

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de museo en realidad virtual para la conservación y
preservación de reliquias antiguas**

Trabajo de graduación presentado por Alexis Renato Estrada Martínez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias
de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo de museo en realidad virtual para la conservación y
preservación de reliquias antiguas**

Trabajo de graduación presentado por Alexis Renato Estrada Martínez
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencias
de la Computación y Tecnologías de la Información

Guatemala,

2024

Vo.Bo.:



(f) _____
Ing. Carlos Augusto Alonso Bonifaz

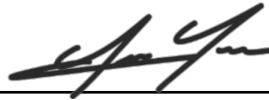
Tribunal Examinador:



(f) _____
Ing. Carlos Augusto Alonso Bonifaz



(f) _____
Ing. Douglas Leonel Barrios Gonzalez



(f) _____
Ing. Jorge Andres Yass Coy

Fecha de aprobación: Guatemala, 26 de noviembre de 2024.

Diego Miguel López García

Agradezco profundamente a Diego Miguel López García, estudiante de arqueología, por facilitarme los modelos tridimensionales de artefactos arqueológicos obtenidos mediante técnicas de escaneo 3D y fotogrametría, como parte de su investigación sobre registro digital del patrimonio. Estas piezas fueron integradas al recorrido virtual del museo, enriqueciendo la experiencia de los visitantes con representaciones fieles y detalladas de bienes culturales de San Andrés Semetabaj.

Su trabajo, enfocado en comparar y aplicar métodos tridimensionales en el contexto del laboratorio y del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj, demostró la viabilidad y utilidad de estas tecnologías en la preservación, estudio y difusión del patrimonio guatemalteco. Gracias a su generosidad y apertura para compartir los resultados de su muestrario digital, fue posible integrar contenido arqueológico validado que fortaleció el valor educativo y científico del museo virtual desarrollado en esta tesis.

Jesús Andrés Recinos Sagastume

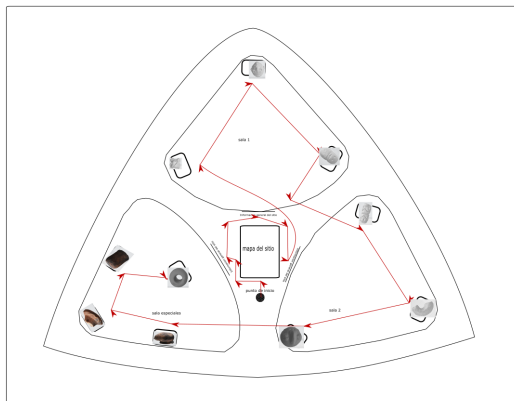
Agradezco especialmente a Jesús Andrés Recinos Sagastume, estudiante de arqueología, por proporcionarme las fotografías del área del centro de excavación en San Andrés Semetabaj. Estas imágenes fueron utilizadas para mapear el entorno mediante fotogrametría y, gracias a ello, fue posible crear una representación precisa del sitio original dentro del museo virtual. Esta reconstrucción permitió mostrar a los visitantes no solo las piezas recuperadas, sino también el contexto geográfico y arqueológico de donde fueron extraídas, enriqueciendo la experiencia educativa y narrativa del recorrido.

Además, agradezco la entrevista que me concedió, en la cual compartió información relevante sobre el trabajo arqueológico en la zona y el proceso de excavación. Sus aportes fueron clave para comprender mejor el valor patrimonial de las piezas y reforzar la fidelidad histórica del entorno representado.

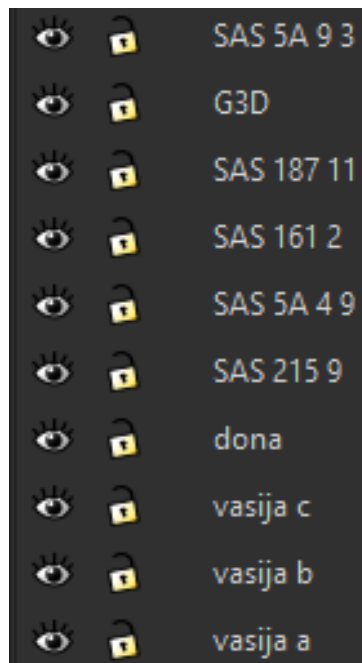
José Manuel Mendoza García

Agradezco sinceramente a José Manuel Mendoza, estudiante de arqueología, por su valiosa participación en el desarrollo del guion museológico y del guion de recorrido del museo virtual. Su experiencia previa en el montaje de exposiciones y su enfoque curatorial fueron clave para seleccionar las diez piezas más representativas, priorizando aquellas con mayor potencial educativo y atractivo visual para el público.

Gracias a su visión museológica, fue posible estructurar el recorrido virtual como una extensión significativa del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj, complementando la exposición física con una experiencia digital accesible e inmersiva. Su trabajo permitió conectar cada pieza con su contexto arqueológico, histórico y estético, que permitió lograr una narrativa coherente y enriquecedora dentro del entorno virtual. Este aporte fue esencial para consolidar una experiencia museográfica que no busca sustituir el museo físico, sino ampliarlo respetuosamente y hacerlo más atractivo para públicos diversos.



(a) Diseño del recorrido museográfico virtual



(b) Lista de piezas seleccionadas para la exposición

Figura 1: Aporte de José Manuel Mendoza al guion y disposición museográfica

Prefacio	VI
Lista de figuras	XII
Resumen	XIII
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	9
4. Objetivos	13
4.1. Objetivos generales	13
4.2. Objetivos específicos	13
5. Alcance	15
6. Marco teórico	17
6.1. Diseño de la experiencia	17
6.1.1. ¿Qué es un museo?	17
6.1.2. ¿Qué es un museo virtual?	17
6.1.3. Fotogrametría	19
6.1.4. Guion de recorrido	20
6.1.5. Guion museológico	21
6.1.6. Museografía	21
6.1.7. ¿Qué es un videojuego?	22
6.1.8. XR	22
6.1.9. UI/UX	24
6.1.10. Diseño de experiencias	29
6.1.11. Experiencias inmersivas	31
6.1.12. <i>Design Thinking</i>	32

6.1.13. <i>The Design Sprint</i>	33
6.2. Software y herramientas	34
6.2.1. Motores de videojuegos	34
6.2.2. Unity	35
6.2.3. Blender	36
6.2.4. Agisoft Metashape	36
7. Metodología	37
7.1. Investigación	37
7.1.1. Identificando la problemática en los museos en Guatemala	38
7.1.2. Entrevista con el Dr. Tomás Barrientos Quezada	38
7.1.3. Exploración del interés de los estudiantes de la UVG en museos	40
7.2. Definición	41
7.2.1. Definición del problema	42
7.2.2. <i>How might we?</i>	42
7.2.3. Idea candidata	43
7.2.4. Perfiles de usuario	43
7.3. Ideación	45
7.3.1. Lunes	45
7.3.2. Martes	48
7.3.3. Miércoles	51
7.3.4. Jueves	52
7.3.5. Viernes	52
7.3.6. Retroalimentación obtenida de las entrevistas	53
7.4. Prototipado	54
7.4.1. Lista de las funciones mínimas necesarias para ser un producto funcional	54
7.4.2. Configuración inicial del proyecto	55
7.4.3. Diseño de personaje controlable	56
7.4.4. Interacción con objetos	58
7.4.5. Interacción con interfaz de usuario (UI)	59
7.5. Testeo	60
8. Resultados	61
8.1. Validación con consumidores casuales	61
8.1.1. Feria de universidades en el Liceo Guatemala 2024	61
8.1.2. La Experiencia UVG 2024	62
8.2. Grupo de expertos	63
8.2.1. Dr. Ernesto Arredondo Leiva - Investigador CIAA	63
8.2.2. M.A. Claudia Judith Monzón Sosa - Investigadora CIAA	64
8.2.3. Ing. Alhvi Romancina Balcárcel	64
9. Conclusiones	67
10.Recomendaciones	69
11.Bibliografía	71

12. Anexos	75
12.1. Enlace al prototipo	75
12.2. Evolución de los prototipos desarrollados	75
12.2.1. Prototipo 1 – Versión inicial	75
12.2.2. Prototipo 2 – Versión mejorada	75
12.2.3. Prototipo 3 – Versión con entorno cerrado	76
12.3. Consentimiento informado	76
12.4. Respuestas del cuestionario que explora el interés de los estudiantes de la UVG en museos	76
12.5. Prototipo final <i>Sprint design</i>	76
12.5.1. Prototipo funcional	76
12.5.2. Pruebas con usuarios del prototipo final	76
12.6. Fotografías de validaciones con usuarios prototipo final	76
12.6.1. Validaciones Experiencia UVG 2024	76
12.6.2. Validaciones Liceo Guatemala	77
12.7. Guía para empezar en el desarrollo VR	77
12.7.1. Configuración inicial para proyecto VR	77
12.7.2. Importando herramientas y <i>assets</i> útiles para el desarrollo en Realidad Virtual	81
 13. Glosario	 83

Lista de figuras

1.	Aporte de José Manuel Mendoza al guion y disposición museográfica	VI
2.	Captura del arte de <i>Curious Alice</i> , experiencia VR	3
3.	Captura del arte de <i>Mona Lisa: Beyond the Glass</i> , experiencia VR	4
4.	Captura del arte de Peterson Automotive Museum, experiencia HoloLens	4
5.	Captura del arte de la exhibición del Museo Nacional de Finlandia, experiencia VR	5
6.	Vistazo de la galería <i>No Spectators</i> con obras de Android Jones, experiencia VR	5
7.	Captura del arte de la exhibición del estudio de Modigliani, experiencia VR	6
8.	Captura del arte de <i>Journey into the heart of Evolution</i> . Experiencia VR	6
9.	Captura del arte de <i>Hold the World</i> . Experiencia VR	7
10.	Fotogrametría para la reconstrucción en 3D de un modelo humano (Anastasia, 2023)	19
11.	Dispositivo de Realidad Virtual (Blippar, 2016)	23
12.	<i>Gameplay</i> de Pokémon GO como muestra de juego AR	23
13.	Escala de rango de mundo real a mundo virtual (Unity Technologies, 2023)	24
14.	Rango de zona de confort del usuario (Albertmauri, 2023)	26
15.	Ángulos de visión del humano y su impacto en la posición de la UI (Albertmauri, 2023)	26
16.	Escalado de la UI según la distancia del usuario (Albertmauri, 2023)	27
17.	The Design Sprint (Knapp, s.f.)	34
18.	Figura 18: Mapa de empatía del perfil profesional “Marvin Harlem” (experto en arqueología)	44
19.	Mapa de empatía del perfil “Esteban García” (estudiante de la UVG, consumidor cultural casual)	44
20.	Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico	46
21.	Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico	46
22.	Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico	47
23.	Marketplace de Thingiverse	48
24.	Visualización de un objeto específico en Thingiverse	48

25.	Entorno virtual del museo de Google Arts & Culture	49
26.	Visualización de artefacto en Google Arts & Culture	49
27.	Página de la tienda de <i>VR Museum of Fine Art</i>	49
28.	Bloc de notas de ideas	50
29.	Ocho bocetos en miniatura	50
30.	Guion gráfico del solution sketch	51
31.	Menú principal del museo virtual	52
32.	Espacio del museo virtual en el que el usuario puede explorar y visualizar artefactos	52
33.	Prueba de prototipo Figma - Sara Estrada	53
34.	Opciones de movimiento para el usuario dentro del museo virtual	54
35.	Opciones de interacción directa y a distancia con los objetos del museo	55
36.	Opciones de interacción del usuario con los menús y la interfaz de las exhibiciones	55
37.	Presencia del usuario en el mundo virtual	56
38.	Presencia de las manos en el mundo virtual	57
39.	Sistema de animaciones del modelo de las manos	57
40.	Áreas de teletransportación	58
41.	Uso y activación de la pistola excavadora	59
42.	Tipos de interacción con la UI	60
43.	Dr. Ernesto Arredondo Leiva, investigador del CIAA	63
44.	M.A. Claudia Judith Monzón Sosa, investigadora del CIAA	64
45.	Ing. Alhvi Romancina Balcárcel, experta en videojuegos.	65
46.	Oculus Meta Quest 2 y sus controladores	77
47.	Opción de modo desarrollador de las Meta Quest 2	78
48.	Escena básica para probar el entorno en Unity	78
49.	Instalación del plugin XR Plugin Management	79
50.	Selección de OpenXR para <i>builds</i> de computadora	79
51.	Selección de OpenXR para <i>builds</i> de Android	79
52.	Selección de perfiles de controladores para computadoras	80
53.	Selección de perfiles de controladores para Android	80
54.	Configuración inicial de la cámara para seguimiento de movimientos en VR	81
55.	Instalación de la herramienta XR Interaction Toolkit	81
56.	Importación de los starter assets	82

La situación actual del patrimonio cultural en Guatemala enfrenta desafíos significativos, ya que no existe una filosofía de preservación adoptada que asegure el cuidado de estos objetos. Frecuentemente, las reliquias terminan olvidadas en bodegas y en condiciones inadecuadas para su conservación. Además, en Guatemala se observa un escaso interés por explorar y comprender la historia, debido a la falta de iniciativas por parte de las instituciones públicas para captar la atención de la población joven. En respuesta a esta necesidad, se diseñó un museo en un entorno de Realidad Virtual (VR). Este museo aprovecha las ventajas de la tecnología para ofrecer una experiencia interactiva e inmersiva, incrementando la participación del usuario y mostrando gran potencial en entornos educativos. Con el respaldo del área de arqueología, se han realizado todas las validaciones museográficas y museológicas necesarias para crear un museo profesional. Las piezas se digitalizaron mediante fotogrametría realizada por un estudiante de arqueología para garantizar su preservación en el museo virtual y su conservación digital.

Guatemala's cultural heritage is in a precarious situation because there is no existing preservation philosophy that would ensure the preservation of historical objects. Most of the objects are often kept in poor environments, leading to their gradual deterioration, while people are less motivated to discover and learn about cultural heritage. There are many factors that contribute to this situation, one of which is the lack of public programs that target the younger generation. To address these issues, a virtual museum has been established in the confines of a virtual reality (VR) space. This museum takes the form of advanced technology, which creates a highly interactive and visually arresting environment, which is believed will yield remarkable results within the education sector. With assistance from the archaeology department all the required museographic techniques and museological processes required to establish a fully operational museum was completed. The artifacts were sourced from an archaeology student and were captured using photogrammetry to digitize the objects which would subsequently protect and archive them in the virtual museum.

La situación actual del patrimonio cultural en Guatemala es frágil y encuentra numerosos desafíos. El incidente en el museo del Portal de La Sexta, tras los actos vandálicos ocurridos la noche del lunes 9 de octubre de 2023, subrayó la naturaleza efímera del arte. Esto evidenció la carencia de estrategias efectivas para la conservación del patrimonio, ya que gran parte de los artefactos históricos se resguardan en condiciones inadecuadas, en bodegas mal administradas y sin un registro riguroso del inventario. La ausencia de registros digitales ha contribuido con la pérdida de objetos culturales que futuras generaciones no podrán conocer ni apreciar. Si bien una solución viable sería la creación de registros digitales, existe resistencia en el campo de la arqueología hacia la adopción de esta tecnología. Muchos profesionales del área perciben inseguridad en estos métodos y prefieren los tradicionales. Esto ha frenado el avance hacia una preservación digital del patrimonio.

Además, se observa una disminución en el interés de la población por conocer su cultura e historia. El Ecomuseo de San Andrés Semetabaj, ubicado en Sololá, fue visitado únicamente por cuatro personas locales en 2023, lo cual revela el preocupante desinterés por parte de la comunidad hacia sus orígenes y su legado cultural.

Para responder a la problemática, se propone el desarrollo de un museo en un entorno de Realidad Virtual (VR), diseñado para ofrecer una experiencia innovadora, inmersiva e interactiva. Este museo busca atraer tanto a profesionales del área como al público en general, invitándolos a aprender y participar en él. Los visitantes podrán interactuar directamente con piezas arqueológicas, observando de cerca sus detalles en una proximidad que los museos tradicionales no pueden ofrecer. Además, mediante el uso de tecnologías avanzadas como la fotogrametría, cada pieza se digitaliza con precisión para ser preservada digitalmente dentro del museo.

Con el respaldo del departamento de arqueología de la Universidad del Valle de Guatemala y las validaciones de expertos en el tema, este proyecto se presenta como referente en la conservación del patrimonio cultural, donde se combina el rigor académico con las posibilidades de la tecnología moderna. El museo busca revitalizar el interés cultural y ofrecer una herramienta útil tanto para profesionales como para el público general, mientras asegura la preservación digital de las piezas.

La comunidad global de museos ha aprovechado las ventajas de la realidad virtual desde hace bastante tiempo y han logrado resultados notables para poder crear recorridos, exhibiciones y narrativas impresionantes con el fin de revolucionar la forma en que los visitantes interactúan con el arte y la historia.

A. Curious Alice: the VR experience

El prestigioso museo V&A de Londres presentó la exposición *Curious Alice* en el año 2021. Es una exploración de la obra clásica de Lewis Carroll donde se invitó a los visitantes a participar en una experiencia de realidad virtual lúdica, sumergiéndolos en el mundo caprichoso de Alicia. (Richardson, 2023)



Figura 2: Captura del arte de *Curious Alice*, experiencia VR

B. Mona Lisa: Beyond the Glass

En octubre de 2019, el museo Louvre de París lanzó *Mona Lisa: Beyond the Glass*, una experiencia de realidad virtual que explora las pinturas renacentistas como parte de la exhibición magistral de Leonardo da Vinci. A través de un diseño interactivo, con sonido e imágenes animadas, los usuarios pueden descubrir los detalles sobre las pinturas. (Richardson, 2023)



Figura 3: Captura del arte de *Mona Lisa: Beyond the Glass*, experiencia VR

C. Peterson Automotive Museum

El museo de automóviles de Peterson en Los Ángeles California, trabajó junto a Microsoft HoloLens en el 2017 para crear una nueva exhibición. El resultado fue una experiencia en realidad virtual, donde los visitantes fueron capaces de interactuar con el clásico automóvil deportivo americano, el *Ford GT40*. (Richardson, 2023)



Figura 4: Captura del arte de Peterson Automotive Museum, experiencia HoloLens

D. The National Museum of Finland

El Museo Nacional de Finlandia en Helsinki inauguró una nueva exhibición de realidad virtual en el 2018. Los visitantes podían regresar en el tiempo hacia el año 1863 para explorar la pintura *The Opening of the Diet 1863* de Alexander II, creada por R. W. Ekman. La experiencia hacía sentir a las personas que podían entrar a la pintura. (Richardson, 2023)



Figura 5: Captura del arte de la exhibición del Museo Nacional de Finlandia, experiencia VR

E. No Spectators: The Art of Burning Man

El Museo Smithsonian de Arte Americano convirtió sus exhibiciones de arte en experiencias de realidad virtual por medio de una alianza con Intel y Liden Lab (Creadores del videojuego *Second Life*). Es una simulación increíblemente fiel al tamaño de las instalaciones de la exposición, disfraces, joyería y objetos varios. (Pangburn, 2018)



Figura 6: Vistazo de la galería *No Spectators* con obras de Android Jones, experiencia VR

F. Modigliani VR: The Ochre Atelier

El museo Tate Modern de Londres, en la retrospectiva de Modigliani en 2017-2018, creó una exhibición en realidad virtual en la cual los visitantes fueron capaces de experimentar una inmersión completa en un modelo 3D del estudio del artista en París. Después de una investigación minuciosa, recrearon fielmente el estudio tal como habría sido hace 100 años. (Richardson, 2023)



Figura 7: Captura del arte de la exhibición del estudio de Modigliani, experiencia VR

G. Journey into the heart of Evolution

El Museo Nacional de Historia Natural de París abrió su primera exhibición permanente en realidad virtual en el 2018. La instalación se centra en la evolución. Los visitantes pueden explorar las conexiones entre las especies, observando de cerca y a escala una variedad de criaturas. El museo recurrió a esta tecnología para ayudar a comprender mejor la colección, para que los conceptos detrás de esta sean más accesibles. (Richardson, 2023)



Figura 8: Captura del arte de *Journey into the heart of Evolution*. Experiencia VR

H. Hold the World

El Museo de Historia Natural de Londres, en asociación con el canal de televisión Sky, desarrolló en 2018 *Hold the World*. Es una experiencia educativa de realidad virtual que le permite al visitante encontrarse cara a cara con Sir David Attenborough y acercarse a algunas de las especies más raras de su famosa colección. (Richardson, 2023)



Figura 9: Captura del arte de *Hold the World*. Experiencia VR

Después de examinar la situación actual de los museos en Guatemala, se observa poco apoyo por parte de la población y desinterés por aprender sobre su cultura e historia. Además, enfrentan diversos problemas relacionados con la gestión de patrimonio cultural, como dificultades en el registro e inventario de artefactos y desconfianza respecto a la accesibilidad de la información contenida en Repositorios: digitales, debido a la percepción de falta de seguridad. Los espacios limitados también restringen la accesibilidad, ya que mucho del patrimonio se almacena en bodegas y su exhibición al público resulta complicada. Por estas razones, es fundamental comenzar a digitalizar progresivamente los museos guatemaltecos y crear un extenso acervo de conocimientos que resulte atractivo y accesible para el público.

La razón más notable del estado tan deplorable de los museos actualmente es la gestión que se les ha dado en los últimos años. Existen registros de estos problemas desde 2017, documentados por el Ministerio de Cultura y Deportes (MCD). En ese año, el titular del despacho, José Luis Chea, habló acerca de las tareas contempladas en su administración, que tienen el objetivo de impulsar las actividades educativas para los guatemaltecos. Cuando se le preguntó si tenía contemplado algún proyecto enfocado en los museos nacionales, respondió que para esa área no había una asignación de recursos suficientes que permitiera innovarlos (DCA, 2017). Lo que se documentó en el lejano 2017 tiene una gran relación con lo expresado en el reciente comunicado de AMG-ICOM Guatemala, la Asociación de Museos de Guatemala y el Consejo Internacional de Museos de Guatemala. En este, manifestaron su preocupación por la situación actual de los museos del país, especialmente tras el cierre temporal o definitivo de varios de ellos, bajo la administración del Ministerio de Cultura y Deportes. (Choy, 2023)

En respuesta a estos desafíos, muchos museos y centros han tomado la iniciativa de innovar para poder atraer a más público. El Museo Nacional de Arqueología y Etnología, en el Día Internacional del Museo, dio la iniciativa para poder conocer los principales museos y centros culturales a través de su portal web, ofreciendo imágenes en 360°. Esto permite hacer recorridos virtuales y acceder a contenido multimedia (SomosGuate, 2020).

Sin embargo, estas propuestas no son suficientes para la documentación de los distintos hallazgos. Las fotografías en 360° tienen como objetivo principal dar una experiencia inmersiva, pero no están diseñadas para ser exactas ni para conservar un registro preciso de una pieza.

El incidente ocurrido en octubre de 2023 en el Portal de La Sexta, donde presuntos infiltrados causaron daños significativos en las obras de arte en exhibición, reveló la vulnerabilidad del patrimonio cultural nacional. En el recuento de los daños, se confirmó que varias piezas resultaron afectadas (Llamas, 2023). A raíz de lo ocurrido, es probable que muchos coleccionistas privados sientan temor a la hora de compartir sus obras para que el público las aprecie, especialmente después de que gran parte del daño fuera dirigido hacia pinturas que eran propiedad de un coleccionista. Este suceso puso en evidencia cuán expuesto está el patrimonio cultural a daños provocados por el ser humano o por la naturaleza.

Las fotografías de 360° no son suficientes para resguardar y preservar el patrimonio cultural y, además, el MCD no lo maneja de la mejor manera a través de las leyes que hay para la preservación y conservación de los bienes culturales.

No hay mucha información de cómo el Ministerio documenta el patrimonio cultural, pero existe el procedimiento para documentar los bienes culturales de posesión privada, según el Artículo 14 (Inscripción, anotación y cancelación de la inscripción de bienes culturales inmuebles). Este artículo menciona que todo lo que sea declarado como patrimonio cultural de la nación se debe inscribir siguiendo el procedimiento del Artículo 25 de la Ley.

Según este procedimiento, la solicitud de Registro de Bienes Culturales Muebles requiere presentar el formulario R-1, acompañado de cuatro requisitos: una fotocopia del DPI, una declaración jurada de propiedad o posesión por pieza y colección, un inventario de piezas a registrar identificadas con fotografías a color y un CD-R en blanco. Este CD es el único registro que tiene el Ministerio para preservar el patrimonio cultural, ya que contiene una foto a color del hallazgo y será lo único que quede si la pieza real llegara a dañarse o perderse.

Ante estas deficiencias en la documentación del patrimonio cultural, han surgido diversas herramientas, como la fotogrametría, que ofrecen una solución al problema. La documentación fotogramétrica, al ser de base fotográfica, aporta información a color, con un alto grado de detalle (Universidad de Alicante, 2016). El potencial analítico que la documentación fotogramétrica ofrece es derivado de su carácter tridimensional, ya que proporciona información con calidad métrica, precisa, objetiva y sujeta a reelaboraciones posteriores (Universidad de Alicante, 2016).

La implementación de aplicaciones y juegos con tecnología XR (realidad extendida), que abarca AR (realidad aumentada) y VR (realidad virtual), se ha consolidado en los últimos años. Son tecnologías con amplia repercusión en sectores como el artístico, el educativo, el militar y el de salud; incorporándose en museos, escuelas, exposiciones de arte y sitios históricos (Arámburo y Urzua, 2020).

La realidad virtual es una herramienta didáctica que ofrece una sensación de inmersión al usuario, colocándolo frente a la acción en lugar de ser un mero espectador. La capacidad que da al usuario de interactuar directamente con los elementos 3D en el mundo virtual crea una experiencia natural y directa sobre lo que está aprendiendo (Arámburo y Urzua, 2020).

La fotogrametría, al recrear objetos 3D detallados, permite apreciar y aprender de ella mediante la inmersión proporcionada por la tecnología de realidad virtual. Se puede observar cada detalle de la pieza escaneada, con una sensación de que se está sosteniendo la pieza real, sin afectar su integridad. Esta es la solución para llevar a las personas todo tipo de patrimonio cultural sin arriesgarlo, y que los coleccionistas se atrevan a compartir sus colecciones privadas sin miedo a que suceda otra tragedia como la que ocurrió en el Portal de La Sexta.

El proyecto propone un museo en Realidad Virtual, donde los usuarios podrán interactuar con reconstrucciones digitales de las piezas arqueológicas mediante la fotogrametría. Al tratarse de una experiencia inmersiva e interactiva, su formato se asemeja al de un videojuego educativo, lo que facilita la exploración y el aprendizaje del patrimonio cultural.

En otros países, como España, los videojuegos han sido reconocidos legalmente como patrimonio cultural, lo que obliga a la Biblioteca Nacional a preservar, al menos, una copia digital de las obras desarrolladas en el país. Esto abre la posibilidad a que, en el futuro, un museo virtual de este tipo pueda ser considerado patrimonio cultural, garantizando así su preservación y acceso para todos los ciudadanos (Rodríguez, 2022). En este contexto, la preservación de un videojuego implica asegurar que, sin importar la antigüedad, se conserven su accesibilidad y posibilidad de ejecución en el futuro (Los Pobres, 2021).

4.1. Objetivos generales

- Crear un museo virtual que sea genuinamente divertido, atractivo e interactivo para los visitantes.
- Desarrollar un museo accesible y sostenible que resguarde y exhiba una colección representativa de artefactos antiguos de Guatemala, promoviendo su conservación y difusión cultural a largo plazo.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una herramienta confiable y segura que pueda ser utilizada como referencia por expertos y académicos.
- Diseñar una herramienta útil para la investigación y el aprendizaje, que facilite el acceso a información detallada y contextualizada sobre los artefactos.
- Implementar elementos de Gamificación: en el museo virtual para aumentar el interés y el compromiso de los visitantes.

En este proyecto, el término *repositorio* se refiere a un sistema de almacenamiento local donde están los archivos del museo de realidad virtual, incluyendo las piezas digitalizadas con fotogrametría y su información relacionada. Este repositorio no usa almacenamiento en la nube ni herramientas de control de versiones, ya que su meta es únicamente preservar y organizar los recursos localmente para su uso en el entorno de realidad virtual.

6.1. Diseño de la experiencia

6.1.1. ¿Qué es un museo?

Definir qué es un museo no es una tarea sencilla debido a que el concepto de museo está evolucionando continuamente. La definición puede verse influida por las políticas que rigen a los museos, el contenido de sus colecciones o la audiencia a la que están dirigidos. Sin embargo, existen definiciones prácticas que guían el pensamiento y recuerdan las características fundamentales que distinguen a un museo de otras instituciones. (Kavanagh, 2005) Un ejemplo de ello es la proporcionada por el Consejo Internacional de Museos (ICOM): “Es una institución permanente, sin fines de lucro, que está al servicio de la sociedad y su desarrollo, abierta al público, que adquiere, investiga, comunica y exhibe, con fines de estudio, educación y disfrute, evidencia material del hombre y su entorno”.

6.1.2. ¿Qué es un museo virtual?

Definir qué es un museo virtual tampoco es tarea sencilla, ya que ni siquiera existe un acuerdo en general acerca del nombre correcto. En este caso se debe a la gran variedad de disciplinas que pueden estar involucradas en la creación del museo, entre ellas: informática, bibliotecología, ciencias de la información y disciplinas relacionadas con los museos como arqueología, arte, historia y ciencias naturales. Debido a esto, puede optar por varios nombres en paralelo, como museo digital, museo electrónico, museo en línea, museo web o museo hipermedia. (Schweibenz, 2019)

La definición proporcionada por *Virtual Multimodal Museum* (ViMM 2018): “Un museo virtual (VM) es una entidad digital que aprovecha las características de un museo para complementarlo, mejorarlo o ampliarlo, mediante la personalización, interactividad, experiencia de usuario y riqueza del contenido. Tanto el museo físico (MF) como el MV comparten un

compromiso común con la validación institucional del contenido y calidad de la experiencia, a través del proceso Curatorial: inherente a la definición del ICOM”. (Schweibenz, 2019)

La relación entre el museo real y el virtual

A continuación se detallan las características o aspectos afines o no entre un museo virtual y uno físico:

- El aura de los objetos: los MV al tener una naturaleza digital, no pueden ofrecer objetos reales. Eso produce rechazo, ya que el aura es la cualidad que tiene un objeto físico debido a su historia y contexto, lo que genera debates sobre si un objeto digital puede reproducir esa aura. (Schweibenz, 2019)
- Autenticidad y experiencia: un objeto auténtico desempeña un papel importante en un MF, pero la experiencia no depende de que el objeto sea real, ya que puede ser provocada por una variedad de medios, y no todos ellos son reales, genuinos o materiales. Hilde S. Hein (citado en Schweibenz, 2019) menciona que las experiencias son algo personal y pueden ser producidas tanto por objetos como por ideas. Lynn Dierking y John Falk (citado en Schweibenz, 2019) sostienen que los visitantes de un museo llevan inherentemente la idea de que el objeto, al ser real, no importa si solo pueden observarlo (sin interacción directa); se pueden comprometer con lo que ven. Por lo tanto, las experiencias directas (con objetos reales) y las mediadas (con objetos virtuales) no deben entenderse en términos de mayor o menor valor, sino reconocerse como experiencias distintas.
- Democratización de los museos: la digitalización facilita la democratización del arte y la cultura al crear un acceso más amplio para las personas y que puedan así llegar a tener una interacción más fácil con los objetos. Esto permite llevar a los museos a nuevos públicos, quitándoles la etiqueta de ser una experiencia elitista. (Schweibenz, 2019)
- La autoridad de los museos ha sido puesta en duda gracias a los siguientes motivos:
 1. **Democratización.** El museo, al no ser el único lugar al que se puede llegar a ver los objetos, debilita la idea de que es un lugar santificado.
 2. **Subjetividad de la experiencia.** Se debilita la autoridad del museo sobre cómo debe ser la presentación; ya no depende únicamente de lo que los museos dicen, sino de cómo los visitantes perciben la muestra.
 3. **Las tecnologías digitales son subversivas.** Desafían directamente la autoridad de los curadores y la noción de solamente haber una forma de interpretar todo. (Schweibenz, 2019)
- Confianza en los museos virtuales: los MV se podrían considerar una extensión de los MF; por lo tanto, están estrechamente asociados al concepto de museo tradicional. En otras palabras, el término “museo” se basa fuertemente en la confianza que genera que el contenido ha sido recopilado, curado y presentado de manera profesional. (Schweibenz, 2019)

¿Seguirá la gente asistiendo a los museos?

Las comunidades de los museos han temido que los MF sean reemplazados por los MV, pero, a pesar de que la cantidad de MV ha crecido, este temor no se ha hecho realidad (Schweibenz, 2019). Como lo demuestra el artículo titulado: *Museum Websites and Museum Visitors: Before and After the Museum Visit* (Marty, 2007). Una encuesta que se realizó a más de 1200 personas demostró que los sitios web pueden ser un complemento de las visitas presenciales, ya que fomentan la relación entre los museos y los visitantes y proporcionan información adicional para satisfacer las necesidades tanto antes como después de la visita.

6.1.3. Fotogrametría

No hay una definición exacta de la fotogrametría, pero se puede entender como: “La ciencia de obtener información confiable sobre las propiedades de superficies o de objetos sin contacto físico con los objetos y de medir e interpretar esta información”. (Schenk, 2005)

Como su nombre lo indica, es una técnica de medición que utiliza la fotografía como medio fundamental en su metodología para obtener las coordenadas tridimensionales del objetivo. Su principio fundamental es la triangulación mediante fotografías tomadas en dos ángulos distintos, generando lo que se conoce como líneas de visión. Estas líneas se interceptan matemáticamente para producir las coordenadas 3D del punto de interés (Geodetic Systems, Inc, 2019). Una forma sencilla de entender la triangulación es compararla con el proceso que utilizan nuestros ojos para medir la profundidad, conocido como percepción de profundidad.

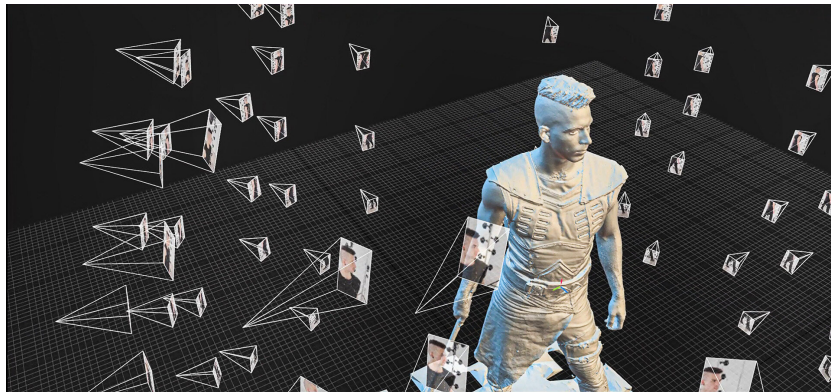


Figura 10: Fotogrametría para la reconstrucción en 3D de un modelo humano (Anastasia, 2023)

La fotogrametría se utiliza para documentar y reconstruir edificios y estructuras en 3D. Esto resulta particularmente útil en la conservación del patrimonio arquitectónico y en la planificación de proyectos de restauración. A diferencia de algunos métodos de inspección que pueden ser intrusivos, la fotogrametría se puede realizar desde la distancia, lo que minimiza la interrupción en entornos arquitectónicos sensibles. (Marroquín, 2024)

Esta tecnología puede incorporarse al proyecto como una alternativa a los registros topográficos tradicionales, sustituyéndolos por modelos tridimensionales de sitios arqueológicos. Su aplicación ha sido fundamental en la preservación del patrimonio cultural, como se evidenció en el escaneo de las reliquias mayas proporcionadas por el Museo de San Andrés Semetabaj.

6.1.4. Guion de recorrido

Conocido también como protocolo de servicios o libreto para el recorrido, ha sido un recurso ampliamente utilizado para poder exponer los servicios a manera de guía turística, lo que garantiza una presentación de alta calidad. Tiene la capacidad de ofrecer una exposición clara de los temas y del lugar, y al mismo tiempo que proporciona toda la información de las actividades que se podrán realizar durante el recorrido. (Avendaño, 2021)

Para construir el guion de una experiencia interpretativa se pueden seguir dos fases clave. En la primera, se redactan las ideas principales con el objetivo de desarrollar una secuencia lógica con la información que se desea transmitir, con el fin de facilitar la comprensión del público. Esta organización de ideas es esencial para evitar repeticiones y concentrarse en lo necesario para cumplir con los objetivos del guion. (Gannam y de Uslar Alexander, 2019)

A fin de identificar esos objetivos, es recomendable responder a esta pregunta: “¿Qué quiero que el visitante sepa, sienta y haga?” (Gannam y de Uslar Alexander, 2019). Las respuestas marcarán la ruta del contenido, asegurando que sea más conciso y alineado con las actividades que se van a realizar y las emociones que se buscan generar en los visitantes.

La segunda fase consiste en seguir profundizando en el contenido. En esta etapa, se analizan los elementos tangibles, intangibles y universales que lo evocan. Lo tangible se refiere a las características observables o hechos, mientras que lo intangible va más relacionado con las ideas y conceptos asociados al objeto. Los universales son aquellos conceptos con los que todo ser humano se puede identificar, como el amor, la familia, la belleza, etc. (Gannam y de Uslar Alexander, 2019)

Estructura del guion

1. Características generales de la experiencia: esta sección abarca todo lo relacionado con el tipo de recorrido que se desea llevar a cabo, incluyendo los objetivos, los temas de interés, la idea central y el mensaje principal que se quiere transmitir al visitante. (Gannam y de Uslar Alexander, 2019)
2. Estructura narrativa del guion: se debe desarrollar como una historia que cuente con un principio, desarrollo y desenlace.
 - **Principio.** Comunica al público lo que pueden esperar de la experiencia.
 - **Desarrollo.** Integra todos los puntos de interés del recorrido y el mensaje que se transmitirán.
 - **Conclusión.** Refuerza el mensaje central y estimula la curiosidad de la audiencia, invitándola a reflexionar más allá de la experiencia y a conocer más sobre el tema abordado.

6.1.5. Guion museológico

Es un documento estructurado en columnas que distribuye el contenido de la exposición, redactado para garantizar la fidelidad científica. En él se plasma el resultado de la investigación en un marco de referencia y un análisis preciso del tema. (Mosco Jaimes, 2018) Este guion es el responsable de unificar todo el contenido teórico, considerando como factor clave distintas variables externas.

- **Usuario final.** Se considera el nivel de cultura, edad y sexo, entre otros factores.
- **Localización del museo.** Es necesario entender la pieza respecto a su contexto.
- **Pertenencia de la pieza.** El valor histórico y simbólico de una pieza puede verse afectado si se logra rastrear su origen.
- **Relación territorial.** Se debe entender la relevancia de la pieza en la región para aumentar o disminuir su importancia en la investigación.

La experiencia del visitante se planea respecto al tipo de exposición, que puede ser contemplativa o inmersiva, con el apoyo de textos, fichas técnicas o imágenes para ofrecer una mejor experiencia. Todo esto se agrupa en una exposición temática con subdivisiones para garantizar una narrativa coherente. (Martínez, 2023)

El guion museológico, por su enfoque, se distingue por integrar dos tipos de guiones: el científico y el curatorial. Como señala la Gaceta de Museos (2004: 22), “El guion científico es un documento que da sentido y sirve de guía para el trabajo de diseño y producción museográficos de una exposición temporal o permanente”. También, como su nombre lo indica, es en donde viene toda la parte de la investigación pura y objetiva. (Mosco Jaimes, 2018)

El guion curatorial se encarga de sintetizar la información para que sea accesible y atractiva para el público al utilizar estrategias interpretativas. Organiza el contenido de una manera clara, evitando depender únicamente de la cronología o la linealidad como única aproximación para presentar la información. Además, media el conocimiento para dar un enfoque más original y enriquecedor de la experiencia del visitante. Al integrar directrices de comunicación y divulgación, facilita la colaboración con otras disciplinas, como la museografía, en los subsecuentes pasos del desarrollo de la exposición temporal o permanente. (Mosco Jaimes, 2018)

6.1.6. Museografía

La museografía es la disciplina responsable de la comunicación efectiva entre el público y los objetos exhibidos; les otorga personalidad e identidad a las exposiciones. Logra una conexión íntima entre los visitantes y las piezas de manera visual, gracias a su enfoque multidisciplinario, que involucra las áreas de diseño gráfico, industrial, arquitectónico y museográfico. (Restrepo y Carrizosa, 2000)

Sin embargo, la museografía no se limita únicamente a la exhibición de objetos. Dado que exhibir colecciones implica riesgo gracias al deterioro, también tiene responsabilidades directas que conciernen al acondicionamiento del museo, su conservación y su seguridad. Es considerada la forma aplicada de la Museología; encargada de garantizar la preservación de las colecciones para las futuras generaciones. (Desvallées y Mairesse, 2010)

A través de la museografía se cuenta una historia que el curador quiere transmitir mediante un guion en el que utiliza los objetos disponibles para presentar, con fines educativos o para el disfrute del público, la historia del ser humano y su entorno (Restrepo y Carrizosa, 2000). La museografía, por medio de su enfoque multidisciplinario, también involucra un enfoque escenográfico para que el diseño del espacio y los objetos trabajen en conjunto y proporcionen una mejor experiencia al visitante. (Desvallées y Mairesse, 2010)

6.1.7. ¿Qué es un videojuego?

Los videojuegos se pueden describir como la articulación de lo que se entiende tradicionalmente como juego, en combinación con las tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Han sido objeto de estudio en distintas disciplinas y dejaron de ser un simple entretenimiento para ir más allá. Son medios de comunicación que llegan a transmitir narrativas complejas y permiten una interacción única, que ningún otro medio podría proporcionar. Los jugadores tienen la posibilidad de interactuar y reconstruir esas historias dentro de un entorno virtual (Acevedo-Merlano y Zaccaro, 2021).

Es pertinente tratar a los videojuegos como un fenómeno inmerso en la vida cotidiana, ya que son generadores de nuevas experiencias en las que los seres humanos se están reconfigurando. Por otro lado, también pueden ser vistos como productos culturales, entendidos como herramientas mediáticas representativas, permitiendo la expresión de distintas perspectivas por parte de grupos que no tienen una voz dominante en la sociedad (Acevedo-Merlano y Zaccaro, 2021).

6.1.8. XR

XR es un término utilizado para englobar a todas esas tecnologías que tratan de mezclar el mundo real con el virtual e incluyen:

- *VR* - *Virtual Reality* (Realidad Virtual)
- *AR* - *Augmented Reality* (Realidad Aumentada)
- *MR* - *Mixed Reality* (Realidad Mixta)

VR

La realidad virtual crea un entorno completamente digital que reemplaza el mundo real y permite una inmersión total del usuario en el mundo virtual (Unity Technologies, 2023).

Para ello, la *VR* (por sus siglas en inglés) requiere del uso de dispositivos especializados, como gafas que se colocan directamente en la cabeza, las cuales permiten experimentar el entorno virtual (Encyclopaedia Britannica, 2023).

El formato más típico de *VR* es un casco con pantallas Estereoscópicas, donde se pueden visualizar imágenes animadas del entorno simulado. La *VR* recrea estos entornos utilizando modelos y simulaciones por computadora y permite que el usuario pueda interactuar con estímulos y objetos tridimensionales, tanto visuales como sensoriales. Esto produce una ilusión de “presencia”, ya que los dispositivos registran todos los movimientos en tiempo real (envían y reciben información), simulando las acciones dentro del mundo virtual. (Encyclopaedia Britannica, 2023)



Figura 11: Dispositivo de Realidad Virtual (Blippar, 2016)

AR

La realidad aumentada superpone contenido digital sobre el entorno real del usuario. A diferencia de la *VR*, que implica una inmersión completa, la *AR* (por sus siglas en inglés) permite que el usuario siga viendo el mundo real mientras interactúa con los elementos digitales (Unity Technologies, 2023).



Figura 12: *Gameplay* de Pokémon GO como muestra de juego AR

MR

La realidad mixta es el término más amplio de los tres, ya que puede incluir elementos tanto de la *VR* como de *AR*. Se puede entender como una escala, donde en un extremo se encuentra el mundo real y en el otro, el mundo virtual. La *VR* se sitúa más cerca del extremo de la virtualidad, mientras la *AR* está más cerca del extremo de la realidad. La MR (por sus siglas en inglés) abarca el espacio entre la *AR* y la *VR* en esta escala (Unity Technologies, 2023).

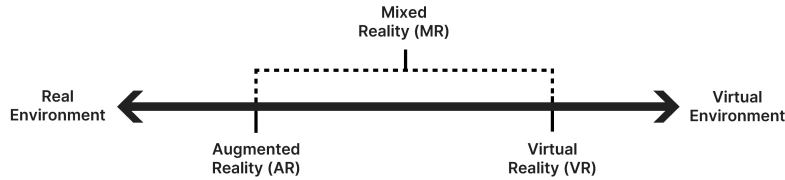


Figura 13: Escala de rango de mundo real a mundo virtual (Unity Technologies, 2023)

6.1.9. UI/UX

El diseño de UI/UX juega un papel muy importante en el desarrollo de productos digitales, ya que impacta directamente en cómo el usuario utiliza e interactúa con la aplicación. El diseño de la UI (interfaz de usuario) se enfoca en los elementos visuales del producto, mientras el diseño de la UX (experiencia del usuario) se centra en garantizar una experiencia positiva durante todo el recorrido. Un diseño exitoso puede marcar la diferencia en la satisfacción, lealtad y compromiso del usuario con el producto (Hamidli, 2023).

UI

La UI abarca todos los aspectos visuales e interactivos de un producto digital, con los que el usuario puede interactuar. Su diseño incluye la distribución, la tipografía, el esquema de colores, los botones, los iconos y todos los elementos que conforman la interfaz gráfica. El objetivo final del diseño es crear una interfaz fácil de usar, atractiva e intuitiva, que proporcione una experiencia positiva para el usuario (Hamidli, 2023).

Principios clave de la UI

- **Simplicidad.** La interfaz debe ser fácil de entender y utilizar. Cuantas menos distracciones tenga para el usuario, más sencillo le resultará navegar y cumplir sus objetivos sin llegar a frustrarse.
- **Coherencia.** Es esencial establecer patrones y respetarlos a lo largo del producto. Esto facilita que el usuario tenga una mejor comprensión de la interfaz a la hora de navegar en ella.

- **Retroalimentación.** Es fundamental proporcionar a los usuarios indicaciones claras de que sus acciones se han realizado correctamente. Esto les da la clave de que sus acciones tendrán repercusiones en el producto.
- **Diseño centrado en el usuario.** Un buen diseño es el que pone las necesidades de sus usuarios en primer lugar, adaptándose al público objetivo, para ofrecer una experiencia intuitiva, agradable y eficiente.
- **Visibilidad.** Los usuarios deben comprender y tener la capacidad de entender todo aquello con lo que interactúan. Proporcionar información clara y visible, garantiza que entiendan las opciones disponibles y el estado del sistema (Hamidli, 2023).

UI en el ámbito educativo

En el ámbito educativo, los desarrolladores deben fomentar la interacción entre el usuario y el sistema, brindar apoyo a los estudiantes en su proceso de aprendizaje y asegurarse de que este sea adaptable. La Usabilidad: es un factor clave, ya que no solo influye en la Utilidad: de la plataforma, sino también en su Eficacia:, eficiencia y satisfacción del usuario. Este es uno de los aspectos críticos a considerar, porque si el diseño es difícil de usar o comprender, el entorno educativo comenzará a perder usuarios. Dado que los estudiantes deben centrarse en su educación, no dedicarán tiempo a comprender cómo funciona la interfaz (Vlasenko et al., 2022). Además, la usabilidad y el aprendizaje deben estar integrados en el diseño del sistema educativo. Su valor puede ser limitado, si solamente es fácil de usar, pero no contribuye al aprendizaje, ya que la funcionalidad debe ir de la mano con los objetivos educativos (Vlasenko et al., 2022).

Conceptos clave del diseño UI en aplicaciones VR

- **Tamaño**

Al tener un dispositivo que se mueve en un entorno de 360 grados, hay un gran lienzo en el cual colocar la interfaz, pero es crucial identificar cuánto espacio utilizar para garantizar la usabilidad.

- **Zona de confort**

Al tratarse de un dispositivo que replica los movimientos del mundo real en el entorno virtual, los usuarios tienen la posibilidad de mover el cuello para poder visualizar contenido, así como también los ojos. Por lo tanto, es necesario considerar la cantidad de grados a partir de los cuales empieza a ser incómodo mover los ojos o el cuello para visualizar puntos de interés. Cualquier zona que supere los 30 grados ya no es cómoda para ver sin esfuerzo ni la necesidad de tener que girar mucho el cuello (las zonas que lo superen deberán curvarse para el usuario). Por esta razón, el contenido ubicado fuera de este rango quedará fuera del campo de visión del usuario (Albertmauri, 2023).



Figura 14: Rango de zona de confort del usuario (Albertmauri, 2023)

■ Altura

La interfaz de usuario debe colocarse ligeramente por debajo del centro del ojo, ya que alinearla y centrarla podría resultar incómodo, dado que el humano tiende por naturaleza a mirar ligeramente hacia abajo (Albertmauri, 2023).

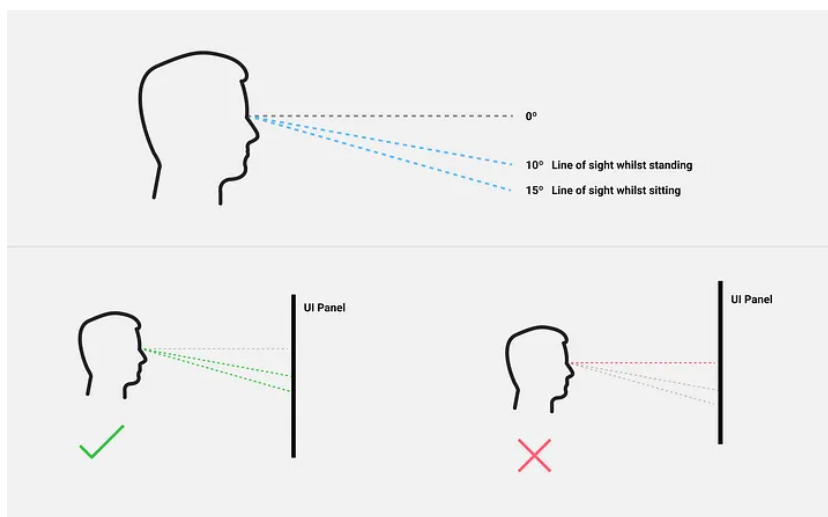


Figura 15: Ángulos de visión del humano y su impacto en la posición de la UI (Albertmauri, 2023)

■ Distancia

Al diseñar para distintas distancias, es importante tener en cuenta que el diseño en sí no cambia, solo su escala. Si la interfaz se encuentra a un metro de distancia, debe mantenerse a escala 1:1. Sin embargo, si se aleja dos metros, será necesario aumentar la escala a un factor de 2. De igual manera, si nos acercamos a 0.5 metros, su escala debe reducirse a un factor de 0.5 (Albertmauri, 2023).

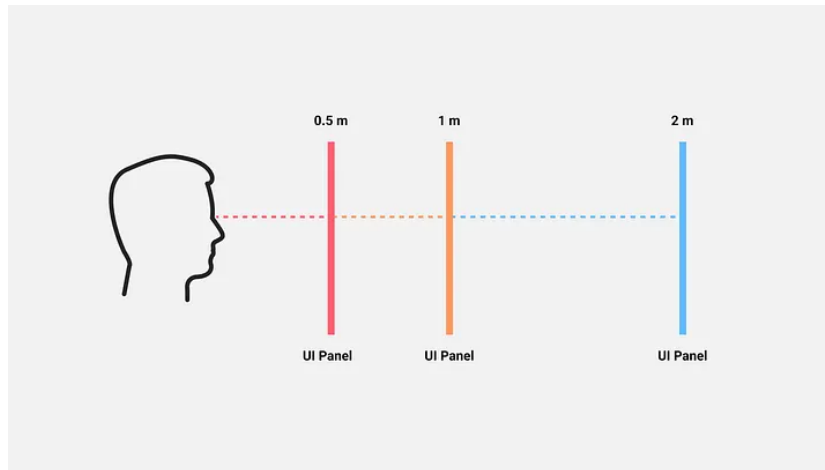


Figura 16: Escalado de la UI según la distancia del usuario (Albertmauri, 2023)

UX

La UX se enfoca en diseñar productos digitales que respondan a las necesidades, preferencias y comportamiento del usuario al proporcionar una experiencia intuitiva y fluida. Esto se logra al comprender los objetivos, las motivaciones del usuario y al desarrollar soluciones que aborden sus problemas específicos y validen los diseños mediante pruebas de usabilidad (Hamidli, 2023). De esta forma, la UX es esencial para asegurar la facilidad de uso y que el producto cumpla funcionalmente con las expectativas.

La experiencia del usuario abarca todo el recorrido de interacción con el producto, desde que lo descubre hasta el soporte posterior de su adquisición. Otro factor esencial del diseño UX es la retroalimentación, ya que permite ajustar el producto continuamente para que evolucione hacia una experiencia más óptima. Las pruebas de usabilidad ayudan a comprender mejor al usuario, ya que identifican puntos críticos del producto que se deben resolver en el diseño. Además, permiten reducir suposiciones y trabajar directamente en las necesidades, validar decisiones de diseño y mejorar en gran medida el retorno de inversión (Hamidli, 2023).

Principios clave del diseño UX

- **Usabilidad.** Es uno de los principios fundamentales del diseño, ya que asegura que el producto sea fácil de usar y navegar. Su objetivo es reducir el esfuerzo del usuario al interactuar con el producto para lograr que este sea eficaz en el cumplimiento de sus objetivos.

La usabilidad también se define como medida de qué tan bien un usuario específico puede utilizar un producto o un diseño para alcanzar un objetivo determinado de manera eficaz, eficiente y satisfactoria (Interaction Design Foundation, s.f.-b).

- **Accesibilidad.** Garantiza que el producto pueda ser accesible para todos, incluyendo personas con discapacidad, de manera que todos puedan tener una experiencia igualitaria.

- **Deleite.** Es la respuesta emocional que el producto genera en el usuario. Un diseño bien hecho debe evocar emociones positivas, como entusiasmo o alegría, motivándolo a seguir usando el producto.
- **Eficiencia.** Permite que el usuario logre sus objetivos de manera rápida y sencilla. El producto debe estar optimizado para ser rápido y minimizar el tiempo para completar tareas.
- **Claridad.** Garantiza que la interfaz sea clara y sencilla, proporcionando la información que necesita el usuario para cumplir sus objetivos (Hamidli, 2023).

UX en el ámbito educativo

En el contexto educativo, la UX desempeña un papel fundamental en la creación de plataformas que no solo sean funcionales, sino también eficaces para el aprendizaje del estudiante y la gestión del contenido educativo. En este ámbito, se define como una experiencia extremadamente individual, que surge de la interacción directa con la plataforma. Un diseño bien logrado busca generar emociones positivas y fortalecer la confianza del usuario, facilita el uso del producto y permite a los alumnos enfocarse en el contenido educativo y no en entender el funcionamiento de la plataforma (Vlasenko et al., 2022).

La UX debe satisfacer las necesidades del usuario sin problemas y sin complicaciones para considerarse un buen diseño. La efectividad en entornos educativos se logra cuando el producto es lo menos confuso y complicado posible al minimizar la cantidad de tiempo que el usuario debe invertir para lograr sus objetivos. El enfoque en la simplicidad suele resolver estas problemáticas al promocionar una plataforma que sea sencilla y fácil de entender para favorecer la eficacia en el aprendizaje (Vlasenko et al., 2022).

UX en la realidad virtual

La UX en la realidad virtual se aplica de manera similar a otros productos digitales, ya que muchos de los principios universales del diseño siguen siendo válidos, especialmente los que están relacionados con la accesibilidad, la orientación al usuario y la facilidad de uso. Los procesos utilizados en el diseño UX son los mismos que se aplican en el diseño para dispositivos VR, como la investigación de los usuarios, el prototipado y pruebas, con tal de ofrecer la mejor experiencia posible, con la diferencia del enfoque en la interacción espacial que es propia del VR. En este contexto, el mundo digital imita el mundo real, lo que significa que los usuarios tienden a actuar de manera instintiva; por lo tanto, el desarrollador debe adaptar estas mecánicas para que resulten lo más realistas posible. Sin embargo, como todo producto, hay excepciones y algunos usuarios podrían preferir alternativas más imaginativas a una reproducción fiel del mundo real (Vinney, 2023).

Principios clave del diseño UX en VR

- **Entradas multimodales.**

A diferencia de los productos tradicionales, donde los *Inputs*: suelen provenir de elementos comunes como el tacto en una pantalla o el uso de un *mouse*, en la realidad virtual las entradas pueden provenir de diversas fuentes: el propio dispositivo de VR, controles, gestos de las manos o comandos de voz. Dado que los usuarios tienen diversas herramientas para interactuar, el diseño debe considerar y optimizar cada una de estas alternativas para ofrecer una experiencia más completa.

- **Rango de visión del usuario.**

En la VR, la experiencia abarca todo el rango de visión del usuario, a diferencia de las pantallas tradicionales. Al diseñar la UX, es fundamental asegurar que el entorno visual cubra todo el rango de visión de manera coherente.

- **Ergonomía.**

En la VR, el usuario utiliza su cuerpo para interactuar en el mundo digital, por lo que un diseño que requiera de movimientos frecuentes puede llegar a ser incómodo o provocar fatiga. Por ello, es importante mantener todos los elementos interactivos dentro del rango de visión o en un rango de movimiento que le resulte cómodo.

- **Evitar elementos repentinos.**

Los elementos que aparecen de forma inesperada pueden causar confusión, como elementos que se mueven rápidamente en la pantalla o un cambio de escena imprevisto. Estos deben presentarse de manera gradual y considerar la proximidad de los ojos a la pantalla.

- **Evitar mareos.**

El diseño en VR debe tener en cuenta la fisiología humana, ya que el desajuste entre señales físicas y visuales puede provocar mareos. Esto sucede cuando los ojos perciben movimiento mientras el cuerpo permanece en reposo, lo que genera una sensación de incoherencia que puede causar incomodidades en el usuario (Viney, 2023).

6.1.10. Diseño de experiencias

El diseño de experiencias (*Experience Design* o XD) busca que los usuarios deseen volver a utilizar un producto no solo porque cumple con sus necesidades, sino porque crea una conexión emocional y les resulta intuitivo y natural. Aunque a menudo se confunde con UX, el diseño de la experiencia se centra en ofrecer una experiencia más completa y significativa, yendo más allá de la funcionalidad que prioriza UX (Mancilla, 2023). Es el pilar fundamental para la integración entre un usuario y la plataforma, gracias a la combinación perfecta entre funcionalidad, empatía y creatividad, más allá de lo meramente visual (CYBERSTREAM, 2024).

Por definición, el diseño de experiencias se centra en el ser humano y examina la experiencia únicamente desde la perspectiva del cliente. (Mancilla, 2023) Su objetivo es cautivar al usuario desde el primer momento en el que interactúa con el producto.

Esto incluye desde implementar interfaces intuitivas que permitan al usuario navegar sin esfuerzo hasta elementos que despierten emociones y fortalezcan el vínculo con la plataforma (CYBERSTREAM, 2024).

¿Por qué es importante el diseño de experiencia?

El objetivo principal no es simplemente mejorar el producto o facilitar la vida del usuario, sino crear una conexión emocional que lo vincule al servicio o plataforma. Un producto sin este enfoque, aunque técnicamente funcional, puede percibirse como insuficiente para satisfacer las necesidades reales del usuario. Por lo tanto, el verdadero diferenciador entre productos radica en ofrecer una experiencia significativa que va más allá de la funcionalidad y calidad, destacando la propuesta en un mercado competitivo donde cumplir técnicamente ya es un estándar (Mancilla, 2023).

Fases del proceso del diseño de experiencias:

- **Investigación:**

Es la fase inicial, enfocada en investigar y comprender las necesidades, deseos y comportamientos de los usuarios. Desde una perspectiva empresarial, esta fase impulsa innovaciones y cambios al “empatizar” con el usuario, poniéndose en su lugar para identificar necesidades o preferencias (Mancilla, 2023).

- **Definición:**

Tras recopilar la información, se delimitan los objetivos del proyecto y las necesidades específicas del usuario. No se deben proponer soluciones a ciegas, esta fase tiene como objetivo poder crear perfiles de los posibles consumidores, lo que permitirá diseñar una solución más adecuada y centrada en sus necesidades reales (CYBERSTREAM, 2024).

- **Ideación:**

Aquí la creatividad es la clave. Las ideas y soluciones surgen a partir de lo recolectado en fases anteriores. Donde el pensamiento creativo se desarrolla hasta en la búsqueda de soluciones ya exitosas para agregarles algo fresco e innovador (Mancilla, 2023). Se pueden utilizar lluvia de ideas, prototipados rápidos y otras ideas para explorar toda posible solución (CYBERSTREAM, 2024).

- **Prototipado:**

Se seleccionan las mejores ideas para ser puestas a prueba en entornos controlados, para evaluar su funcionalidad y usabilidad. El objetivo final de esta fase es observar si la idea se puede mantener por sí misma, si tiene la capacidad de ser un producto final y hacer ajustes según vaya siendo necesario.

- **Testeo:**

En esta última fase es cuando se pone a prueba el diseño con usuarios reales. Estos datos son recompilados para identificar puntos de mejora o problemas, lo cual es

primordial para mejorar el diseño antes del lanzamiento oficial (CYBERSTREAM, 2024).

Finalmente, tras completar todas las fases, se implementa el diseño final. Sin embargo, el proceso no concluye con el lanzamiento oficial del producto, ya que se deben realizar evaluaciones continuas para continuar con la mejora de la experiencia de usuario a lo largo del tiempo (CYBERSTREAM, 2024).

6.1.11. Experiencias inmersivas

En los últimos años, las experiencias inmersivas se han convertido en un pilar esencial para cautivar al público, elevando el nivel de compromiso y conexión emocional. Estas experiencias abarcan un amplio espectro que incluye tecnologías XR, entornos temáticos, narraciones interactivas, y cualquier otro formato que permita a las personas sumergirse en una narrativa a través de sus sentidos (Peek Pro, 2023).

Una experiencia inmersiva es multifacética y puede aplicarse en áreas como el entretenimiento, educación o actividades que envuelvan al usuario sensorialmente, con el objetivo de que se sienta transportado a otra realidad. Tratando de cautivar por completo a los usuarios por medio del uso de la fusión del mundo físico y virtual (Peek Pro, 2023).

Integrar experiencias inmersivas en un producto puede beneficiar tanto a la audiencia como a la marca, ya que permite crear interacciones memorables que fomentan la lealtad del cliente. Al estimular múltiples sentidos, las experiencias inmersivas pueden generar impresiones duraderas y diferenciarse de productos tradicionales. Este enfoque convierte al cliente de un observador pasivo a un participante activo, fomentando también un sentido de comunidad y pertenencia entre los consumidores (Peek Pro, 2023).

Factores a tomar en cuenta para la creación de experiencias inmersivas

- **Invita a participar:**

Para lograr un impacto significativo en el usuario, es esencial diseñar una experiencia que lo invite a interactuar y a sentirse parte activa de la narrativa o del entorno. Comprender sus motivaciones y preferencias es clave para promover la curiosidad en el usuario y que sea parte activa de la experiencia.

- **Integra tecnología:**

La tecnología es el puente que conecta la realidad con la imaginación, dotando de vida a las experiencias. Gracias a su integración, se pueden superar los límites de las narrativas tradicionales, para ofrecer un mayor nivel de participación y de realismo al usuario.

- **Cuenta una historia:**

Una buena narrativa es la base de una experiencia inmersiva exitosa. Es responsable de dar las pautas para todo el viaje y el recorrido emocional que experimentan los usuarios. La historia es la que invita a los usuarios a sumergirse en la experiencia, porque impulsa la imaginación y facilita la suspensión de la incredulidad.

- **Involucra todos los sentidos:**

Para crear una sensación de inmersión auténtica y profunda, es crucial que se requiera utilizar múltiples sentidos. Si bien la vista y el oído son básicos a la hora de experimentar entornos físicos o digitales, añadir otros sentidos, como el olfato, el tacto o incluso el gusto, puede mejorar significativamente el nivel de inmersión. Cuantos más sentidos se involucren, más realista y envolvente será la experiencia, acercándola a la percepción de la vida real.

- **Agrega detalles:**

La inclusión de detalles es fundamental para poder crear un mundo creíble y atractivo para el usuario. Estos detalles, ya sean sutiles o evidentes, aportan el carácter distintivo que hace una inmersión más auténtica y profunda, que mejora la sensación de presencia del usuario en el entorno.

- **Mantén la frescura:**

Las experiencias inmersivas, al igual que cualquier producto, pueden perder su impacto inicial cuando el “factor wow” disminuye. A medida que los participantes se adaptan y familiarizan con el entorno, la experiencia puede dejar de ser un estímulo novedoso. Para mantenerla fresca y atractiva, es fundamental implementar estrategias que actualicen el contenido periódicamente para ofrecer nuevos desafíos y descubrimientos que renueven el interés del usuario.

- **Permite la interacción entre usuarios:**

La interacción social añade una dimensión adicional a las experiencias inmersivas, transformándolas en viajes compartidos que fomentan el sentido de comunidad y conexión. La inclusión de esta funcionalidad no solo aumenta la participación de los usuarios, sino que también aporta complejidad y un grado de imprevisibilidad, a medida que los usuarios interactúen entre sí.

(Peek Pro, 2023)

6.1.12. *Design Thinking*

El *Design Thinking* es una mentalidad y un enfoque para la resolución de problemas, que se basa en diseños centrados en el ser humano. A diferencia de otros procesos de generación de ideas, el *Design Thinking* se centra en las soluciones y perspectivas del usuario, en lugar de enfocarse exclusivamente en los problemas. Este enfoque considera a las personas que están detrás del problema y la solución, responde a preguntas clave como: ¿Quién usará este producto? O ¿Qué impacto tendrá en el usuario esta solución? (Han, 2022)

El *Design Thinking* es un proceso cuyo principal propósito es la innovación, su valor reside en su capacidad para abordar problemas poco definidos o desconocidos. Al tratarse de un método de ensayo y error, resulta efectivo para probar qué funciona y qué no (Interaction Design Foundation, s.f.-a).

El objetivo final del *Design Thinking*

El proceso de *Design Thinking* tiene como objetivo satisfacer 3 criterios esenciales:

- **Deseabilidad** (¿Qué desean las personas?)

En esta fase, se analizan las necesidades, los comportamientos y sueños del usuario final. Utilizar la empatía permite comprender realmente lo que desean, para luego pensar en soluciones que respondan a esas necesidades, siempre desde la perspectiva del usuario.

- **Factibilidad** (¿Es técnicamente posible la solución?)

Identificadas las necesidades, es momento de evaluar si las soluciones son técnicamente viables. Dado que los recursos y el tiempo son limitados, es necesario determinar si vale la pena implementar la solución.

- **Viabilidad** (¿Se pueden obtener beneficios del proyecto?)

Más allá de la factibilidad técnica, es fundamental determinar si la solución puede generar ingresos o beneficios. Esta perspectiva es útil tanto para organizaciones comerciales como para las que son sin fines de lucro y presenta un cambio de paradigma respecto a los enfoques tradicionales. Mientras que las organizaciones suelen comenzar por evaluar la factibilidad o viabilidad, en el “Design Thinking” se inicia con la identificación del problema y luego se incorporan las otras dos perspectivas (Interaction Design Foundation, s.f.-a).

6.1.13. *The Design Sprint*

La idea principal del *Design Sprint* es construir y probar un prototipo en solo cinco días. Su objetivo es avanzar rápidamente hacia una solución viable, dedicando una semana para validar el proceso mediante una serie de pasos. Este enfoque permite visualizar rápidamente cómo reaccionarían los clientes al producto (Knapp, s.f.).

Para preparar un *Design Sprint*, se debe identificar un desafío significativo que justifique invertir una semana en buscar una solución y crear un prototipo (Knapp, s.f.). Ahora, el proceso que se lleva a cabo diariamente durante la semana es el siguiente:

- **Lunes:** Construye una base sólida y enfoque de la semana. Esto alinea al equipo de trabajo y permite evitar las distracciones que se darían gracias a contar con la mayor cantidad de información.

1. Define preguntas clave y un objetivo a largo plazo.
2. Dibuja un mapa simple del producto.
3. Consultar a expertos (del equipo o externos).
4. Elige un objetivo del mapa que tenga mayor riesgo o potencial.

- **Martes:** Aborda el problema y explora soluciones.
 - Realiza demostraciones relámpago, donde se revisan las soluciones que han implementado otras empresas y se incluyen las propias.
 - Cada integrante del grupo sugiere soluciones, siguiendo un proceso de 4 pasos llamado *The Sketch*:
 1. Notas
 2. Ideas
 3. *Crazy 8s*
 4. *Solution sketch*

- **Miércoles:** Con las soluciones recolectadas, se deberá seleccionar la más prometedora para el prototipo y la que se pondrá a prueba. Luego, crea un *Storyboard*: combinando las escenas seleccionadas, que servirá de guía para el prototipo.

- **Jueves:** Construye un prototipo realista a partir de *storyboard*. Este simula un producto final para obtener datos relevantes de los usuarios.

- **Viernes:** Presenta el prototipo a usuarios mediante entrevistas individuales, obteniendo respuestas rápidas y directas a las dudas más urgentes del proyecto. (Knapp, s.f.)

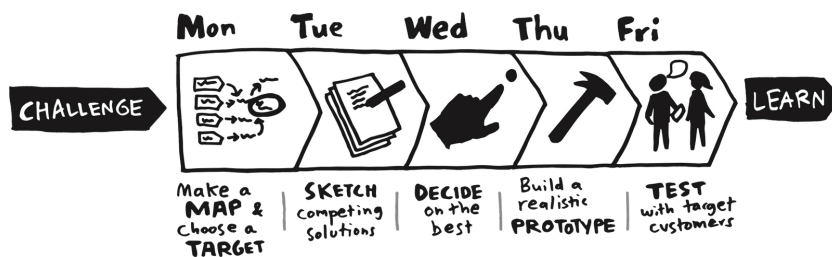


Figura 17: The Design Sprint (Knapp, s.f.)

6.2. Software y herramientas

6.2.1. Motores de videojuegos

Los motores de videojuegos son plataformas de software diseñadas para optimizar, acelerar y simplificar el desarrollo de juegos. Son responsables de gestionar los aspectos más complejos de un videojuego, en lo que respecta a aspectos técnicos del trabajo. Estos motores se encargan de componentes esenciales como los gráficos (2D y 3D), la física, el sonido, la inteligencia artificial (IA), el *input* del usuario y otros elementos críticos. (Butler, 2023)

El papel fundamental de un motor de videojuegos es proveer una base que facilita la creación de contenido y mecánicas, mientras acelera el proceso de desarrollo, gracias a que los desarrolladores pueden centrarse únicamente en generar contenido y mecánicas, en lugar

de construir tecnología desde cero. Además, los motores suelen incluir herramientas y editores integrados, para diseño de niveles, editores de animaciones, uso de *Scripts*., que permiten visualizar y ajustar en tiempo real elementos del juego, facilitando al desarrollador poder concretar y visualizar sus ideas. (Butler, 2023)

Existen dos enfoques a la hora de elegir un motor de juegos: utilizar uno de terceros (como Unity o Unreal Engine), que requiere una licencia para utilizarlo, o se puede intentar crear uno desde cero. Los motores de terceros suelen estar diseñados para admitir tantos géneros diferentes de videojuegos como sea posible, pero si no llega a satisfacer las necesidades del proyecto, sería necesario crear uno propio. Sin embargo, los motores desarrollados desde cero requieren de una inversión considerable de tiempo y recursos (University of Silicon Valley, 2020).

6.2.2. Unity

El motor de juegos seleccionado para el proyecto es Unity, una opción muy popular entre los desarrolladores que crean videojuegos para sistemas operativos como Android, incluyendo dispositivos de realidad virtual (Sinicki, 2021).

Este motor de desarrollo 2D y 3D es además un excelente entorno para el desarrollo multiplataforma. Proporciona una amplia variedad de funciones para optimizar el funcionamiento de un juego, desde simulaciones físicas y renderizado 3D hasta la detección de colisiones, evitando así que los desarrolladores deban construir estos sistemas desde cero (Sinicki, 2021).

- **Asset Store:** Unity ofrece una tienda en la que los desarrolladores pueden cargar y compartir sus creaciones con la comunidad. Esta tienda resulta útil cuando necesitas agregar un elemento, pero resulta difícil invertir tiempo para crearlo desde cero, permitiendo así que el desarrollador se enfoque en el diseño de la experiencia y características clave de su visión.
- **Entorno de desarrollo integrado (IDE):** Además de ser un motor de juegos, Unity funciona como un IDE, proporcionando acceso a un entorno de desarrollo completo con todas las herramientas necesarias para el desarrollo en un solo lugar. Incluye un editor visual que permite a los desarrolladores interactuar con el mundo virtual mediante una interfaz gráfica, y también ofrece otras funciones útiles, como la capacidad de navegar en las carpetas del proyecto, la creación de animaciones y la posibilidad de integrarse con cualquier editor de texto para la codificación.
- **Lenguaje de programación:** Unity utiliza C# para gestionar el código y la lógica del juego, contando además con una amplia gama de clases y API integradas. Aunque es posible utilizar el motor sin la necesidad de manejar código, saber programar te da más opciones para lograr objetivos más avanzados. Además, C# es uno de los lenguajes de programación más accesibles para principiantes y una excelente introducción a la codificación.
- **Multiplataforma:** Este motor permite desarrollar juegos para diversas plataformas como: iOS, PC o incluso consolas de juegos, de manera sencilla. También ofrece una excelente integración con tecnologías más inmersivas como las XR (Sinicki, 2021).

XR Interaction Toolkit

El paquete *XR Interaction Toolkit* es un sistema de interacción de alto nivel que proporciona un *Framework*: para habilitar las interacciones 3D y de UI en Unity. Este paquete permite que las interacciones XR, como la manipulación de objetos y la navegación en entornos 3D, respondan a eventos de entrada (*inputs*) de Unity. Su núcleo es un conjunto de componentes básicos que permiten la interacción y un administrador que gestiona las interacciones entre estos elementos (Unity Technologies, s.f.).

6.2.3. Blender

Blender es un software de creación 3D de código abierto, que cubre todo el flujo de trabajo 3D, incluyendo modelado, *rigging*, animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento, edición de video e incluso creación de juegos (Blender Foundation, s.f.).

Blender, al ser una aplicación multiplataforma, funciona de manera óptima en Windows, Linux y Mac, proporcionando una experiencia uniforme gracias a que su interfaz utiliza OpenGL. Al ser un proyecto impulsado por la comunidad bajo la Licencia Pública General GNU (GPL), el público puede realizar cambios en el código fuente para añadir nuevas funcionalidades, corregir errores y mejorar la usabilidad. Esto convierte a Blender en una herramienta colaborativa totalmente gratuita, en la que cualquiera puede contribuir y participar para ayudar en su desarrollo (Blender Foundation, s.f.).

6.2.4. Agisoft Metashape

Agisoft Metashape es un software especializado en procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales para la generación de datos espaciales 3D. Este programa permite procesar imágenes obtenidas de cámaras RGB o multispectrales para obtener información espacial de alto valor en forma de nubes de puntos, modelos poligonales texturizados, ortomosaicos georreferenciados y modelos digitales de superficie y terreno (DSM/DTM) (Agisoft LLC, s.f.). Agisoft Metashape es aplicable en una alta variedad de campos:

- Topografía
- Cartografía
- Minería
- Canteras
- Agricultura
- Exploración submarina
- Arqueología
- Arquitectura
- Biología
- Documentación de interiores
- Medicina
- Diseño de juegos

En el desarrollo de este proyecto se utilizó el Diseño de Experiencias (XD) como metodología principal, la cual se centra en las emociones y percepciones de los usuarios, con el objetivo de conectar con ellos emocionalmente, asegurando que la experiencia sea funcional, intuitiva y memorable. La metodología XD se divide en 5 etapas:

1. Investigación
2. Definición
3. Ideación
4. Prototipado
5. Testeo

Como complemento, se incorporaron principios del *Design Thinking* por su enfoque centrado en resolver las necesidades de los usuarios a través de ideas innovadoras. Además, su naturaleza iterativa permitió una evolución constante del proyecto.

7.1. Investigación

En la etapa de investigación, se realizaron estudios dirigidos a dos grupos de usuarios clave: expertos en arqueología y consumidores casuales de contenido museológico.

- **Expertos en arqueología:** el objetivo de estudiar a este grupo fue comprender las problemáticas presentes en el ámbito de los museos en Guatemala y explorar posibles soluciones que aporten valor en su contexto profesional.

- **Consumidores casuales:** este grupo incluyó personas sin conocimientos especializados en arqueología, enfocándose en estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). A partir de las problemáticas identificadas, se analizó cómo las personas sin conocimientos especializados consumen contenido museológico y qué elementos podrían hacer el producto más atractivo para incentivar su interés y consumo.

7.1.1. Identificando la problemática en los museos en Guatemala

Con el objetivo de comprender mejor las necesidades y desafíos de los museos en Guatemala, se entrevistó a personas clave en el campo de la arqueología; cada una aportó distintas perspectivas sobre las problemáticas actuales. A continuación, se presentan los descubrimientos de estas entrevistas.

7.1.2. Entrevista con el Dr. Tomás Barrientos Quezada

El Dr. Tomás Barrientos Quezada, director del Departamento de Arqueología y Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas de la Universidad del Valle de Guatemala, compartió su perspectiva sobre las principales limitaciones que enfrentan los museos en el país, sobre todo en términos de conservación del patrimonio y acceso público a las colecciones.

Durante la conversación, el Dr. Barrientos destacó un problema recurrente en la gestión de reliquias arqueológicas: la falta de precisión en los registros e inventarios y la limitada accesibilidad a la información. Esto se debe a la desconfianza en los repositorios digitales, que aún no se perciben como plataformas seguras, y a las deficiencias para catalogar y conocer con exactitud la cantidad de piezas y los sitios arqueológicos registrados.

Ante esta problemática, surgió la propuesta de crear una base de datos digital que permita registrar todas las piezas de la universidad y presentarlas en un entorno digital. A partir de esta propuesta, se formuló un museo virtual en el que se pueda presentar información detallada de cada pieza y ofrecer una interacción segura con las piezas, donde el público pueda manipularlas, sin el riesgo de dañarlas. Otro desafío mencionado fue el espacio físico limitado: muchas piezas se encuentran resguardadas en bodegas, y su limitada administración dificulta el control preciso de las colecciones.

La conversación abordó además la importancia de la preservación de los objetos y la creación de experiencias inmersivas y atractivas para llegar a un público más amplio. La digitalización de las reliquias en un museo virtual permitiría no solo preservar el patrimonio cultural, sino también facilitar el acceso a la historia y cultura de Guatemala. Para enriquecer la experiencia inmersiva, se planteó el uso de tecnologías como VR y modelos 3D interactivos, permitiendo al usuario manipular las piezas sin riesgo a dañarlas. Esta propuesta representa una solución innovadora y pionera tanto en Guatemala como en Centroamérica en el ámbito museológico digital.

Entrevista con Jesús Andrés Recinos Sagastume

Jesús Andrés Recinos Sagastume, estudiante de la licenciatura en Arqueología, compartió su experiencia trabajando en el Departamento de Monumentos Prehispánicos y Coloniales (DEMOPRE). Durante la entrevista, Jesús resaltó diversas deficiencias en los museos públicos, especialmente aquellos gestionados por el Ministerio de Cultura y Deportes, que actualmente son los que presentan más deficiencias. Entre los problemas señalados está la falta de personal, el mal estado de la infraestructura (que genera una imagen triste del museo), el descuido en la conservación de las piezas y la escasa interactividad de las exposiciones, lo que genera que la experiencia resulte monótona y poco atractiva para los visitantes.

Jesús también señaló que la experiencia del visitante se ve afectada por la falta de rotación en las exhibiciones, ya que los museos ofrecen el mismo contenido, sin incorporar piezas temporales o especiales que podrían despertar mayor interés. Además, observó que la información presentada es muy técnica, asumiendo que los visitantes tienen conocimientos previos del tema, lo cual puede ocasionar que lleguen a ignorar las exposiciones y limitar su comprensión y aprendizaje.

Respecto a su tiempo trabajando en DEMOPRE, Jesús relató su experiencia en el Salón 3, un espacio clave en la gestión del patrimonio cultural, utilizado para almacenar todas las piezas recolectadas en excavaciones o investigaciones. Sin embargo, este salón funciona prácticamente como un depósito improvisado que no cumple con las condiciones adecuadas para el almacenamiento de bienes culturales, lo que expone las piezas a factores de deterioro. Además, mencionó que toda pieza que llega al Salón 3 “se pierde figurativamente”, debido a la falta de un control adecuado de registro. En consecuencia, muchas piezas de gran valor permanecen almacenadas y terminan siendo olvidadas, impidiendo que se aprovechen para exposiciones o investigaciones.

Investigación de campo en San Andrés Semetabaj

Con la información obtenida en las entrevistas anteriores, el siguiente paso fue una visita a San Andrés Semetabaj, donde se encuentra el Proyecto Regional Arqueológico Semetabaj y el Ecomuseo de San Andrés Semetabaj. Este proyecto cuenta con la participación activa de la UVG, lo cual facilita que los arqueólogos colaboren continuamente en el desarrollo del proyecto y tengan facilidades para la investigación en esa área.

En colaboración con los encargados del museo, se organizó un recorrido por el Proyecto Arqueológico Semetabaj y el Ecomuseo. Durante la visita, se concretó una entrevista con el guía del museo, quien compartió datos relevantes sobre el estado actual del proyecto y los desafíos relacionados con la preservación y exhibición del patrimonio cultural de la región.

Temas tratados en la entrevista con el guía del museo:

- **Desconexión entre la comunidad local y el museo:** a pesar de que el museo pertenece a la comunidad de San Andrés Semetabaj, la mayoría de los residentes no lo visitan. Un porcentaje significativo de la población ni siquiera sabe que el museo existe, y de aquellos que sí lo conocen, solo una pequeña parte mostró interés. Mencionó que, durante todo el año 2023, solo cuatro personas de la comunidad local lo habían visitado. La mayoría de los visitantes son extranjeros o estudiantes de otras regiones que asisten por motivos académicos o turísticos.
- **Impacto de los saqueos en el patrimonio:** los saqueos, en algunos casos, han llevado incluso a la destrucción parcial de estructuras, como templos. El último saqueo registrado ocurrió en las cercanías del templo 4, donde se extrajeron piezas arqueológicas sin permiso. Mencionó los esfuerzos realizados para recuperar las piezas saqueadas, pero han tenido resultados limitados. Además, debido a la falta de un inventario completo de los artefactos, señaló que algunas piezas desaparecidas en terrenos privados cercanos al proyecto arqueológico solo quedan registradas en fotografías, las cuales son la única prueba de su existencia.
- **Iniciativas de educación patrimonial:** destacó que uno de los esfuerzos principales para la preservación del patrimonio radica en la educación de los niños y jóvenes locales sobre la historia y la importancia de su cultura. El objetivo es que desarrollen una conexión con su pasado y un sentimiento de identidad. Para lograrlo, los materiales educativos deben ser accesibles y comprensibles, promoviendo el conocimiento arqueológico de manera que les resulte útil en su vida cotidiana.
- **Difusión cultural y turismo responsable:** uno de los objetivos es promover un turismo responsable, que les permita a los visitantes disfrutar del sitio sin dañar las estructuras.

7.1.3. Exploración del interés de los estudiantes de la UVG en museos

Con el objetivo de comprender mejor qué factores motivan a los estudiantes a visitar o evitar museos, así como su interés en experiencias museológicas virtuales, se diseñó un formulario dirigido a ellos. Este formulario fue respondido por 29 estudiantes de la UVG; no hubo criterios adicionales para la selección, se buscó profundizar en sus preferencias y percepciones en relación con los museos físicos y virtuales, incluyendo aspectos de interactividad, accesibilidad y relevancia de los recursos educativos. La elaboración del formulario contó con la asesoría de M.A. Claudia Judith Monzón, quien orientó el diseño de las preguntas para que estuvieran delimitadas y enfocadas en el desarrollo del producto cultural.

A partir de los datos del formulario, se pudo identificar varios patrones y preferencias de los participantes sobre museos físicos y virtuales. Aquí están algunos puntos clave observados (las respuestas detalladas pueden encontrarse en el anexo):

1. Frecuencia y motivos de visita

- La mayoría de los participantes han visitado un museo en los últimos 5 años, aunque mencionan que sus visitas son ocasionales y ocurren cuando surge la oportunidad. Esto sugiere que podría ser beneficioso incentivar más visitas mediante exposiciones más atractivas o accesibles.
- Los principales motivos que los llevan a visitar museos son el interés en las exposiciones temáticas, la interactividad y el atractivo general de las exhibiciones.
- Algunos participantes destacaron la importancia de que las exhibiciones cambien con el tiempo o incluyan exposiciones temporales, lo cual podría ser un incentivo para que regresen.

2. Razones de desinterés

- Aquellos que no encuentran atractivo visitar museos mencionan como razones principales la falta de interactividad, el descuido en las instalaciones, la escasa innovación y las exposiciones repetitivas. Estas observaciones coinciden con los comentarios previos de Jesús sobre el estado actual de algunos museos de Guatemala.

3. Preferencias en museos virtuales e interactividad

- La mayoría de los participantes muestra interés en museos de realidad virtual, especialmente en aquellas experiencias que integran temáticas específicas, elementos de gamificación y una inmersión interactiva.
- Además, valoran las experiencias que ofrecen funciones sociales, recursos educativos y un alto nivel de interactividad, tales como *tours* virtuales guiados, juegos educativos y talleres en línea.

4. Educación y accesibilidad

- La mayoría considera fundamental que tanto los museos físicos como los virtuales ofrezcan recursos educativos accesibles y fáciles de entender.
- La accesibilidad también es vista como un aspecto clave; los participantes expresan que esperan que los museos sean inclusivos y estén adaptados a diversas necesidades.

7.2. Definición

Después de recopilar toda la información relevante, el siguiente paso en el proceso es concretar una definición precisa del problema. Luego, utilizando herramientas de *Design Thinking*, como la técnica *How Might We* y el mapa de empatía, se establecen las bases para desarrollar soluciones innovadoras y centradas en el usuario, asegurando que el producto final responda tanto a las necesidades del público como a las problemáticas identificadas en el entorno de los museos.

7.2.1. Definición del problema

Los museos en Guatemala enfrentan múltiples desafíos relacionados con el sistema de registro e inventario de artefactos y la accesibilidad a la información. Estos problemas impactan tanto en la conservación del patrimonio cultural como en el interés del público hacia las exposiciones. A continuación, se describen los aspectos clave que contribuyen a esta problemática:

- **Desconfianza en los repositorios digitales**

Existe una resistencia entre los profesionales para confiar en sistemas digitales para el registro y almacenamiento de la información sobre piezas arqueológicas, debido a la percepción de que estos sistemas no son suficientemente seguros.

- **Accesibilidad limitada a las colecciones**

La accesibilidad física a las colecciones está restringida por el espacio limitado en las instalaciones, lo que obliga a almacenar muchas piezas en bodegas, como el caso del Salón 3. En estos lugares, la falta de una administración adecuada hace que las piezas se “pierdan figurativamente”, ya que quedan fuera del alcance para investigaciones o para exposiciones públicas. Además, estas piezas, olvidadas en depósitos, corren el riesgo de sufrir daño debido a prácticas de conservación deficientes.

- **Deficiencias en infraestructura y experiencia del visitante**

Algunos museos en Guatemala, especialmente aquellos gestionados por el MCD, presentan problemas de infraestructura que afectan a la conservación de las piezas, así como la calidad de la experiencia del visitante. La falta de personal para guiar a los visitantes y la presentación de la información de forma excesivamente técnica dificultan una comprensión accesible y limitan el aprendizaje sobre el contexto histórico y cultural de los artefactos.

- **Interactividad limitada y desinterés del público**

La falta de interactividad y la monotonía en las exhibiciones fueron identificadas como factores de desinterés en la encuesta dirigida a los estudiantes de la UVG. Expresaron que sus visitas a museos son ocasionales y que se sentirían más motivados a regresar si existieran exposiciones interactivas y temáticas. También manifestaron interés en que las exhibiciones se actualicen periódicamente y en la incorporación de experiencias inmersivas y virtuales.

7.2.2. *How might we?*

La técnica de *How might we* es fundamental en el *Design Thinking*, ya que abre la búsqueda de oportunidades una vez se comprendió a fondo el problema. En este caso, el proceso comenzó después de recopilar información sobre los usuarios y el contexto, con el objetivo de formular preguntas que inspiren ideas para resolver las problemáticas de los museos en Guatemala. Las preguntas generadas fueron las siguientes:

- ¿Cómo podríamos facilitar el acceso a la información sobre reliquias arqueológicas para superar la desconfianza en los repositorios digitales?
- ¿Cómo podríamos asegurar la preservación de artefactos antiguos frente a las deficiencias en infraestructura y prácticas de conservación?
- ¿Cómo podremos optimizar el uso del espacio limitado para permitir una exhibición más accesible de los artefactos?
- ¿Cómo podríamos diseñar exhibiciones más atractivas que aumenten el interés y la asistencia del público?
- ¿Cómo podríamos hacer las exhibiciones más interactivas y dinámicas para mejorar la experiencia de los visitantes?

Estas preguntas fueron esenciales para abrir el abanico de soluciones posibles, enfocando la creatividad en ideas que respondan directamente a los problemas identificados.

7.2.3. Idea candidata

Después de formular las preguntas HMW y generar diversas ideas, se llevó a cabo un proceso de selección para elegir a la mejor candidata, aquella con el mejor potencial para resolver los problemas identificados. Se seleccionó la siguiente como la mejor opción para avanzar a la siguiente fase del proceso de diseño de experiencias:

- **Crear repositorio digital que facilite el acceso a la información y que funcione como un museo virtual interactivo.**

Esta propuesta aborda tanto la necesidad de accesibilidad y confianza en repositorios digitales como la posibilidad de ofrecer una experiencia inmersiva y atractiva para el público objetivo. Además, el museo virtual contribuye directamente a la preservación de las piezas, al permitir su resguardo en formato digital, superando las limitaciones del espacio físico y minimizando el riesgo de deterioro.

7.2.4. Perfiles de usuario

Parte fundamental de la definición del problema es identificar las necesidades específicas de los usuarios. Para lograrlo, se crean personajes o perfiles que representan a los usuarios que interactuarán con el producto. En este proyecto, se utilizó el mapa de empatía como herramienta para comprender mejor a los usuarios.

El mapa de empatía es una representación visual que permite obtener una perspectiva más profunda de los deseos, pensamientos, comportamientos y necesidades de los usuarios. A continuación, se presentan los perfiles de usuarios clave que podrían beneficiarse del producto:

Mapa de empatía

Nombre: Marvin Harlem



Figura 18: Figura 18: Mapa de empatía del perfil profesional “Marvin Harlem” (experto en arqueología)

Mapa de empatía

Nombre: Esteban García

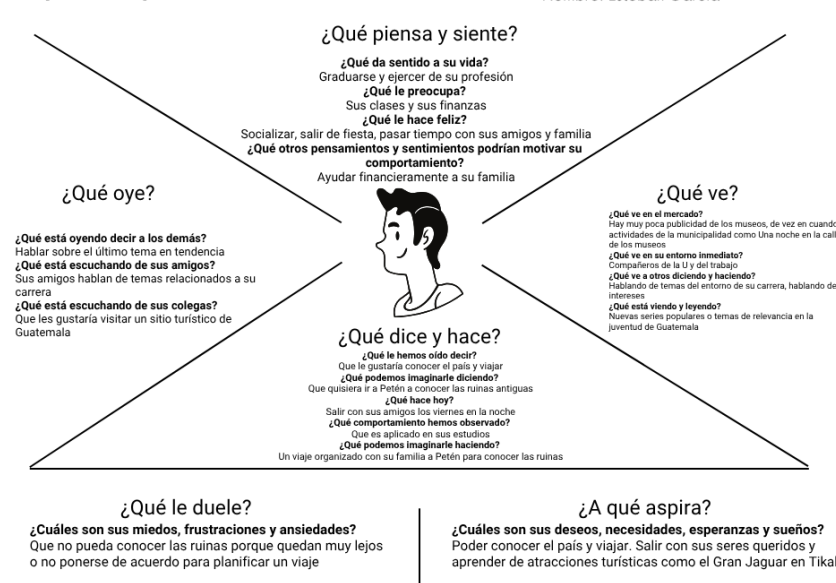


Figura 19: Mapa de empatía del perfil “Esteban García” (estudiante de la UVG, consumidor cultural casual)

Cada una de estas personas refleja diferentes necesidades y motivaciones, lo que permite que el diseño del repositorio digital y museo virtual responda a las necesidades específicas de cada grupo.

7.3. Ideación

Con los objetivos definidos y las necesidades de los usuarios delimitadas en la etapa anterior, después de seleccionar una idea candidata como base, el siguiente paso es generar las soluciones concretas que exploren distintas maneras de llevar esta idea a un nivel más avanzado. El propósito de esta fase es avanzar hacia una visión clara de cómo debería estructurarse el producto y realizar pruebas rápidas, que permitan observar la reacción del usuario antes de invertir más tiempo y recursos en un prototipo final.

En esta fase, se aplicó la metodología del *Design Sprint*, que facilita la iteración y selección de la solución más adecuada para responder a las problemáticas identificadas en el contexto de los museos. Esta metodología permite, además, “viajar al futuro” para anticipar cómo reaccionarán los usuarios ante la propuesta.

7.3.1. Lunes

Objetivo a largo plazo

El objetivo a largo plazo de este proyecto es establecer un museo virtual como una herramienta educativa y de investigación ampliamente reconocida y utilizada. En un año, nos gustaría que las instituciones educativas adopten el museo virtual como un recurso de aprendizaje, y que los museos valoren la importancia de preservar de manera digital los artefactos, buscando nuestra ayuda para virtualizar y expandir sus colecciones. Aspiramos a que el museo sea una herramienta completa que permita a los usuarios realizar investigaciones y encontrar la información de manera sencilla y organizada.

A cinco años, queremos que la tecnología esté suficientemente pulida para que cualquiera pueda acceder al museo virtual sin la necesidad de equipos avanzados, extendiéndolo incluso al interior del país. En esta etapa, esperamos que el museo se haya consolidado como un repositorio confiable utilizado regularmente por arqueólogos guatemaltecos como fuente de consulta.

Preguntas del *sprint*

Para identificar posibles obstáculos y validar posibles miedos, se plantearon las siguientes preguntas:

- ¿Cómo hacer que el museo sea un repositorio confiable tanto para museos como para expertos?
- ¿Cómo convertir el museo en una experiencia divertida e interactiva que incite el aprendizaje?
- ¿Cómo podría el museo llegar a ser una herramienta de investigación confiable, con datos precisos sobre artefactos antiguos?
- ¿Cómo lograr que el museo sea accesible para cualquier persona?

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo muestra los pasos clave que un nuevo usuario sigue para interactuar con el museo virtual y lograr el objetivo de obtener nuevos conocimientos. Este mapa, centrado en el cliente, representa una historia que comienza con el descubrimiento de la página del museo y finaliza con el aprendizaje adquirido tras la exploración de los artefactos.

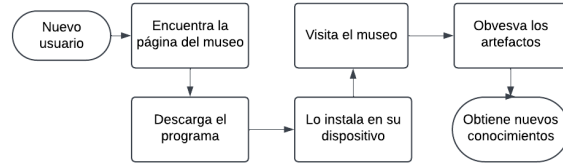


Figura 20: Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico

Notas HMW

Cada nota adhesiva reformula problemas como oportunidades, utilizando el formato de “HMW”. Estas notas fueron desarrolladas después de entrevistar a expertos del equipo y a expertos externos, explorando su visión y experiencia respecto a los clientes y el funcionamiento de la tecnología. Las preguntas se centraron en mejorar la experiencia del cliente dentro del museo virtual, con el objetivo de hacer la herramienta lo más confiable y cómoda posible.

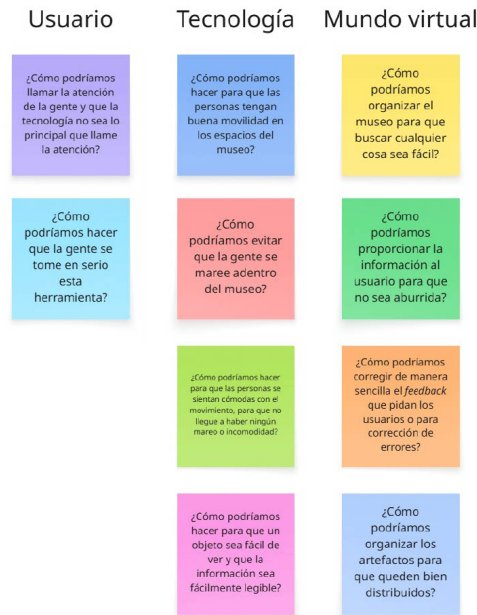


Figura 21: Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico

Las notas HMW fueron organizadas en tres temas principales:

- **Usuario:** se enfoca en cómo captar la atención del usuario y lograr que el usuario perciba la herramienta como confiable.
- **Tecnología:** busca soluciones para que la experiencia del usuario en el mundo virtual sea lo más cómoda posible, permitiéndole alcanzar sus objetivos de manera satisfactoria.
- **Mundo virtual:** se centra en la organización del contenido, la distribución de los artefactos, la facilidad de interacción con ellos y la presentación de la información para que sea tanto clara como entretenida.

Objetivo del mapa

Para finalizar el día lunes, es necesario que se deje seleccionado al cliente más importante del flujo y el momento crítico de su experiencia. En el flujo se seleccionó como momento más crítico la “Visita al Museo”, ya que es aquí donde se desarrolla toda la experiencia inmersiva. Este es el punto en el cual el usuario debe sentirse cómodo, cautivado y emocionalmente conectado con el museo, de manera que se motive a regresar a utilizar la herramienta.

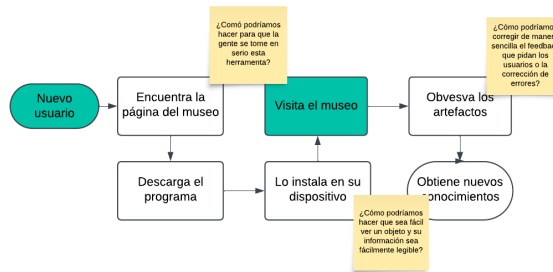


Figura 22: Flujo de un cliente nuevo que cumple con un objetivo específico

La pregunta clave que guía el objetivo del *sprint* es: ¿Cómo podríamos facilitar el acceso a la información sobre reliquias arqueológicas para superar la desconfianza en los repositorios digitales? Además, otra pregunta relevante es: ¿Cómo podríamos hacer las exhibiciones más interactivas y dinámicas para mejorar la experiencia de los visitantes?

Ambas preguntas se alinean con el objetivo del *sprint* y ayudan a enfocar los esfuerzos en mejorar aspectos críticos en la experiencia del usuario en el museo virtual, asegurando que se aborden temas clave como la accesibilidad, la calidad de la información, la interactividad y el atractivo general de la experiencia.

7.3.2. Martes

Lightning Demos

En esta fase, se exploraron ejemplos de soluciones desarrolladas por otras empresas para resolver problemas familiares. Los siguientes ejemplos ofrecen enfoques innovadores y útiles para la creación del repositorio digital accesible y atractivo:

- **Thingiverse:** un marketplace de objetos 3D donde los usuarios pueden descargar planos para impresión 3D. *Thingiverse* actúa como un repositorio digital que facilita el acceso a proyectos creados por otros. La estructura del programa ofrece ideas para un repositorio donde los usuarios puedan interactuar con el contenido del patrimonio cultural digital.

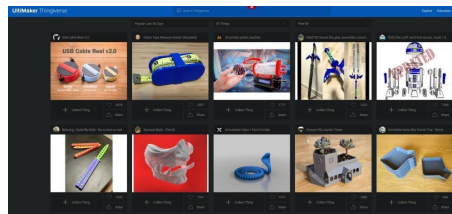


Figura 23: Marketplace de Thingiverse

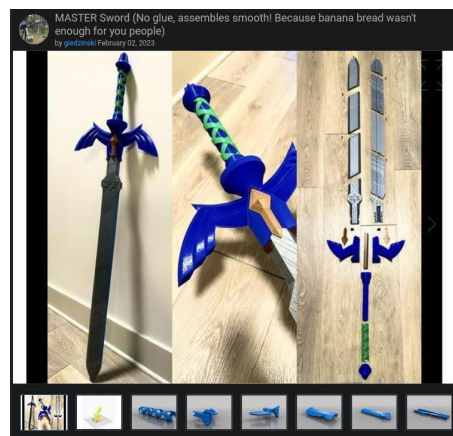


Figura 24: Visualización de un objeto específico en Thingiverse

- **Google Arts & Culture:** una plataforma de Google que permite explorar artículos y museos de todo el mundo a través de una experiencia similar a Google Earth. Este proyecto inspira el diseño de un museo virtual que no solo muestra información cultural, sino que permite a los usuarios navegar entre las exhibiciones de manera inmersiva.

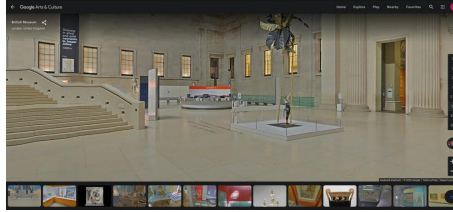


Figura 25: Entorno virtual del museo de Google Arts & Culture

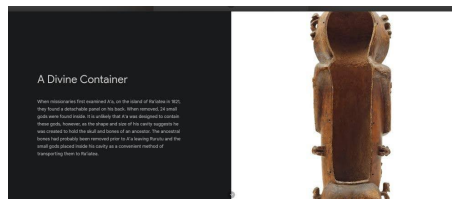


Figura 26: Visualización de artefacto en Google Arts & Culture

- ***The VR Museum of Fine Art***: un museo virtual diseñado para ser experimentado en VR, que permite ver obras a escala real (1:1). Aunque no incluye elementos de interactividad avanzada ni gamificación, sirve como inspiración para crear un entorno virtual inmersivo donde los usuarios puedan explorar artefactos en un formato de museo virtual.

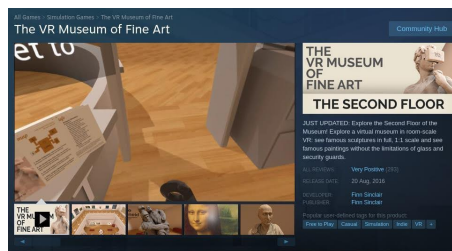


Figura 27: Página de la tienda de *VR Museum of Fine Art*

The Sketch

1. Notas

Con el objetivo a largo plazo en mente y apoyándose en el diagrama de flujo, las preguntas HMW y las ideas de los *Lightning Demos*, se generaron notas iniciales que fueron de utilidad en la búsqueda de la solución. Algunas de las notas personales fueron:

- Que sea una herramienta seria para los usuarios
- Comodidad de su uso
- Facilidad de uso
- Aprendizaje dinámico y divertido
- Buena distribución de los artefactos en el museo

- **Facilidad para que el usuario encuentre información**
- **Sistema de correcciones para realizar cambios de forma rápida**

2. Ideas

Con la ayuda de la pila de notas, se llenó una hoja de papel mediante bocetos rápidos. Estos bocetos permitieron dar forma a los pensamientos sobre cómo podrían estructurarse el repositorio virtual y qué elementos podrían ser clave para mejorar la experiencia del usuario. Las ideas no están en un orden específico y se enfocaron en proponer funciones que podrían estar integradas en el museo.

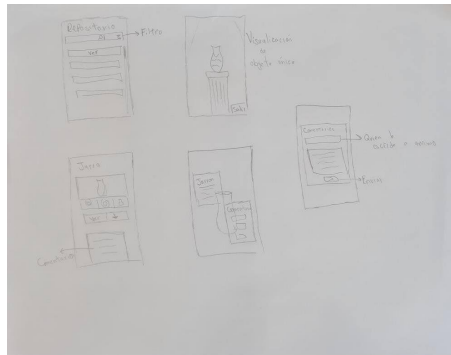


Figura 28: Bloc de notas de ideas

3. *Crazy 8s*

En esta fase se generó una idea por minuto durante ocho minutos, enfocadas en ideas prácticas y alcanzables que podrían contribuir a los objetivos del repositorio virtual. Cada boceto exploró elementos de gamificación para hacer la experiencia de usuario más atractiva y entretenida.

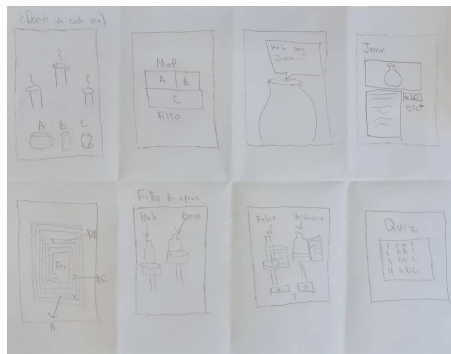


Figura 29: Ocho bocetos en miniatura

4. *Solution sketch*

El *solution sketch* se desarrolló como un guion gráfico en tres paneles, simulando la experiencia del usuario al interactuar con el museo virtual. Este guion ilustra el recorrido del usuario, desde la búsqueda de un artefacto hasta la visualización de su información.

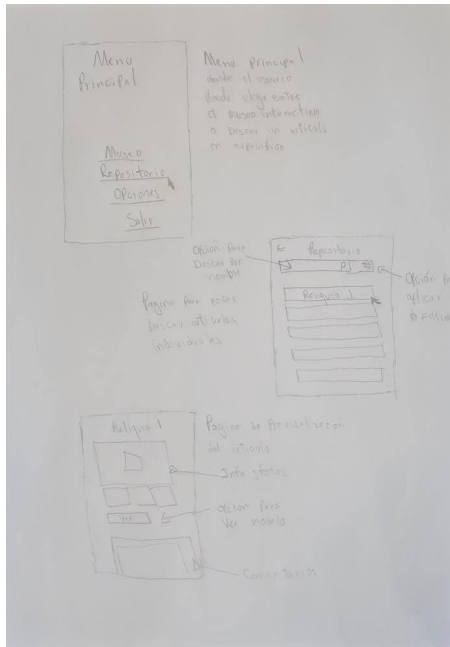


Figura 30: Guion gráfico del solution sketch

7.3.3. Miércoles

Para el miércoles, con las soluciones potenciales listas, el siguiente paso fue decidir cuál de estas ideas sería la mejor opción para crear el prototipo y luego probarlo con usuarios finales.

Solución seleccionada

La solución elegida fue crear un repositorio virtual que funcione como un museo virtual. Esta idea fue seleccionada por el potencial de ofrecer una experiencia inmersiva que podría captar la atención de expertos, así como de un público casual. La implementación incluirá:

- **Aprovechamiento de la VR:** la tecnología de realidad virtual permite crear un entorno 3D en el que el usuario puede interactuar con las piezas, aumentando la sensación de inmersión.
- **Presentación de la información:** la información sobre cada artefacto se presentará de una manera más inmersiva gracias a la tecnología VR, mejorando la comprensión del usuario y su interés.
- **Gamificación:** se implementarán elementos de gamificación para hacer la experiencia más atractiva, especialmente para los estudiantes de la UVG, quienes representan el público casual del museo.

7.3.4. Jueves

A partir de la solución seleccionada y del *storyboard* realizado en el *Solution Sketch*, se creó un prototipo realista con el propósito de simular un producto terminado para el cliente. El prototipo guía al usuario desde el menú principal hasta poder interactuar con las piezas arqueológicas, permitiéndole visualizar información y aprender datos curiosos sobre cada artefacto. Este enfoque facilita la obtención de datos útiles de los usuarios, lo que permite evaluar si la solución está bien encaminada. El prototipo interactivo puede encontrarse en el anexo.

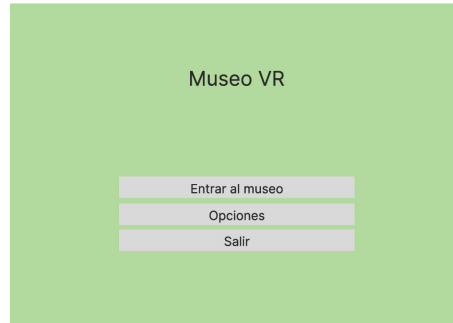


Figura 31: Menú principal del museo virtual



Figura 32: Espacio del museo virtual en el que el usuario puede explorar y visualizar artefactos

7.3.5. Viernes

El prototipo se puso a prueba con cuatro usuarios diferentes a través de entrevistas individuales, con el objetivo de obtener respuestas rápidas que ayudaran a pulir la solución antes de avanzar a la etapa de prototipado en la metodología de diseño de experiencias. Se realizaron cuatro entrevistas: una de forma presencial y tres virtuales. Las respuestas obtenidas por mensajería están disponibles en el anexo.

- Sara Estrada – Estudiante de diseño industrial



Figura 33: Prueba de prototipo Figma - Sara Estrada

- Alvhi Barcarcel - Docente en el área de desarrollo de software y computación
- José Mendoza – Estudiante de arqueología
- Javier Salazar – Estudiante de ciencias de la computación

7.3.6. Retroalimentación obtenida de las entrevistas

- Implementar un “modo enfoque” que permita visualizar los objetos 3D de forma individual para una mejor apreciación.
- Imitar la función de navegación de Google Street View para facilitar la movilidad en el museo.
- Agregar una mascota virtual en el museo para darle personalidad y hacer la experiencia más atractiva.
- Incluir narración en los objetos, para facilitar la accesibilidad a personas que puedan tener problemas para ver bien los textos.
- Implementar un método para mostrar la información de los objetos de manera controlada, evitando la saturación de información.
- Mejorar la ambientación en las áreas del museo para aumentar la inmersión.
- Agregar elementos visuales y narrativos en la información para hacer la experiencia más atractiva, incluyendo imágenes y una narrativa que conecte los objetos entre sí.

Toda la retroalimentación obtenida se enfocó en la experiencia del usuario, abordando directamente las problemáticas identificadas a lo largo de las distintas etapas del proyecto. Las recomendaciones van desde opciones de accesibilidad, como la conexión entre objetos para facilitar la comprensión de la historia de las piezas, hasta funciones pensadas para personas con dificultades visuales, como la narración de los contenidos. También se sugirieron elementos para enriquecer la interactividad, como un “modo enfoque” para visualizar mejor

los objetos y la incorporación de una mascota virtual en el museo. Además, se propusieron mejoras en la movilidad, inspiradas en Google Street View, para tener una navegación más intuitiva dentro del espacio virtual.

7.4. Prototipado

En esta etapa, se puso en práctica la solución en un entorno controlado mediante el desarrollo de un prototipo, aplicando los conceptos ideados en las fases anteriores. El objetivo es verificar si la idea es capaz de cumplir con las expectativas y detectar posibles ajustes o mejoras antes de llegar a la versión final. Este prototipo permite evaluar tanto la funcionalidad como la usabilidad del diseño.

7.4.1. Lista de las funciones mínimas necesarias para ser un producto funcional

Se utilizó *product backlog*, que es una lista de las funciones o elementos ordenados según prioridades, necesarios para cumplir con los objetivos y expectativas de un proyecto. A continuación, se detallan las funciones ordenadas por nivel de prioridad:

1. **Movimiento:** el desplazamiento es el elemento esencial del proyecto, ya que permite al usuario movilizarse dentro del entorno 3D. Sin esta función, el usuario no podría interactuar con el museo ni explorar el espacio virtual.

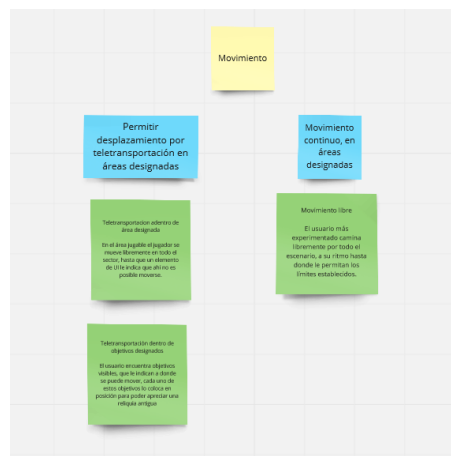


Figura 34: Opciones de movimiento para el usuario dentro del museo virtual

2. **Interacción con objetos:** la capacidad de interactuar con objetos es crucial para lograr exhibiciones interactivas, este es uno de los principales objetivos del proyecto. Esta función permite aplicar elementos de gamificación que hacen la experiencia del usuario más atractiva e interesante.

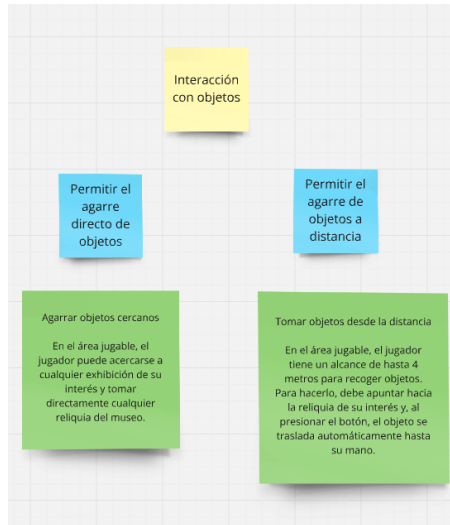


Figura 35: Opciones de interacción directa y a distancia con los objetos del museo

3. **Interacción con UI:** la interacción con la UI es fundamental para que el usuario pueda navegar por la interfaz y realizar gestiones dentro y fuera del museo. Esta función proporciona accesibilidad al menú y otros elementos de control.

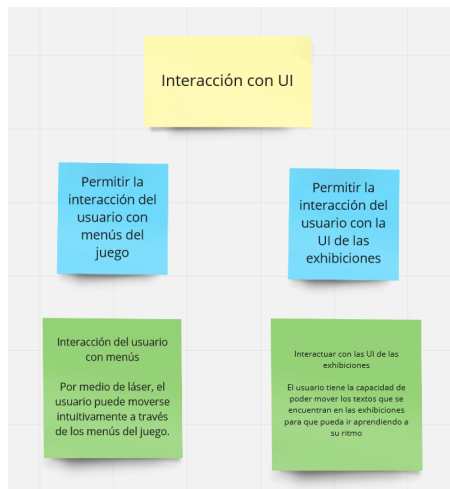


Figura 36: Opciones de interacción del usuario con los menús y la interfaz de las exhibiciones

7.4.2. Configuración inicial del proyecto

Para empezar el desarrollo en Unity, es fundamental realizar configuraciones previas que permitan que el visor VR sea detectado por el motor gráfico y sirvan como base para el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan los pasos y herramientas utilizadas en esta etapa. Para obtener información más detallada sobre cada paso y configuración, puedes consultar en el apartado de anexos.

1. Configuración del dispositivo de desarrollo

- Se eligió el Meta Quest 2 como visor de desarrollo debido a su accesibilidad y popularidad entre desarrolladores. Además, la Universidad del Valle de Guatemala dispone de varios de estos dispositivos en el departamento de computación, facilitando su uso para el proyecto. Para habilitar el desarrollo en el Quest 2, fue necesario activar el modo de desarrollador, lo cual permite la depuración y facilita la interacción con la computadora.

2. Configuración de Unity para desarrollar en dispositivos VR

- Se verificó la instalación del componente *Android Build: Support* en Unity, lo que permite la creación de compilaciones en formato APK, compatible con los dispositivos Android como las Quest 2.

3. Instalaciones necesarias

■ XR Plugin Management

Tras la instalación de este *plugin*, se seleccionó OpenXR en las opciones de administración de dispositivos VR. Esto asegura una mayor compatibilidad con diferentes visores en el mercado. Además, se eligieron diversos perfiles de controladores para garantizar la accesibilidad del museo en una variedad de dispositivos.

■ XR Interaction Toolkit

Esta herramienta agiliza el desarrollo al ofrecer componentes preprogramados para la creación de interacciones en VR, reduciendo la necesidad de programar cada elemento desde cero.

4. Assets utilizados en el proyecto

- Starter Assets
- Let's Make a VR Game Start Assets.unitypackage

7.4.3. Diseño de personaje controlable

Con la configuración inicial completa, el desarrollo del proyecto continuó al incorporar la presencia del usuario en el museo virtual. Se utilizó el recurso *XR origin* del *XR Interaction Toolkit*, que proporciona una estructura base para representar al usuario en VR, permitiendo la detección del visor así como la del controlador.

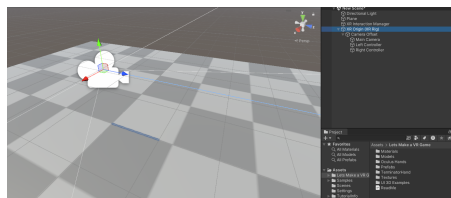


Figura 37: Presencia del usuario en el mundo virtual

Componente de las manos del jugador

Para mejorar la experiencia inmersiva y brindar retroalimentación visual de las acciones del jugador, se añadió un modelo de manos en el entorno. Este modelo no solo replica la posición y los movimientos del usuario, sino que también mejora significativamente la interacción con los elementos del entorno virtual.

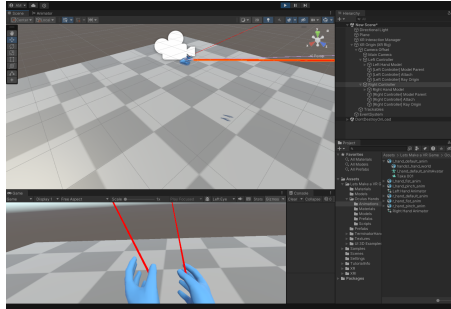


Figura 38: Presencia de las manos en el mundo virtual

Además de replicar los movimientos, se configuraron animaciones activadas por los botones *grip* y *trigger* de los controladores, que ofrecen retroalimentación visual al jugador de sus acciones.

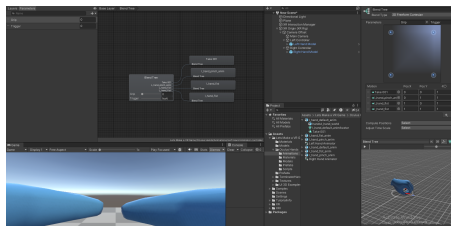


Figura 39: Sistema de animaciones del modelo de las manos

Movimiento

Para desarrollar el sistema de movimiento del usuario, se configuraron varias opciones de locomoción para adaptar la experiencia a diferentes niveles de familiaridad con la tecnología VR. Se evaluaron e implementaron las siguientes opciones:

- **Movimiento continuo:** orientado a usuarios experimentados, el movimiento continuo fue configurado para controlarse con el *joystick* izquierdo, es una opción que simula un desplazamiento sin interrupciones, por lo que puede provocar mareos para algunos usuarios.
- **Teletransportación:** para mejorar la accesibilidad y minimizar efectos de mareo, se implementó una opción de teletransportación utilizando un sistema de *raycasting* que permite al usuario seleccionar su destino en el espacio virtual. Esta función incluye:

- Área de teletransportación: donde el usuario puede moverse libremente dentro de zonas delimitadas en el entorno.
- Ancla de teletransportación: permite teletransportarse a puntos específicos, con posibilidad de ajustar automáticamente la rotación del usuario para mejorar el enfoque visual en objetivos particulares.

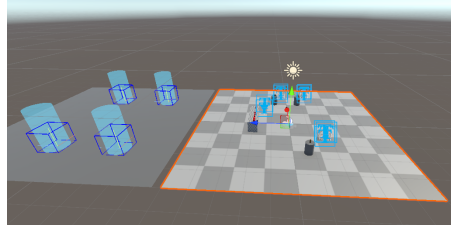


Figura 40: Áreas de teletransportación

- Rotación continua y por pasos: la rotación continua, aplicada al *joystick* derecho, simula un movimiento natural, similar a girar el cuello, para proporcionar una experiencia inmersiva para usuarios experimentados. Como alternativa, la rotación por pasos, que gira en intervalos de ángulos previamente definidos, se incluyó para ofrecer una opción más cómoda.

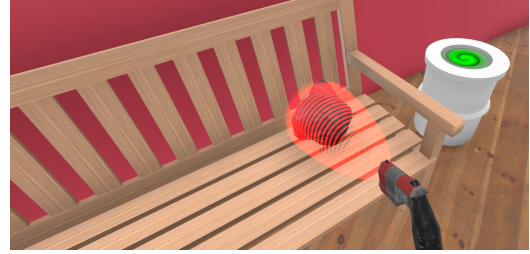
7.4.4. Interacción con objetos

Para implementar la interacción con los elementos del entorno, se configuraron distintos tipos de interacción según el tipo de objeto y la acción esperada. Estas interacciones se integraron en las manos del usuario, representadas dentro del *XR Origin*, permitiendo tanto la manipulación directa como la activación de funciones específicas.

- Interacción directa: este tipo de interacción permite al usuario agarrar y manipular objetos cercanos de forma natural. Se logró mediante un componente que se añade a cada controlador (mano), junto con un colisionador que detecta el contacto con objetos interactivos. Cuando se sostiene un objeto, el modelo de la mano se oculta automáticamente para mejorar la visibilidad del objeto manipulado.
- Interactable: para que un objeto pueda ser manipulado, debe tener asignado un componente de interacción junto con un colisionador que defina sus límites físicos. Estos objetos pueden recogerse utilizando el botón *grip* del controlador. Algunos de ellos cuentan con funciones adicionales:
 - Activación en mano: ciertos objetos, como la pistola excavadora, ejecutan una acción secundaria cuando están sostenidos y se presiona el botón *trigger*. Por ejemplo, esta herramienta permite liberar elementos encerrados dentro de una roca, extendiendo las posibilidades de interacción en el entorno.



(a) Uso de la pistola excavadora



(b) Activación de la pistola excavadora

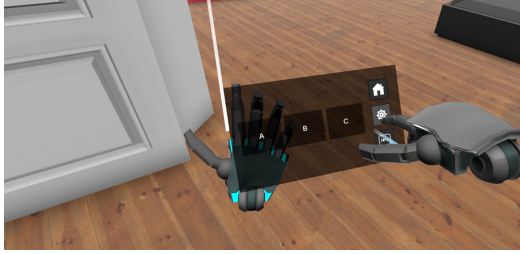
Figura 41: Uso y activación de la pistola excavadora

- Interacción por activación: algunos objetos no se manipulan directamente, sino que se activan al ser presionados, como botones o interruptores. Para estos casos, se añadió el componente *Poke Interactor* a las manos del usuario. Además, con el fin de mejorar la precisión y la experiencia de uso, solo el dedo índice está habilitado para realizar estas activaciones. Esto permite simular de forma más natural el gesto de presionar un botón y reduce el riesgo de interacciones accidentales.

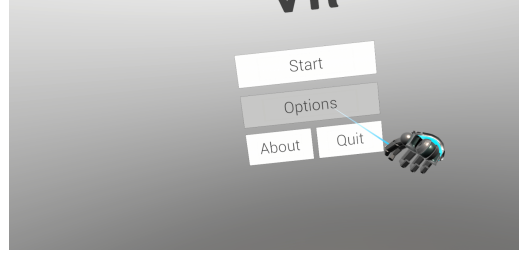
7.4.5. Interacción con interfaz de usuario (UI)

Para implementar la interacción con elementos de la interfaz de usuario (UI), se configuraron distintos tipos de interacción con el objetivo de adaptarse de forma natural a las acciones que un usuario puede realizar dentro del entorno virtual. Estas interacciones se integraron en las manos del usuario, permitiendo tanto la interacción a distancia como la manipulación directa de los elementos de la UI.

- A distancia: permite al usuario interactuar con la UI sin la necesidad de que haya contacto físico. Se implementó mediante un sistema de *raycasting* cuyo origen son las manos del usuario, lo que le permite señalar y activar componentes a la distancia. Para que los elementos de la UI sean interactuables, se configuró el componente *Graphic Raycaster* en los canvas correspondientes. Esta configuración permite interactuar con menús, presionando botones, mover sliders e incluso interactuar con el texto informativo de las exhibiciones.
- Directa: esta modalidad permite al usuario interactuar físicamente con la UI utilizando la punta del dedo, simulando una pantalla táctil. Para ello se empleó el componente *Poke Interactor* en la mano del usuario, lo cual habilita la detección de contacto directo con los elementos UI.



(a) Interacción directa con la UI



(b) Interacción a distancia con la UI

Figura 42: Tipos de interacción con la UI

7.5. Testeo

Esta fase consistió en realizar pruebas con los usuarios para evaluar la efectividad y experiencia del prototipo. El objetivo fue identificar áreas de mejora, evaluar la usabilidad, interactividad y efectividad de la presentación de información. Durante el testeo, se trabajó de manera iterativa: después de cada ronda de retroalimentación, se implementaron ajustes que luego fueron validados con nuevos grupos de usuarios.

Para la validación, se conformaron dos grupos principales de usuarios: consumidores casuales y expertos en arqueología y desarrollo de videojuegos. Los expertos fueron conformados por dos investigadores del CIAA y una docente de la Universidad del Valle de Guatemala, reconocida como principal exponente en el desarrollo de videojuegos en el país.

Los hallazgos detallados, así como las observaciones específicas de los distintos perfiles de usuarios, se exponen en el siguiente capítulo, dedicado a la presentación y análisis de los resultados obtenidos.

8.1. Validación con consumidores casuales

8.1.1. Feria de universidades en el Liceo Guatemala 2024

Las validaciones con este grupo de diez estudiantes se realizaron durante la feria organizada por el colegio Liceo Guatemala, donde cada universidad tuvo oportunidad de promocionarse. En el área de computación, presenté mi proyecto y obtuve retroalimentación valiosa, que fue utilizada para desarrollar la segunda versión del prototipo (Prototipo 2), una versión mejorada basada en los comentarios recibidos. Este Prototipo 2 fue el que se presentó posteriormente en un segundo grupo de validaciones.

Observaciones y retroalimentación

- **¿Qué fue lo que más te gustó de la experiencia?**

La mayoría de participantes destacó la experiencia inmersiva y la posibilidad de interactuar con los objetos arqueológicos de manera virtual, algo que no es posible en un museo físico. Les gustó la precisión y los detalles de los objetos, así como la sensación de “estar ahí”, considerada uno de los aspectos más atractivos de la experiencia virtual. También mencionaron que esta interacción directa generó una conexión emocional y una sensación de novedad que enriqueció la experiencia.

- **¿Qué le cambiarías o qué no te gustó?**

Una gran parte del grupo evaluado mencionó aspectos técnicos que les resultaron incómodos, especialmente los controles de teletransporte y el movimiento continuo, que provocó mareos en algunos usuarios. Hubo un consenso general en mejorar la interfaz

del control. Además, los estudiantes sugirieron la incorporación de contenido visual y contextual adicional para las piezas. Aunque entendieron que era un prototipo, señalaron que el diseño del entorno era básico y expresaron que un diseño más elaborado podría mejorar la sensación de inmersión.

- **¿Qué te haría volver a visitar el museo virtual?**

El grupo mostró interés en que la experiencia ofrezca una mayor variedad y sea más enriquecedora, sugiriendo la adición de más objetos y una colección ampliada. También recomendaron actividades interactivas adicionales como minijuegos, o incluso agregar videos explicativos.

8.1.2. La Experiencia UVG 2024

En este evento organizado por la UVG, se realizó una validación del Prototipo 2 (versión mejorada) con un grupo de dieciocho estudiantes. Esta nueva versión incluía más elementos de gamificación y actividades interactivas, además de una mini misión que los estudiantes debían completar.

Observaciones y retroalimentación

- **¿Qué te gustó de la experiencia?** Uno de los aspectos más mencionados por los participantes fue la interactividad con las piezas, destacando la posibilidad de manipular objetos históricos sin riesgo a dañarlos. Apreciaron también el alto nivel de detalle en las piezas digitales, lo que daba una sensación de autenticidad y les permitía ver las formas de una manera que en un museo tradicional no podrían.

En términos de inmersión, varios participantes mencionaron que la realidad virtual les permitía ver y explorar objetos desde ángulos inusuales, o incluso desde dentro de la pieza, que era completamente nuevo para ellos. Este nivel de inmersión les ofreció una perspectiva innovadora, describiendo la experiencia como “están en otro mundo”, lo que ayudó a que se conectaran emocionalmente con el contenido.

- **¿Qué no te gustó o qué mejorarías?**

Aunque los usuarios se adaptaron a los controles después de un tiempo, algunos comentaron que al inicio tuvieron dificultades para interactuar con los objetos. A veces, intentar agarrar una pieza o moverla no siempre respondía como ellos esperaban. Otros mencionaron que se sentían desorientados al usar la función de teletransporte o al girarse en el entorno; muchas veces no tenían claro a dónde estaban mirando tras completar un movimiento.

Algunos participantes también indicaron que, aunque las piezas estaban bien detalladas, el espacio en el que se encontraban se sentía vacío, carecía de elementos decorativos, lo que reducía la sensación de inmersión. Consideraron que el ambiente debería contener elementos arquitectónicos propios de un museo, como paredes decoradas, iluminación que resalte las piezas y un entorno cerrado.

- **¿Cómo te sentiste usando los controles y moviéndote en el entorno virtual?**

La mayoría de usuarios notó que, después de unos minutos, los controles se volvían intuitivos. Sin embargo, para aquellos que usaban la Realidad Virtual por primera vez, la experiencia fue un poco confusa al inicio, y expresaron que les gustaría tener un tutorial o guía breve sobre cómo utilizar cada control y navegar en el entorno.

- **¿Qué agregarías para hacer la experiencia más atractiva o para volver a visitarla?**

- **Contenido educativo e interactivo:** Los usuarios mostraron interés en recibir información adicional sobre las piezas que estaban observando. Algunos sugirieron agregar descripciones en audio, botones interactivos con datos históricos o incluso actividades educativas que inviten a aprender.
- **Variedad de escenarios y ambientación:** Muchos entrevistados expresaron que les gustaría ver diferentes ambientes dentro del museo virtual. Se mencionó la posibilidad de acceder a secciones temáticas con exhibiciones. Algunos mencionaron crear entornos históricos, como una sala dedicada a la cultura Maya.

8.2. Grupo de expertos

8.2.1. Dr. Ernesto Arredondo Leiva - Investigador CIAA

La validación con el Dr. Ernesto Arredondo Leiva tuvo como objetivo asegurar que el proyecto respete y valore el patrimonio cultural maya, ya que cualquier falta de respeto podría generar inconformidad entre diversos grupos. El Dr. Arredondo es el representante de las piezas del Ecomuseo de San Andrés Semetabaj y enfatizó la importancia de ser cuidadosos con la representación cultural para evitar malentendidos.



Figura 43: Dr. Ernesto Arredondo Leiva, investigador del CIAA

Retroalimentación y sugerencias

- Aseguró que, para que el museo respete y represente adecuadamente los elementos culturales mayas sin malinterpretarlos o trivializarlos, es fundamental obtener retroalimentación de arqueólogos que sean miembros de la comunidad maya.

- Comentó que recoger impresiones de diferentes grupos ayudaría a asegurar que es relevante y adecuado para el público amplio.
- Recomendó que, además de piezas arqueológicas, se incluyan personajes representativos de la cultura de San Andrés Semetabaj, integrando así en el museo elementos que no solo sean piezas arqueológicas.

8.2.2. M.A. Claudia Judith Monzón Sosa - Investigadora CIAA

Como experta en museología, la validación con M.A. Claudia Judith Monzón Sosa fue fundamental para obtener una perspectiva profesional sobre el museo virtual. Su evaluación proporcionó una opinión sincera sobre el valor del museo como herramienta educativa y su potencial para atraer a nuevos públicos interesados en conocimientos culturales.



Figura 44: M.A. Claudia Judith Monzón Sosa, investigadora del CIAA

Retroalimentación y sugerencias

- Propuso que el diseño del museo complemente al museo físico en lugar de crear un “museo alterno”.
- Sugirió crear un guion de recorrido, en lugar de un guion museográfico detallado, ya que es el encargado de delinear la experiencia del usuario de manera intuitiva y accesible. El guion sería la guía para que los usuarios puedan navegar en el espacio de forma lógica y atractiva.
- Ayudó en la justificación del proyecto, para que sea percibido como una herramienta útil y necesaria en el contexto museológico guatemalteco. Mencionó que se debía posicionar el proyecto como una solución real para la preservación del patrimonio.

8.2.3. Ing. Alhvi Romancina Balcárcel

Como referente en el mundo de los videojuegos en Guatemala, la validación con la Ing. Alhvi Romancina Balcárcel fue clave para evaluar si el diseño y la propuesta del museo virtual cumplían con los estándares de un videojuego atractivo y funcional.



Figura 45: Ing. Alhvi Romancina Balcárcel, experta en videojuegos.

Retroalimentación y sugerencias

- Alhvi mencionó que algunas mecánicas del museo podrían ser controversiales para los arqueólogos. Esta observación motivó una entrevista con el Dr. Arredondo para validar los aspectos culturales y la cultura representada.
- Se planteó la posibilidad de realizar una tercera prueba con usuarios, esta vez ya en un entorno que simule un museo, en lugar del entorno básico empleado en los dos prototipos anteriores. El objetivo de esta nueva prueba es observar cómo los usuarios interactúan en un entorno más realista y cerrado que simule la experiencia de navegación en un museo real.
- Brindó observaciones sobre las interfaces gráficas, sugiriendo que estas podrían rotar para mantenerse en un ángulo óptimo respecto al usuario. También destacó la importancia del tamaño y legibilidad de la fuente para asegurar que la interfaz sea clara y accesible.

- Para asegurar que el proyecto se convierta en una herramienta confiable y ética, es fundamental mantener siempre un enfoque respetuoso hacia el patrimonio cultural.
- Esta iniciativa permite que el público en general tenga acceso al patrimonio cultural sin limitaciones físicas. Contribuye directamente a la democratización de la cultura, apoyando directamente en que más personas puedan interesarse en la historia de Guatemala.
- La tecnología de realidad virtual ha probado ser efectiva para captar la atención y enriquecer la experiencia de los visitantes, permitiéndoles interactuar de forma directa con el patrimonio cultural. En el entorno virtual, esta tecnología facilita una conexión más profunda y significativa con el contenido.
- El museo virtual tiene potencia de convertirse en un modelo de referencia para otras instituciones, mostrando cómo la digitalización de piezas contribuye de manera efectiva a la conservación del patrimonio cultural.
- Incorporar elementos de gamificación, como mini desafíos y actividades interactivas, resultó ser una estrategia muy efectiva para captar la atención de los visitantes y motivarlos a involucrarse más. Los comentarios que recibimos muestran que estas dinámicas no solo hacen que la experiencia sea más entretenida, sino que también aumentan el deseo de volver a participar, convirtiendo al museo en un espacio tanto lúdico como educativo.
- El museo virtual, desarrollado con la colaboración de estudiantes de arqueología y revisado por expertos en patrimonio, museología y videojuegos, resultó ser una herramienta confiable, ética y académicamente sólida. Gracias a este trabajo interdisciplinario, el contenido ofrece un alto valor educativo y científico, lo que permite que investigadores e instituciones culturales lo utilicen como una referencia confiable.

- Al momento de implementar elementos de gamificación en un proyecto destinado a respetar el patrimonio cultural, se debe tener mucho cuidado porque existe el riesgo de faltar el respeto a las comunidades asociadas. La validación con personas de dichas comunidades es esencial si se desea expandir el proyecto, para asegurar que no existan percepciones negativas.
- Para continuar el proyecto, se recomienda alojarlo en un repositorio digital accesible en línea, en lugar de mantenerlo en un entorno local. Esto permitiría un acceso mucho más amplio a las piezas y al contenido cultural.
- Para llegar a un público más amplio se debe adoptar un enfoque más accesible. Actualmente, el público objetivo son estudiantes de la UVG, pero si se desea incluir personas de diferentes clases sociales, niveles educativos o edades, es importante diseñar experiencias que ellos también puedan disfrutar. Esto implica adaptar tanto el hardware como el software, ya que algunos usuarios requieren instrucciones adicionales para entender el uso del visor y la navegación en el entorno virtual.
- Aprovechar esta tecnología para preservar diversos aspectos culturales, como la vestimenta, tradiciones, monumentos, creando un repositorio que sirva como método de difusión más amplio del legado cultural.

- Acevedo-Merlano, Á., & Zaccaro, Z. O. (2021). Videojuegos y subjetividades: Una reflexión desde Hispanoamérica. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 27(4). <https://www.redalyc.org/journal/280/28069360029/>
- Agisoft LLC. (s.f.). *Metashape 2.1*. https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf
- Albertmauri. (2023). *3 key UI design concepts for VR and AR apps*. <https://uxdesign.cc/3-key-concepts-for-vr-apps-bdd3ddc9e6aa>
- Anastasia. (2023, enero). *How Is Photogrammetry Used in Gaming Industry?* <https://ejaw.net/how-is-photogrammetry-used-in-gaming-industry/>
- Arámburo, J., & Urzua, D. (2020). Realidad virtual y aumentada: El museo itinerante interactivo. En *Cultura participativa en museos tecno-creativos* (pp. 231-232, 236). ARQUITÓNICA.
- Avendaño, B. S. (2021). *Herramientas Básicas para El Diseño de Un Guion de Un Recorrido Turístico*. <https://www.scribd.com/document/518091158/Herramientas-basicas-para-el-diseno-de-un-guion-de-un-recorrido-turistico>
- Blender Foundation. (s.f.). *About Blender*. <https://www.blender.org/about/>
- Blippar. (2016). *What's the Difference Between Virtual Reality and Augmented Reality?* <https://www.blippar.com/blog/2016/05/12/whats-difference-between-virtual-reality-and-augmented-reality>
- Butler, S. (2023, mayo). *What is a Game Engine?* <https://www.howtogeek.com/888619/what-is-a-game-engine/>
- Choy, L. (2023, septiembre). *AMG-ICOM Guatemala manifiestan preocupación por situación de los museos en el país*. <https://www.prensalibre.com/vida/escenario/amg-icom-guatemala-manifiestan-preocupacion-por-situacion-de-los-museos-en-el-pais/>
- CYBERSTREAM. (2024). *Guía completa sobre el diseño de experiencias: concepto y aplicaciones*. <https://www.byronvargas.com/web/que-es-disenar-una-experiencia/>
- DCA, R. (2017, mayo). *DIPLOMÁTICAS“Queremos rescatar los espacios culturales”*. <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/queremos-rescatar-los-espacios-culturales/>
- Desvallées, A., & Mairesse, F. (2010). *Conceptos claves de museología*. Armand Colin.

- Encyclopaedia Britannica. (2023). *Virtual Reality*. <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>
- Gannam, H. C., & de Uslar Alexander, E. (2019). *Manual de Diseño y Evaluación de la Interpretación en los Museos* (Primera edición digital). Fondo Nacional para la Cultura y las Artes (FONCA).
- Geodetic Systems, Inc. (2019). *Basics of Photogrammetry* (Informe técnico). Geodetic Systems. <https://www.geodetic.com/basics-of-photogrammetry>
- Hamidli, N. (2023). Introduction to UI/UX Design: Key Concepts and Principles. *Baku Engineering University, Information Technologies (SABAH groups)*.
- Han, E. (2022). *What Is Design Thinking & Why Is It Important?* <https://online.hbs.edu/blog/post/what-is-design-thinking>
- Interaction Design Foundation. (s.f.-a). *Design Thinking (DT)*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking>
- Interaction Design Foundation. (s.f.-b). *Usability*. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/usability>
- Kavanagh, G. (Ed.). (2005). *Museum Provision and Professionalism* (1st). Routledge.
- Knapp, J. (s.f.). *The Design Sprint*. The Sprint Book. <https://www.thesprintbook.com/the-design-sprint>
- Llamas, A. (2023, 17 de octubre). ¿A cuánto asciende el monto de daños causados en Portal de La Sexta? *Soy502*. <https://www.soy502.com/articulo/este-monto-danos-causados-portal-sexta-101566>
- Los Pobres, A. (2021, 9 de abril). ¿Qué es la preservación de videojuegos y por qué es importante? <https://tecnoloco.istocks.club/que-es-la-preservacion-de-videojuegos-y-por-que-es-importante/2021-04-09/>
- Mancilla, E. (2023, 29 de abril). *Diseño de experiencia: la mentalidad detrás de los productos, los servicios y las soluciones*. <https://blog.invgate.com/es/disenio-de-experiencia>
- Marroquín, P. (2024). Fotogrametría Taller [Material no publicado]. Taller impartido por el Ministerio de Cultura y Deportes de Guatemala (MCD).
- Martínez, J. A. P. (2023). ¿Qué es un guion museológico? *Boletín Museos*, (1).
- Marty, P. F. (2007). Museum Websites and Museum Visitors: Before and After the Museum Visit. *Museum Management and Curatorship*, 22(4), 337-360. <https://doi.org/10.1080/09647770701757708>
- Mosco Jaimes, A. (2018). Un modelo flexible. En *Curaduría interpretativa: un modelo para la planeación y desarrollo de exposiciones*. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- Pangburn, D. (2018, 30 de julio). *How the Smithsonian is turning its art exhibitions into virtual reality experiences*. Fast Company. <https://www.fastcompany.com/90213035/how-the-smithsonian-is-turning-its-art-exhibitions-into-virtual-reality-experiences>
- Peek Pro. (2023). *How to Create an Immersive Experience: A Definitive Guide*. <https://www.peekpro.com/blog/create-an-immersive-experience>
- Restrepo, P. D., & Carrizosa, A. (2000). Manual básico de montaje museográfico. *Ministerio de Cultura, Museo Nacional de Colombia, Red Nacional de Museos*. <https://www.iber museos.org/recursos/documentos/manual-basico-de-montaje-museografico/>
- Richardson, J. (2023). *Virtual Reality is a big trend in museums, but what are the best examples of museums using VR?* <https://www.museumnext.com/article/how-museums-are-using-virtual-reality/>
- Rodríguez, P. (2022, marzo). *Los videojuegos ya son patrimonio cultural por ley: los desarrollados en España entrarán en la Biblioteca Nacional*. <https://www.xataka.com/>

- videojuegos / videojuegos-patrimonio-cultural-ley-desarrollados-espana-entraran-biblioteca-nacional
- Schenk, T. (2005). *Introduction to Photogrammetry* [Accedido: Agosto 20, 2024]. https://www.academia.edu/38516901/Introduction_to_Photogrammetry
- Schweibenz, W. (2019). The Virtual Museum: An Overview of Its Origins, Concepts, and Terminology. *The Museum Review*, 4(1), 1-20. https://static1.squarespace.com/static/578a4d33e4fcb586152bc72d/t/5d4f3e3faa513c0001557c28/1565474398047/TMR_vol4no1_Schweibenz.pdf
- Sinicki, A. (2021, marzo). *What is Unity? Everything you need to know*. <https://www.androidauthority.com/what-is-unity-1131558/>
- SomosGuate. (2020, mayo). *Museos y centros culturales de Guatemala*. <https://www.somosguate.com/museos-y-centros-culturales-de-guatemala/>
- Unity Technologies. (2023). *Welcome to the Pathway*. <https://learn.unity.com/tutorial/welcome-to-the-pathway?uv=2022.3&pathwayId=627c12d8edbc2a75333b9185&missionId=62554983edbc2a76a27486cb>
- Unity Technologies. (s.f.). *XR Interaction Toolkit*. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@0.9/manual/index.html>
- Universidad de Alicante. (2016). *DAMA. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*. <https://web.ua.es/es/dama/>
- University of Silicon Valley. (2020, octubre). *What is a Game Engine?* Consultado el 23 de octubre de 2023, desde <https://usv.edu/blog/what-is-a-game-engine/>
- Vinney, C. (2023). *UX Design for VR (Virtual Reality): Creating Immersive User Experiences*. <https://www.uxdesigninstitute.com/blog/ux-for-vr/>
- Vlasenko, K. V., Lovianova, I. V., Volkov, S. V., Sitak, I. V., Chumak, O. O., Krasnoshchok, A. V., Bohdanova, N. G., & Semerikov, S. O. (2022). UI/UX design of educational on-line courses. *CTE Workshop Proceedings, Vol. 9: CTE-2021*, 184-199.

12.1. Enlace al prototipo

Repositorio del museo

12.2. Evolución de los prototipos desarrollados

Durante el proceso de desarrollo y validación del museo virtual, se diseñaron tres versiones del prototipo. Cada una de ellas fue creada en respuesta a la retroalimentación de los usuarios y especialistas, con el objetivo de mejorar la experiencia general. A continuación, se presentan los enlaces a los recursos disponibles que muestran la evolución del proyecto.

12.2.1. Prototipo 1 – Versión inicial

Prototipo inicial/Unity/Video

Este prototipo fue presentado durante la feria del Liceo Guatemala. Sirvió para recopilar las primeras observaciones y sentar las bases del diseño general.

12.2.2. Prototipo 2 – Versión mejorada

Prototipo mejorado v2/Unity/Video

Resultado de las observaciones recogidas en la primera prueba, este prototipo incorpora mejoras en interactividad, ambientación e inclusión de contenido gamificado. Fue validado en la actividad Experiencia UVG.

12.2.3. Prototipo 3 – Versión con entorno cerrado

Demo final en Youtube

Esta versión fue desarrollada en respuesta a las sugerencias recibidas durante la validación con expertos, quienes recomendaron crear un entorno cerrado que simule un museo físico real. A diferencia de las versiones anteriores, que se desarrollaron en espacios abiertos o básicos, este prototipo incorpora una ambientación más estructurada, con elementos decorativos, iluminación dirigida y arquitectura que refuerza la sensación de inmersión. El objetivo principal de esta iteración fue observar cómo los usuarios interactúan dentro de un espacio más realista y evaluar si esto mejora la orientación, la comprensión del recorrido y el atractivo general de la experiencia.

12.3. Consentimiento informado

Acceso a consentimiento informado

12.4. Respuestas del cuestionario que explora el interés de los estudiantes de la UVG en museos

Acceso a las respuestas del formulario

12.5. Prototipo final *Sprint design*

12.5.1. Prototipo funcional

Prototipo figma

12.5.2. Pruebas con usuarios del prototipo final

Imágenes de entrevistas individuales

12.6. Fotografías de validaciones con usuarios prototipo final

12.6.1. Validaciones Experiencia UVG 2024

Pruebas de usuario

12.6.2. Validaciones Liceo Guatemala

Pruebas de usuario

12.7. Guía para empezar en el desarrollo VR

12.7.1. Configuración inicial para proyecto VR

Configuración del dispositivo de desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se eligió el dispositivo Meta Quest 2, uno de los dispositivos de Realidad Virtual más accesibles actualmente en el mercado. Además, la Universidad del Valle de Guatemala facilita el acceso a esta herramienta, ya que el departamento de computación cuenta con seis dispositivos disponibles para los estudiantes.



Figura 46: Oculus Meta Quest 2 y sus controladores

El requisito necesario para poder desarrollar en las Quest 2 es habilitar el **modo desarrollador**, que permite hacer *Debugging*: al conectar el dispositivo a una computadora. Para activar el modo desarrollador, primero deberás verificar tu cuenta de Meta y crear una organización. Luego, desde la aplicación móvil de Meta, selecciona el dispositivo que quieres habilitar y activa el modo desarrollador.

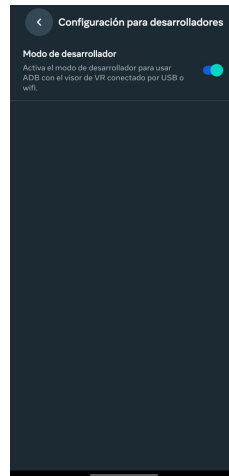


Figura 47: Opción de modo desarrollador de las Meta Quest 2

Configuración de Unity para desarrollar en dispositivos VR

Primero, independientemente de si Unity estaba previamente instalado, se verificó que el “Android Build Support” estuviera activado. Este componente permite crear *builds* en formato APK, el tipo de archivo compatible con dispositivos Android, como las Quest 2, que utilizan este sistema operativo.

Para probar el correcto funcionamiento del dispositivo VR en Unity, se creó una escena básica con un plano que actúa como suelo para el jugador.

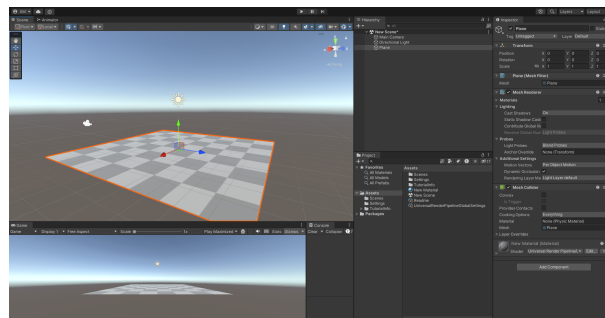


Figura 48: Escena básica para probar el entorno en Unity

Instalación de XR Plugin Management

El siguiente paso fue instalar el “XR Plugin Management” en Unity para habilitar la detección del dispositivo VR.

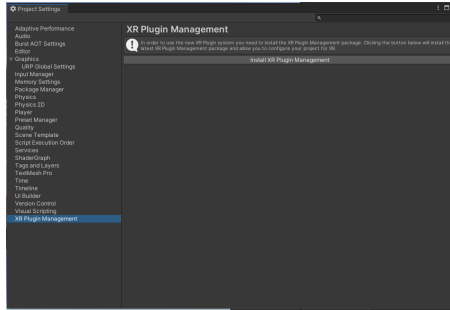


Figura 49: Instalación del plugin XR Plugin Management

Una vez instalado, se desplegaron opciones para administrar dispositivos VR compatibles. Para asegurar la máxima compatibilidad, se seleccionó OpenXR tanto para el *build* de computadora como para el de Android.

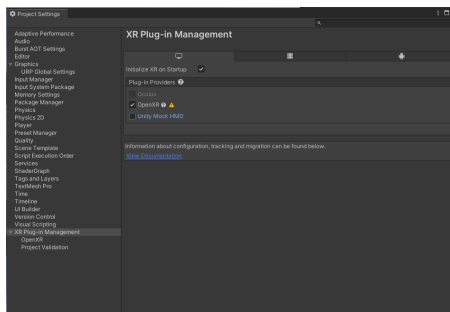


Figura 50: Selección de OpenXR para *builds* de computadora

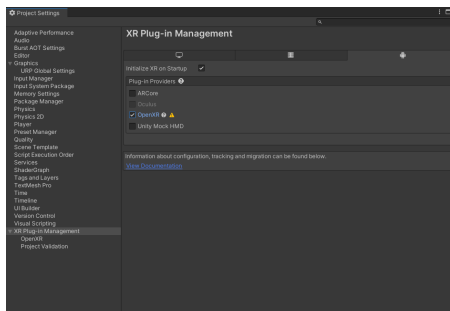


Figura 51: Selección de OpenXR para *builds* de Android

Selección de perfiles de controladores

En la configuración de OpenXR, se seleccionaron varios perfiles de controladores para asegurar la compatibilidad con diferentes dispositivos VR. Cuantos más perfiles se seleccionen, mayor será la accesibilidad, permitiendo a un público más amplio probar el proyecto. Estos perfiles de controlador gestionan las interacciones y el seguimiento de los dispositivos VR, garantizando un funcionamiento óptimo en cada uno de ellos.

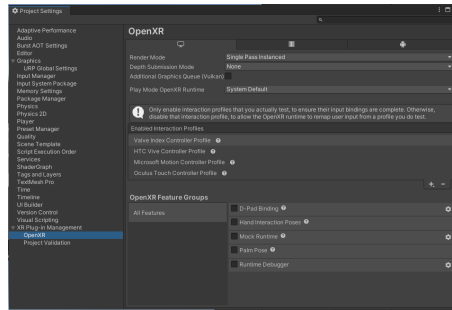


Figura 52: Selección de perfiles de controladores para computadoras

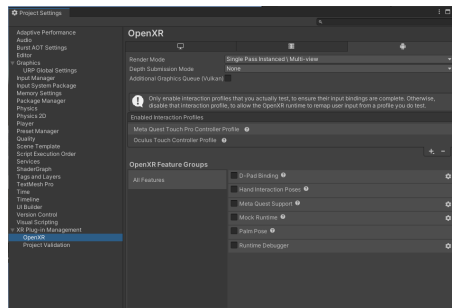


Figura 53: Selección de perfiles de controladores para Android

Configuración de la cámara

Finalmente, tras completar la configuración inicial, el dispositivo VR quedó listo para el desarrollo en Unity. Se agregó el componente “Tracked Pose Driver” a la cámara principal, lo que permite que funcione como si fueran los ojos del usuario en el mundo virtual. Gracias a este *script*, la cámara imita los movimientos de la cabeza, mejorando la inmersión en la experiencia VR.

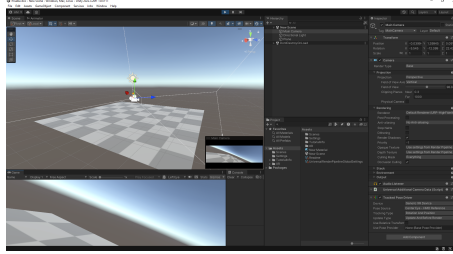


Figura 54: Configuración inicial de la cámara para seguimiento de movimientos en VR

12.7.2. Importando herramientas y *assets* útiles para el desarrollo en Realidad Virtual

XR Interaction Toolkit

La herramienta *XR Interaction Toolkit* es una que ayuda a acelerar el proceso del desarrollo de un proyecto, ya que no va a ser necesario programar todos los componentes desde 0. Por ser una herramienta tan importante para el desarrollo de experiencias VR, se instaló en el proyecto.

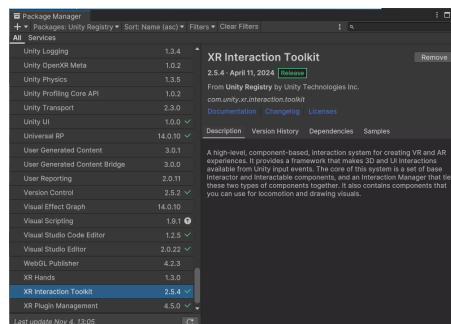


Figura 55: Instalación de la herramienta XR Interaction Toolkit

Assets utilizados en el proyecto

- Starter Assets

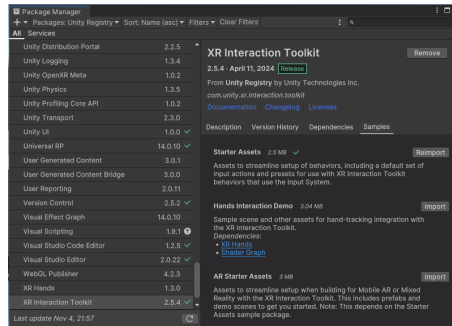


Figura 56: Importación de los starter assets

- Lets Make a VR Game Start Assets.unitypackage
Starter assets personalizado

Build: Proceso de compilación y empaquetado de un proyecto para generar un archivo ejecutable compatible con una plataforma específica, como `.apk` en Android. 56

Curatorial: Relativo al proceso de curaduría, que implica la selección, organización, interpretación y validación de contenidos en contextos museológicos, tanto físicos como virtuales. 18

Debugging: Es una técnica informática que se utiliza para encontrar y corregir errores en un programa de computadora. Esto permite a los desarrolladores detectar y eliminar rápidamente problemas en su código antes de que el programa se lance al mercado. 77

Eficacia: El grado en que el usuario puede lograr sus objetivos con precisión y completitud. 25

Estereoscópicas: Imágenes o pantallas que presentan dos perspectivas ligeramente diferentes para cada ojo, generando una percepción tridimensional de profundidad. 23

Framework: Es un marco o esquema de trabajo generalmente utilizado por programadores para realizar el desarrollo de software. 36

Gamificación: Es una práctica empresarial emergente que consiste en “el uso de elementos de juego y técnicas de Game Design en un contexto no lúdico”. Es una estrategia basada en la aplicación de conceptos y dinámicas propias del ámbito de los juegos a áreas diversas como la educación o el marketing con la intención de estimular y fomentar la interacción con los usuarios. 13

Inputs: Conjunto de datos introducido en un sistema informático. 29

Museología: Ciencia que trata de los museos, su historia, su influjo en la sociedad, las técnicas de conservación y catalogación. 22

Repositorios: Es un espacio que se utiliza para almacenar distintas cosas. 9

Scripts: Es un conjunto de instrucciones escritas en un lenguaje de programación que se utiliza para automatizar tareas o realizar acciones específicas en un programa o sistema informático. 35

Storyboard: Es la representación visual de una historia o narración. 34

Usabilidad: Proviene del inglés usability y hace referencia a la facilidad con que un usuario puede utilizar una herramienta fabricada por otras personas con el fin de alcanzar un cierto objetivo. 25

Utilidad: Capacidad de ofrecer las funciones que el usuario necesita. 25