



Universidad Autónoma de Zacatecas

“Francisco García Salinas”

Unidad Académica de Docencia Superior

Maestría en Tecnología Informática Educativa

Experiencia inmersiva basada en realidad virtual para la difusión
del patrimonio cultural tangible del Museo de Antropología de Xalapa

Tesis para obtener el grado de:

Maestro en Tecnología Informática Educativa

Presenta

Mitzraim López Domínguez

Directora

Dra. Glenda M. Flores Aguilera

Codirectora

Dra. Verónica Torres Cosío

Zacatecas, Zac., octubre 2024



SOMOS
ARTE, CIENCIA Y
DESARROLLO
CULTURAL



MTIE

Asunto: Autorización de Impresión de Trabajo
No. Oficio MTIE 171/2024

C. LOPEZ DOMINGUEZ MITZRAIM
Candidato a Grado de Maestría en
Tecnología Informática Educativa
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito comunicar a usted, que se le autoriza para llevar a cabo la impresión de su trabajo de tesis:

"Experiencia inmersiva basada en realidad virtual para la difusión del patrimonio cultural tangible del Museo de Antropología de Xalapa".

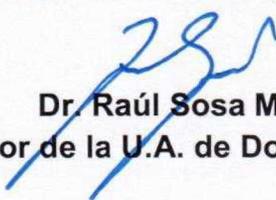
Que presenta para obtener el Grado de Maestría.

También se le comunica que deberá entregar a este Programa Académico (2) dos copias de su tesis a la brevedad posible.

Sin otro particular de momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Zacatecas, Zac., a 20 de septiembre del 2024


Dr. Raúl Sosa Mendoza
Director de la U.A. de Docencia Superior



c.c.p.- Alumno
c.c.p.- Archivo

Dr. Raúl Sosa Mendoza
Director de la Unidad Académica de Docencia Superior
PRESENTE

En respuesta al nombramiento que me fue suscrito como directora de tesis del (la) alumno (a): **Mitzraim López Domínguez** cuyo título de su trabajo se enuncia **Experiencia inmersiva basada en realidad virtual para la difusión del patrimonio cultural tangible del Museo de Antropología de Xalapa.**

Hago constar que ha cubierto los requisitos de dirección y corrección satisfactoriamente, por lo que está en posibilidades de pasar a la disertación de su trabajo de investigación para certificar su grado de Maestro (a) en Tecnología Informática Educativa. De la misma manera no existe inconveniente alguno para que el trabajo sea autorizado para su impresión y continúe con los trámites que rigen en nuestra institución.

Se extiende la presente para los usos legales inherentes al proceso de obtención del grado del interesado.

ATENTAMENTE
Zacatecas, Zac., a 20 de septiembre de 2024



DTE Glenda Mirtala Flores Aguilera
Directora de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Archivo

Dedicatoria

A mis padres, por su gran amor incondicional

A Mel, mi amada esposa por su amor y gran apoyo siempre

A Servando, por tu compañía fiel y libre de prejuicios

Agradecimientos

A todo el personal del Museo de Antropología de Xalapa, MAX, principalmente a los Doctores Ponciano Ortiz Ceballos y Alfredo Delgado Calderón, así como al Mtro. Alfredo Miguel Hernández Velázquez, quienes con su intervención hicieron posible la materialización de este ambicioso trabajo, sin su apoyo y paciencia, ninguno de los logros obtenidos hubiera sido posible alcanzar.

A la Universidad Autónoma de Zacatecas, UAZ, cuerpo académico y personal administrativo que conforman la Maestría en Tecnología Informática Educativa, principalmente a la Dra. Glenda Mirtala Flores Aguilera, la Dra. Verónica Torres Cosío, el Dr. Raúl Armando Valadez Estrada y la Mtra. Magda Castillo, quienes con su gran apoyo y por su trayectoria profesional, en conjunto, han representado una sólida guía para concluir satisfactoriamente este proyecto.

A Gustavo Ortiz Hernández, Hendrik Gómez Cabañas, Misael Hernández Vicente y Pablo Ortiz Brito, cuyos consejos fueron fundamentales para definir el camino correcto a seguir, sin su apoyo y orientación, hubiera sido muy fácil perderse en el proceso.

Especial agradecimiento para el Lic. Alejandro Caballero Hernández, el Dr. Herson Alfonso Castellanos Celis, el Dr. Octavio Agustín Contreras Ochoa, la Dra. Yolanda Alatorre Guzmán, Josué C. Coronado Gallegos y Pedro Manuel Valencia Sánchez, sus acciones han permitido que pueda aprovechar la maravillosa oportunidad de crecer profesional y personalmente.

A mis colegas y amigos, los maestros Natanael Velázquez Hernández, Eréndira E. Tapia Vargas, Itzel Amalia Maya Castruita y Amner Absalom Hernández Sánchez, quienes ha sido excelentes compañeros en este viaje, siempre demostrando una gran calidad humana y hospitalidad que trasciende el ámbito profesional.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la transparencia de sus procesos y por permitirme formar parte de su prestigioso programa, su valioso

apoyo ha sido determinante.

Finalmente, a quien directa o indirectamente han aportado con uno o muchos granitos de arena, para todos ustedes, mi más profundo y sincero agradecimiento, valoro su confianza, esperando estar a la altura de todo lo que han hecho por mí.

Resumen

Esta investigación, en principio, describe el proceso de creación de una experiencia de realidad virtual inmersiva, para colaborar en las labores de difusión del patrimonio cultural tangible que el Museo de Antropología de Xalapa ha sido responsable de salvaguardar desde su fundación. Además, busca promover la implementación de herramientas digitales y tecnologías inmersivas como alternativas a las prácticas vigentes que el museo realiza con esta finalidad.

Para lograrlo, en una primera etapa se llevó a cabo la selección de objetos físicos y herramientas digitales (software) para la producción de 20 piezas arqueológicas en formato digital mediante un proceso combinado de técnicas de virtualización y digitalización, destacando la fotogrametría, la escultura digital y el modelado poligonal. En una segunda etapa, se diseñó un entorno virtual para representar la visita al espacio museográfico en el que se integraron modelos tridimensionales, piezas arqueológicas digitales y diversos componentes multimedia. Finalmente, se programaron interacciones (tutoriales, botones, movimientos dentro del entorno virtual mediante periféricos, entre otros), elementos indispensables para la creación de una experiencia de realidad virtual que fuera inmersiva e interactiva.

Keywords: Patrimonio cultural tangible, difusión, virtualización, realidad virtual, interactivo.

Abstract

This research, initially, describes the process of creating an immersive virtual reality experience to collaborate in the dissemination of the tangible cultural heritage that the Museum of Anthropology of Xalapa has been responsible for safeguarding since its foundation. Additionally, it aims to promote the implementation of digital tools and immersive technologies as alternatives to the current practices that the museum carries out for this purpose.

To achieve this, in a first stage, the selection of physical objects and digital tools (software) to produce 20 archaeological pieces in digital format was carried out through a combined process of virtualization and digitization techniques, highlighting photogrammetry, digital sculpture, and polygonal modeling. In a second stage, a virtual environment was designed to represent the visit to the museum space, integrating three-dimensional models, digital archaeological pieces, and various multimedia components. Finally, interactions were programmed (tutorials, buttons, movements within the virtual environment through peripherals, among others), essential elements for the creation of a virtual reality experience that was immersive and interactive.

Keywords: Tangible cultural heritage, dissemination, virtualization, virtual reality, interactive.

Tabla de Contenido

Capítulo 1	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Ámbito Internacional.....	1
1.1.2 Ámbito Nacional	3
1.1.3 Ámbito Local.....	4
1.2 Marco Contextual.....	5
1.2.1 Historia del Museo de Antropología de Xalapa	5
1.2.2 Descripción del MAX	7
1.3 Planteamientos del Problema	9
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo General	13
1.4.2 Objetivos Particulares	13
1.5 Preguntas de Investigación.....	13
1.5.1 Pregunta General.....	13
1.6 Justificación.....	14
1.7 Alcances y Limitaciones.....	17
Capítulo 2	19
Marco Teórico	19

2.1 Patrimonio Cultural.....	20
2.1.1 Patrimonio cultural intangible o inmaterial.....	23
2.1.2 Patrimonio cultural tangible o material.....	25
2.1.3 Patrimonio Digital.....	27
2.1.4 Importancia del Patrimonio Cultural.....	29
2.2 Virtualización.....	30
2.2.1 Concepto de Virtualización.....	30
2.2.2 Tecnología para la Virtualización del Patrimonio Cultural.....	34
2.2.3 Realidad Virtual.....	37
2.3 Registro Arqueológico y Documentación 3D.....	38
2.3.1 Modelado Poligonal.....	39
2.3.2 Escultura Digital.....	45
2.3.3 Fotogrametría.....	48
2.3.3.1 Ventajas y Desventajas de la Fotogrametría.....	50
Capítulo 3.....	52
Metodología.....	52
3.1 Prototipado Rápido (<i>Rapid Prototyping</i>).....	52
3.2 Procedimiento.....	54
3.2.1 Hardware.....	55
3.2.1.1 Equipo Fotográfico Profesional.....	56

3.2.1.2 Estación de Trabajo Profesional (Workstation).....	56
3.2.2 Software	57
3.2.2.1 Ofimática.....	58
3.2.2.2 Edición de Imagen.....	59
3.2.2.3 Diseño y Modelado Tridimensional.....	59
3.2.2.4 Virtualización, Repositorio Digital y Experiencia de Realidad Virtual	60
3.3 Implementación.....	62
3.3.1 Etapa 1 (Análisis) - Análisis de la Información	63
3.3.1.1 Primeros Acercamientos.....	63
3.3.1.2 Presentación del Proyecto y Entrevistas.....	64
3.3.2 Etapa 2 (Selección) - Evaluación de Piezas Arqueológicas	65
3.3.2.1 Cuestionario de Selección Previa y Cotejo de Piezas.....	65
3.3.2.2 Deliberación (Selección Final).....	67
3.3.3 Etapa 3 (Diseño) - Proceso de Registro de Piezas	70
3.3.3.1 Registro Fotogramétrico.....	70
3.3.3.2 Clasificación de Registro Fotogramétrico.....	71
3.3.4 Etapa 4 (Desarrollo) - Proceso de Digitalización.....	73
3.3.4.1 Reconstrucción Fotogramétrica.....	73
3.3.4.2 Retos y Dificultades Durante el Proceso de Reconstrucción Fotogramétrica.....	75
3.3.4.3 Tratamiento de Modelos, Producto de la Reconstrucción Fotogramétrica. ...	76

3.3.4.4 Creación de Objetos Tridimensionales Optimizados (Low Poly Models).....	78
3.3.4.5 Limpieza de Mallas Poligonales.	80
3.3.4.6 Retopología.	82
3.3.4.7 Creación de Mapas de Coordenadas UV's y Reproyección de Texturas.	83
3.3.5 Etapa 5 (Implementación) - Repositorio Digital y Experiencia de Realidad Virtual	84
3.3.5.1 Creación del repositorio digital.	84
3.3.5.2 Creación de la experiencia de Realidad Virtual.	87
3.3.5.2.1 Blocking (Bosquejo Rápido).	93
3.3.5.2.2 Diseño y Edición 3D de un Entorno Virtual.....	96
3.3.5.2.3 Programación de una Experiencia de Realidad Virtual Interactiva.....	98
3.3.5.2.4 Producción de Elementos Audiovisuales.	102
Capítulo 4	106
Resultados	106
4.1 Réplicas arqueológicas digitales y reproducciones digitales optimizadas	106
4.2 Repositorio digital	111
4.3 Experiencia de Realidad Virtual.....	118
4.3.1 Escena “Inicio”.....	119
4.3.2 Escena “Tutorial”	120
4.3.3 Escena “Introducción”.....	121

4.3.4 Escena “Galería”	122
4.3.5 Escena “Acerca de”	124
Capítulo 5	127
Conclusiones y recomendaciones.....	127
5.1 Conclusiones según los objetivos de investigación.....	127
5.2 Conclusiones según las preguntas de investigación	131
5.3 Otras conclusiones importantes.....	136
5.4 Recomendaciones.....	139
Referencias	141

Índice de Tablas

Tabla 1 Relación de réplicas y reproducciones digitales optimizadas.....	107
---	-----

Índice de Figuras

Figura 1 Figuras Primitivas	41
Figura 3 Técnica de Modelado Tradicional o Hard Surface	44
Figura 4 Técnica de Modelado Orgánico o Digital Sculpt.....	46
Figura 5 Comparativa entre Modelos Tridimensionales con Alta y Baja Densidad Poligonal	47
Figura 6 Digitalización de un Objeto Físico Mediante Fotogrametría	50
Figura 7 Logotipo Oficial Meta Quest.....	88
Figura 8 Logotipo Oficial Gravity Skecth	94
Figura 13 Densidad de Malla Poligonales High/Low	109
Figura 14 Comparativa de Densidad Poligonal High/Low Poly.....	110
Figura 15 Página inicial de la Plataforma sketchfab.com	111
Figura 16 Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (PC)	112
Figura 17 Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (Tableta).....	113
Figura 18 Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (iPhone)	114
Figura 19 Repositorio Digital MAX, Wireframe Mode (PC)	115
Figura 20 Repositorio Digital MAX, Vista de Diferentes Modalidades (iPad)	116
Figura 21 Repositorio Digital MAX, AR Viewer(iPhone).....	117
Figura 22 Repositorio Digital MAX, Modalidad Realidad Aumentada (iPhone).....	117
Figura 23 Experiencia de Realidad Virtual - Escena 1“Inicio”	120
Figura 24 Experiencia de Realidad Virtual - Escena 2 “Tutorial”	121
Figura 25 Experiencia de Realidad Virtual – Escena 3 “Introducción”	122
Figura 26 Experiencia de Realidad Virtual - Escena "Galería"	124

Capítulo 1

1.1 Antecedentes

Para el desarrollo de este proyecto, los trabajos expuestos a continuación dentro de este apartado fueron tomados como referencia considerando dos perspectivas. La primera de ellas está relacionada con los procesos empleados para la virtualización de objetos físicos, es decir, las implicaciones y resultados que cada uno obtuvo. La segunda perspectiva se refiere a la aproximación existente entre el proceso de creación de una experiencia virtual, que será descrita más adelante en esta investigación, y el uso que otros autores hacen de las tecnologías para la visualización de la información en formato digital, obtenida de sus trabajos.

Es importante mencionar que diversos procesos descritos tanto en este trabajo como en los mencionados a continuación particularmente los relacionados con la digitalización, la virtualización por fotogrametría o el modelado tridimensional, cuya finalidad ha sido la digitalización del patrimonio cultural tangible, han sido prácticas que bien se han venido realizando desde hace algunos años previos, se puede mencionar que algunas de ellas incluso se han estandarizado en gran medida por la accesibilidad y profesionalización de las herramientas y software involucrados.

1.1.1 Ámbito Internacional

La primera referencia de carácter internacional que establece un precedente para este trabajo de investigación es el proyecto realizado por Hupperetz et al. (2012) denominado *Etruscanning 3D project. The 3D reconstruction of the Regolini Galassi Tomb as a research tool and a new approach in storytelling*, en Lacio, Italia, cuyo objetivo principal fue hacer la reconstrucción digital de un yacimiento de contexto funerario, concretamente la tumba etrusca de Regolini-Galassi en Cerveteri.

Los datos más destacables encontrados en la intervención y que resultaron de interés para esta investigación, fueron particularmente los obtenidos del registro de un recinto tomado como muestra de un total de seis, los responsables implementaron técnicas como restauración digital, reconstrucción 3D, así finalmente el uso de herramientas multimedia y tecnología de Realidad Virtual para llevar a cabo una exhibición temporal de los elementos reconstruidos en museos de Bélgica, Alemania e Italia de manera virtual.

El trabajo que lleva por título *Aplicación de la investigación arqueológica para el diseño de recursos educativos de base virtual en la didáctica del patrimonio*, escrito por Santacana et al. (2015) y que tuvo lugar en Barcelona, España, y que tiene coincidencias con el trabajo desarrollado por Hupperetz et al. (2012) sobre temas de reconstrucción y representación virtual, resulta ser otro antecedente internacional vinculado a este proyecto de investigación, debido a que se fundamenta principalmente en el análisis de información con fines educativos mediante la visualización de información a través de tecnología computación móvil, y llevar a cabo la comparación entre una restauración física y una virtual de un yacimiento para la propuesta de nuevas hipótesis e interpretaciones.

El tercer trabajo encontrado, una tesis doctoral titulada *Virtualización del patrimonio Definición de una metodología de documentación y difusión del patrimonio arquitectónico*, Marcos (2021), describe un método que combina diversas técnicas para hacer el de patrimonio cultural tangible registro en formato digital, particularmente edificios arquitectónicos, elementos que posteriormente serían integrados dentro de ambientes virtuales a fin de permitir su visualización.

De la tesis de Marcos (2021) la aportación más importante encontrada en relación con este trabajo de investigación, es la valiosa información que proporciona sobre el potencial que la visualización de ambientes virtuales posee para la difusión del patrimonio cultural, al emular

características de la realidad a través de este tipo de ambientes.

Un cuarto proyecto internacional de Román et al. (2022) denominado *Fotogrametría como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonio tangible y Documentación*, cuyo aspecto principal es considerado de gran utilidad para el desarrollo de esta investigación, radica en el bien documentado proceso de virtualización de 3 piezas arqueológicas, mismo que en términos generales engloba un conjunto de buenas prácticas y consideración técnicas en cuanto a la manera de llevar a cabo una adecuada gestión de este tipo de archivos, pues considera esto primordial debido a que mucha de esta información resulta útil no solo para iniciativas relacionadas con la difusión y preservación del patrimonio cultural digital, sino que además impacta otras esferas donde la participación de especialistas de otras áreas está presente.

1.1.2 Ámbito Nacional

Dentro de México, existe una investigación realizada por Dueñas (2014) titulada *Registro arqueológico en 3D mediante la fotogrametría de rango corto*, en la cual se abordan aspectos prácticos relacionados con procedimientos de virtualización o digitalización de información. El objetivo de su trabajo fue el de explicar cómo esta técnica (aplicada en este campo recientemente al ser una herramienta que permite la obtención de réplicas digitales exactas) posee grandes alcances como un medio de registro y comunicación audiovisual de material arqueológico y el patrimonio cultural en sí, y con esto, el impacto que tiene en el plano educativo resulta ser un elemento de apoyo en la formación de estudiantes, a través de su implementación en labores pedagógicas.

Dueñas (2014) se apoyó de diferentes artículos y libros científicos como instrumentos para la recolección de datos, pero principalmente fue el registro fotográfico el que le permitió realizar posteriormente el proceso de reconstrucción digital denominado fotogrametría.

Los resultados de esta investigación permitieron a su autor crear un registro digital que sirve

como marco de referencia sólida para una investigación como esta, relacionada con los procesos de registro arqueológico y documentación 3D, particularmente para el caso de este trabajo, sus pautas fueron aprovechadas para mejorar la toma de decisiones, además de que el análisis y aporte de conocimientos en cuanto al uso de las herramientas tecnológicas empleadas para obtener tales resultados se consideró de gran valor.

1.1.3 Ámbito Local

De forma local, fue posible encontrar un trabajo que presenta algunas características deseables en cuanto a los procedimientos necesarios para el registro de información y el uso de los resultados obtenidos, fue realizada por Acosta (2010) en el estado de Veracruz, México, en la zona arqueológica conocida como Cerro Grande y lleva por título *Arte y Realidad Virtual, reconstrucción 3D del sitio arqueológico de Cerro Grande*.

Su objetivo fue desarrollar una investigación de campo con el fin de recrear la forma y disposición de las principales construcciones de dicha zona arqueológica, por medio de una representación tridimensional, empleando como referencia el propio espacio donde se encuentran ubicados los vestigios.

Apoyándose en un primer registro de bitácoras de excavación (libretas), fotografías, videos y visitas a la zona arqueológica como método de recolección de datos, la investigación dio como resultado la reconstrucción digital del espacio físico, la cual permitiría la visualización de elementos virtuales dentro de un entorno tridimensional digital, con el objetivo de favorecer nuevas interpretaciones de lo previamente investigado dentro de esta zona arqueológica.

Finalmente, desde la perspectiva local, la ausencia de investigaciones relacionadas con este tema y el tipo de prácticas involucradas, puede representar también una excelente área de oportunidad en la que varios perfiles, no solo en el ámbito de la arqueología y la antropología, puedan explorar

otras posibilidades y hacer nuevas propuestas de generar conocimiento, que involucren la virtualización o digitalización de información, así como el uso de tecnologías como la Realidad Virtual con otros fines que no sean exclusivamente la difusión.

1.2 Marco Contextual

1.2.1 Historia del Museo de Antropología de Xalapa

Los antecedentes del Museo de Antropología de Xalapa, MAX se remontan al año de 1947, cuando es creado el departamento de antropología, inaugurado por el entonces Gobernador del Estado de Veracruz, Adolfo Ruiz Cortines. Este departamento fue adscrito a la Dirección General de Educación del Estado.

Cabe resaltar que, entre las principales funciones de ese departamento se encontraban las de albergar y custodiar los diversos materiales arqueológicos descubiertos, como resultado de las actividades de investigación y excavación llevadas a cabo con anterioridad, así como también aquellas que se estaban realizando durante aquella época en la entidad veracruzana.

Para el año de 1957, gracias a las labores de gestión de Gonzalo Aguirre Beltrán, rector en turno de la Universidad Veracruzana y un convenio con el Instituto Nacional de Antropología INAH (Winfield, 1992) tal departamento pasó a formar parte de dicha casa de estudios, mediante una petición dirigida al mandatario estatal en aquel entonces, Lic. Antonio Modesto Quirasco, como parte del proyecto de creación de un museo, un instituto y una escuela, todos en materia de antropología.

Es muy importante mencionar que esta última (la escuela) se convertiría más tarde en la actualmente reconocida Facultad de Antropología de la Universidad Veracruzana, ese mismo año se celebró un convenio con el Instituto Nacional de Antropología e Historia, el cual dotaba a la Universidad Veracruzana de las facultades correspondientes para llevar a cabo exploraciones y reconstrucciones arqueológicas que, como parte de sus nuevas funciones en calidad de museo, este

podiera realizar labores de difusión, exhibición y estudio del patrimonio cultural, mediante la exposición de algunas de las piezas más importantes con las que se contaba en aquella época.

Para que tal encomienda pudiera materializarse, se requería de un espacio que brindara las condiciones ideales para llevar a cabo estas labores correctamente, y es así que mediante la intervención del Arq. José Luis Melgarejo Vivanco se construye el edificio actual del Museo de Antropología de Xalapa.

Esta obra arquitectónica fue edificada sobre terrenos que ejidatarios de la zona (Molino de San Roque) donaron para estas labores, dando paso a que el espacio iniciara formalmente su funcionamiento el 20 de noviembre de 1960, mismo día en que fue inaugurada la primera sala, por parte del presidente de la República Adolfo López Mateos.

Seis años posteriores a la inauguración, se llevó a cabo una ampliación del inmueble con la construcción de un segundo edificio, en el que fueron concentrados materiales arqueológicos y etnográficos en su gran mayoría.

Finalmente, como relata Moles (1988) “El otro acontecimiento museográfico es el Museo de Antropología de Xalapa, ciudad importante del Estado de Veracruz y cuya sola existencia puede modificar los flujos turísticos, por su situación entre la capital del país y el puerto de Veracruz (p.188)”, ya que el 30 de octubre de 1986 este importante acontecimiento, que cambiaría la historia del país y principalmente para el estado de Veracruz, es la culminación de las labores de construcción del complejo arquitectónico, convirtiéndose al fin en la sede que alberga el Museo de Antropología de Xalapa, hoy conocido como el MAX (Acosta, 1992).

Este lugar cuenta con cerca de 12,500 m² de construcción, conformada por dos alas: el vestíbulo principal y una gran galería, destinando 1,200 m² de una de ellas para albergar la operación del personal y las diferentes áreas de servicio al público.

La otra sección, con una superficie de 7,800 m², es en donde se encuentran repartidas las exposiciones permanentes que hasta estos días pueden disfrutarse a través de los recorridos de cada una de sus salas.

La extraordinaria labor de creación arquitectónica fue llevada a cabo por el famoso arquitecto norteamericano Raidmon Gómez, así como la participación de Iker Larrauri y Fernando Gamboa en la museografía, (Cervantes, 2021).

Además de los acontecimientos descritos, así como la evolución a lo largo de los años por brindar mayores actividades en cuanto a la conservación y difusión del patrimonio cultural, el Museo de Antropología de Xalapa cuenta con las colecciones más importantes de las tres culturas representativas del Golfo de México, la huasteca, la totonaca y por supuesto la cultura olmeca (Acosta, 1992).

El MAX se encuentra ubicado en el domicilio marcado como Av. Xalapa s/n esquina con Acueducto y 1° de Mayo, Col. Xalapa Enríquez Centro, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México, aproximadamente a 15 minutos del centro de la capital del estado de Veracruz, Xalapa, muy cerca de este espacio se encuentran los Institutos de Antropología y el de Artes Plásticas, ambos pertenecientes a la Universidad Veracruzana; la Escuela Gestalt de Diseño, la Escuela Normal Veracruzana, así como un concurrido centro comercial.

1.2.2 Descripción del MAX

El complejo arquitectónico está conformado por dos áreas perpendiculares que, visualizadas desde una posición cenital, permitirían apreciar una estructura en forma de “L”; esta primera sección, la de menor superficie, contiene los accesos principales y el vestíbulo, repartidos en tres niveles que a continuación se describen.

En esta primera sección, en el nivel superior se encuentra la dirección, la cafetería y mezzanine;

en la planta baja, el módulo de información turística, un auditorio, librería, estancia e invernadero; finalmente en el subnivel se encuentran ubicados los baños, las bóvedas, bodegas de despacho y laboratorios para los técnicos.

El segundo espacio, de mayor superficie, aproximadamente 7800 m², es una gran galería, conformada por una sucesión de 18 secciones en desnivel descendente, distribuida a lo largo de seis salas temáticas nutridas por diferentes culturas entre las que figuran la Olmeca, Totonaca y Huasteca, tres pérgolas intercaladas donde se exhibe parte de las piezas con mayor tamaño, rodeadas de una variedad de flora de la región (TeleUV, 2017).

Todas estas áreas se encuentran conectadas por un gran corredor, donde también han sido colocadas otras importantes piezas, maquetas y algunas representaciones de códices que se muestran en mamparas de gran tamaño.

En conjunto, todos estos elementos suman cerca de 2,500 piezas arqueológicas expuestas a todo público, de un total de 30,500 mismas que permanecen aún bajo resguardo en bóvedas especiales.

Se establece que la gran mayoría de las piezas actualmente apreciables a lo largo del complejo durante un recorrido, han sido descubiertas desde el año 1946 hasta la actualidad.

Otro dato importante por mencionar relacionado con lo mencionado por Coe (1968) es que pobladores que hoy en día viven en las zonas donde se asentaron estas culturas prehispánicas, continúan encontrando restos arqueológicos, algunos puestos a disposición del MAX derivado de acuerdos e intercambios con el Gobierno del Estado de Veracruz, otros se encuentran protegidos y exhibidos en las mismas zonas arqueológicas o en museos comunitarios como La Venta, San Lorenzo Tenochtitlán y Tres Zapotes (Bernard et. al. 2010).

Para expertos como Winfield (1992) esta es “La cultura madre” por representar un antecedente para las culturas en Mesoamérica posteriores, comprendida en la época desde 1400 al 500 antes de

Cristo, dentro del periodo conocido como periodo preclásico, cuyo asentamiento se originó en el cuadrante sur de lo que actualmente es la zona sur del estado de Veracruz.

Son de destacar dos aspectos importantes, el primero es que dentro de las salas uno, dos y primera pérgola se exhiben piezas olmecas simbólicas, entre las cuales figuran siete de las diez impresionantes Cabezas Colosales Olmecas, el Señor de las Limas que Winfield (1992) describe como “el Sacerdote de las limas. Una de las piezas más bellas del Museo” (p .40), así como la extraordinaria colección de máscaras de jade, que en palabras de Acosta (1992) se menciona que “Todas las máscaras de este hallazgo son auténticos retratos de gobernantes olmecas, a excepción de unas pocas que representan a deidades” (p. 61), lo que las vuelve representativas, no solo por su manufactura, sino también por el contexto que poseen dentro de esta cultura.

El segundo aspecto es que, la mayoría de las piezas tomadas en cuenta para el proceso de virtualización, tienen correspondencia con algunas de las mencionadas anteriormente, más adelante se enlistarán las piezas trabajadas como parte de este proyecto.

1.3 Planteamientos del Problema

Las instituciones encargadas de llevar a cabo la gestión del patrimonio cultural han adquirido un compromiso con la sociedad, debido a la importancia e impacto que tales labores provocan en la misma; para comprenderlo mejor, es posible tomar como punto de partida la descripción que Aguilar (2021) expresa sobre uno de estos espacios culturales, el Museo de Antropología de Xalapa:

Una institución de sólida tradición y con la misión de la extensión universitaria en la investigación, conservación y difusión del patrimonio para el desarrollo de estudiantes y profesionales de áreas diversas es el Museo de Antropología. La riqueza que alberga debería ser más y mejor conocida por los habitantes del estado, la región y el país (p. 28).

Con base en esta aproximación, aunado a los antecedentes descritos dentro del marco

contextual, este espacio requiere la atención del *Eje 5. Difusión de la ciencia y la cultura y extensión de los servicios* establecidos en el programa de trabajo de Aguilar (2021), en donde para satisfacer las necesidades de tales planteamientos, se reconoce que:

Por una parte, las necesidades culturales y espirituales de los seres humanos que han de ser atendidas a través de la difusión del arte y la cultura; por otro, las necesidades sociales y materiales que han de acogerse mediante la extensión de los servicios universitarios, (p. 110).

Por tal motivo, queda instruido acrecentar el acceso del público al Museo de Antropología de Xalapa, como una de las acciones específicas del *Tema 5.1 Difusión de la cultura*, (eje 5 del programa) con el propósito de favorecer la difusión y acceso al patrimonio del que esta institución es responsable.

Actualmente, la demanda de mayor acceso en parte ha sido atendida, lo cual se ha logrado a través de estrategias como la condonación del pago de ingreso a toda la comunidad que forma parte de la Universidad Veracruzana, así como la entrada gratuita para el público en general los días domingo (Sandoval, 2022).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que para llevar a cabo estas actividades es necesario que el público esté en condiciones de realizar recorridos por las instalaciones y así establecer contacto directo con el patrimonio cultural, algo que representa una limitante debido a que la institución queda condicionado al esquema tradicional de vistas físicas como estrategia principal para que el público pueda apreciar las piezas arqueológicas que se exhiben en estos espacios, mecanismo que el museo ha realizado desde su fundación en la década de los 80 para la difusión de los activos que posee (Acosta, 1992).

Con esto en mente surge la siguiente pregunta: ¿qué sucede cuando se presentan factores que impiden al público llevar a cabo estas visitas al museo?

Para dar una respuesta, basta con recordar la pandemia de COVID-19, que en 2020 provocó

el cierre de las instalaciones por cerca de 6 meses, acontecimiento registrado por Román & Melo, (2021) en un análisis realizado donde se aborda el cierre y apertura de museos en Veracruz, México, medidas aplicadas en cumplimiento del plan de contingencia sanitaria establecida en nuestro país por la Secretaría de Gobernación (2022), que establecían restricciones al tránsito libre de personas en zonas públicas, especialmente las más concurridas.

Además de que muchos visitantes perdieron la oportunidad de recorrer los espacios y disfrutar de las exhibiciones que se expone en las salas del museo, esta carencia de afluencia condujo a la pérdida de ganancias económicas derivadas del pago de boletos, visitas guiadas o renta de audioguías, recursos económicos importantes que coadyuvan en la gestión y funcionamiento óptimo de la institución ante las reducciones presupuestarias (Barandiaran & Calzada, 2012, citado por Guzmán et al.,2014).

Otra situación desfavorable relacionada con la condición anteriormente descrita, está implícita cuando las personas no cuentan con la capacidad de hacer visitas al recinto, ya sea porque su situación geográfica no se lo permite o porque carecen de los recursos para solventar la inversión que representa hacer un viaje desde otras ciudades de México u otros países, incluso si fueran gastos de transporte desde zonas o comunidades aledañas al recinto, y al no poder cubrir los cargos que se generan se vuelve complicado desplazarse al lugar independientemente de que este público pueda ser beneficiado con el acceso gratuito.

De esta manera, lo anterior plantea dos problemáticas relacionadas con la difusión del patrimonio cultural del Museo de Antropología de Xalapa. Por un lado, la capacidad del museo para hacer accesible el material que resguarda, se ve limitada cuando no puede abrir sus puertas para ofrecer sus servicios al público o no puede brindar cobertura a nuevos públicos que quedan excluidos debido a su ubicación geográfica, por ejemplo.

La segunda problemática es el desaprovechamiento de nuevas estrategias, herramientas y tecnologías disponibles que fortalezcan las actividades de difusión del patrimonio cultural y democratizen el acceso a este. Un ejemplo concreto de esto, es que el Museo de Antropología de Xalapa no cuenta con registros digitales propios en la modalidad de objetos tridimensionales de las piezas arqueológicas (MAX Digital, 2024).

Ante esta situación, existen dos grandes ventajas, en primer lugar, esta clase de archivos digitales actualmente se pueden generar empleando tecnologías de virtualización como la fotogrametría, la escultura digital o el modelado 3D, las cuales no requieren de una costosa inversión y ofrecen resultados más que aceptables.

En segundo lugar, una vez generados estos archivos, podrían aprovecharse todas sus características al máximo en favor de la gestión, distribución y visualización de información en una variedad de contenidos y formatos. Por ejemplo, hacerlos disponibles a través de plataformas o repositorios digitales, que puedan ser interactivos por medio de tecnologías como la realidad virtual y aumentada, y brindar acceso desde diversos dispositivos de uso común como teléfonos celulares, computadoras portátiles o de escritorio, tabletas, entre otros.

Ante esta problemática, la propuesta de este proyecto hace hincapié en el aprovechamiento de la tecnología disponible y el potencial que la integración de estas herramientas tiene para el fortalecimiento de las labores de difusión del patrimonio cultural que se han venido realizando.

Pretende ser, además, un complemento que apoye de manera integral tales labores, promoviendo actividades sustantivas con las cuales atender situaciones que aún no han sido resueltas con los métodos convencionales, como el alcance y cobertura de nuevos públicos hasta ahora limitados por condiciones de carácter geográfico, cuyas necesidades podrían ser atendidas de otras maneras.

Finalmente, aunque no como una prioridad, este proyecto busca de igual manera establecer un antecedente en cuanto a la implementación de este tipo de procesos, a partir de los cuales, tanto el Museo de Antropología de Xalapa, como otros proyectos e iniciativas relacionadas con la difusión del patrimonio cultural serían beneficiados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Crear una experiencia inmersiva basada en tecnología de Realidad Virtual para la difusión del patrimonio cultural tangible, a través de la visualización e interacción de piezas arqueológicas que forman parte de las exhibiciones permanentes del Museo de Antropología de Xalapa, MAX.

1.4.2 Objetivos Particulares

- Producir 20 modelos tridimensionales, con dos versiones cada uno (alta y baja resolución) combinando diversas técnicas como fotogrametría, escultura digital y modelado poligonal.
- Diseñar digitalmente un entorno virtual que permita la visualización de elementos tridimensionales y cuyas características emulen un espacio museográfico.
- Construir una experiencia de Realidad Virtual, integrada por piezas arqueológicas en formato digital, elementos multimedia (animaciones, audios, videos) y programación de elementos interactivos.

1.5 Preguntas de Investigación

1.5.1 Pregunta General

- ¿Cuál es el proceso de desarrollo mediante el cual es posible crear una experiencia de Realidad Virtual inmersiva cuyo propósito sea apoyar las labores de difusión del patrimonio cultural

tangible del Museo de Antropología de Xalapa?

1.6 Justificación

Para sustentar la pertinencia de un proyecto con estas características se asoció la problemática previamente planteada con diversos enfoques relacionados con la protección del patrimonio cultural, el primero de ellos fue lo expuesto en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural celebrada en París en 1972.

Como parte de los asuntos discutidos en esta convención, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (UNESCO, por sus siglas en inglés) se pronunció a favor del cuidado de aquellos elementos considerados patrimonio cultural, tratando este como un tema de relevancia internacional al considerar que “that deterioration or disappearance of any item of the cultural or natural heritage constitutes a harmful impoverishment of the heritage of all the nations of the world” [La deterioración o desaparición de cualquier elemento del patrimonio cultural o natural constituye un empobrecimiento perjudicial del patrimonio de todas las naciones del mundo] (UNESCO, 2005, p.8). y desde esta arista se comprende que cualquier tipo de daño provocado al patrimonio, no solo tiene un efecto negativo en una parte de la sociedad, sino que representa una pérdida para toda la humanidad.

Con tal fundamento, este organismo internacional muestra su preocupación por la conservación y difusión de este conjunto de bienes considerados invaluable e irrepitibles, como resultado de ello, de acuerdo con Schorlemer (2020), la UNESCO toma la iniciativa de establecer y promover activamente una serie de estándares e instrumentos legales internacionales que contribuyen a satisfacer esta necesidad, consolidándose finalmente como acciones normativas que influyen en diferentes direcciones y apuntan hacia las instituciones que se encargan de salvaguardar el patrimonio cultural de los pueblos del mundo.

Bajo esta premisa, el Museo de Antropología de Xalapa, una de las instituciones encargadas de salvaguardar el patrimonio cultural en México, no está exenta de este compromiso al ser una institución emblemática del estado de Veracruz por el impacto que tiene en materia turística, investigación, educación, etc., sobre todo por ser considerado el segundo museo de antropología más importante del país, de acuerdo con información disponible en la página oficial del recinto (Universidad Veracruzana, s.f.a).

Sumadas a estas credenciales también figuran las principales labores que realiza en cuanto a la conservación, investigación y difusión del patrimonio cultural tangible del que es responsable, donde se destaca la colección de 25,000 piezas arqueológicas que posee y que es representativa de diversas culturas prehispánicas de México (Universidad Veracruzana, s.f.b).

Por ello, se vuelve muy importante para la institución encontrar diversas maneras de fortalecer estas actividades a través del desarrollo de proyectos cuyos resultados puedan brindar opciones alternativas para satisfacer estas necesidades, principalmente una difusión con mayor alcance de públicos y en beneficio de la sociedad en general, no exclusivamente de pequeños grupos, como lo expresa Chaparro (2018): “El reto del patrimonio cultural material radica en superar la noción de ser un patrimonio estático, aburrido y de elite” (p. 12).

Finalmente, dos pilares más sobre los cuales se fundamenta la existencia de este proyecto: quedan expuestos, por un lado, en la Declaración de México sobre las políticas culturales ante la UNESCO (1982) dentro del apartado “Relaciones entre cultura, educación, ciencia y comunicación donde se hace hincapié en la democratización de la información y el conocimiento” punto 36 quedando expresando que:

Una circulación libre y una difusión más amplia y mejor equilibrada de la información, de las ideas y de los conocimientos, que constituyen algunos de los principios de un nuevo orden mundial de la información y de la comunicación, suponen el derecho de todas las naciones no sólo a recibir sino a transmitir contenidos culturales, educativos, científicos y tecnológicos (p. 4).

Por otro lado, el segundo es el aprovechamiento de herramientas y tecnologías disponibles actualmente para la difusión de elementos incluidos dentro de la categoría de patrimonio digital, ya que son archivos que requieren otras modalidades de comunicación derivadas del surgimiento de nuevas formas para intercambiar ideas y de la necesidad que las actuales generaciones tiene para expresarlas entre sí, tal premisa se encuentra expuesta en el documento denominado Directrices para la preservación del patrimonio de la UNESCO (2003b).

Todo lo anterior favorece que sean puestas sobre la mesa nuevas posibilidades que permitirían evolucionar la relación actual que se establece entre el patrimonio cultural y el público, un paradigma donde es solo posible la conexión mediante la contemplación de un legado al que no es posible tocar, en ocasiones incluso acercarse para un mayor disfrute o apreciación a detalle.

Como público, esta relación continúa siendo pasiva y de cierta manera limita la retroalimentación y el potencial que posee por sí misma la experiencia de visitar las exposiciones en un museo, a diferencia de desarrollar e implementar estrategias que sean disruptivas y permitan establecer relaciones más interactivas con el legado de nuestros antepasados.

De esta manera, la difusión del patrimonio cultural soportada con tecnologías como las experiencias de Realidad Virtual inmersivas, permitiría que los nuevos públicos puedan disfrutar de estas actividades y que los públicos que realizan visitas de manera más constante complementen y enriquezcan sus anteriores experiencias

Con respecto a los públicos más especializados se podrían brindar la posibilidad de establecer nuevas perspectivas de análisis, interpretación, reinterpretación o incluso recreación de acontecimientos propios del contexto arqueológico de una determinada pieza, que muchas veces solo es posible encontrar descrita en dibujos o textos de libros.

1.7 Alcances y Limitaciones

Los alcances esperados en esta investigación corresponden tanto a la documentación del proceso de diseño y creación de una experiencia de Realidad Virtual para la visualización e interacción con diversos elementos en formato digital, como la producción de los elementos tridimensionales en cuestión, en este caso las representaciones digitales de 20 piezas arqueológicas que físicamente se encuentran exhibidas y bajo resguardo del MAX, ofreciendo finalmente, la oportunidad de obtener una experiencia interactiva, funcional y accesible con la combinando de todos estos elementos.

En cuanto a las limitaciones a enfrentar para el logro satisfactorio de la investigación, han sido detectadas tres de ellas. La primera de ellas es la enorme cantidad de material que el Museo de Antropología de Xalapa posee en su acervo, por tal motivo el proyecto tuvo que acotarse en cuanto a la muestra con la que se trabajaría, haciendo imperativo la selección sólo de aquellas piezas que brindaran mayores posibilidades de éxito en cuanto a resultados y así lograr documentar un proceso con el mayor control posible.

La segunda limitación giró en torno a las disposiciones oficiales que las autoridades han establecido para el acceso y manipulación de las piezas arqueológicas, restricciones directamente relacionadas con tareas y programas de protección de los materiales considerados vestigios arqueológicos. En este sentido, el MAX alinea su postura con respecto a estas disposiciones, por lo que todas las actividades que involucraban establecer un contacto directo o manipular cualquier pieza arqueológica fueron realizadas exclusivamente por antropólogos, curadores o personal autorizado.

Esta situación descalificó completamente al investigador de toda intervención directa, por lo que su participación no fue posible durante estas tareas.

Finalmente, la tercera limitación fue la gestión de gran parte del proceso de desarrollo, ya que, salvo parte de la captura fotogramétrica, todo lo concerniente a la reconstrucción digital de las piezas arqueológicas, la optimización de modelos tridimensionales, así como el diseño, creación y programación de la experiencia inmersiva de Realidad Virtual, fueron las actividades que demandaron mayor inversión de tiempo en el proyecto. Esto se debió a que fueron realizadas por una sola persona: el investigador.

Capítulo 2

Marco Teórico

Este segundo capítulo se centra en el abordaje de los términos relacionados con la temática central de este proyecto, con especial énfasis en dos conceptos clave, en primer lugar, el patrimonio cultural, porque para dimensionar el impacto del trabajo a realizar resultaría insuficiente para el investigador mostrar sólo la definición de este término.

Requerirá además interiorizar el concepto para establecer un acercamiento respetuoso y responsable con el objeto de estudio, reflexionar sus planteamientos en cuanto a los procedimientos y estrategias a utilizar, y ser consciente que se trata de piezas arqueológicas, materiales invaluable, únicos e irrepetibles.

Aunado a lo anterior, la identificación de categorías establecidas en torno al patrimonio cultural actualmente, así como las diferencias que destacan entre ellas, será algo de gran utilidad para el investigador.

En cuanto al segundo concepto, se destaca la importancia de comprender que la virtualización es el hilo conductor del proceso llevado a cabo durante la investigación, pues es mediante este que se establece un puente entre el patrimonio cultural, tal como lo conocemos actualmente y la tecnología empleada para crearlo, representarlo y finalmente difundirlo de manera digital.

De igual manera, más adelante se abordarán conceptos técnicos en el apartado de metodología, los cuales son propios de las técnicas empleadas durante el desarrollo del proyecto y que como resultado permitió la obtención de archivos digitales, en este caso, modelos tridimensionales de piezas arqueológicas del Museo de Antropología de Xalapa.

2.1 Patrimonio Cultural

El punto de partida para comprender este concepto comienza con la definición establecida por UNESCO, institución internacional que promueve la mutua cooperación entre naciones para la atención de necesidades de índole educativa, científica y cultural, entre otras.

Para esta institución, el patrimonio cultural es un factor determinante para la sociedad, ya que brinda a los individuos un fuerte sentido de pertenencia a un determinado grupo o comunidad, además es un instrumento capaz de promover vínculos entre las diversas sociedades con el propósito de alcanzar diferentes niveles de desarrollo más allá del ámbito social exclusivamente, (UNESCO, 2012).

Con este contexto, la definición que UNESCO (1972) establece sobre el concepto de patrimonio cultural y que mejor se alinea con las directrices a seguir durante el desarrollo de proyecto, establece que:

The following shall be considered as “cultural heritage”: monuments: architectural works, works of monumental sculpture and painting, elements or structures of an archaeological nature, inscriptions, cave dwellings and combination of features, which are of outstanding universal value from the point of view of history, art or science. [Lo siguiente debe ser considerado “patrimonio cultural”: monumentos: obras arquitectónicas, obras de escultura y pintura monumental, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, viviendas en cuevas y combinaciones de características que tienen un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, el arte o la ciencia.] (p. 1).

Otra aproximación útil para profundizar el concepto fue presentada durante la Conferencia Mundial sobre Las Políticas Culturales, MONDIACULT, celebrada en el año de 1982 en la Ciudad de México y promovida la por la UNESCO (1982), esta definición quedó plasmada en la Declaración de

México sobre las políticas culturales, dentro del apartado de Patrimonio cultural, estableciendo lo siguiente:

El patrimonio cultural de un pueblo comprende las obras de sus artistas, arquitectos, músicos, escritores y sabios, así como las creaciones anónimas, surgidas del alma popular, y el conjunto de valores que dan un sentido a la vida. Es decir, las obras materiales y no materiales que expresan la creatividad de ese pueblo: la lengua, los ritos, las creencias, los lugares y monumentos históricos, la literatura, las obras de arte y los archivos y bibliotecas (p. 3).

Continuando desde una perspectiva institucional, un más estrechamente relacionada con el concepto de patrimonio cultural por el tipo de actividades que realizan, es el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA, 2013) el cual hace referencia a que:

El patrimonio cultural es lo que cada pueblo tiene en común y le otorga identidad, le da sentido de pertenencia; es memoria colectiva, historia, sustento para crear, innovar y construir su visión de futuro; es lo que cada sociedad tiene, construye y considera propio (p.13).

El término queda definido también dentro de la ley Federal de Protección del Patrimonio Cultural de los Pueblos y Comunidades Indígenas y Afromexicanas, publicada en enero 2022 y cuya última reforma se realizó en noviembre de año 2023, como parte de este documento en su Segundo artículo, inciso XII establece que:

Patrimonio cultural: es el conjunto de bienes materiales e inmateriales que comprenden las lenguas, conocimientos, objetos y todos los elementos que constituyan las culturas y los territorios de los pueblos y comunidades indígenas y afromexicanas, que les dan sentido de comunidad con una identidad propia y que son percibidos por otros como característicos, a los que tienen el pleno derecho de propiedad, acceso, participación, práctica y disfrute de

manera (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, 2022, p. 3).

A partir de este punto, se citan autores cuyas ideas contribuyen en la definición del concepto de patrimonio cultural, comenzando por De la Rosa et al. (2020) quien nos explica que:

El patrimonio es historia, huellas tangibles e intangibles de un pasado tan antiguo como la propia humanidad, legado de generaciones pasadas a aquellas otras venideras en un mecanismo recurrente y acumulativo. En efecto, querer sintetizar algo así resulta cuanto menos pretencioso (p. 16).

Por su parte, Llull (2005) menciona que: “En resumen, se puede definir el patrimonio cultural como el conjunto de manifestaciones u objetos nacidos de la producción humana, que una sociedad ha recibido como herencia histórica, y que constituyen elementos significativos de su identidad como pueblo” (p. 17).

Esta definición pone énfasis en una estructura conformada por diversos aspectos que, en conjunto, han de integrar el significado y el reconocimiento de la sociedad misma, que establece como una característica particular el sentido de pertenencia (identidad).

Con relación al planteamiento anterior, autores como Maldonado (2020), afirman que el patrimonio cultural, es aquello que ha ido acumulándose a través del tiempo, posteriormente heredado a las nuevas generaciones a través de diferentes mecanismos, o García (2012), quien define al patrimonio cultural como aquellos elementos tangibles e intangibles que han de ser compartidos a las sociedades posteriores. Ambos autores toman en cuenta que la participación de la sociedad, dentro de este proceso colectivo, es fundamental para el reconocimiento de lo que en conjunto se ha de asumir como patrimonio cultural.

Hasta este punto, se han enumerado distintas definiciones del concepto patrimonio cultural, sin

embargo, representan una visión general que engloba aspectos cuyas singularidades son importantes de diferenciar, debido a la relación que existe entre la naturaleza misma del concepto y las características del proyecto que se realiza.

De acuerdo con UNESCO & ICCROM (2022) dentro del patrimonio cultural, se contemplan diferentes características en los elementos que hacen posible reconocer unos con respecto a otros, un ejemplo acerca de ello, sería determinar si el elemento en cuestión es o no posee propiedades físicas o no (material o inmaterial), mediante esta diferenciación se han logrado identificar elementos considerados como patrimonio y ubicarlos dentro de distintas categorías.

Una clasificación importante y ampliamente discutida es aquella para determinar, si un elemento ha de considerarse dentro de la categoría patrimonio cultural tangible, o por sus propiedades, este debería formar parte del patrimonio cultural intangible.

En los apartados siguientes, se exponen las definiciones de estas categorías en la que se describen diferentes atributos para identificar los elementos dentro de cada una de ellas, principalmente las características que hacen importante esta diferenciación.

2.1.1 Patrimonio cultural intangible o inmaterial

Fue durante la celebración de la *International Conference on the Safeguarding of Tangible and Intangible Cultural heritage: Towards an Integrated Approach: proceedings*, (Conferencia Internacional sobre la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Material e Inmaterial: Hacia un Enfoque Integrado: Actas) UNESCO (2004), que se pronunció una de las definiciones frecuentemente citada por diversos autores para definir esta categoría específica:

The “intangible cultural heritage” means the practices, representations, expressions, knowledge, skills – as well as the instruments, objects, artefacts and cultural spaces associated therewith – that communities, groups and, in some cases, individuals recognize as part of their

cultural heritage. [El "patrimonio cultural inmaterial" se refiere a las prácticas, representaciones, expresiones, conocimientos, habilidades, así como a los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales asociados con ellos, que las comunidades, grupos e, incluso en algunos casos, individuos reconocen como parte de su patrimonio cultural.] (p. 279).

En esencia, tal definición se plantea en función del valor o significado que puede encontrarse adscrito al elemento en cuestión, reconociendo de este aquellas características que no son palpables, por ejemplo, el valor histórico o cultural otorgado por un colectivo a una construcción, este será un atributo que permanecerá intrínseco, pero no estará presente físicamente, aun cuando el elemento sea el resultado de una creación material hecha por la mano del hombre.

Con respecto a esta categoría el INAH (2022), a través de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC) establece que:

El patrimonio intangible es la herencia cultural que no se puede tocar, por ejemplo: las fiestas, las danzas, los cantos, la gastronomía, las tradiciones, los cuentos y la lengua. Este patrimonio sólo existe cuando es celebrado, representado o usado por los miembros de la comunidad. Este legado se ha transmitido de padres a hijos durante generaciones y únicamente es posible mantenerlo vivo si se le enseña a los más jóvenes; así, en el futuro, ellos continuarán las tradiciones con sus descendientes (p. 14).

De acuerdo con estas definiciones, el patrimonio cultural intangible puede estar constituido por uno o más elementos no materiales, relacionados con un colectivo o grupo de personas que los reconocen propiamente como elementos que forman parte de su identidad individual y colectiva.

2.1.2 Patrimonio cultural tangible o material

De igual manera que en el apartado anterior, la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC) ofrece también una definición para identificar esta otra categoría de patrimonio cultural, la tangible:

Se llama patrimonio tangible a la herencia cultural que se puede tocar: la arquitectura, escultura, la pintura, la orfebrería, los textiles, los restos arqueológicos, entre muchos otros objetos. Por su antigüedad y por los materiales con que están hechos suelen ser objetos frágiles, deben tratarse con cuidado y evitar que se dañen, porque una vez que se pierden, no se pueden recuperar. (UNAH, 2022, p. 14).

Aunque esta definición habla de la posibilidad de poder manejar físicamente un elemento como el principal atributo a tomar en cuenta, lo cierto es que, a diferencia de otros autores, aquí no se está considerando que dentro de la categoría tangible puedan existir más posibilidades que contemplar.

Enfatizar esto, resulta útil tanto para hacer más específica la diferenciación entre grupos de elementos como para reforzar la comprensión del concepto, lo cual se consigue mediante el establecimiento de comparaciones entre las diversas perspectivas planteadas:

El patrimonio cultural material o tangible se divide en dos categorías, el mueble es aquel que podría ser trasladado de un lugar a otro y comprende colecciones u objetos de carácter arqueológico, etnográfico, artístico, utilitario, documental, científico y monumentos en espacio público, entre otros. El patrimonio inmueble comprende sectores urbanos, conjuntos de inmuebles en espacio público y construcciones de arquitectura habitacional, institucional,

comercial, industrial, militar, religiosa, para el transporte y obras de ingeniería que dan cuenta de una fisonomía, características y valores distintivos y representativos para una comunidad (IDPC, 2004, citado por Chaparro, 2018, p. 1).

Con respecto a esta marcada divergencia y el criterio para definir si un objeto pertenece debería ser considerado del patrimonio cultural mueble o inmueble, Castañón (2018) contempla adicionalmente otros objetos que pueden estar considerados dentro del primer grupo:

El patrimonio cultural inmueble son todos aquellos elementos producto de gran valor cultural de carácter monumental que por lo general fueron elaborados por los individuos o culturas del pasado, a excepción del patrimonio artístico. Dentro de esta categoría tenemos: a) sitios y zonas arqueológicas, b) zonas, sitios y monumentos históricos, c) monumentos artísticos y d) monumentos de carácter industrial.

El patrimonio cultural mueble: son todos aquellos bienes muebles u objetos de carácter no monumental: objetos arqueológicos, históricos, artísticos, etnográficos, tecnológicos, religiosos y objetos de origen artesanal o folklórico, documentos, fotos, películas, etcétera, que tengan gran importancia para la conservación de la diversidad cultural de un pueblo, una nación y el mundo entero. Estos no están considerados en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO, pero están protegidos por las legislaciones de cada país y por algunos acuerdos internacionales (p. 15).

Es en este punto, que se puede establecer de manera más clara y comprensible la conexión que existe entre la temática abordada durante el desarrollo del proyecto y la información expuesta hasta ahora con respecto concepto de patrimonio cultural, esto dicho en otras palabras, significa que los elementos con los que se trabajará para la investigación forman parte de la categoría patrimonio cultural tangible, más concretamente al mueble al tratarse de piezas arqueológicas físicas.

Finalmente, es de gran importancia aclarar que, si bien la categorización del patrimonio cultural expuesta en los dos apartados anteriores es una de las más empleadas, existen también otras categorías que de igual manera ayudan a los expertos en la clasificación de elementos, sin embargo, solo se han profundizado las categorías tangible e intangible para mantener delimitados los alcances y limitaciones de esta investigación.

2.1.3 Patrimonio Digital

Sin descalificar el hecho de que se pretende delimitar lo mejor posible este trabajo, resulta pertinente al menos exponer esta otra clasificación en particular, por la relación que guarda con el contexto actual, la comunicación en la era digital y también porque la tecnología ha estado involucrada de forma persistentemente en muchas de las actividades realizadas, ya que sin su implementación hubiera sido prácticamente imposible culminar con éxito, la creación de este producto-innovación con fines educativos.

En otro sentido, incluir este concepto permite establecer un antecedente claro sobre cómo a mediano o largo plazo, el investigador cuenta con elementos suficientes para continuar desarrollando su investigación siguiendo esta línea, o bien, con base en sus hallazgos, pueda ser capaz de establecer cimientos sobre los cuales concatenar sus resultados con otros trabajos, ya sea que estén directamente relacionados con la temática central de este proyecto o formen parte de otras ramas del conocimiento que pudieran beneficiarse, producto de una vinculación.

Por consiguiente, ahondar el concepto de patrimonio digital, representa en si un tema muy amplio que da mucho para hablar, idóneo para desarrollar un trabajo de investigación con estrecha relación, pero de manera independiente considerando las implicaciones que esto conllevaría, sobre todo si con profundizar se aspira a lograr obtener con ello un trabajo de rigor académico o científico.

Con base en la definición que se detalla en la Carta sobre la preservación del patrimonio digital adoptada en octubre de año 2003, se consideran patrimonio digital a:

Resources of human knowledge or expression, whether cultural, educational, scientific and administrative, or embracing technical, legal, medical and other kinds of information, are increasingly created digitally, or converted into digital form from existing analogue resources.

Where resources are “born digital”, there is no other format but the digital original.

Digital materials include texts, databases, still and moving images, audio, graphics, software, and web pages, among a wide and growing range of formats. They are frequently ephemeral, and require purposeful production, maintenance and management to be retained.

Many of these resources have lasting value and significance, and therefore constitute a heritage that should be protected and preserved for current and future generations. This ever-growing heritage may exist in any language, in any part of the world, and in any area of human knowledge or expression. [Los recursos de conocimiento o expresión humana, ya sean culturales, educativos, científicos o administrativos, o que abarquen información técnica, legal, médica y de otros tipos, se crean cada vez más en formato digital o se convierten a formato digital a partir de recursos analógicos existentes. Cuando los recursos son "nacidos digitales", no existe otro formato que el original digital.

Los materiales digitales incluyen textos, bases de datos, imágenes fijas y en movimiento, audio, gráficos, software y páginas web, entre una amplia y creciente variedad de formatos. A menudo son efímeros y requieren una producción, mantenimiento y gestión cuidadosos para ser preservados.

Muchos de estos recursos tienen un valor y significado duraderos, por lo que constituyen un patrimonio que debe ser protegido y conservado para las generaciones actuales y futuras. Este

patrimonio puede existir en cualquier idioma, en cualquier parte del mundo y en cualquier área del conocimiento o la expresión humana.] (UNESCO, 2003a, p. 6).

Tomando en consideración esta definición y reafirmando lo que se comentó anteriormente dentro del apartado justificación, las tendencias de acceso e intercambio a la información evolucionan cada día, y aunado a esto está el surgimiento de nuevas culturas y necesidades distintas a las que les preceden.

Es por esta razón que, categorías como esta otra cobran fuerza y se vuelven relevantes en un paradigma donde algunos individuos muestran preferencias distintas al resto, como el llevar a cabo sus interacciones dentro de mundos virtuales, plataformas tecnológicas llamadas metaversos, que son accesibles a través servicios y medios digitales, reemplazando aquellos realizados años atrás cuyos alcances estaban delimitadas por el plano físico (Clark, 2021, citado por Heritage et al., 2021. p. 33).

2.1.4 Importancia del Patrimonio Cultural

A través de las perspectivas expuestas, el legado de la cultura forma parte fundamental de la identidad de los individuos de una sociedad, lo que favorece comprender de mejor manera el significado que el concepto de patrimonio cultural posee, y a pesar de que cada una de estas definiciones provienen de diferentes perspectivas, en su mayoría si no es que todas, apuntan a lo fundamental que representa para las sociedades de todos los tiempos (CONACULTA, 2013).

En el caso de México, la cantidad de zonas arqueológicas es vasta y extremadamente rica en material de análisis o estudio y aunque la gran mayoría de ellas se encuentran en proceso de estudio o forman parte de investigaciones para dar una interpretación de cada elemento encontrado, es evidente la influencia que esto tiene en muchos de los temas culturales de nuestro país.

Algunos reconocidos antropólogos que están relacionados con el Instituto de Antropología de la Universidad Veracruzana y el Museo de Antropología Xalapa, hacen referencia a la relación que

existe entre la sociedad y el legado cultural, de esta manera, para Bernard et. al. (2010) “Resulta innegable que la historia prehispánica de México es un asunto de interés público, pues en ella se encuentra una de las raíces más claras de nuestra identidad como nación” (p. 13).

Es por todo lo anterior expuesto que, conocer el significado y el valor que posee este concepto contribuye a establecer un sólido punto de partida y aporta al mejor y más profundo entendimiento del proyecto. De tal forma que, al llevar a cabo acciones que conduzcan a la aprehensión de nuevos conocimientos, permitan justificar plenamente cada una de las herramientas que se pretendan usar, reiterando una vez más que no se trata solo de espectacularidad y capacidad de uso de la tecnología, sino que cada acción fue hecha en función de satisfacer necesidades reales, con objetivos claros y bien planteados.

2.2 Virtualización

En la actualidad, debido a la influencia y uso de las tecnologías, es habitual escuchar el término virtual, debido al avance tecnológico actual y la relación que guarda respecto a las actividades que muchos individuos dentro de esta sociedad realizan cotidianamente, estas actividades van desde las personales hasta otras más específicas como el desempeño de tareas complejas en el ámbito laboral.

Con respecto a lo anterior, Tirado (2015) comparte su postura en cuanto al impacto que la virtualización ejerce sobre algunas de las actividades más comunes y que diariamente los individuos desempeñan, al respecto de esto expresando que “No afirmo que no exista un movimiento sin fronteras de información, mercancías, bienes, capital y personas... Pero sí que todo eso, nos llega a nuestras prácticas más cotidianas, más inmediatas, a través de esta virtualidad tecnocientífica” (p. 2).

2.2.1 Concepto de Virtualización

El término presenta diversos significados y por el contexto dentro del cual sea aplicado podrá ser definido de maneras muy contrastantes, no obstante, la relación que guarda con el tema central de

este trabajo que es el apoyar labores de difusión patrimonio tangible, la virtualización aquí es un proceso detallada que inicia con la digitalización y creación de modelos tridimensionales que representan las piezas arqueológicas del MAX crear un entorno virtual en el que estos vestigios, ahora digitales, se puedan ser representados dentro de estos entornos e interactuar con ellos.

Para comprender mejor la principal razón en cuanto al por qué ha sido decisivo implementar un proceso de virtualización como parte de esta investigación en lugar de únicamente digitalizar materiales, es posible tomar como referencia lo dicho por Staropoli et al. (2023), pues contribuye a proveer una importante aclaración con respecto a las actividades que se realizarán:

Entendemos la digitalización como la generación de documentación digital, mientras que la virtualización consiste en crear entornos y recursos para la representación. Las diferencias en la construcción de objetos y/o imágenes de origen analógico y de origen digital están basadas en los conceptos de representación de la originalidad de aquello que se está digitalizando y de simulación en el sentido de copia, pero además en los procedimientos tecnológicos para generar una imagen nueva y auténtica. (p. 212).

Con base en esto, queda claro que el presente trabajo no solo tiene como finalidad generar archivos digitales para resguardarlos si un propósito, ya que su creación representa solo una parte del proceso que se ha propuesto desarrollar. Virtualizar, entonces, representa inicialmente crear réplicas digitales con la mejor calidad posible, posterior a lograr esto, encontrar diferentes enfoques para desarrollar e implementar nuevas estrategias de difundirlas aprovechando los medios existentes, todo esto con la finalidad de apoyar la iniciativas vigentes para que un público mayor conozca y sepa de la existencia de estos materiales y tenga acceso a el, mediado por la tecnología disponible, y así pueda tener una noción sobre lo importante que son estos vestigios arqueológicos para la sociedad.

Otra literatura disponible cuyas premisas planteadas se alinean de manera congruente con este

trabajo, es la descripción que Cirulis et al. (2015) hace para definir este concepto, diciendo que “Virtualization in the research context is used as a term for real world element transformation to virtual and augmented reality objects, usually in the form of computer based three-dimensional models” [En el contexto de investigación, la virtualización se utiliza como un término para la transformación de elementos del mundo real en objetos de realidad virtual y aumentada, generalmente en forma de modelos tridimensionales basados en computadora]. (p. 202).

Una aproximación válida adicional, es lo encontrado en el trabajo titulado ¿Qué es lo virtual?, fomenta el seguir aproximándose a una definición más precisa del concepto en cuestión, es así que para Lévy (1999) “El término virtual se suele emplear a menudo para expresar la ausencia pura y simple de existencia, presuponiendo la «realidad» como una realización material, una presencia tangible” (p. 10).

Ahora, dentro de las disciplinas relacionadas con la conservación del patrimonio cultural y los vestigios arqueológicos, se puede encontrar que la virtualización de datos es un procedimiento que ha aportado grandes beneficios, no sólo en las labores de registro y captura de información, sino que además ha favorecido enormemente la gestión misma. En este sentido Marcos (2021) expone lo siguiente:

En el levantamiento, al igual que ha ocurrido en todas las ramas de las ciencias analíticas, se ha producido un gran avance tecnológico en la instrumentación, lo que ha provocado que los métodos de trabajo también hayan evolucionado de manera notable (p. 24).

El actuar de esta manera, persigue finalmente mejorar y hacer más eficientes los procedimientos, sobre todo con la finalidad de poder obtener mejores y más confiables datos para la investigación y generación del conocimiento.

Gracias a lo anterior, los especialistas en antropología y arqueología pueden contar con las

herramientas suficientes y acordes con las necesidades que demandan las labores que desempeñan, siendo una labor fundamental el registrar evidencias fieles y confiables sobre eventos únicos, irrepetibles e invaluable como el descubrimiento de un yacimiento arqueológico.

Con respecto a la importancia de este proceso, para la obtención de todo dato cuya validez brinde los elementos necesarios para realizar una investigación, Reyes et al. (2019) afirma que “La visualización digital 3D, siendo un recurso laborioso en su ejecución y por ende al alcance de menos proyectos, aporta una aproximación más detallada en el estudio, tanto de las estructuras, como de la cultura material recuperada” (p. 93).

Estas prácticas de virtualización pueden ir desde la toma de fotografías con equipos especiales como cámaras réflex digitales, teléfonos celulares de gama media/alta, así como también video registrado con equipos diseñados para hacer tomas aéreas (drones) lo que permite un espectro amplio de registro y por supuesto mayor cobertura. De esta manera, la gestión y visualización de los datos registrados es posible de almacenar en diferentes formatos de archivos, volviéndola en información valiosa que puede ser apreciable desde diversos dispositivos y plataformas, además de hacer más sencilla su transferencia, lo anterior brinda grandes beneficios para su análisis al ser un proceso de registro replicable, todo esto es posible gracias al poder de la virtualización.

Otro factor a considerar sobre el impacto que la virtualización ha tenido dentro del campo de la difusión del patrimonio cultural es la oportunidad de contar con otro tipo de interacción con los vestigios; como ejemplo claro de esto se puede mencionar que, por la delicadeza de algunas piezas en cuanto a sus materiales de construcción o su estado actual, resulta imposible la manipulación de los mismos de manera habitual, sin que con ello no se comprometa la propia integridad del objeto.

Justamente es por los temas de seguridad y protección que no está permitido el contacto físico con muchas de las piezas, y esto aplica tanto a las expuestas en las salas de museos como aquellas que

actualmente son resguardadas en bóvedas especiales. Estas últimas, además de otras consideraciones deben mantenerse en condiciones específicas, cuidando los factores como temperatura, humedad, protegidas de la exposición directa a los rayos de la luz del sol, principalmente los construidos con materiales orgánicos (telas, madera, entre otros).

De esta manera, las restricciones que suponen los objetos físicos literalmente desaparecen gracias a la virtualización, al permitir emular la experiencia de “acercarse” o tocar “virtualmente”, siempre y cuando estén disponibles en formatos digitales, por ejemplo, los modelos tridimensionales que se proponen para el repositorio digital.

Gracias a las tecnologías de virtualización, los especialistas tienen, dependiendo de la técnica o procedimiento empleado para tal propósito, el poder de hacer réplicas tan fieles a los originales que, si se realiza adecuadamente, los productos obtenidos de dichos registros pueden ser equiparables con las piezas físicas, emulando su espectacularidad en la realidad (hiperrealismo).

Todo esto hace que la experiencia, independientemente de que no se desarrolle de manera física, ofrece a cada usuario la oportunidad de experimentar sensaciones bastante parecidas a las que tendría si tuviese permitido establecer algún contacto físico con los vestigios, aunado a las grandes posibilidades de lo anterior, se suma el poder agregar otros elementos que enriquezcan aún más la experiencia, cómo hacer acercamientos a cada detalle de las piezas más pequeñas para su estudio o análisis, algo prácticamente imposible de lograr si la interacción fuese directamente física sin contar con equipos especiales, por ejemplo microscopios.

2.2.2 Tecnología para la Virtualización del Patrimonio Cultural

Una de las actividades que los especialistas en arqueología y antropología realizan como parte de su quehacer profesional en campo, son las actividades de excavación en un yacimiento o una zona arqueológica, sin duda esta labor se consolida como una pieza fundamental en la que se apoyan para

llevar a cabo cualquier proceso de investigación, porque es uno de los pilares que les permitirá construir estudios y análisis con mayor profundidad del patrimonio histórico descubierto y a partir de ellos, lograr establecer teorías y generar nuevos conocimientos sustentados en el registro de estos descubrimientos (Vozmediano, 2006).

Las técnicas para realizar estas excavaciones se han venido desarrollando con el paso del tiempo, pero la etapa que valida como auténtico un descubrimiento es en sí el proceso de registro o documentación del hallazgo, puesto que legitima el acto y permite a otros especialistas tener la mayor información posible en cuanto al contexto bajo el cual se hizo y en qué momento sucedió tal descubrimiento (Morales, 2010).

Por ello, a pesar de que cada tarea se haya producido en épocas diferentes, incluso muy posteriores a los últimos investigadores, el éxito que se podría alcanzar en ellos depende completamente del cuidado, organización y control de cada una de las etapas involucradas en el registro, además de que al tratarse de acontecimientos únicos e irrepetibles es la única manera de registrar correctamente estas acciones.

Uno de los primeros métodos de registro arqueológico con el que los investigadores disponían fue el dibujo, el cual dependía enteramente de la destreza técnica del dibujante, a veces era el propio arqueólogo quien mediante dibujos representaba en hojas o cuadernillos (en el mejor de los casos) dicho evento; además de las posibles ventajas y desventajas producto de la capacidad artística de quien plasmaba cada trazo, se suma el inevitable sesgo que resulta de contemplar posteriormente los dibujos, ya que estos sólo muestran, desde la visión de quien realiza el dibujo, ciertos hechos o una parte del contexto global (Caballero, 2006).

Por supuesto, con el paso del tiempo estas técnicas fueron evolucionando y como es de suponerse, aunado a otro tipo de desarrollo como el de la tecnología, también las intervenciones se

han consolidado y complementado satisfactoriamente a tal grado que, ahora es posible desempeñarse de manera mucho más eficiente, más precisa y estandarizada.

De igual manera, los resultados que se obtienen de estos nuevos procesos han mejorado enormemente, sobre todo las actividades de hacer disponible y compartir gran cantidad de información. Gracias a esta evolución la información y los resultados producto de investigaciones importantes, se pueden hacer con mucho mayor velocidad y volumen porque los procesos computacionales involucrados para su obtención se caracterizan por una inmediatez sorprendente.

Con respecto a este cambio de paradigma, relacionado con la evolución de las abundantes técnicas empleadas en estas tareas, Marcos (2021) menciona que:

La parte de la interpretación de los datos y su posterior representación, para la redacción, la documentación correspondiente, también ha sufrido un evidente desarrollo en los últimos años, y no solo por el uso del ordenador, sino por los accesorios periféricos que van asociados al mismo (p. 26).

No obstante, en función de disponer de herramientas menos invasivas para el manejo de las piezas que son encontradas, en la actualidad existen tecnologías que permiten a los especialistas tener la capacidad de realizar un registro arqueológico y obtención de datos muy precisos sin tener siquiera contacto físico con el elemento estudiado, permitiendo con ello mantener su estado original lo mejor posible, incluso sin provocar más alteraciones posteriores a su hallazgo.

Otros dos factores a considerar son, por un lado, que combinar nuevas herramientas con las metodologías tradicionales, ha supuesto un mayor avance para este tipo de investigaciones, incluso en algunos casos se habla de un cambio de paradigma que no sólo impacta en ciertas áreas relacionadas con los campos de estudio pertenecientes a la arqueología, y por otro lado, considerar es que en gran medida estos cambios también están fuertemente influenciados por la transición de lo análogo a lo

digital.

2.2.3 Realidad Virtual

Este concepto ha sido discutido desde hace mucho tiempo; es tan amplio que actualmente se pueden encontrar gran cantidad de trabajos que intentan justamente establecer el punto de inicio de esta tecnología. Sin embargo, para poder delimitar sin perder correspondencia con el sentido de este trabajo, será importante expresar en primer lugar que la intención de integrar esta tecnología tiene como finalidad su uso dentro del ámbito educativo.

Con base en lo anterior, se deja de lado el uso que la Realidad Virtual pueda tener con otros propósitos distintos a lo educativo, por ejemplo, su uso como herramienta de entrenamiento, finalidad que hoy en día es de las más populares.

Afortunadamente, dentro de la vasta literatura a la que se puede acceder siguiendo la línea pedagógica, una referencia acorde con la intención de este proyecto es la definición que Valle (2021) comparte en su trabajo de tesis, aquí define a esta tecnología de la siguiente manera:

La realidad virtual se define como la representación de escenas o imágenes de objetos que da la sensación de su existencia real. La palabra “realidad” viene del latín “*realitas*” y significa “cualidad relativa a la cosa verdadera o real”. Sus componentes léxicos son: *res* (cosa), *-alis* (sufijo que indica relativo a), más el sufijo *-dad* (cualidad). La palabra “virtual” viene del latín “*virtus*” y alude a la fuerza o voluntad para realizar un trabajo, aunque no lo realice, significa algo aparente que no es real. (p. 40).

Cabe hacer la apreciación de que este tema será recurrente en los siguientes capítulos, principalmente en el apartado de creación de una experiencia de Realidad Virtual, donde se describirán algunas de sus principales características, así como el potencial que tiene para apoyar las labores de difusión del Museo de Antropología de Xalapa. Finalmente, se hablará sobre la manera en que se

pretende aprovechar al máximo las ventajas que la tecnología ofrece para enriquecer el producto-innovación una vez que el proceso de creación de este haya concluido.

2.3 Registro Arqueológico y Documentación 3D

Se puede mencionar que, actualmente, entre las herramientas disponibles para respaldar las actividades de registro arqueológico, se encuentran: la fotografía digital y video (análogas en un principio), fotografía digital y video aéreos, resonancia magnética, modelado y reconstrucción tridimensional, fotogrametría, LIDAR Scan, entre otros. De esta manera resulta fundamental para la comprensión de esta investigación que las últimas tres herramientas mencionadas, se utilizan para llevar a cabo procedimientos especializados, cuyos resultados (productos) en la actualidad han sido denominados documentación 3D (Santos et al. 2017).

Hoy en día, está accesible literatura relacionada con este tema, de estas, resalta una en particular de gran valor para este proyecto, es el artículo de investigación titulado: *3D Mass Digitization: A Milestone For Archaeological Documentation*, donde Santos et al. (2017) sostiene que “In case of the loss of an original, the image, form and context are still available for scientists and interested parties by means of photo-realistic 3D models” [En caso de la pérdida de un original, la imagen, forma y contexto siguen disponibles para los científicos y las partes interesadas mediante modelos 3D fotorrealistas] (p. 2).

Lo anterior, confirma la importancia de llevar a cabo un buen registro arqueológico y cómo el proceso se relaciona con el término de documentación 3D, también describe los grandes beneficios que representa para aquellas instituciones encargadas de proteger y difundir la riqueza de nuestro patrimonio cultural, la implementación de estas técnicas como parte de las actividades que deberían mantenerse en constante desarrollo.

Esta metodología, a su vez, involucra el uso de tecnología de punta, que en sus inicios

representaba una inversión considerable, algo costoso en la mayoría de los casos sólo por algunas instituciones con la ayuda de partidas presupuestales gubernamentales, y a pesar de que la oportunidad de acceso a nueva tecnología es mayor cada vez, no dejan de ser necesarios, por un lado, el empleo de diversos dispositivos y equipamiento, y por el otro, que estas tareas tan especializadas requieren de muchos conocimientos técnicos y tiempo de trabajo para su óptimo manejo y adecuado uso, que de alguna manera garantice la obtención de resultados satisfactorios.

Finalmente, resulta vital el aprovechamiento de toda oportunidad de contacto con las piezas a trabajar, teniendo en consideración que el acceso a ellas para su registro es complicado y muy limitado, independientemente a la metodología empleada.

2.3.1 Modelado Poligonal

Para comenzar con este apartado, será muy importante definir qué es el modelado tridimensional o *3D Modeling* (en inglés), es así como Autodesk (2020), compañía dedicada al desarrollo de software especializado para la creación digital de modelos tridimensionales define a este proceso computacional de la siguiente manera:

“3D modeling software allows you to create a mathematical representation of a 3-dimensional object or shape on your computer. The created object is called a 3D model and these 3-dimensional models are used in a variety of industries.

Industries including architecture, construction, product development, science, medicine, film, television, and video games use 3D modeling apps and software to visualize, simulate, and render graphic designs” [El software de modelado 3D te permite crear una representación matemática de un objeto o forma tridimensional en tu computadora. El objeto creado se llama modelo 3D y estos modelos tridimensionales se utilizan en una variedad de industrias.

Industrias como la arquitectura, la construcción, el desarrollo de productos, la ciencia,

la medicina, el cine, la televisión y los videojuegos usan aplicaciones y software de modelado 3D para visualizar, simular y renderizar diseños gráficos] (párr. 1-2).

Gracias a las funciones que estos programas poseen y a través de esta técnica digital de manipulación de los modelos tridimensionales, un usuario tiene la posibilidad de crear (modelado) y representar (visualización) objetos a través de una interfaz electrónica o digital compatible con estos formatos, estos objetos virtuales, se visualizan mediante diferentes cálculos matemáticos y procesos computacionales, además que con los software de diseño 3D se pueden editar o modificar las propiedades de estos objetos virtuales como su “posición, escala y rotación” *“translation, scale and rotation (en inglés)* todo ello dentro de un espacio también tridimensional.

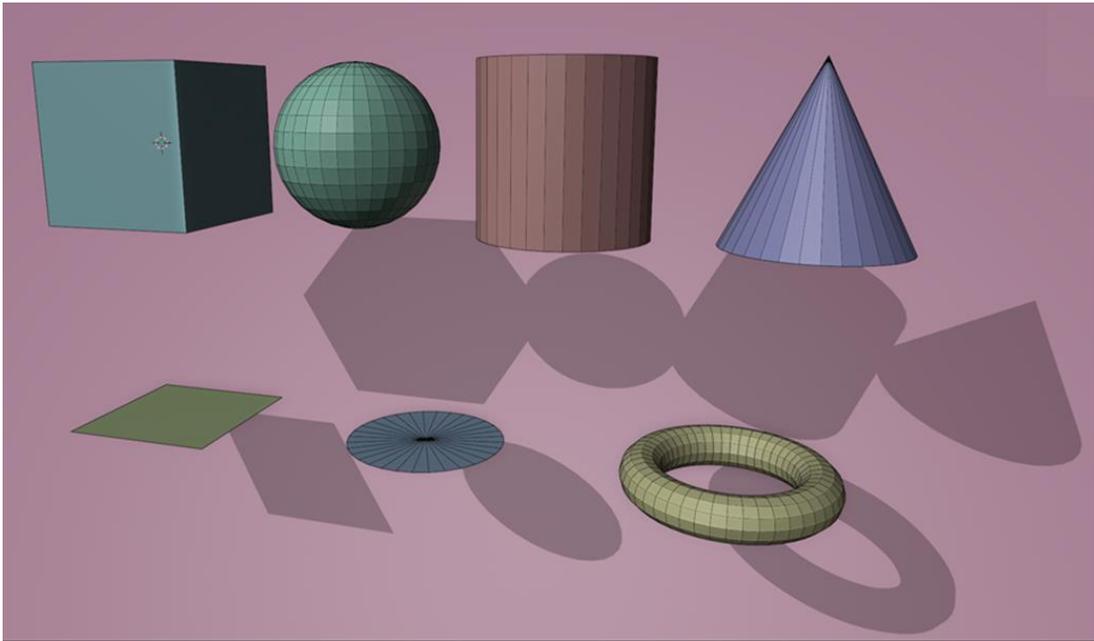
De esta manera, con las propiedades de transformación básica, es posible la representación, por medio de una pantalla, de cada superficie de los objetos modelados, sus colores y diversos materiales (reflectantes, opacos, transparentes, mates, etc.) y con la adición de procesos más complejos (cálculos gráficos más avanzados) como la proyección de sombras y reflejos en las superficies (mallas poligonales), es cuando se logra crear imágenes hiperrealistas que emulan el comportamiento de la luz, algo igual o similar a lo que sucedería si estas fueran irradiadas por una fuente de luz como el sol o un foco.

De acuerdo con Autodesk (2024) el principio básico con el que se puede crear un modelo tridimensional mediante la técnica de modelado poligonal es el uso de objetos o figuras geométricas básicas llamadas “Primitive 3D”, mismas que están representadas por esferas, cubos, cilindros, conos, círculos, planos, triángulos entre otros.

En la Figura 1, es posible observar con detalle cómo están conformadas las mallas poligonales, mismas que son utilizadas para el modelado poligonal.

Figura 1

Figuras Primitivas



Fuente: Elaboración Propia.

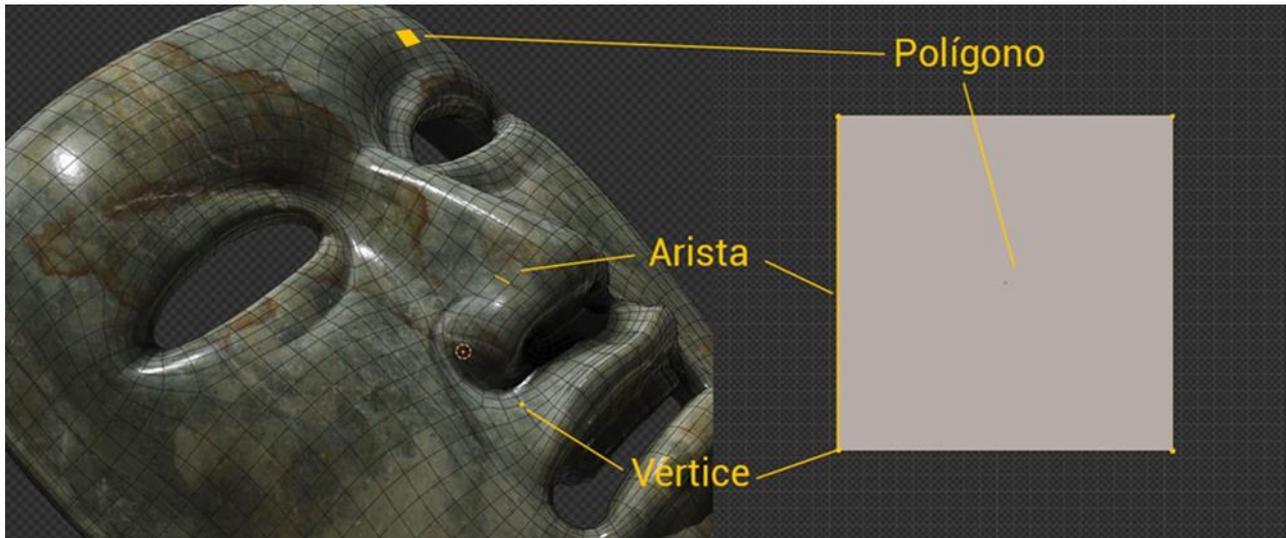
Cada figura u objeto tridimensional está representada por lo que se conoce como malla poligonal que la delimita, incluidas las anteriores figuras 3D primitivas (apreciables en la Figura 3) de igual manera, cada malla posee tres componentes fundamentales que hacen posible su manipulación dentro de un software de diseño 3D.

Estos componentes imprescindibles para editar las mallas poligonales son: los polígonos/caras, aristas y vértices/puntos, *polygons/faces, edges and vertex/points* en inglés, Autodesk (2020).

Con el fin de hacer una representación visual con la cual se puedan apreciar a detalle estos tres elementos, a continuación, se presenta la Figura 2.

Figura 2

Elementos de una Malla Poligonal Tridimensional



Fuente: Elaboración Propia.

Estos últimos tres componentes, al ser modificados mediante diversos comandos como la extrusión/inserción de polígonos, biselado o subdivisión de aristas y muchos otros más, permiten la deformación de cualquier malla poligonal a voluntad del usuario, hasta lograr transformar objetos primitivos en modelos mucho más complejos, por ejemplo, si se requiere modelar una caja se tomará como base un cubo, si se necesita modelar un vaso o una botella se toman como base las formas primitivas como un cono o cilindro (Autodesk, 2014).

Otra característica que destaca al modelado poligonal, es su amplio uso por la gran mayoría de los especialistas en el campo del diseño, esto debido principalmente a que sus herramientas de modificación, brindan a los usuarios un excelente control en cuanto a precisión para la edición de polígonos, aristas y vértices, algo muy útil en el prototipado rápido o *blocking*, pues resulta extremadamente funcional en la creación de todo objeto cuyas características principales sean el tener

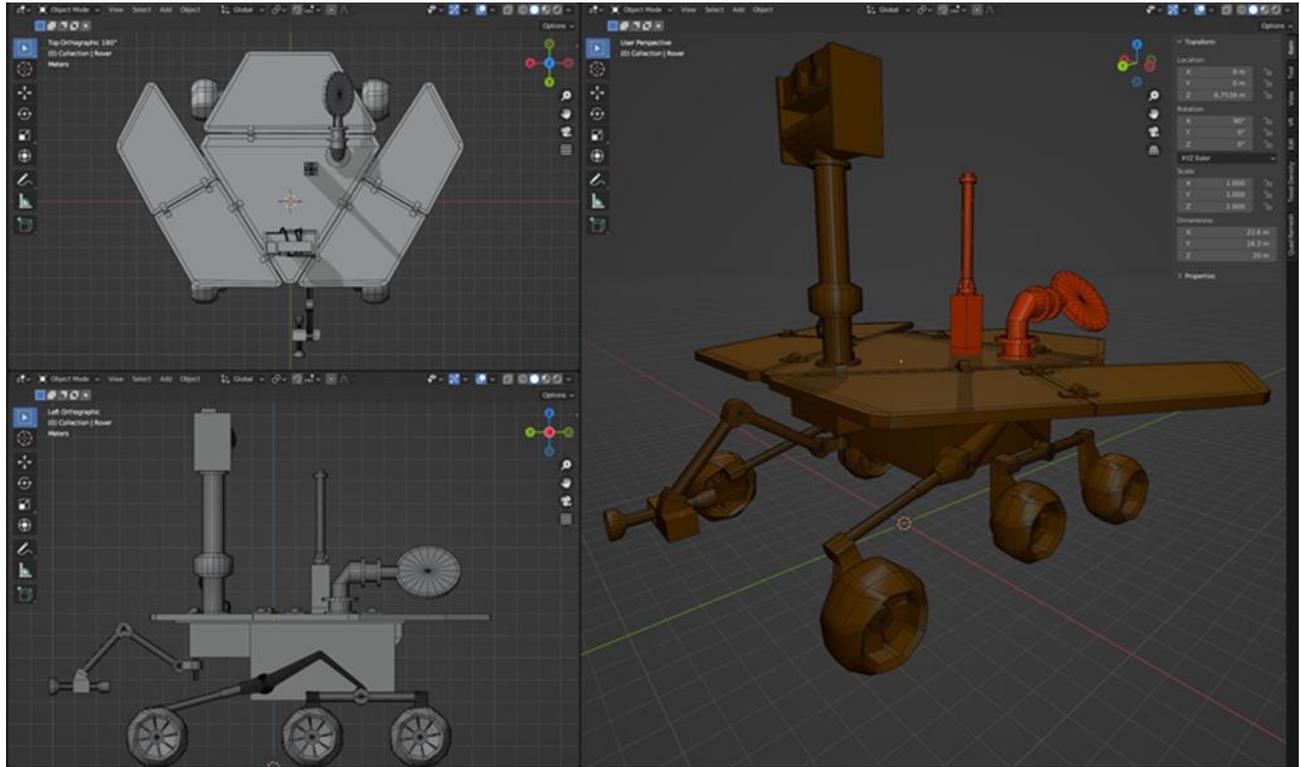
superficies planas y ángulos rectos; esta particularidad se conoce dentro de este campo como *hard surface*.

Los ejemplos más claros del uso de la técnica de *hard surface*, cuya base son los objetos o figuras cúbicas o prismáticas, los encontramos presentes en varias industrias de la actualidad; dentro del sector automotriz, este proceso de modelado resulta excelente para el diseño del chasis de un automóvil o las partes que conforman un motor, dentro del diseño industrial es usada con mucha frecuencia para la creación de prototipos de los electrodomésticos y muebles, en la arquitectura es usada para la representación de planos y creación de maquetas digitales, también en la ingeniería forma parte fundamental del proceso de diseño y creación de piezas de maquinarias complejas que requieren de extrema precisión, algo determinante en sus aparatos, por ejemplo: los componentes de los equipos “*Rovers*” creados y enviados al planeta Marte por los ingenieros de *The National Aeronautics and Space Administration* (NASA) desde el año 1997, hasta fechas recientes en 2021, (Aguirre 2021).

Lo anterior se puede representar mediante la Figura 3:

Figura 2

Técnica de Modelado Tradicional o Hard Surface



Fuente: Elaboración Propia.

A pesar de los grandes beneficios que aporta el modelado *hard surface*, existen también limitaciones implícitas y que dependiendo del tipo de proyecto deben ser consideradas para la obtención de resultados satisfactorios. La mayor de ellas es que al crear estos modelos poligonales, si se necesitara agregar más detalles a la superficie del modelo, sería necesario recurrir a un proceso de subdivisión de polígonos, lo cual en términos de recursos computacionales, resulta muy costoso para el programa y el equipo (computadora) generar la visualización de la malla, ya que posee más detalle, además que la edición de los polígonos, las aristas o los vértices a un nivel elevado de subdivisiones, se hace prácticamente imposible cuando se alcanzan modelos conformados por millones de polígonos

(*high poly mesh*).

Con respecto a este tipo de limitante, que conlleva el uso de este procedimiento y las consecuencias que podría presentarse, Moran (2001) expone que “The problem with planar meshes is that they are only piecewise linear approximations to arbitrarily complex surfaces, and can thus lead to unacceptable approximation errors unless their number of elements (triangles/polygons and, therefore, vertices) is arbitrarily large” [El problema con las mallas planas es que son solo aproximaciones lineales por partes a superficies arbitrariamente complejas y, por lo tanto, pueden conducir a errores de aproximación inaceptables a menos que su número de elementos (triángulos/polígonos y, por ende, vértices) sea arbitrariamente grande] (p. 40).

En consecuencia, si es la intención crear modelos tridimensionales con mucho detalle, o con formas más orgánicas, aunque sea posible hacerlo con estos programas, se debe tener en consideración que en algún punto, al usar la técnica de *hard surface*, entre más complejos sean los modelos se demandará más poder de procesamiento, esto aunado a un proyecto extenso (con gran cantidad de modelos por sesión) se volverá mucho más difícil y tardado trabajar de una manera eficiente, independientemente a las capacidades y prestaciones del hardware (procesador o tarjeta gráfica).

2.3.2 Escultura Digital

La escultura digital es una técnica de modelado tridimensional que ha ganado gran popularidad en los últimos años por su enorme flexibilidad, ya que brinda a los especialistas del diseño tridimensional la oportunidad de crear modelos 3D orgánicos (Basilio, 2014).

Por su parte, Garza (2015) menciona que “con respecto a estos procesos, la escultura digital es el método de modelado que más cerca se encuentra de la escultura tradicional física” (p. 21).

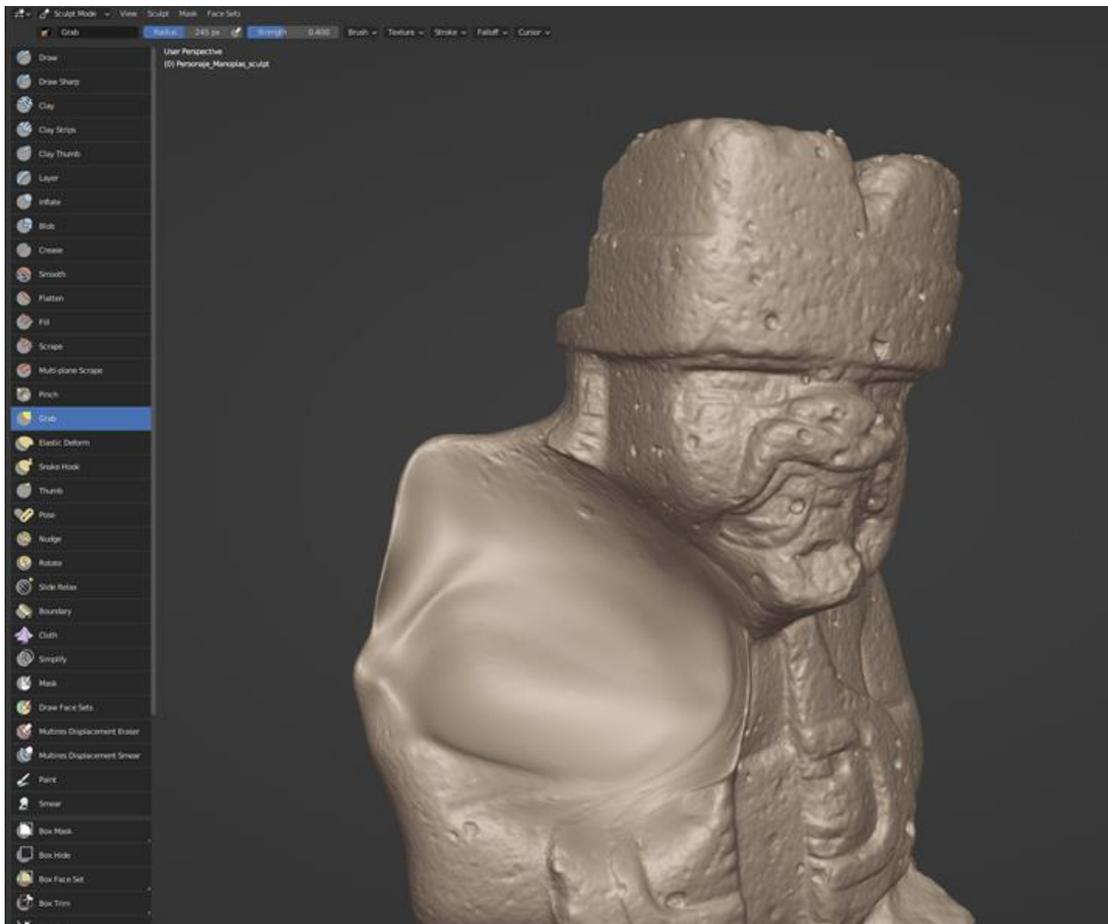
La característica que hace robusta y única esta modalidad, son las herramientas disponibles en los programas especializados para el modelado de objetos orgánicos digitales altamente detallados,

García (2017), de ahí que se le denomine "escultura digital" a esta técnica.

La Figura 4 permite observar las herramientas disponibles dentro del software de diseño 3D para llevar a cabo el proceso de reconstrucción digital de un modelo orgánico.

Figura 3

Técnica de Modelado Orgánico o Digital Sculpt



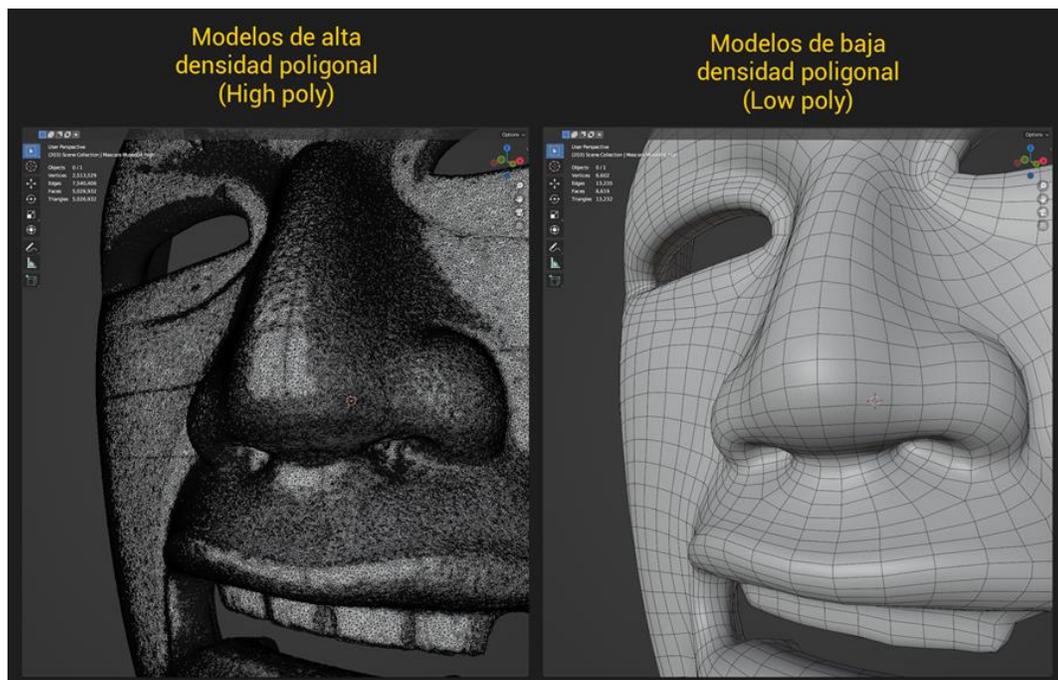
Fuente: Elaboración Propia.

En este caso, se hace referencia a todos aquellos modelos con una malla poligonal con alta densidad, es decir que cuenta con una gran cantidad de polígonos, y que no precisamente fueron creados a partir de la subdivisión de un modelo primitivo (descritos anteriormente en la técnica de modelado *hard surface*), en este otro caso, se habla de superficies completamente irregulares o con una cantidad de detalles enorme, lo cual es extremadamente complejo y en algunos casos prácticamente imposibles de conseguir por medio del modelado poligonal, ya que para alcanzar tales niveles de detalle es necesario trabajar con mallas o superficies de millones de polígonos.

En la Figura 5 se compara, lado a lado, las diferentes mallas poligonales que conforman en promedio los modelos de alta densidad y los de Baja Densidad Poligonal.

Figura 4

Comparativa entre Modelos Tridimensionales con Alta y Baja Densidad Poligonal



Fuente: Elaboración Propia.

Gracias a la capacidad de gestionar esta gran capacidad de polígonos, muchos diseñadores, artistas y otros creadores que elaboran estos objetos tridimensionales, pueden reproducir digitalmente detalles extremadamente complejos, como las texturas de diversas superficies, los pliegues de la tela o la aspereza de las rocas, incluso cabello o los poros de la piel.

2.3.3 Fotogrametría

Dicho de manera general, la fotogrametría es una técnica con la cual es posible la creación de modelos tridimensionales, pero a diferencia del modelado poligonal o la escultura digital, este procedimiento se realiza a partir de un análisis de información bidimensional (fotografías) para hacer una interpretación del objeto registrado en una figura tridimensional, con gran detalle y precisión.

Los resultados obtenidos de este proceso, mismos que pueden ser extraordinarios o muy deficientes, dependen de diversos factores, además de requerir conocimientos especializados para la toma de datos (registro fotogramétrico), se debe seguir un proceso muy riguroso, por lo que de no contar con todas las condiciones adecuadas, los productos pueden ser carentes de la calidad necesaria para su uso.

Como se mencionó, en el proceso de digitalización de objetos físicos a través de la técnica de “fotogrametría”, es posible obtener excelentes resultados, en algunos casos comparable con los que se pueden obtener con la tecnología LIDAR Scan, la fotogrametría permite generar un modelo tridimensional a partir de la toma de una serie de fotografías alrededor del objeto, es fundamental que la captura de estas imágenes cumpla con unas especificaciones muy puntuales, como el número de fotografías, configuración del equipo fotográfico (balance de blancos, contraste, temperatura del color, enfoque preciso, etc.), tipo de óptica o lente (Charquero, 2012).

También influyen la posición, ángulo de captura y la distancia física entre cada toma, además de todo lo anterior se deben considerar otros requisitos igual de importantes para que el resultado

pueda tener la mayor calidad posible, el principal es el tipo de material o superficie que se pretende digitalizar, esto es, al tratarse de un proceso de reconstrucción digital a partir de imágenes 2D, los algoritmos hacen un tipo de ensamble entre cada imagen por medio del reconocimiento y diferenciación de píxeles que crean puntos de referencia únicos (Vera, 2015).

Estos píxeles que se encuentran repetidos en las diferentes imágenes de un mismo objeto, son llamados “*anchor points*”, y se superponen como un rompecabezas imagen por imagen, hasta que el programa logra emular no sólo la forma y el volumen del objeto, sino que además es capaz de reconocer la posición exacta (dependiendo de la calidad de las fotografías) en qué lugar (posición espacial) se encontraba el dispositivo de captura (cámara) con respecto al objeto y desde donde se realizó la fotografía.

Por lo anterior, se puede decir que los objetos con superficies ásperas o con irregularidades muy marcadas (como las rocas), arrojan una gran cantidad de información que el software especializado utiliza, permitiéndole deducir y hacer una correspondencia más precisa gracias a esa serie de patrones irregulares, mejor aún si estas superficies poseen un buen contraste.

Sin embargo, todo lo contrario sucede al tratar de digitalizar objetos cuyas superficie son lisas y reflejantes mediante el proceso de fotogrametría, ya que carecen justamente de esta característica, es decir, tienen un nivel de contraste muy bajo, además de que cada vez que el usuario cambia de posición la cámara, la superficie refleja un patrón de información diferente en cada toma, lo que confunde al programa haciéndolo incapaz de encontrar puntos de coincidencia con los cuales empalmar una imagen sobre la otra.

La Figura 6, es una muestra del proceso de digitalización de un modelo físico, es este caso la famosa escultura llamada “El Señor de las Limas”, que pertenece a la cultura olmeca. En la Figura 6 se pueden apreciar cómo están posicionadas las fotografías alrededor del modelo digitalizado, en este

caso, el software calcula la posición en la que fue registrado cada disparo de la cámara, así como el resultado de la combinación de información (píxeles) de cada fotografía para su representación dentro de un espacio tridimensional, en los ejes X (izquierda/derecha), Y (arriba/abajo) y Z (adelante/atrás).

Figura 5

Digitalización de un Objeto Físico Mediante Fotogrametría



Fuente: Elaboración Propia.

2.3.3.1 Ventajas y Desventajas de la Fotogrametría. La mayor ventaja que esta técnica ofrece es la de ser un proceso se ha vuelto cada vez más asequible, al igual que el equipamiento tecnológico que se necesita para producción de resultados aceptables, y si se aspira a conseguir una mayor calidad, la inversión puede incrementarse considerablemente, pero los resultados pueden lograr un grado de excelencia extraordinario.

También, existen en la actualidad una gran cantidad de software especializado que se puede usar, dentro de los cuales por supuesto, se encuentran los que son libres y los que son privativos; estos últimos resultan notablemente más robustos y con muchas más opciones que el usuario puede configurar, pero sobre todo con el soporte para admitir diferentes tipos de formatos de imagen, lo que resulta sumamente importante y benéfico, ya que no está limitado al uso de un equipo específico, por ejemplo, se pueden usar diferentes cámaras fotográficas y diferentes ordenadores (dependiendo la capacidad adquisitiva del usuario) y que el flujo de trabajo sea óptimo, gracias a la compatibilidad entre equipos.

Desde cierta perspectiva, el mayor inconveniente que limita considerablemente esta técnica, es que resulta extremadamente difícil obtener buenos resultados cuando se intenta registrar algún objeto cuya superficie es completamente lisa, al igual que las que presentan propiedades reflectantes.

Por un lado, las lisas muestran un patrón idéntico en la superficie por lo que resulta imposible para el software especializado hacer sus cálculos y reconocer la posición donde se hizo la fotografía y la correspondencia entre ellas, por otro lado, las superficies reflectantes (como un espejo, cristal o vidrio) aunque habría información en píxeles, dependiendo de la posición en que se haga cada captura, por el ángulo de reflexión al rodear el objeto para fotografiarlo, será distinto y para el programa resulta imposible hacer la reconstrucción digital.

Capítulo 3

Metodología

A través de este tercer capítulo, el lector conocerá a fondo las actividades involucradas en el procedimiento de digitalización 3D de piezas arqueológicas del Museo de Antropología de Xalapa, así como una descripción detallada de cada una de las etapas llevadas a cabo durante la producción

Dada la complejidad de los procedimientos empleados durante este proyecto, se optó por implementar una metodología capaz de conducir de manera exitosa a la obtención de un producto-innovación cuyos resultados pudieran ser útiles y aplicables. Por esta razón, la selección de las tecnologías adecuadas, en conjunto con la implementación y seguimiento apropiados de una metodología, fueron determinantes, pues permitieron dar el seguimiento lógico y ordenado necesario al proceso completo y así satisfacer las necesidades planteadas.

3.1 Prototipado Rápido (*Rapid Prototyping*)

Cuando se trata del desarrollo de un producto o prototipo, resulta de gran importancia poder contar con una retroalimentación constante y en caso de que esta pueda establecerse de manera más rápida por parte de los usuarios, será posible que el desarrollador pueda realizar adecuaciones de forma más inmediata, pertinentes y acordes a las necesidades específicas, logrando con ello satisfacerlas, es por esta razón que, una producción basada en un Prototipado Rápido o (*Rapid Prototyping*) fue una pieza clave, pues el seguir una estructura de trabajo con estas características, permitió realizar satisfactoriamente cada actividad.

Un modelo de prototipado rápido acorde con los objetivos planteados en investigación fue el desarrollado por Tripp & Bichelmeyer (1990), quienes por sus cualidades y fortalezas describen de la siguiente manera: “In this methodology, after a succinct statement of needs and objectives, research and development are conducted as parallel processes that create prototypes, which are then tested and

which may or may not evolve into a final product” [En esta metodología, después de una breve declaración de necesidades y objetivos, la investigación y el desarrollo se llevan a cabo como procesos paralelos que crean prototipos, los cuales luego se prueban y pueden o no evolucionar hacia un producto final] (p.7).

La adaptación de esta metodología, no solo fue asertiva para la adecuada creación de modelos tridimensionales de las piezas arqueológicas y su implementación dentro de la experiencia de Realidad Virtual, si no que aparte de todo eso fue posible experimentar y realizar mejoras en los prototipos cada vez más complejos antes, durante y hasta después con la creación del producto final.

Con respecto a las ventajas e importancia que tiene realizar este tipo de iteraciones de manera rápida y constantes, Nixon & Lee (2001) sostienen que:

The key to Rapid Prototyping is the ability to construct models of increasing fidelity in order to both problem-solve and problem-find. The repeated iterations of a model or the development of parallel models provides the team with more information than a traditional front-end analysis. [La clave de la Prototipación Rápida es la capacidad de construir modelos de fidelidad creciente para tanto resolver problemas como identificar problemas. Las iteraciones repetidas de un modelo o el desarrollo de modelos paralelos proporcionan al equipo más información que un análisis tradicional inicial] (p.104-105).

Otro factor muy significativo resultado de este flujo de trabajo fue lograr documentar con detalle y de manera secuencial el procedimiento completo, algo sumamente importante puesto que los resultados obtenidos en cada etapa serán determinantes para obtener un grado de calidad óptimo, sobre todo por la responsabilidad que conlleva tener la gran oportunidad de trabajar con piezas arqueológicas tan importantes.

De acuerdo con lo anterior, y con relación a lo mencionado por López (2020), al estar en

contacto con las manifestaciones del patrimonio cultural, se trabaja con material cuyo valor es incalculable, por ello, ha sido muy importante realizar un registro excepcional para aprovechar la oportunidad de interactuar con material arqueológico restringido, además de que los datos podrán ser empleados de manera confiable en etapas sucesivas de investigación o proyectos posteriores.

Siempre y cuando, la información que se obtenga sea fiel y precisa, esta intervención servirá como un importante antecedente que permitirá dar continuidad al proceso de virtualización de otras piezas arqueológicas del museo, además, con base en esta investigación, se podrán garantizar resultados homogéneos mediante un proceso altamente replicable, con miras a lograr en otros productos, una calidad equivalente o incluso superior, en caso de perfeccionar el método.

Finalmente, como planteamiento principal del proyecto se propuso la creación de modelos tridimensionales, mismos que, por un lado, pudieran ser alojados en un repositorio digital y por el otro, permitieran la creación de un producto-innovación (experiencia inmersiva) para la exploración de nuevas tecnologías, con énfasis en la Realidad Virtual y la realidad aumentada.

3.2 Procedimiento

El procedimiento empleado para el desarrollo de este proyecto fue planificado para ser completado en seis etapas:

- Etapa 1 - Análisis
- Etapa 2 - Selección
- Etapa 3 - Diseño
- Etapa 4 - Desarrollo
- Etapa 5 – Implementación

A su vez, cada etapa se dividió en diferentes sesiones para realizar las tareas correspondientes,

en su mayoría fueron el intercambio de información, la recopilación y análisis de datos, el desarrollo y creación de un repositorio digital y una de experiencia de Realidad Virtual.

La estructura base con la cual se trabajó, estuvo sustentada en la aplicación de uno de un modelo de trabajo usado para en la creación de prototipos o productos, el escogido fue el denominado prototipado rápido o *Rapid Prototyping* cuyas etapas permitieron al investigador generar la información necesaria.

De acuerdo con López (2020) el proceso de digitalización 3D considera la obtención de modelos tridimensionales digitales a través de la realización de una serie de pasos secuenciados, estos pasos se realizaron bajo estrictos criterios de producción, con lo que se ha garantizado en primer lugar, el mantenimiento de un flujo de trabajo óptimo, que condujera a la obtención de los mejores resultados no sólo del producto, sino al término de cada etapa y, en segundo lugar, obtener productos aplicables a las necesidades bajo las cuales fueron planteados.

3.2.1 Hardware

Para la realización exitosa del proceso de digitalización de piezas arqueológicas, fue necesario el uso de diversas herramientas tanto digitales como físicas, que en conjunto permitieron el desarrollo de cada tarea.

En cuanto a las herramientas utilizadas, es importante mencionar que, por un lado, parte de estas fueron tan especializadas que resultó muy complicado sustituirles con cualquier otra, por otro lado, también se usaron herramientas convencionales, como por ejemplo el más esencial equipo fotográfico, en este caso profesional, para garantizar el mayor grado de fidelidad en los detalles, texturas y colores de cada pieza, con un equipo de estas características fue posible hacer un registro con la mejor calidad posible.

Para el caso del equipo fotográfico, entre los criterios para ser escogidos, también se consideró

la calidad y gama del hardware y software, ello tuvo un impacto considerable en los resultados del proceso de registro y la reproducción de piezas arqueológicas digitales.

3.2.1.1 Equipo Fotográfico Profesional. Es el conjunto de accesorios que ensamblados permiten hacer un registro en formato de imagen, digital o impresa, fiel a la realidad; estos equipos están compuestos por lentes intercambiables (óptica fotográfica), los cuales montados en un dispositivo llamado cuerpo, permiten capturar digitalmente colores y el comportamiento de la luz sobre los objetos registrados.

Estos equipos fotográficos profesionales son propiamente llamados cámaras réflex, cuyos elementos principales son el espejo, componente mecánico que refleja del exterior de la cámara todo lo apreciable por el ojo del operador del equipo a través del lente, y el sensor, componente electrónico encargado de convertir tal reflejo en un registro de imagen digital.

Como la materia prima con la que trabajan las cámaras fotográficas es la luz, fue necesario el uso de fuentes lumínicas adicionales, específicamente equipo led de iluminación continua, para sesiones largas de trabajo y flash, esto permitió contar con iluminación adicional en los objetos, para eliminar la aparición de sombras en los registros y alcanzar la mayor claridad y nitidez de los registros, siendo estos dos últimos conceptos claves para obtener los mejores resultados en las etapas siguientes del proceso.

3.2.1.2 Estación de Trabajo Profesional (Workstation). Para la gestión de fotografías de alta calidad y grandes volúmenes de información, se requirió de equipo de cómputo especializado, cuyas prestaciones brindarían un óptimo desempeño durante las arduas jornadas de trabajo. Dentro de estos criterios se contemplaron la potencia del equipo, en cuanto a su capacidad de procesamiento, la eficiencia para un rápido manejo de archivos y procesos, así como la confiabilidad, para el adecuado tratamiento y resguardo de la información generada.

Por lo anterior, se optó por el ensamblaje de una estación de trabajo de alta gama (*workstation*), capaz de llevar a cabo los rigurosos procesos computacionales que involucran la digitalización, reconstrucción y optimización de objetos físicos, en el caso particular de este proyecto, piezas arqueológicas.

En conjunto y gracias a estos componentes, la reconstrucción digital fue posible, volviéndose la estación de trabajo un pilar fundamental e insustituible para completar todas las tareas.

Cabe destacar que, sin estas características, no hubiera sido posible alcanzar algo tan fundamental como procesar y analizar la gran cantidad de imágenes (de alta resolución) generadas en la etapa de registro; así mismo, hubiese sido extremadamente difícil la manipulación de modelos tridimensionales de alta densidad poligonal (millones de polígonos) cuyo peso alcanza en promedio 1 GB por archivo.

Estas herramientas fueron determinantes para la producción de versiones optimizadas de cada pieza arqueológica, permitiendo la creación del repositorio digital y la construcción de la experiencia de Realidad Virtual, que involucra una etapa crucial: el proceso de compilación del archivo ejecutable (*.apk*) para poder ser visualizado en un visor de Realidad Virtual, sin la necesidad de estar conectado inalámbricamente a un equipo de cómputo adicional.

3.2.2 Software

En función de las tareas realizadas, se establecieron las cuatro categorías siguientes y dentro de cada una de ellas fueron agrupadas las herramientas de software utilizadas para el logro de los objetivos planteados:

- Ofimática
- Edición de Imagen

- Virtualización, Diseño y Modelado Tridimensional
- Visualización (repositorio digital y experiencia de realidad virtual)

3.2.2.1 Ofimática. La primera categoría comprende principalmente a las herramientas de ofimática para la captura de textos, tanto de las piezas como del procedimiento en sí, de tal manera que para la redacción de documentos, cuestionarios, notas y demás archivos de texto exclusivamente, se utilizó el procesador de texto *Writer* de *LibreOffice*, para la elaboración de presentaciones se empleó *Impress* (de *LibreOffice*), finalmente para el vaciado de datos en formatos de registro se usaron hojas de cálculo con dos herramientas más, por un lado, *Calc*, también de *LibreOffice* y *Google Sheet*.

Cabe mencionar que, aunque las dos últimas herramientas cuentan con grandes similitudes y prestaciones, lo realizado con hojas de cálculo de *Calc*, sirvió para la generación de archivos locales, mientras que los datos vaciados vía *Google Sheet*, sirvieron para que tales documentos estuvieran en condiciones de ser compartidos y estar disponibles en cualquier momento, a través de la web mediante el almacenamiento en la nube, algo muy útil para realizar modificaciones o ser enriquecidos de manera simultánea, durante las sesiones de trabajo o posteriores a ellas.

Durante el proceso de registro, también se utilizó la aplicación *OneNote*, a la que se tiene acceso gracias a un convenio que la Universidad Veracruzana posee con la compañía *Microsoft*, este beneficio brinda acceso a toda la comunidad universitaria a una cuenta de *Office 365*. La ventaja de usar esta herramienta fue tener la capacidad de hacer notas rápidas, escanear documentos, y principalmente visualizar y actualizar archivos de manera instantánea, dicha información generada en su mayoría mediante dispositivos móviles y posteriormente consultada desde cualquier computadora conectada a Internet.

Otras herramientas también empleadas y cuya utilidad fue clave para establecer una pronta comunicación fue, por una parte, el uso de sistemas de mensajería instantánea que ofrecen las redes

sociales, en este caso los servicios de *WhatsApp* de la compañía *Meta*, por otra parte, para establecer un enlace a través de reuniones virtuales, se usó el servicio de videollamadas *Meet*, de la compañía *Google*.

Se destaca que, en particular, esta última fue con la que se programaron sesiones colaborativas con los integrantes de ambos equipos de trabajo, ya que como se mencionó anteriormente, algunos de ellos residen actualmente en diferentes ubicaciones geográficas.

3.2.2.2 Edición de Imagen. La segunda categoría de aplicaciones se integró con aquellas herramientas que permitieron la creación de materiales multimedia digitales, como: imágenes, creación de diagramas, retoque digital de fotografías, animaciones, modelos tridimensionales, entre otros.

Para el tratamiento de imágenes fotográficas y gráficos vectoriales se emplearon los programas *Photoshop* e *Illustrator*, ambos de la *Adobe Suite*, con estos programas fue posible el revelado digital, edición, corrección de color, compresión (optimización) y exportación a distintos formatos dependiendo del propósito y uso de las imágenes.

3.2.2.3 Diseño y Modelado Tridimensional. Con las herramientas de la tercera categoría, mucho más especializadas, fue posible crear, editar y optimizar los modelos digitales, así como la creación de nuevos archivos con los cuales fuera posible gestionar los materiales de la experiencia de Realidad Virtual.

Las herramientas de software que se utilizaron fueron:

- *MetaShape (Agisoft)*: para la digitalización de piezas a partir de fotografías, cuyo procedimiento denominado fotogrametría ya fue descrito en el capítulo I de este trabajo,
- *Blender (Blender Foundation)*: este programa fue con el que se trabajó la mayor parte del tiempo durante el proyecto, debido a que se ocupó para realizar muchos de los procedimientos

posteriores al proceso de fotogrametría. Entre estas actividades se puede mencionar, la edición de todos los modelos tridimensionales de alta densidad, reconstrucción de aquellos registros cuyos resultados fueron insuficientes, incompletos o erróneos, por la complejidad de los objetos físicos o por la carencia de información. Con *Blender* se realizó además la creación y edición de todos los modelos en sus versiones optimizadas, tarea para la cual fue necesaria la generación de mapas de textura (UV's), reproyección de materiales, exportación de imágenes hiperrealistas (render) de cada uno de los modelos digitalizados, entre otras tareas.

3.2.2.4 Virtualización, Repositorio Digital y Experiencia de Realidad Virtual

Para finalizar, el cuarto grupo de aplicaciones de software usadas en esta intervención se conformó por los programas a través de los cuales se realizaron los procesos de virtualización y de prototipado del producto innovación, estas herramientas fueron:

- *Sketchfab*: es una página web que permite la publicación y visualización de modelos tridimensionales, además, brinda a los usuarios la oportunidad de interactuar con los modelos allí almacenados de distintas maneras, entre las más destacables está la de mover, rotar o hacer zoom a los objetos tridimensionales mediante dispositivos móviles o computadoras de escritorio, la interfaz presenta un escenario digital (*environment*) y observar el detalle de cada uno de los modelos seleccionados, permite observar las texturas, las superficies y gracias a una representación realista es posible también modificar la fuente de iluminación, generando sombras sobre los objetos de tal manera que emula un comportamiento muy similar al que tendría en el mundo real.

Otra de las funcionalidades más importantes que tiene esta plataforma se llama *Inspector*, estas son un conjunto de herramientas de visualización avanzada que muestran cómo el objeto ha sido construido; a manera de filtros se hacen visibles las diferentes texturas que componen cada modelo,

la topología y la carga poligonal de su malla (*high/low poly*), entre otras importantes características.

- *Gravity Sketch*: es una herramienta muy utilizada por varios diseñadores en la creación de modelos arquitectónicos y la industria automotriz, es también empleada para el diseño de ropa, calzado, muebles y prácticamente cualquier tipo de prototipo.
- *Unity*: es un motor de videojuegos para renderizado en tiempo real, es una herramienta muy conocida y utilizada tanto por las grandes compañías de desarrollo de videojuegos denominados *AAA* o *Triple A*, así como pequeños estudios de desarrollo independientes.

Con esta herramienta, es posible entre muchas otras cosas el desarrollo y programación de la experiencia de Realidad Virtual, gracias a la gran compatibilidad de formatos que soporta se logró una perfecta integración de los modelos tridimensionales, manejos de textura, animación, comportamientos, creación de scripts en lenguaje de programación C#.

La principal característica para utilizar este programa es la capacidad que tiene para exportar un mismo proyecto para que pueda ser ejecutado en diferentes plataformas como Android, Windows, Mac OS e IOS, entre muchos otros, para el caso de esta experiencia inmersiva, la compilación del proyecto dio como resultado un archivo .apk el cual es un formato de archivo que puede ser leído por todos aquellos visores cuya plataforma de desarrollo sea Android.

- *Unreal Engine 5*: al igual que el anterior, es un motor de videojuegos para renderizado en tiempo real, entre las características más destacables es que cuenta con muchas plantillas preconfiguradas para la creación de diversos tipos de proyectos, siendo los principales los destinados para la creación de videojuegos; sin embargo, es posible también la creación (mediante plantillas) de otro tipo de proyectos como la creación y diseño de vehículos, arquitectura, cine y televisión, y por supuesto experiencias de Realidad Virtual.

Esta herramienta se utilizó para la creación y diseño de material audiovisual empleando los modelos tridimensionales de las piezas arqueológicas previamente creados, y gracias a *Lumen* y *Nanite* que son dos componentes exclusivos de esta plataforma e integrados en versión del software v5.3, fue posible el renderizado de imágenes y videos con una calidad hiperrealista destacable y una mínima demanda en cuanto a recursos computacionales, como lo indica Murphy (2023).

- *Meta*: la plataforma de la compañía *Meta* (anteriormente Facebook) facilitó el uso de los visores de Realidad Virtual, con respecto al equipamiento necesario para el uso de esta plataforma, Malik et al. (2024) ofrece una pragmática descripción de este diciendo que “A head-mounted display (HMD) is a wearable head device that features a visual display in front of the user’s eyes and is mounted in the form of a helmet” [Un visor montado en la cabeza (HMD, por sus siglas en inglés) es un dispositivo que se lleva en la cabeza y cuenta con una pantalla visual frente a los ojos del usuario, y se monta en forma de casco] (p. 9).

Los modelos de equipo utilizados para realizar las pruebas y posterior uso de la experiencia de Realidad Virtual fueron *Meta Quest 2*, *Meta Quest 3* y *Meta Quest Pro*. Con esta plataforma, fue posible la creación de una cuenta de desarrollador que permitió habilitar los permisos correspondientes y configurar adecuadamente el hardware para que pudieran ser reconocidos por la Workstation y establecer el enlace entre esta plataforma con el programa *Unity* para el intercambio de datos y la instalación de la experiencia de Realidad Virtual (archivo *.apk*).

3.3 Implementación

En esta sección se describe a detalle en qué consistieron las actividades desarrolladas en el MAX, con el fin de llevar a cabo una correcta implementación.

Como se mencionó anteriormente, se tomó como referencia la estructura base del modelo de prototipado rápido, y a fin de que tal estructura estuviera acorde a las necesidades que la investigación

planteaba, se realizó una adaptación con respecto al modelo original por el tiempo de duración del proyecto, dando como resultado un proceso de cinco etapas, que fueron:

- *Análisis*
- *Selección*
- *Diseño*
- *Desarrollo*
- *Implementación*

3.3.1 Etapa 1 (Análisis) - Análisis de la Información

3.3.1.1 Primeros Acercamientos. Esta etapa resultó fundamental para el desarrollo de la investigación, ya que, al iniciar, ayudó a recabar gran cantidad de datos e información por parte de expertos y del material arqueológico como insumo de trabajo, principalmente para concientizar sobre las condiciones y pormenores implícitos.

Además de lo anterior, permitió establecer un acercamiento entre el investigador y el personal del MAX, generando el intercambio de información necesario para comprender, por un lado, el contexto real en el que se encontraba la institución previa a la intervención y, por otro lado, dar a conocer la propuesta general y las iniciativas a implementar, relacionadas con el proceso de registro de piezas arqueológicas.

De igual manera, en esta etapa de análisis fue necesario fomentar una lluvia de ideas donde se consideraron, de manera integral, el mayor número de aspectos implícitos en cada una de las tareas a realizar, y no solo aquellos relacionados con el uso de nueva tecnología para la digitalización de piezas.

Esta etapa temprana abrió la puerta para conocer la relación de los participantes con las estrategias planteadas en el desarrollo de productos con estas características, así como saber cuáles

fueron sus opiniones al conocer de este proyecto y si generó en ellos expectativas en cuanto al impacto que podría tener. Se considera, también, si de acuerdo con su experiencia podría ser integrado a las actividades actuales del museo o qué aportes y posibles aplicaciones tendría en otro tipo de proyectos.

Para concluir, la posibilidad del análisis permitió prevenir la interrupción o conclusión prematura de las actividades. Para ello, se estableció, desde un comienzo, cuáles fueron los alcances, las limitaciones y las fortalezas de la investigación, aspectos que debieron tenerse muy presentes, durante el proceso de desarrollo del repositorio y la experiencia inmersiva.

Por todo lo anterior, con la información obtenida del análisis, se estableció la columna vertebral para dar paso al desarrollo de las siguientes etapas, pues se validó gran parte de la información con la que se trabajaría. Cabe destacar que se tuvo presente en todo momento que, al tratarse de material arqueológico extremadamente delicado y en su mayoría restringido, el investigador encargado de implementar el proyecto de digitalización estaba obligado a tener un contexto mucho más amplio de lo que a simple vista no es posible apreciar, sobre todo en su posición de actor externo.

Con estas acciones, particularmente en este proyecto y antes de someter las piezas al proceso de digitalización propuesto, se estableció un análisis no solo de los vestigios y de las herramientas a usar, sino que además se hizo un análisis de la retroalimentación de los involucrados. Dicha acción consideró a quienes ayudaron a la toma de mejores decisiones para la organización de ideas, plantear y replantear tanto actividades como procedimientos, en función de obtener los mejores resultados, bajo la principal premisa de evitar, por todos los medios posibles, causar daños al patrimonio cultural, incurrir en actos que pudieran desembocar en faltas administrativas e incluso penados por la ley o las instancias correspondientes, (INAH, Gobierno del Estado, Secretaría de Cultura, entre otros).

3.3.1.2 Presentación del Proyecto y Entrevistas. Una de las primeras actividades llevadas a

cabo durante la etapa de análisis de información, fue realizar una presentación general del proyecto en cooperación con el equipo uno. El objetivo fue explicarles en términos generales la intención de una intervención de esta naturaleza y brindar una descripción a detalle del procedimiento para la virtualización de vestigios.

Mediante entrevistas cualitativas (Sampieri, 2014) se recabó información específica de las piezas más representativas, considerando únicamente aquellas que se encontraban en ese momento bajo resguardo del Museo de Antropología de Xalapa; con esta retroalimentación y el análisis posterior de los datos obtenidos de las respuestas de los entrevistados fue posible establecer una guía que ayudó a delimitar el número de piezas.

3.3.2 Etapa 2 (Selección) - Evaluación de Piezas Arqueológicas

Durante esta etapa se realizaron dos actividades principales y fundamentales para delimitar la cantidad de objetos arqueológicos con los que se trabajó en el proceso, algo primordial y necesario debido a la gran cantidad de piezas arqueológicas con las que cuenta el Museo de Antropología de Xalapa, de un total de 15,000 piezas formalmente registradas en la actualidad, alrededor de 2,500 piezas se encuentran en las salas de exhibición.

3.3.2.1 Cuestionario de Selección Previa y Cotejo de Piezas. El propósito de la primera actividad tuvo dos vertientes, por un lado, que los expertos respondieran un cuestionario con una serie de preguntas sobre las piezas arqueológicas más representativas del MAX, de esta manera hicieron una selección desde una perspectiva de índole académica (temáticas especializadas), y por otro, tomar en cuenta aspectos con una visión más teórica, relacionados con el periodo histórico en que fueron datados los descubrimientos, la pertenencia o asociación de las piezas con alguna de las culturas prehispánicas, el contexto arqueológico, singularidad, o si en ese momento alguna de las piezas estaba asociada con algún estudio o investigación por parte de los expertos.

La segunda actividad consistió en hacer una selección desde un enfoque más práctico y técnico, siendo la más decisiva, ya que estos criterios fueron los que tuvieron una mayor determinación al momento de la toma de decisiones, estos estaban relacionados con cuestiones físicas, es decir, por la naturaleza de las piezas, debía ser corroborada la pertinencia del procedimiento de virtualización en ellas, principalmente porque algunos de los objetos físicos carecen de las características idóneas para tal digitalización, como resultado del tipo de material con el que fueron construidos.

Por supuesto, estas condiciones representaron una enorme limitante, al ser algunos materiales incompatibles para realizar correctamente estos procesos, y aunque es verdad que existen alternativas para tratar de generar modelos 3D a partir de objetos físicos empleando otras técnicas y tecnologías distintas a la fotogrametría, pueden resultar extremadamente costosos, como la técnica de reconstrucción de objetos llamada *Lidar Scan*.

Más adelante, se profundizará con detalle sobre este punto, en la etapa cuatro (proceso de virtualización), donde se describen las condiciones necesarias que permitieron llevar a cabo un proceso de registro satisfactorio.

El segundo aspecto técnico por considerar, fueron las condiciones de la luz usada en cada una de las exposiciones individualmente, dicho de otra manera, se analizó si la fuente lumínica con la que contaban provenía de forma natural o artificial, así como la cantidad y calidad que recibían.

De igual manera, se valoró, en el caso de piezas muy sobresalientes, pero exhibidas con poca luz, qué posibilidades se tendrían de mejorar tal estado, si se contaban con los recursos para poder iluminar adecuadamente y obtener las condiciones adecuadas de luz para hacer su registro.

Esto resultó importante, ya que es a través de la reflexión de la luz que es posible lograr un registro adecuado en una fotografía, dependiendo de la calidad de estas condiciones, el investigador sería capaz de determinar si la luz fue suficiente o se requiere luminaria especial adicional.

El tercer aspecto técnico tuvo que ver con las dimensiones de los objetos y su ubicación física asignada dentro del recinto, jugando un papel muy importante en cuanto a la planeación consciente y cuidadosa del levantamiento fotográfico, y a su vez, para determinar si los espacios donde eran exhibidos, realmente brindaban las condiciones necesarias para el desplazamiento libre del personal alrededor de las exhibiciones, así como el movimiento y transporte seguro del equipo con el que se hizo el registro.

Las situaciones planteadas anteriormente se presentaron con mayor frecuencia, en particular con piezas de gran tamaño, objetos dentro de vitrinas o aquellos que habían sido montados sobre bases muy próximas a las paredes o al techo de las salas, situación que, independientemente a sus dimensiones, tal ubicación limitaba de forma notable el acceso a estas piezas, dificultando las maniobras del personal.

3.3.2.2 Deliberación (Selección Final). Para la segunda actividad de esta etapa, se deliberó cuáles piezas serían consideradas para formar parte del proyecto de virtualización, a continuación, se enlistan algunas de las piezas seleccionadas y los criterios bajo los cuales fueron escogidas.

- **Máscaras:** fueron seleccionadas para ser digitalizadas, ya que en el momento en que se realizaba la intervención, estas piezas estaban siendo sometidas a un proceso de análisis como parte de una investigación realizada por personal del MAX.
- **Esculturas asociadas a la deidad del jaguar:** este conjunto de piezas fue considerado por ser parte de un proyecto de intercambio con el gobierno de China para su exposición en dicho país, tomando en cuenta que las piezas estarán fuera del país por un periodo prolongado (durante años), provocó que el nivel de exigencia en cuanto al éxito de este registro resultara muy elevado, porque solamente de esta manera se podría garantizar que el museo contará al menos

con réplicas fieles de las piezas arqueológicas en una versión digital disponible, en caso de que estas no pudieran volver.

También, este registro funcionará como cotejo a la salida y regreso de las piezas, además de tener otras utilidades para el MAX mientras que las originales permanecen en préstamo, como por ejemplo, ser consultados por diversos usuarios dentro del repositorio desde un dispositivo electrónico conectado a Internet, o bien que los visitantes del museo tuvieran la oportunidad de interactuar con los modelos en las instalaciones del recinto, con ayuda de dispositivos móviles y tecnología de Realidad Aumentada.

Cabe mencionar que, otro factor determinante para esta selección fue contar con la oportunidad de aprovechar el proceso de preparación en el MAX antes de que comenzara finalmente su transporte a China, ya que, para realizar esta delicada tarea, las piezas requerían ser reubicadas dentro del museo.

Fue gracias a esta situación que, dentro del cronograma de actividades, se programó perfectamente un levantamiento fotográfico de manera ordenada y controlada, algo que, en condiciones normales, hubiera sido extremadamente complicado, debido a las dimensiones y ubicación original de las exposiciones.

Para concluir este rubro, este registro debía ser muy preciso, porque una vez terminado el embalaje sería imposible obtener algún tipo de registro fotográfico adicional para la reconstrucción digital.

- **Cabezas colosales:** formaron parte de un intercambio con el gobierno de Turquía para la creación de una réplica a escala real.

Al igual que las piezas comprometidas con el gobierno de China, la calidad de este registro debía alcanzar la perfección, pues el modelo digital y la información 3D contenida en él, serían los únicos datos disponibles para producir una copia exacta sin recurrir a los métodos

convencionales, procedimientos que involucran una interacción directa y ya no permitida por el INAH.

Gracias a esta técnica fue posible mantener los detalles asociados a las esculturas, como las superficies, los colores y texturas, con una calidad fotorrealista, asimismo, facilitó considerablemente el intercambio de información entre instituciones, el cual se hizo a través de un fichero enviado vía correo electrónico, algo mucho más económico, rápido y eficiente que compartir un molde físico, que por el tipo de pieza hubiera tenido grandes dimensiones e involucraría una mayor complejidad en tiempos y logística de transporte.

En cuanto a esta selección en particular, se mencionan tres aspectos destacables sobre el registro de piezas:

En primer lugar, se implementó un método nuevo de registro para el MAX, que no resultó invasivo porque eliminó por completo la necesidad de establecer contacto físico con las cabezas colosales con fines de reproducción.

En segundo lugar, fue posible mantener la integridad de las piezas durante el proceso y se obtuvieron excelentes resultados.

En tercer lugar, se logró la documentación paso a paso de un proceso que podría ser replicable en futuros proyectos, principalmente en aquellos cuyo propósito sea la creación de réplicas digitales o la virtualización de piezas arqueológicas con alto grado de fidelidad a las piezas originales.

- **El señor de las Limas:** entre las razones por las cuales esta pieza fue seleccionada, se identificó que varios expertos, incluidos los del equipo uno, coinciden en que es una pieza tan representativa como las cabezas olmecas, a su vez, forma parte del acervo actualmente en exhibición más importante del mundo sobre la cultura olmeca, aunado a que dicha pieza resulta

ser una de las piezas más emblemáticas del MAX.

- **Estela de la Mojarra:** fue uno de los primeros modelos en ser digitalizado; esta losa de piedras se escogió por la singularidad de los grabados hechos en una gran parte de su superficie. Desde el punto de vista técnico, representó un gran reto tanto en la captura de imágenes como en la etapa de reconstrucción digital, esto debido a sus características físicas y a que fue uno de los primeros acercamientos para el registro de material arqueológico mediante la técnica de fotogrametría.

También fue de gran apoyo para validar la capacidad y la calidad de un registro de objetos con este tipo de detalles (grabados), así como los resultados obtenidos, sirviendo para establecer bases sólidas, aplicables en posteriores registros de manera exitosa, usando en ellos piezas con similares características.

Con base en toda la información recabada, se definieron finalmente las piezas más idóneas para el proceso de virtualización, como resultado de ello se estableció, en términos de una meta alcanzable, un total de 20 piezas arqueológicas a digitalizar.

Este número debía ser alcanzable dentro del periodo establecido para realizar la estancia académica en la institución y, en correspondencia a las posteriores actividades de documentación y redacción de resultados del proyecto.

3.3.3 Etapa 3 (Diseño) - Proceso de Registro de Piezas

En esta etapa, se realizó la primera captura fotogramétrica (toma fotográfica de datos) la cual sería usada como punto de partida para la reconstrucción de objetos digitales, por ello debe hacerse hincapié en lo vital que resultó hacer de manera correcta esta tarea.

3.3.3.1 Registro Fotogramétrico. Es mediante esta toma de fotografías especial, que se obtiene la información que permitirá analizar los píxeles de cada fotografía (2D) y convertirlos

posteriormente en una nube de puntos (3D) que representará tridimensionalmente el volumen de un objeto dentro de un entorno digital.

Los algoritmos encargados de digitalizar son tan precisos, que cualquier error siempre se traduce en información incorrecta y provoca una mala reconstrucción, todo esto impacta en la calidad de los resultados que suelen ser, en la mayoría de los casos, carencia o pérdida de información del modelo virtual, este es el peor escenario.

Por lo anterior, cada captura fotogramétrica debió ser planeada cuidadosamente para lograr tener las mejores condiciones posibles, cada una de las fotografías fue bien lograda y capturada con mucha precisión, por ello se logró garantizar un registro con excelentes resultados.

Como consecuencia de este registro se generó una gran cantidad de imágenes de alta resolución, el promedio de peso que cada fotografía alcanzó fue de hasta 40 MB por archivo, esta información fue suficiente en la mayoría de los casos para llevar a cabo la reconstrucción digital.

De acuerdo con la estructura anatómica, pero sobre todo con la complejidad de las formas físicas de cada figura, el número de capturas estuvo entre los 60 a 80 disparos por objeto.

Sin embargo, en el caso de algunas figuras como la máscara olmeca y el personaje con antiojeras, cuyos procesos de virtualización fueron extremadamente complejos, se requirió la toma de un número de fotografías mucho mayor, superior a los 300 disparos porque se requería mucha más información.

3.3.3.2 Clasificación de Registro Fotogramétrico. Para mantener un buen control del material generado se requirió de una actividad exhaustiva para la clasificación del material de registro y la contabilización de material por pieza arqueológica, además, en este proceso se asentaron datos muy importantes sobre las características y condiciones en que tuvo lugar el levantamiento.

Parte de esta información quedó plasmada en un formato, que consideró entre otras cosas, aspectos técnicos referentes al equipo empleado para el registro, apertura del diafragma del objetivo, velocidad de obturación, además de otros datos con la misma relevancia.

El formato de captura que se utilizó durante la toma de fotografías fue el archivo *RAW*, principalmente porque contiene una mayor cantidad de información de color, con la posibilidad manipular el archivo mediante ajustes posteriores.

Gracias a esto, fue posible manipular la información del archivo (*RAW*) y configurar diversos valores de la imagen, para igualar el color de los objetos físicos y así obtener un registro fiel (del color), este tratamiento de imágenes es denominado revelado fotográfico digital.

Otros aspectos que jugaron un papel determinante fueron las condiciones establecidas por parte de las autoridades encargadas del resguardo de las colecciones del MAX, por supuesto esto se hace con el fin de garantizar la protección del patrimonio cultural.

Todas las piezas son delicadas, pero algunas alcanzan tal grado, que manipularlas o colocarlas en una posición incorrecta representa un riesgo a su integridad, por ello, durante todo el registro se atendieron las disposiciones señaladas, principalmente aquella que establece que la manipulación de cualquier pieza requiere en todo momento de la supervisión única y exclusiva del personal capacitado.

Aunque siempre existió una gran disposición y apoyo por parte de la dirección del MAX y todo el personal del museo en general, fue inevitable que no se presentaran situaciones en las que estas disposiciones comprometieran el registro fotogramétrico, condicionando la libertad de fotografiar valiosos aspectos de los vestigios complejos y dificultando considerablemente las etapas posteriores.

El ejemplo más concreto de lo anterior expuesto, fue el de la pieza denominada "Personaje con Anteojeras" que fue por mucho el objeto más complejo y difícil, con el que se trabajó, no solo en la etapa de registro, sino en todo el proceso completo de virtualización.

Por su delicadeza, los materiales de construcción, y habiendo sido sometida a diversos procesos de reconstrucción en los tiempos actuales, no se permitió que fuera colocada en ciertas posiciones, algo determinante para el registro, provocando que lamentablemente fuera imposible registrar la parte inferior y otras áreas que quedaban más ocultas desde las perspectivas permitidas.

En este caso, lo que impidió que la pieza se apoyara sobre alguno de sus costados, fue el mismo tocado que porta y todos los adornos protectores en algunas de sus extremidades, que al ser elementos tan delgados e incapaces de soportar el peso de toda la pieza, colocarle de cierta manera podría provocar fisuras o rupturas en su estructura.

Este es un ejemplo de cómo las propiedades físicas de una pieza permiten o no su virtualización, características descritas en la etapa dos de este trabajo y que se tomaron en cuenta para una buena elección, sin embargo, dada la importancia de esta pieza, fue extremadamente valioso agotar toda posibilidad de registro para que el recinto contará con esta réplica digital.

3.3.4 Etapa 4 (Desarrollo) - Proceso de Digitalización

Para el logro de la cuarta etapa, fue indispensable tener presente y tomar en cuenta que el proceso de registro fotogramétrico y la reconstrucción digital de piezas arqueológicas, fueron las actividades que en gran medida demandaron mayor inversión del tiempo de la estancia, esto debido a que el conjunto de tareas derivadas de una digitalización de objetos físicos está sujeta a la configuración constante de diferentes parámetros dentro de las herramientas de software utilizadas.

3.3.4.1 Reconstrucción Fotogramétrica. Para la reconstrucción fotogramétrica, las acciones de configurar correctamente cada parámetro se repitieron y multiplicaron exponencialmente por la cantidad de piezas destinadas para la digitalización.

Aunado a lo anterior, también influyó en el proceso la complejidad de cada vestigio tratado, pues independientemente a que los objetos presentaron características generales compartidas,

(materiales de construcción, dimensiones, etc.), el contexto de cada pieza fue único y fue tratado como tal.

Así mismo, existieron los casos donde los resultados fueron desfavorables en los primeros intentos, incluso en algunos otros no se alcanzaron siquiera, cuando esta situación se presentó, fue necesario repetir el procedimiento (hasta cuatro veces), en cada iteración, se reajustaron valores, a fin de encontrar los indicados.

Algo que resultó benéfico de las situaciones descritas, fue que se pudo contar con varias versiones de un mismo modelo digital, esto fue extremadamente útil para hacer comparativas entre resultados, lo que al final brindó la posibilidad de escoger aquellas réplicas con mayor precisión.

A pesar de la discrepancia en cuanto a las dimensiones, formas, texturas y materiales de construcción de cada uno de los vestigios seleccionados, se buscó en todo momento seguir un procedimiento lo más homogéneo posible, con la finalidad de alcanzar óptimos resultados en la mayoría de los casos y generar un proceso cada vez más eficiente, ponderando en todo momento, la manera en que sería invertido el tiempo para la producción de réplicas digitales.

Cabe destacar que, requirió de muchos intentos e inversión de tiempo lograr acercarse o alcanzar este objetivo, pero los beneficios principales fueron que se obtuvo gran experiencia, además de un alto grado de confianza, dominio y fluidez en el uso de herramientas empleadas para el desarrollo de las tareas involucradas.

Aunque la documentación de procesos completos y aplicación de conocimientos obtenidos en intentos subsecuentes tuvieron mucha influencia en la toma de decisiones, también fue determinante el enfrentamiento a situaciones donde no era el proceso, sino las condiciones y características que presentaban los objetos, las que definieron la manera de realizar la digitalización.

Para ejemplificar lo anterior, se puede establecer como referencia las diferencias encontradas

en el proceso de digitalización de las cabezas colosales en comparación con el realizado en las máscaras, los primeros objetos, que se caracterizan por tener grandes proporciones: 155 cm (largo) x 206 cm (ancho) y 260 cm (alto) aproximadamente, fueron construidos a partir de bloques de piedra sólidos y poseen formas esféricas cerradas, esto facilitó enormemente la posición del ángulo de disparo de la cámara fotográfica.

Por su parte, las máscaras cuentan con dimensiones reducidas en comparación con las cabezas, y a pesar de que en ambos casos están representados rostros humanos, los detalles de las máscaras son muy reducidos, siendo tan pequeños que se vuelven más complejos de fotografiar, sin llegar al desenfoque de la imagen.

3.3.4.2 Retos y Dificultades Durante el Proceso de Reconstrucción Fotogramétrica.

Otra de las grandes dificultades de registrar una máscara, es que estas poseen dos vistas unidas por un canto extremadamente delgado (grosor), por ello, cada pieza tuvo que ser tratada en elementos por separados (frente y revés), esto aumentó considerablemente la cantidad de fotografías tomadas para el registro y más horas de trabajo para la reconstrucción digital, a pesar de ser objetos pequeños: 8 cm (largo) x 15 cm (ancho) y 15.5 cm (alto) aproximadamente.

Una vez reconstruidos ambos lados del objeto, de forma manual tuvieron que empalmarse (sincronizar espacialmente) mediante puntos de referencia compartidos en ambas secciones, para así poder unir finalmente las piezas en un solo modelo tridimensional.

Por supuesto, esta tarea fue extremadamente complicada y laboriosa, motivos por los cuales se requirió de mucho tiempo y una gran disposición de todos los involucrados para obtener buenos resultados, aunque se debe reconocer que, desde una postura pragmática, esta debería ser la última opción por elegir en un proceso de digitalización, técnicamente hablando.

Para concluir, se comprende el alto valor implícito y lo extraordinario en piezas como

éstas, haciendo que todo el esfuerzo hecho por lograr digitalizarlas valga por mucho la pena, aunque ello represente un gran desafío técnico, horas adicionales de trabajo y sobre todo tener que afrontar la desmotivación en los primeros intentos, cuando no se obtienen los resultados esperados.

3.3.4.3 Tratamiento de Modelos, Producto de la Reconstrucción Fotogramétrica.

Posterior a la reconstrucción digital por medio de la fotogrametría, etapa en la que se obtuvieron modelos tridimensionales de alta resolución (*high poly*), el siguiente paso a realizar estuvo determinado de acuerdo con los resultados obtenidos tras la implementación de este procedimiento.

Si la interpretación de la información 2D (píxeles) contenida en los archivos de imagen, resultaba insuficiente para la reconstrucción completa de una pieza, se contaba con la oportunidad de elegir alguna de las siguientes opciones para contrarrestar la carencia de estos datos.

La primera opción usando exclusivamente los registros disponibles hasta ese primer momento, consistió en modificar los parámetros y configuración del software, a fin de conseguir una mejor estimación para la reconstrucción del objeto, en otras palabras, se aumentaron las capacidades de análisis en busca de una mayor cantidad de puntos de referencia comparables en las fotografías, esperando con esto mejorar el resultado usando la misma cantidad de imágenes (primer registro).

La segunda opción, excelente en términos de calidad si se tenía la posibilidad, fue hacer más capturas fotográficas de la pieza, abarcando de mejor manera la superficie del objeto, enfatizando la cobertura de los ángulos que no pudieron ser reconstruidos en intentos previos, destacando que, todo el procedimiento debía realizarse desde cero agregando estas nuevas imágenes.

Un ejemplo donde se requirió de varias sesiones para contar con más información y mejorar la calidad de los resultados, fueron los registros correspondientes a la máscara olmeca, para la cual se programaron hasta cuatro sesiones fotográficas en distintos momentos, para obtener un total de 121 disparos efectivos.

Una solución a este tipo de problemas fue la restauración digital. Esta se usó en aquellos casos donde la reconstrucción fue parcial, pero que aún incompletos, valía la pena mantener tales datos al ser resultados bastante precisos.

Esta operación consistió en implementar técnicas de escultura digital, donde se esculpieron ya sea las secciones faltantes o aquellas que fueron erróneamente interpretadas por el software, complementando así la disponible.

Por supuesto, para que esta opción fuera efectiva, se requirió de una gran experiencia, además de conocimientos técnicos específicos en esta disciplina (escultura) por parte del especialista en diseño 3D.

En contraste, de no contar con las habilidades necesarias, los resultados podrían ser desfavorables o lejanos a los esperados, incluso restar aún más fidelidad a la pieza en aquellas zonas que lograron ser reconstruidas con el programa propiamente.

Finalmente, una vez concluido el proceso de reconstrucción digital de cada una de las piezas arqueológicas, se obtuvieron archivos extremadamente pesados en formato *.obj*, archivos que almacenan mucha información del modelo como la estructura poligonal, las texturas de alta resolución y otro tipo de metadatos

Este tipo de modelos denominados *high poly*, no son tan eficientes en su manejo porque están compuestos por millones de polígonos, además se necesitan programas especializados capaces de gestionar modelos tridimensionales con tal cantidad de polígonos.

Así que, ¿qué objetivo tuvo contar con este tipo de archivos tan pesados, si la intención de crearlos fue principalmente la de apoyar las labores de difusión del MAX, con el uso de tecnología asequible (equipos convencionales)?

La respuesta a esta pregunta es muy sencilla, el fundamento principal fue tener la oportunidad

de contar con archivos digitales de las piezas arqueológicas con extremo grado de detalle, sin embargo, el coste de esta fidelidad se tradujo en la generación de archivos muy pesados y la ocupación de un espacio de almacenamiento considerable.

A partir de esta materia prima, se podrían generar otro tipo de materiales adaptables a distintas necesidades, como ejemplo de esto, está lo expuesto en el apartado de selección de piezas, donde se habló de creación de réplicas fieles utilizadas para la creación de piezas físicas a escala real.

3.3.4.4 Creación de Objetos Tridimensionales Optimizados (Low Poly Models)

Otro de los usos, extremadamente importante para este proyecto, fue que a partir de los modelos *high poly* se crearon copias optimizadas denominadas modelos *low poly*, de esta manera y gracias a este tipo de archivos, la creación del repositorio digital y la experiencia de Realidad Virtual pudo materializarse.

Al respecto, Machado & Venancio (2023) exponen la importancia de este proceso para un adecuado manejo de archivos digitales, diciendo que “Now that you have successfully applied 3D modeling to your asset, it’s time to make it lighter in terms of geometry to render it more easily inside your project, game, or metaverse world” [Ahora que has aplicado con éxito el modelado 3D a tu activo, es momento de hacerlo más ligero en términos de geometría para renderizarlo más fácilmente dentro de tu proyecto, juego o mundo del metaverso] (p. 79).

Como se puede comprender, los modelos *low poly* son tan eficientes, que hace posible su propia gestión incluso desde teléfonos inteligentes de gama media, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio convencionales, sin que su carga y visualización demanden tantos recursos en estos dispositivos.

Otro dato importante que resaltar es que, estos modelos optimizados poseen una carga poligonal extremadamente baja, en algunos casos logrando reducir hasta en un 90% el número de

polígonos que poseen las versiones *high poly*.

Tal reducción de tamaño en megabytes impacta en la transferencia de archivos, haciendo de ésta algo verdaderamente eficiente, sobre todo cuando se comparten a través de Internet o cuando se requiere visualizar los modelos con velocidades de red limitadas.

Por supuesto, el proceso de creación de estas versiones optimizadas no sólo es un gran reto desde el punto de vista técnico, sino que además involucra un proceso de varias etapas, largo y tardado, que requiere de gran experiencia por parte del responsable encargado de llevarlo a cabo.

Crear modelos en una versión *low poly*, es como ejecutar un “acto de magia”, porque son vastas las horas que se deben de trabajar, de tal manera que el truco pueda permanecer oculto, esto en palabras de algunos expertos en modelado de 3D.

Lo anterior se debe a que la razón principal de llevar a cabo este proceso es mantener una calidad visual idéntica o muy similar, comparable con la del modelo de origen (*high poly*), pero a la vez se debe disminuir, en la medida de lo posible, gran parte del peso de los archivos, de tal manera que sea imperceptible por el usuario.

Para lograr optimizar un modelo correctamente, se deben ejecutar una serie de pasos estrictamente secuenciados, los cuales exigen el seguimiento de un orden específico para satisfacer necesidades muy concretas.

Lo importante de seguir esta trayectoria, radica en que los resultados que se obtienen al finalizar cada pequeña parte brindan un tipo de información muy específica y necesaria para dar paso a las etapas subsecuentes, por lo que, al no disponer de estos datos, sería imposible concluir el proceso de optimización completamente.

Para el proyecto de virtualización de piezas arqueológicas del MAX, el proceso de optimización fue el más difícil y extenso. Esto debido a que, por un lado, fue una persona la encargada

de realizar todas estas actividades, además de que existen procesos computacionales tan demandantes, que singularmente se puede ejecutar uno a la vez. Por otro lado, aunque actualmente es posible encontrar muchas herramientas para la creación de este tipo de modelos, algunas muy útiles y accesibles a todo público, lamentablemente no existen atajos o excepciones, por lo que todas las actividades tuvieron que realizarse de acuerdo con el procedimiento.

Finalmente, no era una opción prescindir del desarrollo de estas tareas, ya que como resultado únicamente se podría contar con modelos tridimensionales de alto poligonaje, aunque esto no es incorrecto, se debe tener muy en cuenta que así, la gestión de archivos sería muy limitada, y únicamente posible a través de programas especializados.

Aunque dentro del repositorio digital, los modelos *high poly* podrían ser cargados y visualizados, resultaría en extremo ineficiente en muchos aspectos. Además, este tipo de archivos presenta un difícil manejo para el software usado en la programación de la experiencia inmersiva, y resulta incompatible para la creación de la experiencia de Realidad Virtual misma.

Habiendo fundamentado por qué este proceso fue una tarea indispensable para obtener las versiones con muy baja cantidad de polígonos requeridos en este proyecto, será importante describir a continuación la manera en cómo el experto en diseño 3D fue desarrollándose paso a paso.

3.3.4.5 Limpieza de Mallas Poligonales. Lo primero a realizar una vez obtenido el modelo *high poly*, creado con el software de fotogrametría, consistió en importar el archivo a otro software de diseño 3D, donde comenzaría su edición, en el caso de esta investigación se utilizó el programa llamado *Blender*.

Mediante este software, se realizó la limpieza detallada de la malla poligonal, de todos los archivos digitales, esto se hizo con el propósito de eliminar cualquier residuo o información adicional que no formará parte de la estructura original del modelo.

La aparición de información no deseada sucede en ocasiones porque al reconstruir, el software ha sido incapaz de diferenciar la superficie del modelo principal con el resto del fondo y otros objetos cercanos, como tripies, cables, lámparas, rebotadores, entre otros.

Cuando esto sucede, uno de los resultados es la creación de mallas unificadas, integradas con partes del objeto principal y el fondo, es muy importante que esta información adicional sea eliminada y solamente mantener la información necesaria y útil.

En otras situaciones, *Blender* también se utilizó para rehacer las partes inexistentes o no reconstruidas correctamente con fotogrametría, situación que, a diferencia del caso anterior, donde había información extra inservible, aquí las mallas presentan perforaciones provocadas por falta de información en las imágenes del registro.

Gracias a que el software cuenta con un módulo de escultura digital propio, dichas partes de los modelos pueden ser restauradas sin la necesidad de salir del programa o tener que combinar el uso de otras herramientas, Machado & Venancio (2023).

Se debe advertir que, al igual que en la restauración de piezas físicas auténticas, estos procesos provocan cierto nivel de degradación, propiamente porque se está alterando el modelo original.

Por lo anterior, tanto la pérdida de calidad como la falta de fidelidad en la pieza final, estarán relacionadas proporcionales con el grado de modificación y la amplitud de la superficie del modelo restaurado, sumado a esto, también influye en los resultados, la precisión y destreza del artista.

Una vez preparados los modelos fotogramétricos (mallas limpias), lo siguiente fue proporcionar el tamaño correspondiente a la ficha descriptiva que cada pieza posee, en este documento queda establecido, además de información adicional, la escala de la pieza arqueológica físicamente, medidas en centímetros de largo, alto y ancho.

La búsqueda de estas fichas se hizo en los archivos del catálogo digital del Museo de

Antropología de Xalapa, el cual se encuentra disponible a través de la dirección electrónica: <https://sapp.uv.mx/catalogomax/es-MX>.

El único vestigio que no cuenta aún con esta ficha en la página web, fue la máscara olmeca, debido a que fue donada recientemente al MAX como parte de un programa de repatriación del patrimonio cultural de México.

Para que esta información pueda ser asignada y estar disponible a todo público, el objeto debe ser sometido a diversos estudios por parte de los expertos, quienes en consenso determinarán con precisión los datos correspondientes.

Cabe mencionar que, debido a que la integración de esta máscara a la colección de piezas olmecas del MAX, fue producto de la donación de un coleccionista privado, el objeto se encuentra actualmente en un proceso de análisis y autenticación.

3.3.4.6 Retopología. Una vez asignadas correctamente las dimensiones del objeto físico, se procede a crear la malla con la que se dará forma al modelo *low poly*, esto se logra mediante un proceso llamado retopología, el cual consiste en la creación de nuevos polígonos sobre la superficie del objeto de alta densidad "envolviéndolo" completamente, (Steppig, 2022).

La retopología puede hacerse de forma manual, automática o una combinación de ambas. En la forma manual, si se realiza de manera correcta, los resultados pueden llegar a ser extraordinarios y muy estéticos, lo anterior a cambio de una mayor inversión de tiempo y esfuerzo, sobre todo el requisito indispensable de contar con grandes habilidades y conocimientos en modelado poligonal.

Por su parte, en la forma automática, se tiene la enorme ventaja de que es posible ahorrar horas extensas de trabajo, sin embargo, se corre el riesgo de que la nueva topología no interprete correctamente la estructura del objeto base, y como resultado, la malla presente errores que puedan complicar los procesos posteriores.

Para cualquiera de los casos, lo más importante a considerar en el momento de hacer una retopología, es la creación de polígonos siguiendo patrones que permitan definir los contornos del objeto, buscando mantener por todos los medios la forma y la estructura del objeto de referencia.

3.3.4.7 Creación de Mapas de Coordenadas UV's y Reproyección de Texturas. Una vez obtenidas las mallas optimizadas de cada modelo, lo siguiente que se realizó fue la creación de texturas que, de igual manera a la retopología, toma como base el modelo fotogramétrico (*high poly*).

A este proceso se le denomina reproyección de texturas, que tiene como finalidad, obtener determinadas características de color a partir de un modelo de alta densidad poligonal, esto se hace copiando esta información sobre otra versión del mismo modelo, pero optimizado (*low poly*).

Las técnicas necesarias para realizar la transferencia de información de un modelo a otro, se realizó mediante dos tareas. La primera fue la creación de mapas de coordenadas UV, y la segunda, copiar la textura original sobre el modelo optimizado, (Machado y Venancio, 2023).

De acuerdo con Steppig (2022), es posible entender los mapas de textura o *UV Mapping*, como una representación de mallas poligonales dispuestas o desplegadas sobre planos bidimensionales (2D), a manera de ejemplo, se puede referir a esta acción como si se tratara de separar las piezas que componen una prenda de vestir, unidas por costuras, éstas al ser divididas pueden desplegarse sobre superficies planas, pero unidas dan forma y volumen a un objeto tridimensional,

Tomando en cuenta lo anterior, se puede agregar que la creación de un mapa de textura da como resultado la obtención de una imagen cuadrada donde se almacenan píxeles de información, mayores o menores en cantidad, dependiendo la manera en que cada parte de la malla desplegada fue separada y acomodada en su interior.

Cuando los mapas de textura son creados de manera automática, el acomodo de recortes que hacen los programas generalmente se encuentra lejos de ser la mejor opción, porque se desaprovechan

píxeles de la imagen 2D, que son necesarios para una mejor calidad en el producto final.

Por ello, la alternativa que permite un mejor aprovechamiento de los píxeles disponibles dentro de un mapa de texturas es hacer un recorte y acomodo de las partes de forma manual, lo que ofrece un control total sobre el tamaño de las partes separadas y sobre todo la posición en que serán colocadas.

Por supuesto, la ejecución manual también ayuda a reducir la existencia de espacios vacíos de información, priorizar diversas zonas de la malla donde se mostrarán detalles de la textura y reducir aquellas menos importantes o visibles de un modelo, sin embargo, hacerlo de esta manera requiere mayor inversión de tiempo y esfuerzo.

3.3.5 Etapa 5 (Implementación) - Repositorio Digital y Experiencia de Realidad Virtual

Una vez obtenidos los modelos de baja carga poligonal (*low poly*) equiparando estos al nivel de detalle con sus correspondientes versiones fotogramétricas (*high poly*), el paso siguiente consistió en integrar estas versiones optimizadas dentro de un repositorio digital; por ello cada modelo fue preparado de acuerdo con el procedimiento descrito anteriormente y respetando los formatos admisibles de la plataforma de destino

3.3.5.1 Creación del repositorio digital. Para este proyecto, se utilizó la plataforma electrónica *Sketchfab*, en la cual se concentraron las piezas optimizadas, como se mencionó en el apartado de desarrollo, estas permitirían una mejor gestión de los modelos tridimensionales en términos de velocidad y pesos de los archivos.

Son muchas las razones que motivaron el uso de esta plataforma, entre las principales se encuentra que ha sido creada especialmente para la visualización de modelos tridimensionales, brindando a cualquier persona la oportunidad de crear cuentas de usuario gratuitas y hacer uso de características básicas de gran utilidad.

De igual modo, la plataforma ofrece otras ventajas y herramientas más avanzadas mediante el

pago de cuentas premium; sin embargo, para los fines de este proyecto, las opciones incluidas en una cuenta gratuita cubren muchas de las necesidades que demanda el repositorio, siendo la principal el disponer de una herramienta con la capacidad de mostrar el tipo de archivos producto de la digitalización (modelos 3D).

Desde el punto de vista técnico, otras importantes ventajas que brinda *Sketchfab*, son, por un lado, la posibilidad de ajustar parámetros de configuración durante el proceso de importación de los modelos tridimensionales. Gracias a esta configuración desde la plataforma es posible dotar a cada pieza arqueológica, tanto de una presentación mucho más estética como de ser visualmente atractiva.

Cabe destacar que, al contar con proyección de texturas basadas en la información de los modelos fotogramétricos, cada pieza contenida en el repositorio digital posee un realismo extraordinario que, en conjunto con las herramientas de visualización de la plataforma, son capaces de representar los detalles y las texturas de las piezas físicas originales, por supuesto todos estos procesos con tiempos de carga muy reducidos.

Existen otras dos grandes aportaciones que este sistema brinda y que fueron bien aprovechadas para la creación del repositorio digital. Para comenzar, *Sketchfab* es multiplataforma, gracias a esta característica, las piezas digitalización pudieron ser publicadas en una misma base de datos, desde la que el resto de los usuarios tendría la oportunidad de acceder a ellas fácilmente, a través de una página web sin necesidad de contar con una cuenta de usuario.

Lo anterior pretende finalmente apoyar esa labor tan importante del MAX dirigida a la difusión del patrimonio cultural, mediante el uso de este tipo de plataformas y herramientas tecnológicas que facilitan la democratización y acceso a este tipo de información tan valiosa para la sociedad en general.

Además, por sus características, este medio ofrece a cualquier persona nuevas opciones para apreciar e interactuar el legado patrimonial de nuestros antepasados, de una manera atractiva y

diferente, tanto si está de visita en las instalaciones del museo como si se encuentra fuera de ellas.

Y para todos aquellos interesados en conocer a detalle las piezas que el MAX expone, pero que se encuentren de alguna manera impedidos para realizar una visita física al recinto, que residan fuera del estado o vivan en otros países, este repositorio digital, podría ser su única alternativa para acercarse a estos objetos.

Para el anterior grupo de personas, este acercamiento resultaría muy sencillo, ya que solo se necesitaría de una conexión a Internet y uno de los siguientes dispositivos: una computadora de escritorio, una computadora portátil, o por medio de teléfonos celulares y tabletas (casi de cualquier gama), siendo todos ellos equipos convencionales.

Para concluir, la segunda gran aportación de *Sketchfab* es que cuenta con una función para visualizar cualquiera de los modelos tridimensionales almacenados en la plataforma, con tecnología de Realidad Aumentada.

La presencia de esta característica permitiría a los usuarios realizar una visualización interactiva con las piezas virtuales del museo a escala real, esta función sólo puede ser activada desde teléfonos inteligentes y tabletas.

Gracias a este tipo de visualización los usuarios pueden apreciar el patrimonio cultural prácticamente en cualquier lugar, por ejemplo, si realiza una visita al museo de antropología y alguna de las piezas se encuentra fuera del recinto, y esta pieza cuenta con su réplica digital almacenada dentro de esta plataforma, tendrá la capacidad de visualizarla.

Otro caso en el que esta tecnología podría ser de gran ayuda, se puede apreciar en estudiantes que se encuentren en ubicaciones geográficas diferentes, brindándoles la oportunidad de consultar el repositorio digital y desde la comodidad de sus aulas o en sus casas, hacer la visualización de los modelos, que como se mencionó anteriormente, han sido optimizados para una descarga rápida y

eficiente.

En conjunto, tanto las características de *Sketchfab*, así como sus prestaciones, tienen la capacidad de potenciar este proyecto con miras a un mayor alcance, aumentando así el número de audiencia posible, ya que los requisitos de operación resultan ser mínimos, mismos que pueden ser costeables o en su defecto accesibles para la mayoría del público.

Por ello, cabe recalcar la importancia de llevar a cabo el largo proceso de optimización, pues sólo mediante la creación de modelos tridimensionales *low poly*, fue posible reducir los procesos computacionales capaces de alcanzar el nivel de eficiencia necesario, para ser gestionado en los equipos de los usuarios promedio, sin que ello requiriera la intervención de hardware o software especializado

3.3.5.2 Creación de la experiencia de Realidad Virtual. Al igual que el repositorio, para desarrollar esta experiencia inmersiva fue necesario el uso de modelos tridimensionales optimizados para garantizar exitosamente su creación, debido a que los elementos que son cargados en la experiencia de Realidad Virtual deben hacerlo de la manera más rápida y eficiente posible.

De ignorar estas y otras consideraciones, llevando al límite las capacidades de los equipos, tanto la inmersión de la experiencia como las capacidades de interacción de los usuarios dentro de ella, se verían considerablemente afectadas, a tal grado de provocar un incorrecto desempeño de la experiencia y causar molestias e incomodidades al participante durante el tiempo de ejecución.

Todo lo anterior, está relacionado con los dispositivos escogidos para ejecutar la experiencia de Realidad Virtual, que en este caso específico fueron los visores de tipo *Standalone*, porque dos de sus principales características es que ofrecen gran portabilidad y autonomía, cualidades muy importantes para el desarrollo de este proyecto.

Figura 6

Logotipo Oficial Meta Quest



Fuente: Meta (2024). Meta Quest logo [Logotipo]. Meta. <https://www.meta.com>

Sin embargo, estos equipos también presentan limitaciones, la más importante de ellas es que cuentan con procesadores cuyo poder de procesamiento es modesto, equivalente a los integrados en teléfonos celulares de gama media, lo que, a nivel gráfico significa que los procesos de carga y ejecución pueden representar una desventaja.

Aunque existen otro tipo de visores denominados *PCVR*, resulta no ser la mejor opción para el desarrollo del proyecto en general, principalmente en lo que corresponde a la democratización de este tipo de actividades, porque requiere de condiciones adicionales muy específicas.

La principal desventaja radica en que, la tecnología en estos dispositivos es mucho más costosa, ya que resulta necesario contar con hardware específico, que sea compatible, pues requerirá de ejecutar configuraciones avanzadas, algo que no siempre está al alcance de todos los usuarios, por ello es más compleja de implementar, (Christian, 2023).

Este otro tipo de visores, aunque cuentan con una mayor capacidad gráfica y de procesamiento, brindan resultados visualmente superiores a costa de permanecer conectados a un equipo de cómputo, y sólo con las prestaciones de este equipo adicional las experiencias de Realidad Virtual podrán ser ejecutadas, pues el visor por sí solo carece de un procesador propio.

Una vez explicadas las razones por las cuales se escogió utilizar una determinada tecnología

en lugar de otra para el desarrollo de este proyecto, principalmente cuál de ellas brinda mejores condiciones a nivel hardware para la ejecución del desarrollador y la implementación con el usuario, corresponde seguir detallando el proceso de desarrollo a nivel software.

Como se mencionó en el capítulo dos, la creación de la experiencia de Realidad Virtual también involucró el uso de diversos programas, igual que en las etapas de registro, digitalización, reconstrucción de las piezas, por supuesto la creación del repositorio digital.

Algo que caracterizó a estas actividades, fue que para obtener los resultados que se esperaban se requería del seguimiento de procesos secuenciales específicos, mismos que no podían ser modificados, y así sucedió hasta ese punto.

Sin embargo, para el desarrollo de la experiencia de Realidad Virtual, esta estructura de trabajo carecía de funcionalidad, teniendo que ser modificada al grado de dejar de ser por completo lineal, por la necesidad de contar con una retroalimentación lo más inmediata posible en cualquier momento del proceso.

Como ejemplo de lo anterior, a diferencia del proceso de optimización, donde se requería forzosamente concluir una actividad para continuar con las siguientes, durante el desarrollo de la experiencia de Realidad Virtual se pudo trabajar en diversas tareas de manera simultánea, mayormente para hacer ajustes dentro de un software, cotejar los mismos avances, pero dentro otra aplicación en tiempo real y viceversa.

Esta forma de trabajo permitió además de realizar avances más significativos y hacer el proceso más iterativo, también proporcionó un mayor control durante todo el ensamble y programación de la experiencia en general.

Tareas tan sencillas como poder modificar propiedades de las piezas digitales como la posición, rotación, escala, color, perspectiva, intercambio de estos y otros elementos por medio de diferentes

programas en tiempo real, fueron cualidades reiteradas e interactivas que hicieron de la construcción algo extremadamente agradable y motivante de llevar a cabo.

Lo anterior, tuvo un impacto enorme sobre los resultados durante el prototipado del producto-innovación, y a su vez, aportó gran valor al flujo de trabajo del diseñador 3D encargado de crear la experiencia inmersiva, pues le dotó de un excelente control sobre las herramientas y así aprovecharlas al máximo, sobre todo la capacidad de invertir el mayor tiempo posible en la toma de decisiones creativas.

Es aquí donde radica el mayor potencial de utilizar tecnologías de Realidad Virtual tanto para la visualización de un producto final, volviéndose una herramienta indispensable en el proceso de construcción y desarrollo de este tipo de proyectos.

Para concluir con este punto, aunado a las herramientas de software usados, aquí también se vio reflejada la importancia de contar con un equipo especializado (*workstation*) que ofreciera un desempeño óptimo, pues en conjunto permitieron realizar las actividades de manera eficiente, procesos que serían por mucho más tardados y complejos de realizar de no haber contado con todas estas condiciones.

Teniendo todos los elementos, el proceso de creación de la experiencia de Realidad Virtual consistió, por un lado, en determinar la mejor manera de implementar los resultados de la digitalización de piezas arqueológicas, y por el otro, presentarlos adecuadamente a través de este tipo de tecnología (virtualización).

Partiendo del hecho de que el MAX es una obra arquitectónica construida hace 50 años, poseer esta categoría, representa grandes limitaciones como espacio físico, esto ante la incapacidad de llevar a cabo modificaciones o remodelaciones del inmueble, condicionando la creación de nuevas exposiciones en las salas que conforman este museo.

Con base en lo anterior, fue determinante proponer la construcción de un espacio creado de manera digital, con una estructura diferente a la que presenta el Museo de Antropología de Xalapa y por ende sus limitaciones físicas.

En este nuevo espacio, ahora virtual, no existirían restricciones, sino todo lo contrario, se abrirán las puertas para explorar nuevas alternativas de interacción, sin perturbar las establecidas, manteniendo, por sobre todas las cosas, la esencia del recinto mismo.

De esta manera, incluso se buscó promover que tanto expertos en la materia, como público general, experimentaran mecanismos diferentes de interacción con los vestigios arqueológicos, permitiendo así reconocer nuevas áreas de oportunidad e implementar estrategias efectivas relacionadas con la difusión e investigación del patrimonio cultural.

En concordancia con los criterios establecidos en la etapa de selección de piezas arqueológicas de este proyecto, nuevamente entró en juego el análisis previo de las características particulares de cada objeto, para emular tales condiciones dentro de un ambiente tridimensional como sucedería en el mundo físico.

Fueron numerosas las ventajas que tuvo la creación de un prototipo previo al resultado final, una que destaca fue el poder hacer cualquier tipo de acomodo de las piezas y así explorar diversas posibilidades para que la experiencia realmente fuera inmersiva y realista además de que fuera lo más agradable, interactiva e intuitiva posible para los usuarios.

Por ello, desde el inicio del proyecto, el uso de la tecnología de Realidad Virtual tuvo un papel muy importante, pues de esta manera sería posible brindar a los usuarios la capacidad de tener una experiencia cercana a una visita física al Museo de Antropología de Xalapa, (Malik et al., 2024).

Con relación a lo anterior, es extremadamente importante mencionar que, este proyecto bajo ninguna circunstancia pretende sustituir o reemplazar la interacción tradicional que tiene el público

con el patrimonio cultural mediante una visita al MAX.

Lo que se busca con este producto-innovación, es brindar alternativas que refuercen la democratización del conocimiento y la experiencia misma de ir a un museo, que en ocasiones esta última actividad, aunque muy tradicional, por diversas circunstancias puede representar una limitante para algunos usuarios sumamente interesados.

Dicho lo anterior, surge una pregunta obligada que cuestiona sobre la justificación de hacer este proyecto: ¿cuáles serían los beneficios de emular un recorrido virtual del Museo de Antropología de Xalapa comparada con una visita física al recinto?

Este planteamiento puede ser respondido de muchas maneras, lo inmediato sería mencionar que de esta manera se estaría brindando a un gran número de usuarios la oportunidad de tener acceso al patrimonio del MAX, en especial para aquellos que no tienen la capacidad o carecen de las condiciones para desplazarse físicamente al recinto.

El párrafo anterior se relaciona estrechamente con lo expuesto por Malik et al. (2024), en cuanto cómo la tecnología de Realidad Virtual, en conjunto con las experiencias inmersivas, son alternativas que permiten a los usuarios realizar otro tipo de interacciones, mencionando que “Allow students to virtually visit different historical monuments, which may not be practically possible in reality due to time and money constraints” [Permitir a los estudiantes visitar virtualmente diferentes monumentos históricos, lo cual puede no ser posible en la realidad debido a limitaciones de tiempo y dinero] (p. 76).

Sin embargo, la respuesta que posee un sentido mucho más profundo sería la que sugiere que los entornos digitales pueden provocar en los usuarios, estímulos que de otras formas serían prácticamente imposibles de experimentar.

Es decir, si bien la experiencia de observar un vestigio físico brinda mayor satisfacción y tiene

un alto impacto en el espectador, dentro de un ambiente creado digitalmente un objeto virtual también podría tenerlo, si la experiencia es lo suficientemente inmersiva, procurando conservar el detalle y las características del modelo original.

Además, la experiencia de Realidad Virtual se ve enriquecida al otorgar el poder de interactuar con los objetos sin la menor preocupación de ponerlos en riesgo, o tener la oportunidad de interactuar con las piezas del MAX de formas que no están permitidas durante los recorridos físicos, así como las limitaciones de espacio-tiempo o las restricciones para la preservación de los vestigios.

Tomando en cuenta las premisas anteriores, lo primero fue diseñar un entorno digital, algo muy parecido a una galería, esto debía tener como objetivo principal la capacidad de representar las características que un espacio físico posee para que fueran emuladas dentro de un ambiente tridimensional.

3.3.5.2.1 Blocking (Bosquejo Rápido). Para esta etapa del proyecto se utilizó la aplicación *Gravity Sketch*, lo que trajo consigo enormes ventajas para el proceso de desarrollo de la prestación de Realidad Virtual. Entre las principales ventajas cabe resaltar que es de uso gratuita y se encuentra disponible dentro de la plataforma *Meta Store*, para instalarla se requiere una cuenta de usuario y un visor de Realidad Virtual, en el caso del proyecto se utilizaron los dispositivos *Meta Quest 2* y *3*, y *Meta Quest Pro*.

Figura 7

Logotipo Oficial Gravity Skecth



Fuente: Gravity Skecth (2023). Gravity Skecth logo [Logotipo]. Gravity Skecth.

<https://www.gravitysketch.com/>

Otra ventaja por destacar es su estrecha relación con un flujo de trabajo eficiente, ya que la cuenta de usuario incluye el servicio denominado *Landing pad*, que es un servicio de gestión de archivos a través de la nube, el cual está basado en tecnología web 3.0, mediante el cual los usuarios pueden visualizar e intercambiar archivos entre distintos dispositivos, como computadoras y tabletas, haciendo de esta una herramienta multiplataforma (*Gravity Sketch*, 2023).

Destacando aspectos propios del proceso, *Gravity Sketch* brindó la oportunidad de integrar en un mismo espacio, tanto los modelos optimizados como las nuevas estructuras arquitectónicas (piso, paredes, techo, etc.) creadas a partir de figuras tridimensionales primitivas básicas desde la interfaz del programa.

Y al tratarse de un programa propiamente de prototipado, fue posible la edición de los modelos con escalas y medidas reales mediante una interacción con todos los elementos en tiempo real, algo

muy valioso y útil para este tipo de actividades.

Finalmente, la razón principal de integrar *Gravity Sketch* al conjunto de herramientas utilizadas en este proyecto, y ser elegirlo por sobre otras opciones con similares prestaciones fue, en sí, establecer un flujo de trabajo que contemplara una herramienta inmersiva, y el impacto que esto supondría tanto para el diseño como para la calidad de los resultados.

Para explicar mejor lo anterior, basta con observar cómo se realiza el proceso de diseño usando los métodos tradicionales y comparar estos con la experiencia de conceptualización y la interacción, al construir escenarios con herramientas no convencionales que integran nuevas tecnologías.

En los primeros (vigentes aún), la interacción que los usuarios realizan con sus diseños es la visualización en pantallas (bidimensional) y manipulación de contenido con la asistencia de periféricos, los más avanzados, pantallas táctiles interactivas o tabletas digitalizadoras, pero en la mayoría de los casos con el apoyo del ratón y el teclado, los más comunes.

Además, en la práctica, aunque existen atajos de teclado predefinidos en este tipo de programas para el aprovechamiento de otras funcionalidades, es necesario el acceso a menús generalmente desplegados y llenos de botones, que se vuelven incómodos cuando es recurrente la edición a través de estas opciones.

En cambio, dentro de un entorno de virtual, el proceso de creación de esta experiencia inmersiva fue completamente diferente y disruptivo, haciendo del trabajo una tarea sencilla e intuitiva, gracias a un diseño de interfaz bien pensada, que cuenta con los botones virtuales necesarios para el rápido acceso, y la activación de funciones especiales mediante diversos gestos hechos con simples movimientos de las manos.

Ejemplo de estos movimientos fue que, para el guardado del proyecto, sólo se requirió de girar el mando háptico (controlador) para seleccionar la opción correspondiente, debido a que previamente

fue configurado para ser respaldado en la nube. Tras esta acción, el archivo creado en *Gravity Sketch*, se hizo disponible en un formato compatible con prácticamente todos los programas estándar de diseño 3D.

3.3.5.2.2 Diseño y Edición 3D de un Entorno Virtual. Una vez exportados los elementos de la escena, como resultado del *blocking* del prototipo previo, se procedió a la descarga del archivo mediante el servicio de *Landing Pad* (nube) que ofrece *Gravity Sketch*, ya en un formato compatible, se importó en el programa *Blender* para continuar con la edición, además de otros ajustes necesarios.

Figura 9

Logotipo Oficial Blender



Fuente: Blender (2024). Blender logo [Logotipo]. Blender. <https://www.blenderfoundation.org/>

Dentro de *Blender*, lo primero que se realizó fue la agrupación de elementos tridimensionales y la asignación de una nomenclatura específica, con base en el tipo de objeto.

Por ejemplo, se creó el grupo *Building* donde se agruparon las paredes, el piso, el techo, las mamparas y todo objeto que estuviera relacionado con los elementos arquitectónicos de la galería.

En otro grupo, se concentraron todas las piezas arqueológicas virtualizadas y sus respectivas bases, estas últimas fueron ajustadas con mayor precisión, en correspondencia al tamaño, la altura y la forma de la pieza que sería colocada sobre ellas.

Así mismo, en todos los casos necesarios, otros ajustes consistieron en la recolocación de las exhibiciones a lo largo del espacio virtual y la incorporación de nuevos objetos, principalmente de carácter informativo (pantallas) e interactivos (botones) en formato de texto o elementos audiovisuales adicionales.

Lo anterior, tuvo como finalidad principal tener un mejor aprovechamiento del espacio creado digitalmente, modificándolo de tal manera que permitiera a las exposiciones contar con una equilibrada disposición espacial, y al usuario tener la mejor experiencia posible durante su recorrido por la escena dentro de la experiencia de Realidad Virtual.

Retomando lo mencionado anteriormente en el inicio del apartado, esta etapa se caracterizó por una constante iteración durante la creación del entorno virtual; trabajando de esta manera y con estas herramientas, fue posible hacer diversas pruebas y ahorrar tiempo de producción al haber sido algunas en tiempo real.

Por ejemplo, se aprovechó el motor de renderizado *EEVEE* integrado en este software, lo que permitió visualizar modificaciones ágilmente mientras se construía la galería, una de ellas fue la prueba de distintas texturas para lograr emular algunos tipos de materiales y acabado para el piso (*Blender*, 2023).

Lo anterior, además de potenciar la obtención de resultados cercanos a los esperados también fue crucial para tomar otras importantes decisiones de orden más estético, como el impacto visual que cada cambio tendría sobre la escena tridimensional, o el tipo de composición visual (producto de la variación de elementos).

Es importante recordar que cuando se crean modelos tridimensionales, en la mayoría de las ocasiones estos requieren la asignación de materiales o texturas específicas, por ejemplo, como sucedió en la etapa de creación de modelos optimizados de piezas arqueológicas, cada modelo fue

preparado para la integración de su textura correspondiente.

Con base en lo anterior, se usó de nuevo *Blender* para la creación de mapas de texturas UV para cada elemento arquitectónico, con dos propósitos: proyectar correctamente cada material sobre las mallas poligonales de estos objetos y controlar fácilmente diferentes parámetros como el tamaño y la dirección de las texturas.

Una vez concluidos los ajustes y edición de cada elemento, así como del entorno virtual en general, se requiere realizar un proceso de exportación de los modelos nuevamente, para que puedan estar disponibles fuera del programa de edición 3D.

Por último, se debe mencionar que, para mantener un orden en el intercambio de archivos entre programas, fue fundamental mantener las nomenclaturas previamente asignadas y la correspondencia de un modelo con su grupo o categoría, asimismo, facilitó la identificación de elementos cuando fue necesario realizar ajustes adicionales.

3.3.5.2.3 Programación de una Experiencia de Realidad Virtual Interactiva. Para dar continuidad al desarrollo de este proyecto, lo siguiente a realizar fue la programación de la Realidad Virtual, tomando como elementos principales las piezas arqueológicas virtuales y todos los modelos adicionales diseñados para construir el escenario virtual.

Como parte de la programación, se emplearon dos herramientas esenciales, la primera de ellas fue *Unity*, un motor usado para el desarrollo de experiencias interactivas capaz de gestionar elementos 2D y 3D en tiempo real, es de uso gratuito y se considera un estándar en esta industria.

Figura 10

Logotipo Oficial Unity



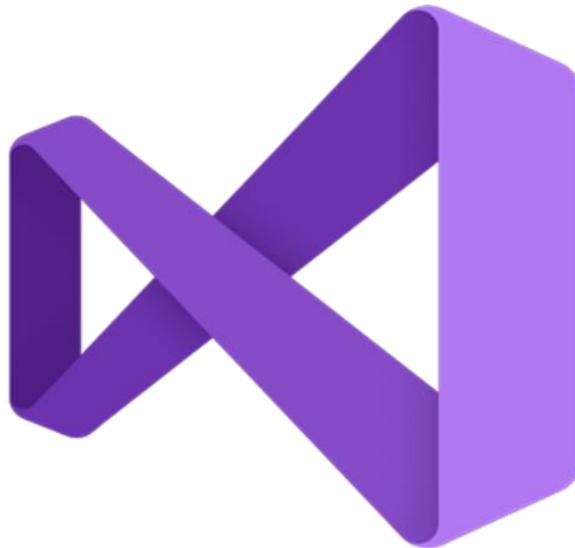
Fuente: Unity Technologies (2022). Unity logo [Logotipo]. Unity Technologies.

<https://unity.com/legal/trademarks>

La segunda fue Visual Studio, un entorno de desarrollo integrado o IDE (por sus siglas en inglés) mediante lenguaje de programación, posee un editor de código que permite el desarrollo de aplicaciones para diversas plataformas como Windows, MacOS, iOS, Android, Linux.

Figura 11

Logotipo Oficial Visual Studio



Fuente: Microsoft (2024). Visual Studio logo [Logotipo]. Microsoft.

<https://visualstudio.microsoft.com/>

La implementación de *Unity* como parte del proceso de desarrollo, permitió el uso de piezas virtualizadas (versiones optimizadas) y distintos elementos tridimensionales, con los cuales simular un recorrido dentro de un entorno digital, donde el usuario emulará la experiencia de visitar presencialmente las instalaciones del MAX.

Lo anterior, fue posible gracias a que el programa también fue creado pensando en el desarrollo de aplicaciones inmersivas, volviéndolo una excelente opción para este proyecto, porque ofrece opciones de compatibilidad con diversos visores capaces de trabajar con estas tecnologías.

A través de esta funcionalidad, se programó la interactividad de la experiencia inmersiva, mientras éste era ensamblado dentro de *Unity*, porque el software permitía trabajar de manera simultánea en la computadora y el visor directamente.

Esto fue muy valioso para probar en tiempo real cada avance, es decir, se tuvo capacidad de realizar todo tipo de ajustes y modificaciones al momento mismo de su desarrollo, sin la necesidad de esperar hasta la etapa de prueba para valorar resultados.

En resumen, se destacan los cuatro grandes beneficios de usar *Unity* y llevar este flujo de trabajo:

- Oportunidad de tomar mejores decisiones técnicas y estéticas rápidamente a criterio del desarrollador
- Potencializar la creatividad, al trabajar inmerso en el propio entorno.
- Contar con una retroalimentación de la experiencia en tiempo real.
- Visualización rápida de resultados, comparables al producto final, antes de concluirlo.

Algo importante que aclarar, es que de acuerdo con Meta (2023) durante las etapas de diseño y desarrollo, se requiere establecer una conexión alámbrica entre los dispositivos *Meta Quest 2, 3* y *Meta Quest Pro* y la computadora (*Workstation*) por medio de un cable *USB-C a USB-C*, ya que sin esta no sería posible habilitar la transferencia de datos, el envío de señal de audio/video y tampoco enlazar los equipos para la interacción del usuario con la experiencia de Realidad Virtual por medio de los controles del visor.

Las interacciones y comportamientos automáticos de la mayoría de los elementos que integran la experiencia de Realidad Virtual, fueron programados con scripts escritos en lenguaje de programación *C#*, un código de programación de código abierto para la construcción de aplicaciones, Microsoft (2023).

Una parte del código utilizado para este proyecto se basó en información descrita en manuales, documentación y librerías del programa, *Unity Documentation (2023)* y otros sitios de Internet, siendo

la gran mayoría aquella que se encuentra disponible gratuitamente, en los sitios web oficiales de *Microsoft* y *Unity*.

La totalidad del código requirió ser escrito manualmente, se utilizó el editor de código de *Visual Studio*, que al estar conectado directamente con la interfaz de *Unity Learn* (2023), *Unity* hizo posible la edición de las líneas de código existentes, así como la creación de nuevos scripts, mientras ambos programas se ejecutaban simultáneamente.

3.3.5.2.4 Producción de Elementos Audiovisuales. Siendo la difusión del patrimonio cultural y el apoyo a estas actividades, premisas claves en este proyecto, fue necesario contar con materiales audiovisuales adicionales en distintos formatos, para potencializar la distribución de información a través de distintas plataformas, formatos y su aprovechamiento.

En este sentido fue necesaria la producción de estos materiales para satisfacer tal necesidad, y brindando nuevas áreas de oportunidad para el aprovechamiento de la digitalización de piezas arqueológicas del Museo de Antropología de Xalapa.

Esta necesidad ahora convertida en una nueva área de oportunidad dio como resultado la generación de nuevos audios, imágenes y videos, tomando como base todos los elementos tridimensionales creados previamente, utilizando diversas herramientas y tecnologías compatibles con el flujo de trabajo llevado hasta el momento.

La herramienta principal para lograr con éxito esta encomienda fue *Unreal Engine 5* de la empresa *Epic Games*, una herramienta de desarrollo en tiempo real, que permite la creación de contenido tridimensional, este software junto con *Unity* son las plataformas estándar de la industria en la actualidad, principalmente en el desarrollo de videojuegos y experiencia interactiva, con soporte para diversas plataformas, *Epic Games* (2023).

Figura 12

Logotipo Oficial Unreal Engine 5



Fuente: Epic Games, Inc. (2023). Unreal Engine 5 logo [Logotipo]. Epic Games.

<https://www.unrealengine.com/>

Al igual que los demás programas utilizados para el desarrollo de este producto-innovación, esta herramienta se aprovechó en muchos sentidos, aportando grandes beneficios al proyecto; en principio permite a cualquier usuario su uso de forma gratuita.

Para su uso, se requiere la apertura de una cuenta personal, al convertirse en un usuario registrado se tiene acceso a las herramientas principales, diversas librerías con cientos *Assets* (modelos, escenas, *plugins*, materiales, tutoriales, etc.) tanto gratuitos como de pago, algunos desarrollados por la propia compañía y muchos otros por usuarios de la comunidad.

Otro aspecto importante para este proceso es, el aprovechamiento de un flujo de trabajo en

tiempo real, que como anteriormente se pudo explicar, contar con tales capacidades resulta clave durante el proceso de desarrollo de cualquier proyecto, reduciendo el tiempo de trabajo y fomentando una mejor toma de decisiones, en etapas tempranas, (Rodríguez et al., 2022).

Finalmente, el aspecto más importante y donde se puso mayor énfasis sobre el porqué se usó esta herramienta, fue la iniciativa de alcanzar la mejor calidad en los resultados, lo que se logró conseguir gracias a la posibilidad de renderizar y exportar contenido audiovisual hiperrealista (Palmeri, 2024).

Así, se buscó fortalecer el impacto del producto sobre la audiencia, aprovechando que la calidad de la imagen posee tal grado de realismo, que para algunos usuarios sería difícil distinguir entre la grabación de video con las piezas originales y una animación hecha exclusivamente con modelos digitales.

Con este tipo de resultados, por un lado, que un mismo público tuviera otras opciones interesantes por explorar, por ejemplo, observar con extremo detalle, características difícilmente apreciables detrás de una vitrina o de otras maneras, ha cambiado por completo su experiencia. Por otro, en un sentido más técnico, fue posible producir estos renders hiperrealistas mucho tiempo después de haber sido reconstruida digitalmente una pieza (meses), usando para ello modelos tridimensionales, evitando volver a exponer las piezas al uso de equipo físico para su registro.

Con todo este contexto, se sustenta el esfuerzo por realizar toda la producción de material adicional, lo que permite dimensionar el verdadero aporte que diversos tipos de elementos audiovisuales en conjunto con las piezas arqueológicas virtuales brindaron al producto.

Para enriquecer la experiencia de Realidad Virtual, este tipo de elementos tuvo como función principal acompañar cada una de las exposiciones, y brindar información que permitiera al usuario comprender el contexto arqueológico de cada pieza.

El potencial que todo lo anterior tiene, permea varias aristas y da gran sentido al proyecto de virtualización de piezas arqueológicas del MAX, al proponer la implementación de nuevas estrategias que acerquen el patrimonio cultural a más público, y enriquezcan la interacción que éste podría establecer con las piezas arqueológicas expuestas en el recinto.

De igual manera, esta tarea se convirtió en el mayor ejemplo de aprovechamiento y reutilización de recursos, para el potencial desarrollo de nuevos proyectos relacionados con la difusión, u otros asociados con temas de investigación o nuevas metodologías de registro del patrimonio cultural.

Una vez más, se debe aclarar que no se busca reemplazar las visitas donde es posible contemplar físicamente lo que este museo ofrece, esto no se puede comparar, porque el gran valor de tal experiencia es indiscutible e insustituible.

Por el contrario, con estas iniciativas se proponen alternativas que puedan despertar aún más el interés del público, para que tanto los visitantes que son frecuentes como los potenciales, aprovechen por igual la oportunidad toda vez que les sea posible.

Capítulo 4

Resultados

Después de un largo proceso de desarrollo, fue posible la obtención de los resultados esperados, tangibles, con excelentes posibilidades para ser utilizados y a su vez, satisfacer muchos de los objetivos abordados por este proyecto. Debido a que la virtualización de material arqueológico del MAX fue exitosa, éste ha de servir como materia prima útil que coadyuve las necesidades detectadas, elementos compatibles al uso de diversas tecnologías con distintos propósitos.

Dicho lo anterior, el uso conjunto de los materiales, al encontrarse bien desarrollados y montados en las plataformas correspondientes, cuenta con el potencial necesario para apoyar las labores de difusión e investigación que el MAX realiza, y potenciar que el patrimonio cultural ubicado físicamente en el recinto pueda ser visualizado por diversos expertos, así como múltiples usuarios.

A continuación, se describe detalladamente el material obtenido de los procedimientos aplicados durante esta investigación:

4.1 Réplicas arqueológicas digitales y reproducciones digitales optimizadas

La elaboración de este producto-innovación tuvo como resultado principal la exploración y puesta en marcha de un proceso de digitalización de piezas arqueológicas físicas, mismas que se encuentran bajo el cuidado y resguardo del Museo de Antropología de Xalapa.

A través de dicho proceso, a partir de las piezas seleccionadas se obtuvo un total de 40 modelos tridimensionales, siendo las primeras 20 réplicas arqueológicas digitales, que tal como se mencionó anteriormente, corresponde a una representación digital fiel de cada invaluable vestigio físico.

Posteriormente, una vez obtenidas estas réplicas digitales, mediante otro proceso a partir de esos archivos, se desarrollaron 20 nuevos modelos tridimensionales, en calidad de reproducciones digitales optimizadas.

Para ver el detalle de estos resultados, se desarrolló una tabla (Tabla 1), misma que se muestra a continuación, en ella se ha incluido el número total de archivos digitales obtenidos, además del nombre y número de registro correspondiente a cada objeto físico a partir del cual se llevó a cabo la digitalización:

Tabla 1

Relación de réplicas y reproducciones digitales optimizadas

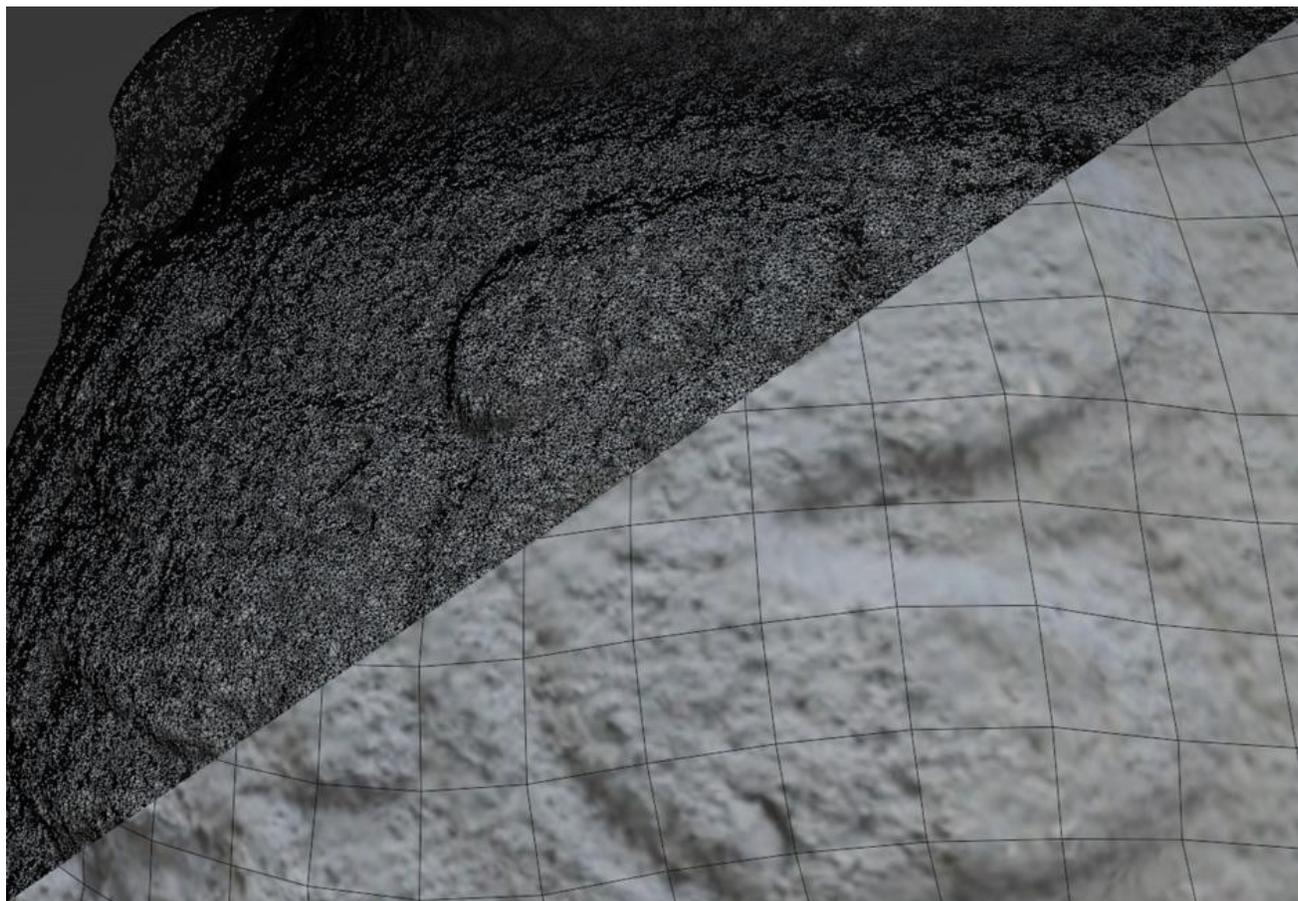
	Nombre de la pieza	Número de registro	Versión destallada (<i>High poly</i>)	Versión Optimizada (<i>Low poly</i>)
1	Cabeza colosal 1	10958	1	1
2	Cabeza colosal 8	14094	1	1
3	El Señor de las Limas	04017	1	1
4	Máscara olmeca de jade	04009	1	1
5	Máscara olmeca con esgrafiado	04013	1	1
6	Máscara olmeca	-	1	1
7	Cráneo de Misantla	16053	1	1
8	Dios Obeso	16054	1	1
9	Personaje con máscara bucal	04024	1	1
10	Estela de La Mojarra	16052	1	1
11	Conjunto escultórico de los gemelos (01)	INV10-573558 1/3	1	1

12	Conjunto escultórico de los gemelos (03)	INV10-573562	1	1
13	Personaje con anteojeras	03991	1	1
14	Jaguar sedente	16044	1	1
15	Losa Felino	12139	1	1
16	Personaje con rasgos felinos	04020	1	1
17	Escultura humano-felino con manoplas	00328	1	1
18	Príncipe olmeca	04023	1	1
19	Felino olmeca	04021	1	1
20	Cabeza de aspecto humano-felino	00327	1	1
21	Monumento 19	-	1	1
Total			21	21

Nota. La columna “Número de Registro” corresponde al identificador que cada pieza pose en el catálogo del Museo de Antropología de Xalapa, disponible en <https://sapp.uv.mx/catalogomax/>.

Figura 8

Densidad de Malla Poligonales High/Low



Fuente: Creación Propia.

Figura 9

Comparativa de Densidad Poligonal High/Low Poly



Fuente: Creación Propia.

4.2 Repositorio digital

A partir de estos materiales ya digitalización, fue posible la creación de un repositorio digital que es accesible desde Internet, la plataforma en cuestión se denomina *Sketchfab* (*Sketchfab.com*).

Figura 10

Página inicial de la Plataforma sketchfab.com

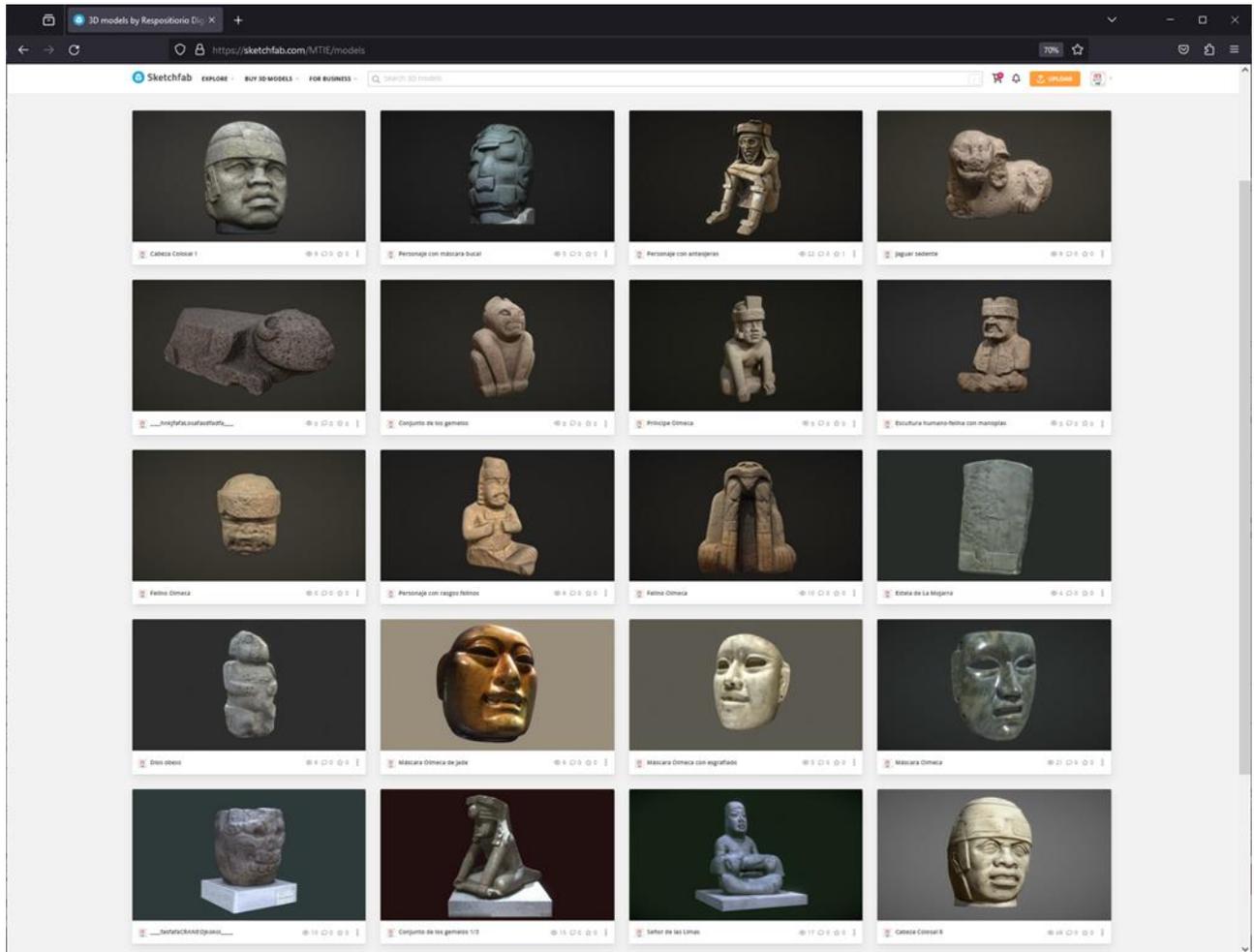


Nota: La figura muestra la página principal de la plataforma Sketfab donde pueden ser visualizados de los modelos tridimensionales de las piezas arqueológicas del MAX. Fuente: Creación Propia.

Entre los beneficios que brinda la creación de este repositorio, es accesibilidad para todo tipo de público, además que la información puede ser consultada en cualquier momento y desde cualquier lugar, para lo cual se requiere una conexión a Internet y el uso de diversos dispositivos, tales como teléfonos inteligentes, tabletas, así como computadoras, ya sean portátiles o de escritorio

Figura 11

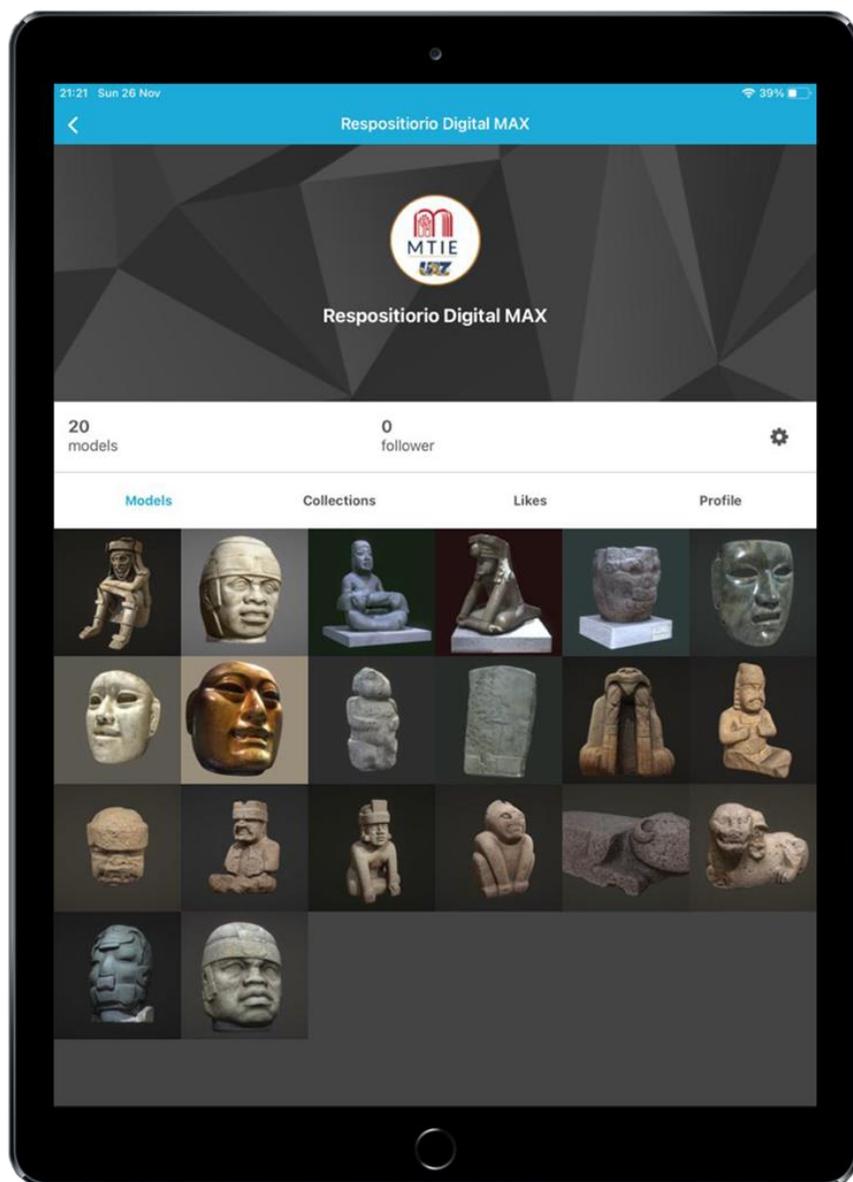
Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (PC)



Nota: La figura muestra imágenes en miniatura de las piezas arqueológicas digitales del MAX desde una computadora. Fuente: Creación Propia.

Figura 12

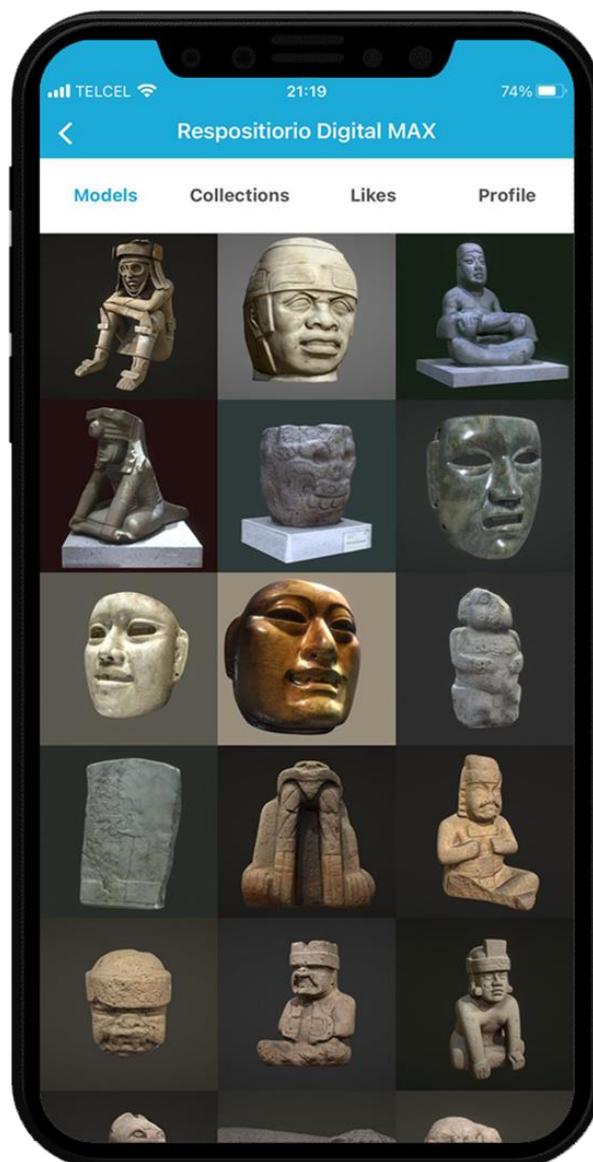
Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (Tableta)



Nota: La figura muestra imágenes en miniatura de las piezas arqueológicas digitales del MAX desde una tableta. Fuente: Creación Propia.

Figura 13

Repositorio Digital MAX, Vista de Miniaturas (iPhone)

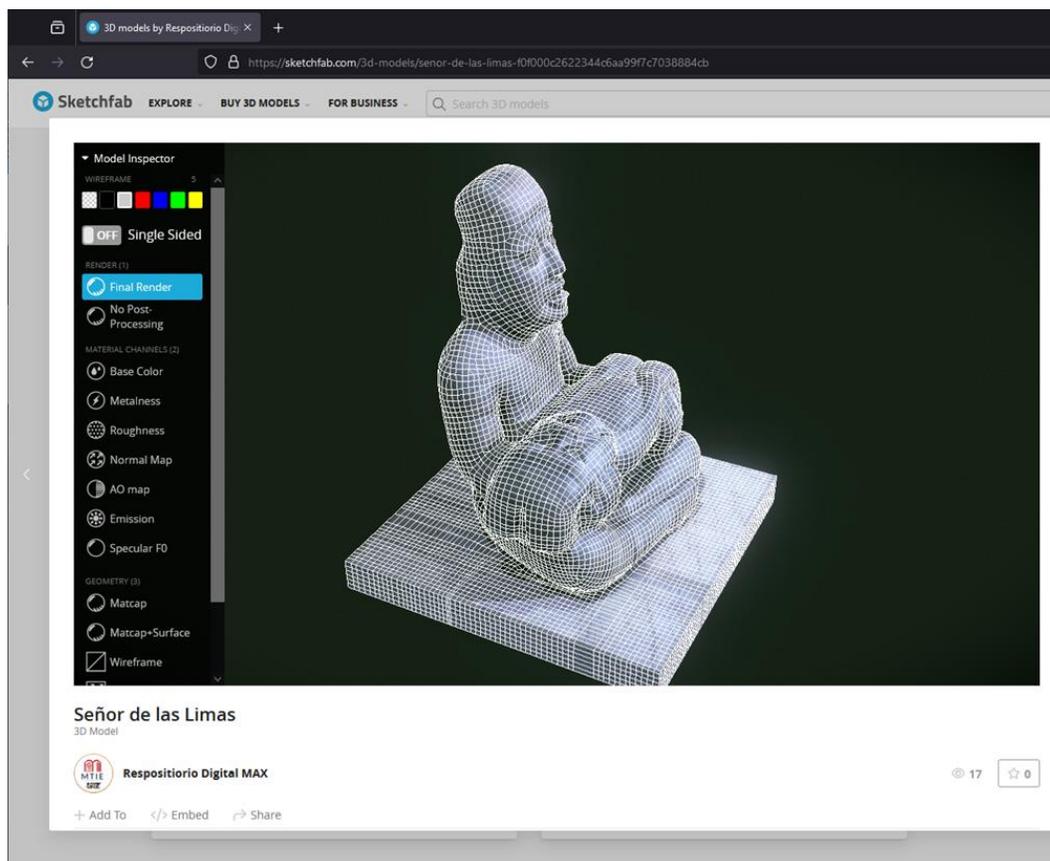


Nota: La figura muestra imágenes en miniatura de las piezas arqueológicas digitales del MAX desde un teléfono. Fuente: Creación Propia.

Una funcionalidad disponible en la plataforma, es la herramienta “*Model Inspector*”, mediante la cual es posible hacer exploraciones avanzadas, así los usuarios pueden visualizar a detalle cada modelo seleccionado y comprender de qué manera fue construido un determinado objeto tridimensional a través del análisis de su topografía, los mapas de texturas *PBR* o (*Physical Base Render*, por sus siglas en inglés) entre otras importantes características.

Figura 14

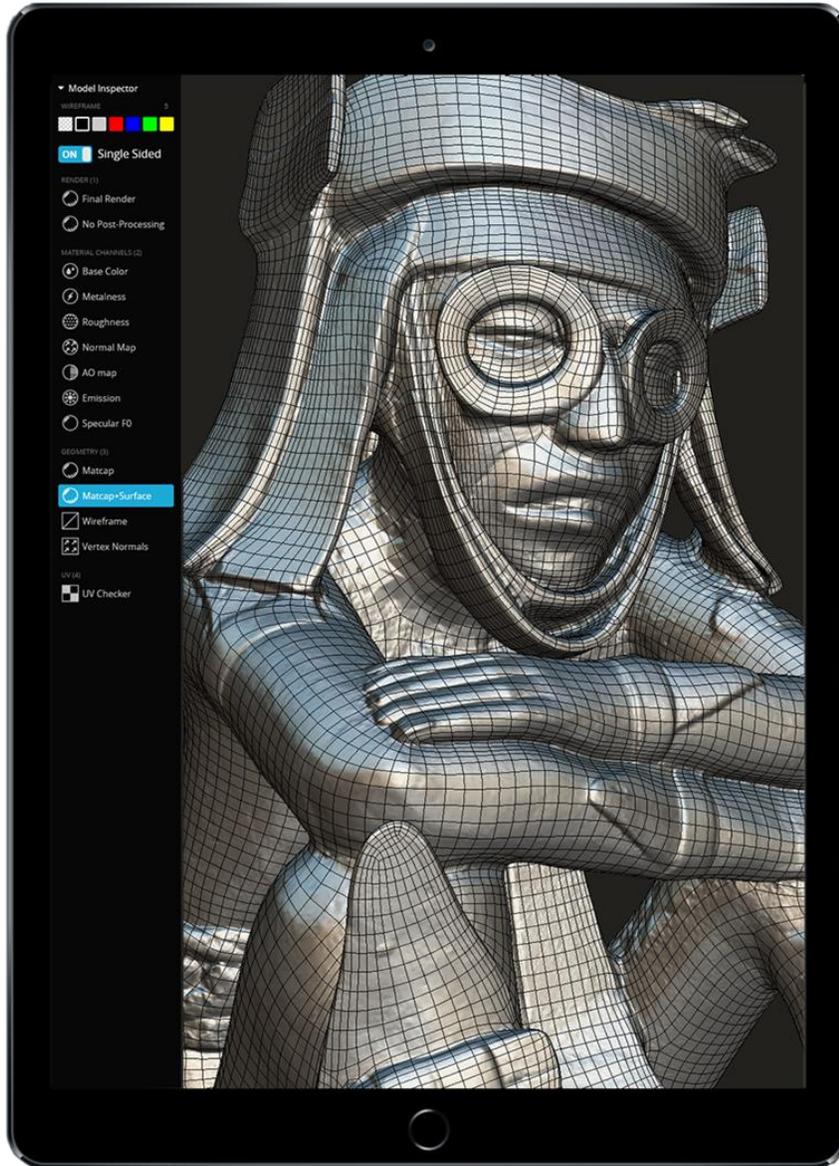
Repositorio Digital MAX, Wireframe Mode (PC)



Nota: La figura muestra la visualización de una pieza digital disponible en el repositorio en la modalidad Wireframe. Fuente: Creación Propia.

Figura 15

Repositorio Digital MAX, Vista de Diferentes Modalidades (iPad)



Nota: La figura muestra la visualización de una pieza digital disponible en el repositorio combinando dos modalidades, Matcap+Surface y Wireframe. Fuente: Creación Propia.

Debido a que la plataforma hace posible el aprovechamiento de tecnologías como la realidad

aumentada, los usuarios que cuenten con la aplicación de *Sketchfab* instalada, ya sea en sus teléfonos o en sus tabletas, podrán activar tal funcionalidad para interactuar con los modelos de los repositorios digitales, para que esta visualización logrará realizarse de manera fluida y eficiente los modelos cargados en la plataforma fueron las versiones optimizadas.

Figura 16

Repositorio Digital MAX, AR Viewer(iPhone)



Nota: La figura muestra la funcionalidad de visualización de modelos 3D en Realidad Virtual disponible desde la aplicación *Sketchfab* en posición horizontal. Fuente: Creación Propia.

Sin duda, estas opciones de visualización son disruptivas y resultan llamativas para los usuarios, pudiéndose aprovechar éste como material audiovisual didáctico o material complementario, con el cual reforzar el aprendizaje de estudiantes de diversos niveles educativos, al hacer disponible este tipo de información en distintos espacios, como aulas, auditorios, entre otros.

Figura 17



Nota: La figura muestra la funcionalidad de visualización de modelos 3D en Realidad Virtual disponible desde la aplicación *Sketchfab* en posición vertical. Fuente: Creación Propia.

4.3 Experiencia de Realidad Virtual

De la misma manera, para demostrar la gran usabilidad de los materiales obtenidos del proceso

de digitalización, se desarrolló paralelamente una experiencia de Realidad Virtual, cuyo objetivo principal es brindar a distintos usuarios la posibilidad de visualizar e interactuar con piezas protegidas por el MAX de extrema relevancia, toda vez que por las características de esta tecnología puedan disfrutar de nuestro patrimonio cultural.

Cabe agregar que esta experiencia de Realidad Virtual fue desarrollada considerando las mejores opciones para ser lo más accesible posible, por ello se utilizaron visores *Standalone*, que como se comentó anteriormente, estos son equipos especiales, cuya principal ventaja es que no requieren cables o equipos adicionales para la visualización de este tipo de información.

La experiencia aprovecha la tecnología de la Realidad Virtual para disfrutar de las experiencias inmersivas y explorar otras formas de interacción, mismas que este tipo de tecnología pone al alcance de los usuarios, también se convierte en una evidencia fundamental y claro ejemplo de cómo utilizar los diversos elementos creados y de los que se habló a lo largo de esta investigación, de manera integrada.

El diseño de la experiencia de Realidad Virtual fue planteado en cinco bloques o escenas, gracias a esta estructura el usuario puede disfrutar una experiencia inmersiva de forma lineal con algunas interacciones, mismas que le permiten interrumpir tal secuencia para volver a observar un determinado contenido por medio de menús.

Lo anterior tiene como finalidad principal hacer sentir cómodo en todo momento al usuario, además de capacitarlo para adaptarse a la experiencia inmersiva de forma gradual.

A continuación, se describe cada una de las escenas que integran la experiencia de Realidad Virtual.

4.3.1 Escena “Inicio”

Es la primera escena que invita al usuario a llevar a cabo su primera interacción, permitiéndole

sentirse cómodo con el equipamiento y evitarle perder detalles importantes que estarán presentes en la experiencia inmersiva, una vez que esta comience.

Figura 18

Experiencia de Realidad Virtual - Escena 1 “Inicio”



Nota: La figura muestra elementos de la primera escena desde el visor de Realidad Virtual *Meta Quest 2, 3 y Meta Quest Pro*. Fuente: Creación Propia.

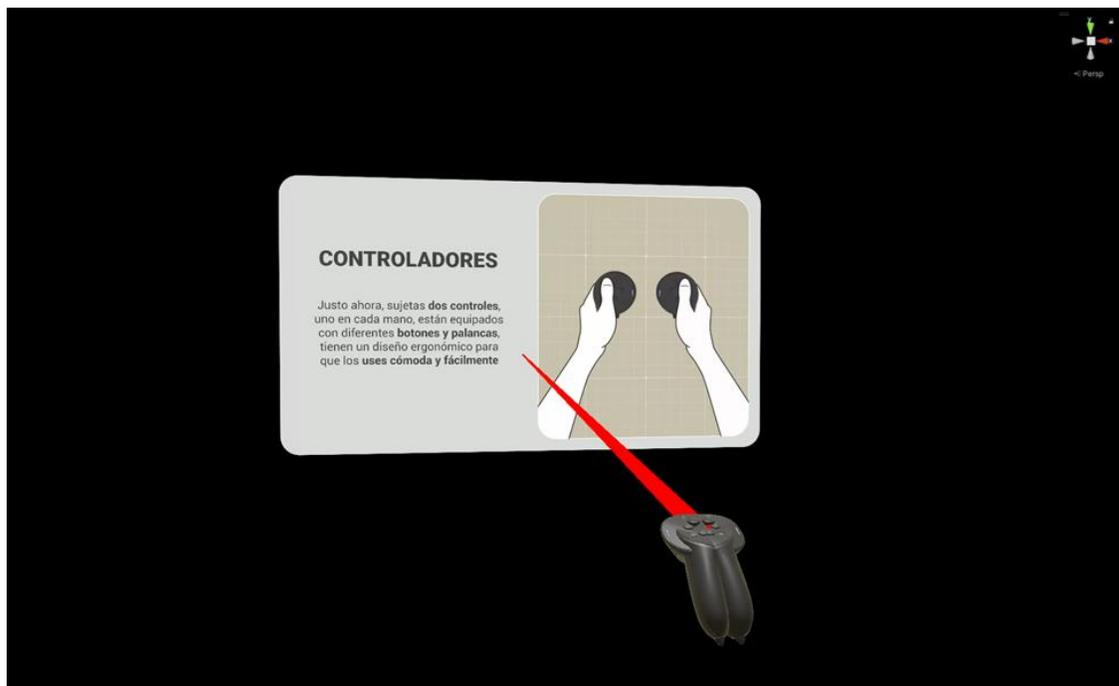
4.3.2 Escena “Tutorial”

Constan de una serie de animaciones explicativas, que resultan fundamentales para realizar un manejo del equipamiento y a su vez, mostrar cómo se deberán realizar las interacciones correspondientes.

Otro de los aspectos que aquí se presentan y resultan fundamentales para disfrutar de la experiencia de Realidad Virtual, son los distintos tipos de comportamientos dentro de la experiencia, y al ser esta una representación de la realidad, el usuario deberá saber de qué manera interactuar, así como las acciones que están permitidas.

Figura 19

Experiencia de Realidad Virtual - Escena 2 “Tutorial”



Nota: La figura muestra elementos de la segunda escena desde el visor de Realidad Virtual *Meta Quest 2, 3 y Meta Quest Pro*. Fuente: Creación Propia.

4.3.3 Escena “Introducción”

Esta escena explicativa, es un preámbulo donde el usuario escuchará y observará distintos elementos, asumiendo un papel contemplativo hasta la aparición de un menú de opciones con el que podrá interactuar usando los controladores previamente descritos en la escena anterior (Tutorial).

del visor de Realidad Virtual que esté usando.

Además de libertad de desplazamiento, podrá apreciar con detalle las 20 réplicas digitales de las piezas arqueológicas desarrolladas para esta investigación, todas acompañadas de distintos elementos informativos atractivos que brindan información detallada de cada una de las piezas.

Entre los principales elementos interactivos que se encuentran disponibles varios botones dentro de esta galería virtual, con ellos se activan audioguías, animaciones y *motion graphics* para obtener información detallada de las piezas (contexto arqueológico).

Las audioguías son una herramienta multimedia fundamental que forman parte de las estrategias de difusión implementadas en los recorridos que ofrece actualmente el Museo de Antropología de Xalapa de manera presencial, aquí se han incluido para mantener la coherencia entre el patrimonio tangible material que exhibe en las salas de MAX y sus réplicas digitales que se muestran dentro de esta experiencia de Realidad Virtual.

Por su parte los demás elementos visuales presentan descripciones en la modalidad de animaciones (*motion graphics*), video imágenes y fotografías, para hacer hincapié en los aspectos o características más relevantes de un vestigio en particular,

Por ejemplo, se crearon animaciones para destacar los grabados presentes en la superficie de la pieza El señor de las Limas, así como los elementos esgrafiados de las máscaras olmecas, se crearon videos estereoscópico llamados también videos 3D, así como fotografías de otras piezas del MAX, todos estos elementos en conjunto ayudan a enriquecer y elevar Experiencia de Realidad Virtual.

Figura 21

Experiencia de Realidad Virtual - Escena "Galería"



Nota: La figura muestra elementos de la cuarta escena desde el visor de Realidad Virtual Meta Quest 2, 3 y Meta Quest Pro. Fuente: Creación Propia.

4.3.5 Escena "Acerca de"

Es una escena en construcción, en la cual será posible presentar información con todo tipo de material que haya sido relevante y que esté relacionado con el proyecto.

Es muy importante mencionar que, esta información estará apegada a la figura de las autoridades responsables de brindar las facilidades para la elaboración de la experiencia-inmersiva. Esta decisión ha sido determinante, ya que contempla integrar los nombres de personas clave para la

investigación y, por consiguiente, la información personal y/o sensible estará sujeta a aprobación por parte de los involucrados.

Finalmente, entre elementos que en escena podrán ser incorporados se consideran diversos formatos tales como textos, audios, videos, imagen entre otros.

Figura 22

Experiencia de Realidad Virtual - Escena "Acerca de"



Nota: La figura muestra elementos de la quinta escena desde el visor de Realidad Virtual Meta Quest 2, 3 y Meta Quest Pro. Fuente: Creación Propia.

Este cuarto capítulo se hace notar un logro más tan importante como los anteriores, es ni más ni menos que el estrecho vínculo establecido entre todos y cada uno de los trabajos realizado en este proyecto, las actividades hechas por nuestros antepasados y el resultado de llevar a cabo ambas acciones, dando como resultado un patrimonio cultural que nos mantiene unidos.

De no hacer hincapié en esto, probablemente dicho vínculo muy probablemente permanecería oculto a simple vista aunque en principio se encuentra implícito, para evitar que eso suceda y pase desapercibido bastará con hacer la reflexión sobre cómo los artistas responsables de crear tales obras, en su momento emplearon lo que de alguna manera correspondería a algún tipo de tecnología en su época, misma que con el paso del tiempo desarrollaron y perfeccionaron para innovar cada uno de sus procesos, gracias al entendimiento y dominio de cada uno de los elementos y materiales empleados y finalmente intervenidos con estas herramientas, lograron evolucionar hacia nuevas formas de manifestarse y hacer que parte su legado siga perdurando hasta nuestros días.

En el presente, bajo ese contexto, la investigación plasmada en este trabajo repite la historia, ya que en cierto sentido busca también transmitir ese mensaje y dar una continuidad a aquellos trabajos milenarios, recurriendo de igual manera al uso e implementación de herramientas y tecnología que permitan lograr tal cometido.

Por supuesto, también hay un enorme aprovechamiento de otras metodologías asociadas tanto a la arqueología como a distintas disciplinas, por ejemplo, educación, diseño, multimedia, etc., por supuesto a esta lista se pueden sumar otras más, capaces de aportar su granito de arena a cada iniciativa, que tenga cuyo propósito sea difundir y continuar dando significado a este legado, nuestro patrimonio cultural.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Dentro de este capítulo final es donde se concluye de manera general todo lo referente a la creación del producto-innovación planteado para este proyecto de investigación, además se dejan plasmadas puntualmente tanto las respuestas a las preguntas y comentarios sobre los objetivos de investigación, hechas en el segundo capítulo de este trabajo.

5.1 Conclusiones según los objetivos de investigación

En cuanto a la experiencia y resultados, ambos frutos del desarrollo de este proyecto, lo primero que se puede concluir es que, en lo general, los objetivos planteados y la propuesta para atender las necesidades que de estos se desprendieron fueron conseguidos positivamente.

De manera particular, mediante el uso de tecnología de Realidad Virtual, el objetivo principal de crear una experiencia inmersiva para la difusión del patrimonio cultural tangible se concluyó de manera exitosa, gracias a la implementación de un proceso complejo que permitió la obtención de objetos tridimensionales que representan las piezas arqueológicas que se exhiben físicamente en las salas del MAX, pero dentro de un entorno virtual programado para poder interactuar con ellas.

A través de la combinación de técnicas como la fotogrametría, la escultura digital y el modelado poligonal, el objetivo de producir un total de 42 modelos tridimensionales fue cumplido exitosamente, obteniendo como resultado 21 réplicas digitales en alta resolución y otros 21 modelos tridimensionales más que corresponden a versiones optimizada de las réplicas previamente obtenidas, alcanzando por un lado, gran fidelidad, calidad y nivel de detalle en las réplicas digitales y por el otro reduciendo considerablemente la gestión computacional en las copias optimizadas, manteniendo en este último grupo de 21 objetos tridimensionales gran parte de las características principales apreciables (visualmente hablando) con respecto a sus otras versiones que cuentan con una densidad

poligonal alta.

Como evidencia de lo anterior, en la Figura 7 de la página 113, se aprecia con perfecto detalle cómo a partir de la implementación del proceso mencionado en este trabajo, una réplica digital cuya malla alcanzó los 9,051,149 polígonos, fue exitosamente optimizada, logrando una considerable reducción en cuanto su densidad poligonal y derivado de este arduo proceso de optimización se creará una copia digital bien representada, en este caso en particular se puede hablar de un modelo tridimensional nuevo de tan solo 6,285 polígonos, incluso tomando en consideración una condición aún más importante, que existe una diferencia prácticamente imperceptible entre ambos objetos 3D, gracias que no se presenta una discrepancia tan evidente, visualmente hablando.

A decir de los objetivos conjuntos de creación de un repositorio digital, así como el diseño y construcción de la experiencia de Realidad Virtual, cabe mencionar que, a pesar de ser por mucho las labores más exhaustivas y prolongadas del proceso, ambas fueron realizadas de manera exitosa también, lográndose cumplir de esta manera con lo que en un inicio fue estipulado, también cada uno de los resultados de este proceso fue fructífero, en tal medida que ya en su uso y aplicación fueron mejores los aportes que brindaron al Proyecto y otras tareas, debe decir que más de lo esperado.

Como evidencia perceptible de todo lo aquí mencionado hasta el momento, no solo se enlistan como aspectos principales, la calidad del producto obtenido o el hiperrealismo y fidelidad de las piezas arqueológicas digitalizadas alcanzado derivado de los objetos físicos originales, sino que existe como evidencia contundente también el beneficio paralelo producto del proceso mismo de virtualización, que permitió a estos modelos tridimensionales no quedarse solo como uno registros o información digital más, sino que a diferencia de los ya existentes (catálogo fotográfico y material multimedia disponible en la red) todos estos nuevos materiales fueron aprovechados al máximo y en muchas otras formas creativas, esto volvió al producto en cierta manera autosuficiente, al punto de que a partir de

los primeros resultados, se auto enriquecieron con diversos elementos creados a partir de si mismo.

En términos más concretos, fue a partir del material resultante del proceso de virtualización, que se generaron múltiples elementos valiosos para las actividades difusión del patrimonio cultural tangible del MAX, y además mucha información, principalmente visual, de gran utilidad para la presentación y muestra de la temática en cuestión, elementos muy atractivos empleados en presentaciones, videos, infografías, imágenes fotorrealistas (renders) para apreciación de detalles, por supuesto elementos informativos con un enorme impacto visual que acompañan cada pieza en cada escena de la experiencias inmersiva, como parte del entorno virtual invitando al usuario a explorarlos e interactuar con ellos.

Estos elementos en su mayoría fueron desarrollados desde cero, razón por la cual tomó tiempo concluir el producto, pero fue precisamente esta la condición idónea que permitió realizar la cantidad de pruebas suficientes y con ello una mejor toma de decisiones, esto impactó positivamente en los resultados y la meta que se aspiraba alcanzar, derivado de esto, también se tuvo la oportunidad de contar con una composición de estilos más homologada, que en ocasiones no es posible de conseguir como resultados homogéneos cuando se combinan elementos de elaboración propios con materiales hechos por terceros (plantillas).

Otro aspecto destacable que se puede mencionar como parte de esta fase es que, si bien, mientras la etapa de diseño estaba en curso el elaborar elementos propios tuvo grandes ventajas, fue también durante la creación de la experiencia inmersiva que la tarea de programar las interacciones desde cero brindó un amplio control en el flujo de acciones disponibles para el usuario y dependiendo la función correspondiente otorgarle el comportamiento deseado a cada uno de los elementos que aparecen mediante una planeación lógica minuciosa.

De esta manera, muchas de las funcionalidades que brinda el uso de una tecnología como la

Realidad Virtual fueron aprovechadas, y con ello, este proyecto además de ser una experiencia inmersiva también fue dotada de interactividad, programando una interfaz en la que cada botón y menú dentro del entorno virtual accesible únicamente a través del visor (software), estuviera controlado por las distintas palancas y botones físicos que se encuentran dispuestos en ambos controladores del dispositivo (hardware), en este caso los modelos *Meta Quest 2*, *3* y *Meta Quest Pro*.

De forma paralela, se estableció una configuración específica en cuanto al uso de controladores y las interacciones asociadas a ellos, con el propósito de que el manejo por parte del usuario se volviera intuitivo de manera gradual, esto se logró invitándolo a realizar acciones sencillas como tocar, apuntar, o seleccionar, hasta convertir tales acciones en interacciones más elaboradas conforme al avance y desarrollo de las dinámicas de la experiencia de Realidad Virtual.

La finalidad de hacerlo de esta manera se debe, por un lado, a lo indispensable que es para el usuario comprender las acciones que le están permitidas en cada etapa, y por el otro instruirlo paso a paso sobre el funcionamiento correcto de los controladores, haciéndole sentir que forma parte de la experiencia y que puede integrarse con la suficiente autonomía mientras esta se desarrolla.

Un ejemplo práctico de esto, se aprecia en la primera escena donde la única posibilidad que el usuario tiene, es observar el ambiente digital que le rodea y tocar un elemento para continuar, en una escena posterior, será capaz de escuchar y visualizar instrucciones animadas que le mostrarán cómo debe operar el controlador, usar botones para seleccionar e interactuar con diferentes elementos y manipular ambos periféricos para desplazarse, girar la vista o teletransportarse a través del entorno virtual, finalmente llegará a la cuarta escena, la galería digital, donde tendrá que aplicar lo aprendido secuencialmente en las escenas previas, si desea disfrutar plenamente de esta parte de la experiencia de Realidad Virtual.

5.2 Conclusiones según las preguntas de investigación

Dando respuesta a la pregunta que se formuló en el primer capítulo de esta investigación ¿Cuál es el proceso de desarrollo mediante el cual es posible crear una experiencia de Realidad Virtual inmersiva cuyo propósito sea apoyar las labores de difusión del patrimonio cultural tangible del Museo de Antropología de Xalapa? se pudo llegar a la conclusión que se detalla a continuación.

En el apartado “Tecnología para la Virtualización del Patrimonio Cultural” descrito en este documento se mencionan diferentes técnica, estas permiten reproducir elementos físicos y representarlos digitalmente por medio de objetos tridimensionales, sin embargo el argumento que sustenta por qué un proceso fue escogido en lugar de cualquier otro se debe principalmente a la viabilidad y la capacidad de ejecución, por supuesto también a los resultados esperados derivados del desarrollo exitoso de esta investigación.

Se ha argumentado también la razón por la cual fue muy necesaria la implementación de un extenso procedimiento con tal grado de complejidad, muy independiente a que al hacerlo se debía inevitablemente involucrar la combinación de diversas técnicas y herramientas, todas ellas previa y cuidadosamente seleccionadas para lograr la creación de una experiencia de Realidad Virtual inmersiva con estas características.

Este proceso comenzó con la selección de objetos, en este caso piezas arqueológicas, con características apropiadas para ser reproducidas virtualmente, para una selección de este tipo, se contemplan varios criterios con los que se hace posible saber si un elemento es candidato o no para ser digitalizado, en el caso de esta etapa fueron considerados por ejemplo el tipo de materia, si el objeto contaba con una superficie como cristal o metal pulido, en otras palabras si era reflectante para discernir si la captura de fotografías (registro fotogramétrico) podría ser recabado, en caso de que lo fuera la información de las imágenes no servirá para la reconstrucción digital.

Esta como muchos otros aspectos fueron razones de peso que sirvieron para hacer adecuada selección, tenerlo muy presente fue fundamental para el llevar a cabo un buen proceso de creación de réplicas digitales y sus copias optimizadas con las que finalmente se crearía tanto el repositorio digital como la experiencia de Realidad Virtual inmersiva.

Una vez hecha la adecuada selección y registro de objetos, continuando con el proceso de creación, se tuvo que escoger una técnica para recrear digitalmente cada pieza, aquella que demostró excelentes resultados para los fines de este proyecto fue la fotogrametría, por muchos factores como la calidad y grado de fidelidad de los modelos tridimensionales obtenidos, también la capacidad de poder ser un proceso replicable y fomentar el mantenimiento de un nivel homologado en los resultados en cada iteración, por supuesto sumando la posibilidad de ser una tecnología de bajo costo, todo esto, en conjunto fueron aspectos muy determinantes para el proyecto.

En el proceso de creación también estuvieron involucradas herramientas de diseño, que, sin necesidad de una búsqueda o selección exhaustiva se optó por usar aquellas que forma parte del estándar para la creación de contenido en la industria de generación de contenido, en este caso algunas aplicaciones que forman parte de la Suite de Adobe, sin embargo la razón principal fue la interoperabilidad entre las herramientas de la suite y los formatos de exportación de archivos, con ellas fue posible la creación de la mayoría de los elementos complementarios a las piezas arqueológicas digitales, entiéndase por estos elementos audiovisuales: imágenes, videos animaciones y audios entre otros.

Para culminar satisfactoriamente con el proceso de creación del repositorio digital y la experiencia de Realidad Virtual, se utilizaron también herramientas especializadas para llevar a cabo la tarea de crear un entorno virtual inmersivo e interactivo a la vez, por esta razón, es imperativo hacer la separación de este tipo de herramientas en tres grupos.

El primer grupo estaba relacionado con la creación y edición 3D, con ellas se diseñó y creó todo escenario y objetos tridimensionales, esto engloba desde los personajes y sistemas de huesos (*rigging*), *assets*, gráficos tridimensionales hasta elementos arquitectónicos como las paredes, pisos, pantallas, logotipos extruidos (con grosor), estantes de las piezas arqueológicas, botones, mapas de texturas, materiales, entre otros.

Como parte del segundo grupo de herramientas, se ubican los motores de render en tiempo real o motores de videojuegos, mediante ellos se integró todo elemento para dar forma a cada una de las escenas de la experiencia inmersiva, gracias a que estos programas permiten la visualización en tiempo real, de esta manera en cada sesión de trabajo se pudo analizar con detalle tanto los elementos como el propio entorno digital previo y durante el montaje.

Este flujo permitió establecer una planeada disposición de las piezas arqueológicas y elementos que en conjunto integran la experiencia inmersiva completa, cabe señalar que en su gran mayoría estas iteraciones fueron hechas desde "dentro" del propio entorno virtual, con lo que se obtuvo una retroalimentación inmediata y bastante útil para establecer un flujo de trabajo eficiente en etapas avanzadas cuyas estructuras se habían vuelto más complejas, por ello, trabajar de esta manera y con estos programas fue clave, porque permitían en cada sesión también, observar avances muy cercanos al producto y resultados finales.

Asociadas al tercer grupo, se utilizó una herramienta de programación, con este programa fue posible configurar y dotar de determinados comportamientos a todos los elementos diseñados con el propósito de ser interactivos, la mayor virtud de este flujo de trabajo fue que, mediante programación orientada a objetos, se establecieron relaciones entre elementos interactivos y el usuario con la finalidad de emular acciones cotidianas, estas situaciones básicamente comprendieron actividades que una persona realiza en la vida real, por ello no hubo necesidad de una extensa capacitación o el

seguimiento de complejas instrucciones para interactuar con los elementos dispuestos dentro del entorno inmersivo, también se programaron comportamientos para hacer sentir cómodo al usuario portando el visor con tecnología de Realidad Virtual y que este tuviera la sensación de no estarlo usando.

Algo sumamente importante a mencionar sobre el uso de este tercer grupo de herramientas, es que su implementación estuvo acompañada de dos grandes consideraciones, mismas que pueden verse tanto como ventaja y a la vez como una desventaja.

Como ventaja, fue que al utilizar el editor de código, por un lado, se tuvo la posibilidad de trabajar en paralelo, lo que significa que fue posible alternar de manera casi inmediata entre el uso del motor de render y el editor de código, facilitando la edición y/o corrección de los comportamientos programados con líneas de código de manera muy eficiente, por el otro lado, esta particularidad evitó interrupciones en cada sesión de trabajo, es decir, no fue necesario abrir el programa de edición de código, crear un script, cerrar este primer programa y como segundo paso abrir el motor de render para probar el resultado del código previamente escrito, no hubo que cerrar uno u otro para alternar entre ellos, en este caso fue todo lo contrario, ambos programas se mantuvieron abiertos y se trabajó en ellos simultáneamente.

En cuanto a la desventaja que este flujo de trabajo presentó, fue que al estar estrechamente asociados ambos programas por compartir archivos de código, cada vez que hubo algún fallo en algunos de ellos, automáticamente esto se vio reflejado e impactó en el otro, como ejemplo claro de esta situación, sucedió que en caso de cerrar voluntaria o accidentalmente una determinada sesión de trabajo, que presentaba errores de código en alguno de sus scripts (generalmente de sintaxis), al intentar abrir posteriormente el proyecto con la intención de retomar y continuar el trabajo, dicha sesión entraba en una modalidad de protección por tener tales errores, al entrar en esta modalidad la

sesión permanecía bloqueada y en consecuencia hacía el proyecto inutilizable, hasta que todo problema dentro del código fuera resuelto o depurado correctamente.

Por supuesto, esta situación estuvo presente en más de una ocasión, algo que por momentos colapsó y detuvo cualquier avance volviéndose delicada y preocupante, debido a que las hubo en etapas tempranas o de mucho avance del proyecto, incluso casos en que las causas que provocaban los problemas en la programación fueran complicadas de encontrar, todo lo anterior derivó en que el proceso de programación resultara en una de las tareas más complejas del proyecto por carecer de conocimientos avanzados en esta área.

Dicho esto, queda bastante claro que en caso de requerir implementar estas actividades (programación) dentro de un proyecto, por salud y por eficiencia será muy sano contar, ya sea con un buen nivel de conocimientos en programación orientada a objetos o al menos tener el suficiente grado de experiencia para resolver este tipo de problemas cada vez que estas situaciones se hagan presentes, se reconoce que para la creación de esta experiencia inmersiva basada en tecnologías de Realidad Virtual fue algo fundamental para enfrentar todos estos retos.

Con respecto al medio de salida, en este caso *Meta Quest 2, 3 y Meta Quest Pro*, los dispositivos de Realidad Virtual con los que se trabajó, estos equipos fueron escogidos por tres razones principales, la primera se debió a que actualmente, dentro del mercado son los equipos que más se consumen, no solo en cuanto a la relación precio – calidad que tienen y que los hace una opción verdaderamente asequible, sino también por todas las capacidades del equipo mismo (hardware) y las prestaciones relacionadas con los avances de su tecnología (software).

La segunda razón es la basta cantidad de información existente, la cual se encuentra disponible de manera gratuita o con algún costo, la información está en muchos formatos y se puede acceder a ella desde distintas maneras, por ejemplo: plataformas de streaming como *YouTube, Vimeo, Facebook,*

en foros creados por la comunidad de desarrolladores o entusiastas de la tecnología de Realidad Virtual, por supuesto, documentación propia de la marca o distintas compañías, manuales de usuario, guías y páginas web dedicadas al tema, etc. Se puede decir con seguridad que: todo está en Internet.

La tercera razón y una de las más importantes fue que la compañía *Meta*, tras varios años de inversión y desarrollo, hoy en día es poseedora de uno de los ecosistemas más robustos y completos que existen, comprende desde herramientas para desarrolladores avanzados hasta aplicaciones para uso del consumidor final de sus productos (usuarios promedio) dotándolos por igual de la capacidad para gestionar aplicaciones y experiencias de Realidad Virtual.

De hecho, se utilizaron aplicaciones oficiales vinculadas y preinstaladas ya en los dispositivos de Meta, y también otras para uso desde diferentes equipos como computadoras, teléfonos inteligentes y tabletas, todas ellas independientemente a la plataforma, fueron bien aprovechadas durante el desarrollo de este proyecto, mientras se llevó a cabo el proceso de creación de la experiencia inmersiva y por supuesto hasta los últimos pasos como lo fue la instalación del archivo .apk en su versión final directamente en el visor de Realidad Virtual Standalone, que como se mencionó, esto significó tener la suficiente autonomía para ejecutar la experiencia sin necesidad de estar conectado a una computadora, incluso sin necesidad de tener conexión a Internet.

5.3 Otras conclusiones importantes

Habiendo demostrado que el proceso de virtualización implementado ha resultado viable, y que se cuenta con la evidencia suficiente para comprobar que cada objetivo que se planteó fue alcanzado y superado, será muy enriquecedor hablar sobre otras aportaciones que esta investigación puede ofrecer a las diferentes áreas del conocimiento y la sociedad en general.

Gracias a los resultados obtenidos tras la implementación de una iniciativa que promueve el uso de tecnologías inmersivas como la Realidad Virtual, se puede hacer una invitación a cualquier

interesado en considerar este trabajo como un antecedente, un punto de partida que origine otras propuestas, una motivación para perseguir otros objetivos también.

Aunque en este caso la problemática por la cual surgió este proyecto está relacionada con la difusión del patrimonio cultural tangible del Museo de Antropología de Xalapa, sería muy pobre limitarse solo a esta temática, ante la existencia de una amplia variedad de necesidades que pueden ser cubiertas y satisfechas.

En principio, y aun siendo otros los fines, las implicaciones relacionadas con el desarrollo de este proyecto pueden ser bien aprovechadas dentro de otros contextos, por ejemplo, las propias características de este producto-innovación le permiten acoplarse fácilmente con diversas iniciativas y modalidades de desarrollo, solo por mencionar algunos ejemplos están el ámbito empresarial, automotriz e industrial, proyectos de arte, cultura y entretenimiento, en el desarrollo y diseño de productos, o bien como parte del rubro médico y la salud, etc. La lista es amplia.

Por supuesto por la profundidad de tema y el paradigma en el que la sociedad se encuentra actualmente, el ámbito de la educación es un tema profundo y cuenta con todos los elementos necesarios para discutirse aparte, por ello aquí se amplía el paréntesis y se expande el abanico de posibilidades, donde investigaciones de este tipo tiene pertinencia.

El vínculo que esta investigación tiene con aspectos educativos, tiene sustento en cuanto a que este producto-innovación plantea la posibilidad de ser usado también como una herramienta académica y pedagógica sólida, pero lo bastante flexible para integrarse no solo en estudios o proyectos relacionados con la arqueología, la antropología o la historia, su potencial y principalmente la multifuncionalidad con la que cuenta, ponen de manifiesto que es posible traspasar muchas barreras.

Por ejemplo, combinando un buen acompañamiento por parte de un experto en contenido, la adecuada integración de una metodología de diseño instruccional avalada por académicos o

facilitadores, y una acertada selección de estilos de aprendizaje preferidos por los estudiantes, se pueden diseñar actividades, tareas, lecciones de estudios u objetos de aprendizaje tan atractivos, que no solo inviten a los participantes a realizarlas, sino que además los involucre con tal grado de profundidad que permita a cada uno construir su propia experiencia de aprendizaje, lo más integral y significativa posible, y con ayuda de diferentes estímulos, ayudar a fomentar la motivación suficiente para conocer y explorar otras formas de acceder a nuevos conocimientos o enriquecer aún más los que ya hayan sido obtenidos, pero con la oportunidad de volver a asimilarlos desde una mirada distinta.

Es así que, proyectos que promueven el uso de tecnología como la Realidad virtual o la implementación de experiencias inmersivas en la educación, resultan ser tan versátiles y disruptivos que su implementación ayudaría a reconocer áreas de oportunidad hasta ahora ocultas en los distintos niveles educativos, invitan a tratar no solo las temáticas convencionales desde otras perspectivas, sino que además cuentan con los elementos necesarios para profundizar en materias muy particulares, incluso con el potencial para mostrar, explicar y discutir información basada en datos complejos, y con ellos beneficiar a los estudiantes en su proceso de aprendizaje y a los facilitadores en su metodología de enseñanza.

Este proyecto en particular, que en principio busca apoyar labores de difusión del patrimonio cultural y promover la suma de tecnología en procesos tradicionales con estos fines, se sirve de todo su potencial para unificar las diferentes fortalezas de cada modalidad y la riqueza misma de elementos con los que ha sido creado, entre los que destacan principalmente el uso de modelos tridimensionales, audios, videos, imágenes animaciones, storytelling, elementos interactivos, entre otros.

Todas estas cualidades le permiten ser un proyecto capaz de amalgamarse a diversas necesidades, entre ellas las educativas, mismas que validan el considerar las distintas líneas de investigación y generación del conocimiento, prioridades que hoy día las instituciones de educación

superior demandan para garantizar que tanto los proyectos actuales como los futuros tengan impacto en nuestra sociedad.

5.4 Recomendaciones

Antes de hacer alguna recomendación derivada del proceso descrito en este documento, algo que podría ser igual de valioso y enriquecedor para los lectores, sería hablar primero acerca de la experiencia que de trabajar con material arqueológico del Museo de Antropología de Xalapa, misma que fue muy enriquecedora en cuanto a la colaboración conjunta entre especialistas de diferentes áreas, de igual manera, el haber tenido la oportunidad de trabajar con piezas que fueron hechas por nuestros antepasados hace cientos de años resulta un honor y un privilegio que muy pocas personas podrían tener la oportunidad de experimentar.

Ahora bien, hablando ya propiamente del proceso de creación de una experiencia de realidad virtual para la difusión del patrimonio cultural, resulta motivador implementar y combinar nuevas estrategias y tecnologías emergentes que fortalezcan estas actividades tan significativas y necesarias para nuestra sociedad, si tomamos en cuenta que todo trabajo realizado en un espacio comprendido dentro de algún periodo de la historia, a mediano o largo plazo, podrá ser modificado, perfeccionado e incluso mejorado a futuro, entonces una manera de promover que un cambio de paradigma pueda prepararse y hacer que este se realice de forma gradual, podría comenzarse estando dispuestos a probar e innovar, mantener una mentalidad abierta y receptiva al cambio de enfoques, incluso si dentro un contexto determinado alguna de estas nuevas ideas parecieran disruptivas o contradictorias.

Sin duda, esta sería una de las primeras y más portantes recomendaciones que compartir, sobre todo porque que con el paso del tiempo y con el inevitable avance de la tecnología se presentarán nuevas oportunidades para acceder a gran variedad de herramientas, mismas que cada vez serán mucho más poderosas y eficientes, pero desaprovechadas si se carece de iniciativa para explorarlas y

encontrar la manera de capitalizar todo el potencial que ofrecen, sin duda algo sano será evitar la resistencia e inteligente estar dispuestos a integrarlas como parte de un flujo de trabajo ya establecido.

Tal es el caso de este proyecto cuyo principio de trabajo se fundamentó en la exploración e integración de tecnologías disruptivas, tales como la Realidad Virtual, y motores de videojuegos para llevar a cabo interacciones en tiempo real con representaciones digitales del patrimonio cultural tangible, por otro lado, así mismo, la apertura de usar gráficos hiperrealistas, (*renders*), los modelos tridimensionales y plataformas digitales (repositorio) permitieron una excelente visualización de estos elementos sin descalificar o competir con la extraordinaria experiencia de visitar el Museo de Antropología y conocerlo los objetos físicos originales, ya que plantea en principio de que ambas experiencias se complementen, convirtiendo las actividades tradicionales en agradables experiencias lúdicas, nuevas y atractivas alternativas para más usuarios (Palmeri, 2024).

Otra de las recomendaciones sería fomentar la concentración de esfuerzos desde una perspectiva multidisciplinaria, este tipo de trabajo colaborativo sería muy sustancial e importante pues brindaría el aporte desde perspectivas no contempladas desde un área común, es decir no estar limitado a la opinión de uno un par de experto que comparten un mismo perfil.

Nuevamente, el proceso de desarrollo de un proyecto de estas características no solo es una gran oportunidad, sino además, una invitación a mirar desde diferentes perspectiva ya que todo lo que sume a estas iniciativas y, mientras más amplio se el campo de visión desde el que se opere y analice se lograra mayor cobertura y de esta manera evitar la oclusión de aspectos importantes del producto, aspectos que tarde o temprano podrían convertirse en excelente áreas de oportunidad si son bien aprovechadas.

Referencias

Acosta, A. (1992). *Museo de Antropología de Xalapa*. Gobierno del estado de Veracruz.

Acosta, K. (2010). *Arte y Realidad Virtual Reconstrucción 3D del sitio arqueológico de Cerro Grande*.

Recuperado de: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/199915>

Aguilar, M. (2021). *Plan de trabajo Por una transformación integral 2021-2025*. Universidad

Veracruzana de <https://www.uv.mx/documentos/files/2022/03/Programa-Trabajo-2021-2025.pdf>

Aguirre, M.A. (2021) *Diseño e implementación de un robot móvil autónomo tipo Rover para exploración de terrenos poco estructurados*. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de:

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/29391>

Autodesk (2014) *Acerca de la creación de sólidos 3D primitivos*. AutoCAD Soporte y aprendizaje.

Fecha de consulta. 2022, 25 de octubre. Recuperado de:

<https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ESP/AutoCAD-Core/files/GUID-A6C31606-37F1-4D83-A325-C1399488AD42-htm.html>

Autodesk (2020). *Poligonal Modeling*. Maya Support and Learning. Fecha de consulta. 2022, 8 de

noviembre. Recuperado de: [https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-7941F97A-](https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html)

[36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html](https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html)

Autodesk (2024) *What is 3D modeling software?*. 3D Modeling Software. Fecha de consulta. 2022,

25 de octubre. Recuperado de: [https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-](https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software?us_oa=akn-us&us_si=35f1c0d2-770e-4d4e-8b39-aa6a3e4c13f2&us_st=3D%20primitives)

[software?us_oa=akn-us&us_si=35f1c0d2-770e-4d4e-8b39-aa6a3e4c13f2&us_st=3D%20primitives](https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software?us_oa=akn-us&us_si=35f1c0d2-770e-4d4e-8b39-aa6a3e4c13f2&us_st=3D%20primitives)

- Ávila, M. (2018). *Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de Bienes Culturales*. Recuperado de: <https://docta.ucm.es/entities/publication/b1185ce2-b588-451f-ba98-d471d2395ec8>
- Basilio, M.A. (2014) *Arte Digital y su relación con la Escuela Nacional de Artes Plásticas*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/0710097/0710097.pdf>
- Blender (2023). *Blender 3.6 manual*. Recuperado de: <https://docs.Blender.org/manual/en/latest/render/eevee/introduction.html>
- Caballero, L. (2006). *El dibujo arqueológico: Notas sobre el registro gráfico en arqueología*. *Academos de Partal 3*. (pp. 75-95). Recuperado de: <https://digital.csic.es/handle/10261/13856>
- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. (Última reforma: 2023, 29 de noviembre). *Ley Federal de Protección del Patrimonio Cultural de los Pueblos y Comunidades Indígenas y Afromexicanas*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lfpccpcia.htm>
- Rodríguez, E., Casals, J., Celestino, S. (2022). *Application Of Real-Time Rendering Technology To Archaeological Heritage Virtual Reconstruction: The Example Of Casas Del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain)*. *Virtual Archaeology Review*. 14 (pp. 38-53). Recuperado de: <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/17460>
- Castañón, M. (2018). *Jóvenes y patrimonio cultural en México*. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Mexicano de la Juventud. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/411376/J_venes_por_el_Patrimonio.pdf
- Cervantes, M. (2021). *Iker Larrauri, in memoriam*. Dirección de Medios de Comunicación INHA. https://inah.gob.mx/images/inmemoriam/20210111_inmemoriam_Iker_larrauri.pdf

- Charquero, A., López, J. (2012). Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. *Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant)*. *Virtual Archeology Review* 3 (pp. 81-88). Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/139259>
- Chaparro, M. C. (2018). Patrimonio cultural tangible Retos y estrategias de gestión. *Ensayo individual prospectiva II*. Master en Gestión cultural. Universidad de Barcelona. <https://www.ub.edu/cultural/patrimonio-cultural-tangible-retos-y-estrategias-de-gestion-de-maria-camila-chaparro/?lang=es>
- Christian, S. (2023). *Enhancing Virtual Reality Experiences with Unity 2022: Apply Unitys Latest Features to Level Up Your Skills for VR Games, Apps, and Other Projects*. Packt Publishing.
- Coe, M.D. (1968). *Americans First Civilization*. American Heritage. Publishing CO. INC.
- CONACULTA. (2013). *El ABC del Patrimonio Cultural y Turismo*. Patrimonio cultural y turismo, Número 20. (pp. 11-40) Recuperado de: <https://patrimonioculturalyturismo.cultura.gob.mx/publicaciones/>
- Cuenca, A. A., Álvarez, M. C., Ontaneda, L. J., & Ontaneda, E. A. (2021). *La Taxonomía de Bloom para la era digital: actividades digitales docentes en octavo, noveno y décimo grado de Educación General Básica (EGB) en la Habilidad de «Comprender»*. *Revista Espacios/Espacios*, 42(11), 11-25. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n11p02>
- Cirulis, A., De Paolis, L. T., & Tutberidze, M. (2015). Virtualization of Digitalized Cultural Heritage and Use Case Scenario Modeling for Sustainability Promotion of National Identity. *Procedia Computer Science*, 77, 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.384>

De la Rosa, M., Mejía, M., Parra, E. (2020). *Usos de la tecnología de prototipado rápido y su aplicación en la reconstrucción virtual de piezas arqueológicas*. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9625>

Dueñas, M. (2014). *Registro arqueológico en 3D mediante la fotogrametría de rango corto*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/335025734_Registro_arqueologico_en_3D_mediante_la_fotogrametría_de_rango_corto

Epic Games (2023). *About Epic Games*: Recuperado de: <https://www.epicgames.com/site/en-US/about>

García, G.N. (2017) *Estudio de tecnología de modelado 3D para su aplicación en escultura sustentable*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66445/Estudio%20de%20tecnología%20de%20modelado%203D%20para%20su%20aplicación%20en%20escultura%20sustentable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, M. (2012). *El patrimonio cultural: conceptos básicos*. Colección: Textos Docentes, n.º 207. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/316334745/El-Patrimonio-Cultural-Conceptos-Basicos>

Garza, J.E. (2015) *Evaluación de las técnicas físicas y virtuales para modelar objetos con formas orgánicas*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/9715/1/1080259504.pdf>

Gravity Sketch. (2023). *The cloud-base solution to access your 3D design content anytime anywhere.*

Recuperado de: <https://www.gravitysketch.com/products/>

Guzmán, A., Ladrón de Guevara, R. & Madrid, R. (2014, 8-10 de octubre). *Business Model Canvas: Aplicación al modelo de negocios del Museo de Antropología de Xalapa* [ponencia]. XIX Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática, Ciudad de México, México. <https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2014/15.03.pdf>

Hupperetz, W., Carlani, R., Pletinckx, D., & Pietroni, E. (2012). *Etruscanning 3D project. The 3D reconstruction of the Regolini Galassi Tomb as a research tool and a new approach in storytelling.* Virtual Archaeology Review, 3(7), 92. <https://doi.org/10.4995/var.2012.4395>

INAH. (2022). Patrimonio cultural ¡Conócelo, valóralo y cuidalo!. *Conservación Preventiva para todos*, (1), 14-19. https://www.inah.gob.mx/images/otros/20230322_ConserPrev.pdf

Lévy, P. (1999). ¿Qué es lo virtual?. Paidós. Recuperado de: https://ifdc6m-juj.infed.edu.ar/sitio/upload/Levy_Pierre_-_Que_Es_Lo_Virtual.PDF

Llull, J. (2005). *Evolución del concepto y de la significación social del patrimonio cultural.* Arte, Individuo y Sociedad. Volumen. 17. (pp. 177-206). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/5135/513551273009.pdf>

Machado, V., & Venancio, V. M. (2023). *Blender 3D Asset Creation for the Metaverse: Unlock Endless Possibilities with 3D Object Creation, Including Metaverse Characters and Avatar Models.* Packt Publishing.

Maldonado, A. (2020). *La Aplicación de la Fotogrametría (SFM) y las Nuevas Tecnologías para la Mejora de la Documentación.* Difusión y Divulgación del Patrimonio Arqueológico. Recuperado de: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/62261>

- Malik, R., Sharma, A., Chaudhary, P. (2024). *Transforming Education with Virtual Reality*. John Wiley & Sons.
- Marcos, D. (2021). *Virtualización del Patrimonio: Definición de una metodología de documentación y difusión del patrimonio arquitectónico*. Universidad de Valladolid. Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/52418>
- MAX Digital. (7 de mayo de 2024). *Entrevista Dr. Alfredo Delgado Calderón, director del Museo de Antropología de Xalapa* [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://youtu.be/DVmuGEKT5II>
- Meta (2023). *Requisitos para usar Meta Quest Link*. Recuperado de: <https://www.Meta.com/es-es/help/quest/articles/headsets-and-accessories/oculus-link/Meta-quest-link-compatibility/>
- Microsoft (2023). *Introduction to C#* . Recuperado de: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/tutorials/>
- Moles, A. (1988). *Una novedad museográfica El museo de antropología de Xalapa*. La Palabra y el Hombre, no. 68, p. 188-190.
- Morales, F. (2010). *Prospección Y Excavación: Principios Metodológicos Básicos*. Accelerating the world's research. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/5112027/prospecci%C3%B3n-y-excavaci%C3%B3n--principios-metodol%C3%B3gicos>
- Murphy, C. (2023, 26 de diciembre). *Les there be Lumen*. [Video]. Epic Games. <https://dev.epicgames.com/commUnity/learning/talks-and-demos/EL3Y/unreal-engine-let-there-be-lumen>
- Nixon, E. K., & Lee, D. (2001). Rapid Prototyping in the Instructional Design Process. *Performance Improvement Quarterly*, 14(3), 95-116. <https://doi.org/10.1111/j.1937-8327.2001.tb00220.x>

- Palmeri, L. (2024). *Architectural Visualization in Unreal Engine 5: Create Photorealistic Architectural Interior Renderings in UE5*. Packt Publishing Ltd.
- Reyes, P., Galeano, M., Díaz, A., Torrejón, J. (2019). *Arqueología Virtual y Ciber-Arqueología: la implementación de las nuevas tecnologías en el Campo de Montiel*. Revista de Estudios del Campo de Montiel. 3 (pp. 87-105). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7664465>
- Román, D. A. L., Valle-Chavarría, L. G., & Montes-Rojas, M. L. (2022). *Fotogrametría como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonio tangible*. Revista General de Información y Documentación, 32(2), 325-342. <https://doi.org/10.5209/rgid.81373>
- Román Nieto, A. M. & Melo Martínez, O. (2021). *Trayectorias históricas de los museos en Veracruz: apertura, cierre y reaperturas*. UVserva, (12), 62–68. <https://doi.org/10.25009/uvs.vi12.2815>
- Sandoval, D. (2022). *MAX será gratuito para comunidad UV y domingos para público en general*. Universo Sistema de noticias de la UV. Universidad Veracruzana de <https://www.uv.mx/prensa/banner/los-domingos-max-sera-gratuito-para-comunidad-uv-y-publico-en-general/>
- Santacana, J., Martínez, T., López, M., Grevtsova, I. (2015). *Aplicación de la investigación arqueológica para el diseño de recursos educativos de base virtual en la didáctica del patrimonio*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=324148872004>
- Santos, P., Ritz, M., Dieter, D. (2017). *3D mass digitization: a milestone for archeological documentation*. Virtual Archeology Review 8 (pp. 1-11) Recuperado de: <https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/6321>

Schorlemer, S. (2020). *UNESCO and the Challenge of Preserving the Digital Cultural Heritage*.

Santander Art and Culture Law Review. 6. 33-64 de

<https://ejournals.eu/czasopismo/saacrl/artukul/unesco-and-the-challenge-of-preserving-the-digital-cultural-heritage>

Secretaría de Gobernación. (2020, 24 de marzo). *ACUERDO por el que se establecen las medidas preventivas que se deberán implementar para la mitigación y control de los riesgos para la salud que implica la enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19)*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.

https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5590339&fecha=24/03/2020#gsc.tab=0

Steppig, M. (2022). *Squeaky Clean Topology in Blender: Create Accurate Deformations and Optimized Geometry for Characters and Hard Surface Models*. Packt Publishing.

Staropoli, L., Acevedo, V. J., Avido, D. y Vitores, M. (2023). Reflexiones en la práctica de la arqueología digital: la construcción y comunicación del patrimonio virtual cultural. *Virtual Archaeological Review*, 14(29), 118-135. <https://doi.org/10.4995/var.2023.19292>

TeleUV. (15 de febrero de 2017). *Museo de Antropología de Xalapa*. [Archivo de Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=GGsZgAqD7TE&t=19s>

Tirado, J. (2015). *La virtualización de la sociedad*, Athenea Digital: Revista de Pensamiento e Investigación Social 7. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/307781441_La_virtualizacion_de_la_sociedad

Tripp, S.D., Bichelmeyer, B. (1990) *Rapid Prototyping: An Alternative Instructional Design Strategy*. Educational Technology Research and Development. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/225344439_Rapid_Prototyping_an_Alternative_Instructional_Design_Strategy

UNESCO. (1972). *Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*.

General Conference, 17th session. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000002091>

UNESCO. (1982). *Declaración de México sobre las políticas culturales. Conferencia mundial sobre*

las políticas culturales. México D.F. Recuperado de:

<https://sic.cultura.gob.mx/documentos/927.pdf>

UNESCO. (2003a). *Charter on the preservation of the digital heritage*. Intergovernmental Council

for the Information for All Programme (Second Session). Recuperado de: [https://unes-](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000229034)

[doc.unesco.org/ark:/48223/pf0000229034](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000229034)

UNESCO. (2003b). *Guidelines for the preservation of digital heritage*. Information Society Division.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000130071>

UNESCO. (2004). *International Conference on the Safeguarding of Tangible and Intangible Cultural*

Heritage: Towards an Integrated Approach, Nara, Japan, 2004. Recuperado de

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000147097>

UNESCO. (2005). *Basic texts of the 1972 World Heritage Convention*. United Nations Educational,

Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139839>

UNESCO. (2012). *Cultural Heritage: Tangible and Intangible Values*. Special Advisor to the Director

General of UNESCO and former General Director of ICCROM, at the Workshop on Research

Infrastructures for Cultural Heritage and Global Change. Royal Institute for Cultural Heritage.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225454>

UNESCO & ICCROM. (2022). *Guidance and toolkit for impact assessments in a World Heritage*

context. París: UNESCO. *Glosary*. 55-67. Recuperado de [https://www.iccrom.org/sites/de-](https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2022-07/en_0_ia_guidance_world_heritage_iccrom_2022_web_0.pdf)

[fault/files/publications/2022-07/en_0_ia_guidance_world_heritage_iccrom_2022_web_0.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/publications/2022-07/en_0_ia_guidance_world_heritage_iccrom_2022_web_0.pdf)

- Unity Learn. (2023). *What do you want to learn?*. Recuperado de: <https://learn.unity.com/search?k=%5B%22tag%3A5814655a090915001868ebec%22%5D>
- Unity Documentation. (2023). *Visual Studio C# integration*. Unity Manual. Recuperado de: <https://docs.unity3d.com/Manual/VisualStudioIntegration.html>
- Universidad Veracruzana. (s.f.a). *Bienvenida*. Museo de Antropología de Xalapa MAX. Museo de Antropología de Xalapa MAX. Recuperado el 3 de enero de 2024 de <https://www.uv.mx/max/noticias/bienvenida/>
- Universidad Veracruzana. (s.f.b). *Colección Museo de Antropología de Xalapa*. Museo de Antropología de Xalapa MAX. Recuperado el 30 de abril de 2024 de <https://sapp.uv.mx/catalogomax/es-MX/Home/HistoriaColeccion>
- Valle, L. (2021). *Vivencialidad Educativa a través de la Realidad Virtual*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/353274375_Vivencialidad_Educativa_a_traves_de_la_Realidad_Virtual
- Vera, A., Bayona, E., Parada, I. (2015). *Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital*. Tecnura 19 (pp. 113 – 120). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257059815009.pdf>
- Vozmediano, D. (2006). *Fotogrametría digital aplicada a la obtención de ortofotos y modelos digitales de las entidades patrimoniales*. Recuperado de: <https://www.ehu.es/docarq/>
- Winfield, F. (1992). *Guía Oficial Museo de Antropología de Jalapa*. Gobierno del Estado de Veracruz
- UNHA – SALVAT