https://www.ajmadison.com/cgi-bin/ajmadison/FFBMRE107.html>
- R26.** WallsPic. (s. f.). Fondos de pantalla textil azul en fotografía de cerca [Fotografía]. https://wallspic.com/es/image/109796-negro-fila-texto-monocromo-modo_monocromo

DOCUMENTO DE DISEÑO VISUAL - - -

REFERENCIAS VISUALES

- R27.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://cl.pinterest.com/pin/92007139888049753/>
- R28.** One LED Luminarias. (s. f.). Luminaria industrial [Fotografía de producto]. <https://oneledluminarias.com/productos/luminarias-industrial/>
- R29.** IndiaMART. (s. f.). Container brokering service [Referencia visual]. <https://www.indiamart.com/proddetail/container-brokering-service-2859433387297.html>
- R30.** Realty+. (2026). Ahmedabad sees rising demand for mid-sized office spaces in H1 2026. <https://www.rp Realtyplus.com/news-views/ahmedabad-sees-rising-demand-for-mid-sized-office-spaces-in-h1-2026-126283.html>
- R31.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://www.pinterest.com/pin/305330049743180159/>
- R32.** WallPepper. (s. f.). Block: Papel pintado efecto cemento [Fotografía de producto]. Archiproducts. https://www.archiproducts.com/es/productos/wallpepper/papel-pintado-efecto-cemento-block_282016
- R33.** d_duda. (2018, 7 de agosto). Textura abstracta de fondo metálico industrial verde con pernos y remaches [Fotografía]. Depositphotos. <https://depositphotos.com/es/photo/abstract-green-industrial-metal-background-texture-bolts-rivets-old-painted-207416072.html>
- R34.** Multicontainer S. A. (s. f.). Container dry 20 [Fotografía de producto]. Construx Ecuador. https://www.construx.com.ec/exhibidores/multicontainer_s_a/producto/container_dry_20
- R35.** [Reel de referencia visual]. (s. f.). Instagram. <https://www.instagram.com/reel/C3qYZvsxPFa/>
- R36.** oggstudiott. (s. f.). Warning style yellow and black stripes [Gráfico]. Creative Fabrica. <https://www.creativefabrica.com/es/product/warning-style-yellow-and-black-stripes/>
- R37.** denamorado. (s. f.). Textura de cartón negro como [Fotografía]. Magnific. https://www.magnific.com/es/foto-gratis/textura-carton-negro-como_6487975.htm
- R38.** QINGDAO BOWIN CO., LTD. (s. f.). Hoja de goma de botón redondo, alfombra de goma de botón redondo y suelo de goma de botón redondo [Fotografía de producto]. Made-in-China.com. https://es.made-in-china.com/co_qdbothwin/product_Round-Button-Rubber-Sheet-Round-Button-Rubber-Mat-Round-Button-Rubber-Floor_ennliouuy.html
- R39.** ORAFOL. (s. f.). ORACAL 970RA Premium Wrapping Cast [Muestra de material]. <https://www.orafol.com/es/europe/productos/oracal-970ra-premium-wrapping-cast>
- R40.** khun nay zaw phyio. (2017, 7 de enero). Fondo de textura metálica o textura de acero inoxidable [Ilustración]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/es/image-illustration/stainless-steel-texture-metal-background-550575997>
- R41.** TT4xtur4. (2025, 5 de mayo). Elegante textura de metal degradado azul-gris para Premium Design 6K [Fotografía]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/sleek-bluegray-gradient-metal-texture-premium-2622685463>
- R42.** Grifine Home Center. (s. f.). Ecoceramic ECO068: Porcelanato Walkyria Pearl 20 x 120 [Fotografía de producto]. <https://grifine.com.ec/product/ecoceramic-eco068-porcelanato-20x120-walkyria-pearl-1-68m2-7u-mate/>
- R43.** ultramarinfo. (2013, 28 de agosto). Textura de madera Eiche [Fotografía]. iStock. <https://www.istockphoto.com/es/foto/textura-de-madera-eiche-gm477877627-26771302>
- R44.** Nanjing Skypro Co., Ltd. (s. f.). Hoja de goma de superficie rugosa [Fotografía de producto]. Made-in-China.com. https://es.made-in-china.com/co_skypro/product_Rough-Surface-Rubber-Sheet_huoggeegzy.html
- R45.** Plociennik, R. (2015, 14 de mayo). Textura de papel: fondo de textura de papel de color blanco [Fotografía]. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/paper-texture-white-watercolor-background-277861418>
- R46.** Saleem, S. (s. f.). Limpiar blanco papel textura antecedentes para producto diseño o fondo uso [Fotografía]. Vecteezy. <https://es.vecteezy.com/foto/46108308-limpiar-blanco-papel-textura-antecedentes-para-producto-diseno-o-fondo-uso>
- R47.** aopsan. (s. f.). Gris textura abstracta para el fondo [Fotografía]. Magnific. https://www.magnific.com/es/foto-gratis/gris-textura-abstracta-fondo_1189827.htm
- R48.** geralt. (2017, 14 de julio). Vidrio, textura y modelo [Fotografía]. Pixabay. <https://pixabay.com/es/photos/vidrio-textura-modelo-curso-discos-2502963/>
- R49.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://es.pinterest.com/pin/593701163406593589/>
- R50.** Auracity. (s. f.). Iluminación para oficinas modernas: confort, eficiencia y bienestar en el entorno de trabajo. <https://auracity.com/es/iluminacao-inteligente-ciudades/iluminacao-para-escriorios-modernos/>
- R51.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://es.pinterest.com/pin/540713499008244614/>
- R52.** [Pin de referencia visual]. (s. f.). Pinterest. <https://es.pinterest.com/pin/703546773015256383/>

Anexo B: Instrumentos utilizados en la evaluación con usuarios

B.1. Ficha de observación

EXPLORADOR GLOBAL

Ficha individual de observación

Código	
Fecha	
Evaluador	
Método de interacción	☐ Controladores ☐ Manos ☐ Ambos
Experiencia previa en VR	☐ Ninguna ☐ Baja ☐ Media ☐ Alta

Tarea 1

Instrucción	Lea el texto de bienvenida en la interfaz y confirme la comprensión de las indicaciones iniciales.
Tiempo	
Resultado	☐ Sin ayuda ☐ Con ayuda ☐ No completada
Errores de interpretación	
Dificultad principal	☐ Ninguna ☐ Panel ☐ Texto ☐ Elemento ☐ Instrucción ☐ Secuencia ☐ Control ☐ Otra
Incidente técnico	☐ No ☐ Sí. Tipo:
Ayuda aplicada	
Observación	

Tarea 2

Instrucción	Complete el tutorial de interacción interactuando con el botón UI indicado para avanzar.
Tiempo	
Resultado	☐ Sin ayuda ☐ Con ayuda ☐ No completada
Errores de interpretación	
Dificultad principal	☐ Ninguna ☐ Panel ☐ Texto ☐ Elemento ☐ Instrucción ☐ Secuencia ☐ Control ☐ Otra
Incidente técnico	☐ No ☐ Sí. Tipo:
Ayuda aplicada	
Observación	

Tarea 3

Instrucción	Sujete/agarre el panel UI del documento y colóquelo en la posición correspondiente.
Tiempo	
Resultado	☐ Sin ayuda ☐ Con ayuda ☐ No completada
Errores de interpretación	
Dificultad principal	☐ Ninguna ☐ Panel ☐ Texto ☐ Elemento ☐ Instrucción ☐ Secuencia ☐ Control ☐ Otra
Incidente técnico	☐ No ☐ Sí. Tipo:
Ayuda aplicada	
Observación	

Tarea 4

Instrucción	En la etapa 5, seleccione el pallet y el contenedor (container) adecuado según el producto asignado.
Tiempo	
Resultado	☐ Sin ayuda ☐ Con ayuda ☐ No completada
Errores de interpretación	
Dificultad principal	☐ Ninguna ☐ Panel ☐ Texto ☐ Elemento ☐ Instrucción ☐ Secuencia ☐ Control ☐ Otra
Incidente técnico	☐ No ☐ Sí. Tipo:
Ayuda aplicada	
Observación	

Síntesis del participante

Tareas completadas sin ayuda	____ de 4
Tareas completadas con ayuda	____ de 4
Tareas no completadas	____ de 4
Errores totales	____
Tiempo total	____ s
Tiempo promedio	____ s
Principal dificultad	
Observación general	

B.2. Cuestionario post-experiencia

Cuestionario post-experiencia – Explorador Global

Este cuestionario recoge su percepción después de utilizar la aplicación Explorador Global.

Seleccione una respuesta para cada afirmación:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
2 = En desacuerdo
3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4 = De acuerdo
5 = Totalmente de acuerdo

No hay respuestas correctas o incorrectas. Responda según su experiencia.

...

Valoración de la experiencia



Responda cada afirmación utilizando la escala de 1 a 5 indicada al inicio.

Q1. La información visual presentada en la interfaz fue clara. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

Q2. Los textos y documentos fueron fáciles de leer dentro del visor. ★

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

Q3. La información de los paneles estuvo organizada de manera fácil de comprender. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Q4. Fue fácil localizar los paneles e instrucciones necesarios para realizar las tareas. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Q5. Pude distinguir fácilmente los elementos con los que debía interactuar de los elementos decorativos. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Q6. Pude reconocer claramente cuándo el sistema había registrado o aceptado una acción. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Q7. La secuencia de pasos de las actividades fue fácil de seguir. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Q8. La cantidad de información mostrada en los paneles fue adecuada para realizar las tareas. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	☐	☐	☐	☐	☐	Totalmente de acuerdo

Comentarios finales

Descripción (opcional)

¿Qué parte de la experiencia fue más difícil de comprender o utilizar? *

Texto de respuesta larga

¿Qué cambiaría o mejoraría de la interfaz o de las instrucciones?

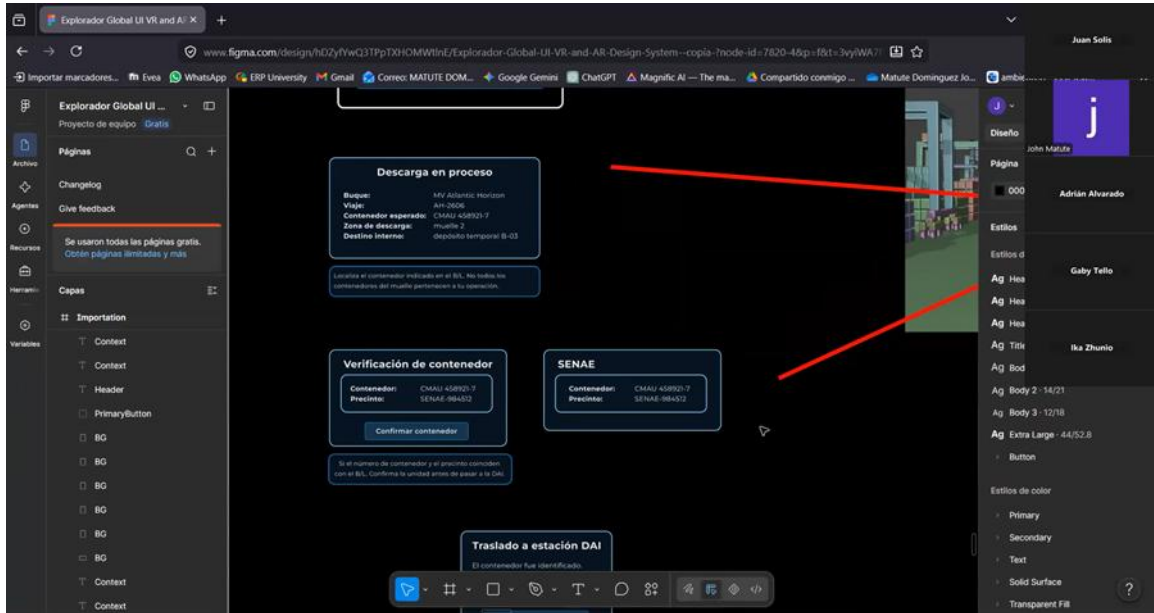
Sugerencia opcional

Texto de respuesta larga

Anexo C: Evidencias de reuniones de revisión y seguimiento del contenido

Evidencia C1.

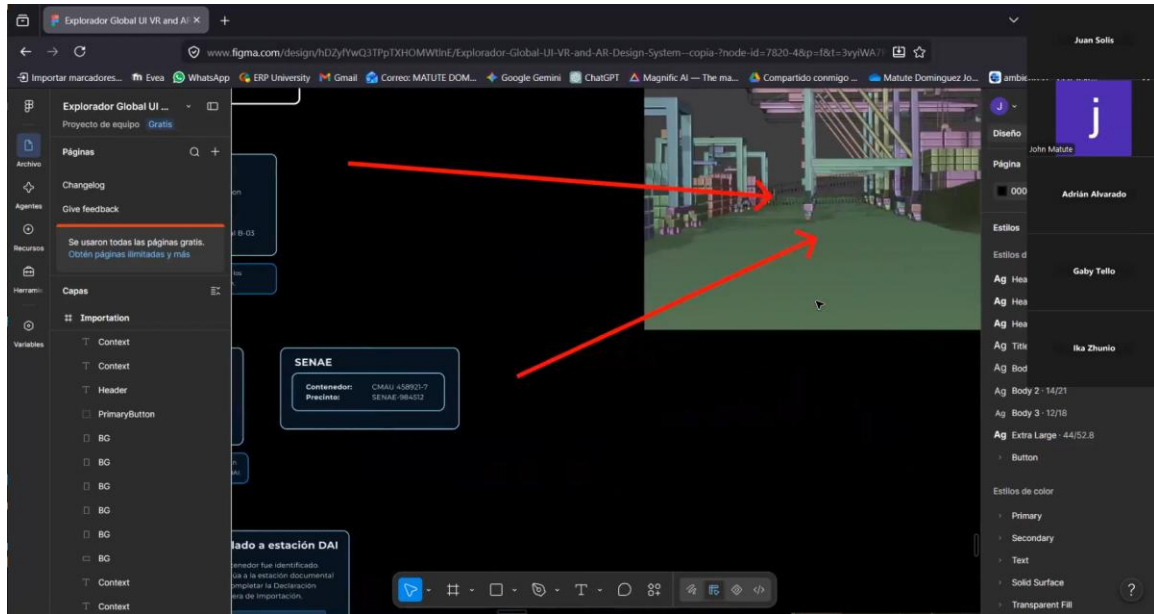
Reunión de revisión de interfaces y contenido de Explorador Global



Nota. Captura de una reunión de seguimiento en la que se revisaron contenidos de interfaz y su relación con los escenarios del prototipo.

Evidencia C2.

Reunión de revisión de interfaces y contenido de Explorador Global



Nota. Captura de una reunión de seguimiento utilizada como evidencia complementaria del proceso periódico de revisión de avances.