

Universidad Nacional de Misiones

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales

Tesis de Maestría en Tecnologías de la Información

**Preservación del Patrimonio Cultural Inmaterial por
medio de Realidad Virtual.**

**Caso: Reconstrucción virtual del escenario de la
Batalla de Apóstoles, Apóstoles Misiones**

Autor: Lic. Fabio Alberto Ledesma

Director: Dr. H. Nelson Acosta

2023

La vida es así, no hay vuelta atrás...

Resumen:

Gran cantidad de patrimonio cultural alrededor del mundo se está deteriorando, siendo robado, o destruido por causa de desastres naturales o provocados por el hombre. La tecnología informática colabora en reconstruir esas piezas del pasado que ayudan a mantener la cultura e identidad de los pueblos, pero ¿qué sucede cuando no existen vestigios físicos de lo ocurrido? Este proyecto de investigación busca recuperar el patrimonio histórico cultural inmaterial de la localidad de Apóstoles y del estado en general, dando “vida” a un escenario histórico de gran relevancia, como lo fue la Batalla de Apóstoles, a través de un modelo virtual que pueda ser accedido desde cualquier parte del mundo y recorrerlo sin la necesidad de equipamientos costosos. Por ello se deben conocer las técnicas y herramientas tridimensionales utilizadas para materializar digitalmente el patrimonio cultural, determinando las potencialidades y condicionantes para su aplicación. Gracias a la revisión bibliográfica realizada en el marco de esta tesis, se identificaron las técnicas más utilizadas para la captura y construcción de modelos tridimensionales. Con dicha información se realizó un esquema que combina las opciones propuestas por diferentes autores y se estableció la viabilidad de aplicación de una de las técnicas en el contexto de la Localidad de Apóstoles (Misiones). También, utilizando una adaptación de la metodología SUM, se desarrolló una aplicación móvil con realidad virtual, denominada VR-Yvy (Tierra Virtual), que permitió revivir la experiencia de la Batalla de Apóstoles en su locación original, innovando en materia educativa, cultural y turística, contribuyendo con el acervo histórico patrimonial de la localidad.

Palabras Claves: Realidad Virtual, CiberArqueología, Patrimonio Cultural Inmaterial, Batalla de Apóstoles.

Abstract

A great part of cultural heritage around the world is deteriorating, being stolen, or destroyed by natural or man-made disasters. Computer technology helps to reconstruct those pieces of the past that help to maintain the culture and identity of the people, but what happens when there are no physical traces of what occurred? This research project aims to recover the immaterial historical and cultural heritage of the town of Apóstoles and the state in general, giving "life" to a historical scenario of great relevance, such as the Battle of Apóstoles, through a virtual model that can be accessed from anywhere in the world and can be visited without expensive equipment. Therefore, it is necessary to know the techniques and three-dimensional tools used to digitally materialize the cultural heritage, determining the potential and determining factors for its application. Thanks to the bibliographic review carried out in this thesis, the most commonly used techniques for the capture and construction of three-dimensional models were identified. With this information, a scheme combining the options proposed by different authors was developed and the feasibility of applying one of the techniques in the context of the locality of Apóstoles (Misiones) was established. Also, using an adaptation of the SUM methodology, a mobile application with virtual reality was developed, called VR-Yvy (Virtual Land), which allowed to relive the experience of the Battle of Apostoles in its original location, innovating in educational, cultural and touristic matters, contributing to the historical heritage of the town.

Keywords: Virtual Reality, CyberArchaeology, Intangible Cultural Heritage, Battle of Apóstoles.

Agradecimientos: A Dios Todopoderoso por permitirme continuar en este mundo para ver este trabajo terminado, a mi familia por colaborar con su paciencia y amor, y a todas las personas que directamente e indirectamente colaboraron con la concreción de este trabajo.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Motores de desarrollo según su licencia.	45
Tabla 3 - Adaptación de la tabla propuesta por [112] con la Síntesis de los métodos basados en el juicio de expertos para el análisis de la validez de contenido.....	55
Tabla 4 - Características de sensores LIDAR aéreo [119]	60
Tabla 5 - Características de sensores LIDAR terrestre [123].....	60
Tabla 6 - Ejemplos de cámaras digitales de largo alcance (MS: Multiespectrales, PAN: Panorámica) [44]	62
Tabla 7 - Ejemplos de sensores y sus características. [45].....	63
Tabla 2 - Tabla comparativa entre Unity 3D y Unreal Engine.....	78
Tabla 8 - Cronograma de iteraciones alfa.....	82
Tabla 9 - Cronograma de iteraciones beta	83
Tabla 10 - Definición de actores.....	84
Tabla 11 - Caso de uso de sistema RF-001	84
Tabla 12 - Caso de uso de sistema RF-002	85
Tabla 13 - Caso de uso de sistema RF-003	85
Tabla 14 - Caso de uso de sistema RF-004	85
Tabla 15 - Caso de uso de sistema RF-005	86
Tabla 16 - Requisitos no funcionales RNF-001	86
Tabla 17 - Restricciones técnicas RT-001	86
Tabla 18 - Restricciones técnicas RT-002	87
Tabla 19 - Requisitos esenciales.....	87
Tabla 20 - Priorización de requisitos.....	87
Tabla 21 - Manejo de problemas A1	99
Tabla 22 - Lista de edificios y objetos a modelar en el escenario	101
Tabla 23 - Elementos positivos y negativos A1	103
Tabla 24 - Manejo de problemas A2	105
Tabla 25 - Lista de sitios web con objetos 3D descargables	105
Tabla 26 - Elementos positivos y negativos A2	114
Tabla 27 - Manejo de problemas A3	115
Tabla 28 - Elementos positivos y negativos A3	118
Tabla 29 - Manejo de problemas A4	119
Tabla 30 - Elementos positivos y negativos A4	121
Tabla 31 - Manejo de problemas A5	122
Tabla 32 - Elementos positivos y negativos A5	123
Tabla 33 - Manejo de problemas B1	124
Tabla 34 - Elementos positivos y negativos B1	126
Tabla 35 - Manejo de problemas B2	127
Tabla 36 - Elementos positivos y negativos B2	128
Tabla 37 - Resultados del cuestionario aplicado a los usuarios reales	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Continuum de la Realidad (imagen disponible en [41])	17
Figura 2 - Marco Conceptual de tecnología inmersiva propuesto por [10]	18
Figura 3 - Imagen que muestra la diferencia entre los 3 DoF y los 6 DoF para un visor de realidad virtual. [71]	23
Figura 4 - Dibujo del estereoscopio de Sir Charles WheatStone (Barambones, J. 2016)	24
Figura 5 - Stereoscopio de Holmes. Está datado entre 1900 y 1910. Imagen disponible en: https://www.coleccioncrovetto.com/home/otros-instrumentos-opticos/estereoscopio	24
Figura 6 - Louis Ducos du Hauron: inventor del 3D anaglifo. Imagen disponible en: https://kinofilmsmagazine.wordpress.com/2012/10/03/historia-de-la-estereoscopia-parte-2-los-pioneros	25
Figura 7 - Quinetoscopio o Kinetoscopio o cinetoscopio. Imagen disponible en: https://www.monsuton.com/kinetoscopio/	25
Figura 8 - El View-Master Model A fue producido entre 1938 y 1944. Estaba hecho de plástico Kodak Tenite, era muy liviano y era muy propenso a la deformación	26
Figura 9 - Ejemplo águila de visión. Figura 1 de la patente original. Imagen disponible en: https://proyectoidis.org/mascara-telesferica/	26
Figura 10 - Máscara telesferica. Figura 2 de la patente original. Imagen disponible en: https://proyectoidis.org/mascara-telesferica/	26
Figura 11 - Publicidad del Sensorama. Disponible en: https://proyectoidis.org/sensorama/	27
Figura 12 - Morton L. Heilig, Inventor of Sensorama portando la cámara con la que generaba las películas	27
Figura 13 - Descripción del funcionamiento de la del HMD. Imagen disponible en: https://proyectoidis.org/espada-de-damocles/	27
Figura 14 - Ivan Sutherland probando el dispositivo. Imagen disponible en: https://proyectoidis.org/espada-de-damocles	27
Figura 15 - CrystalEye. Imagen disponible en: https://lennylipton.wordpress.com/2010/03/18/how-shuttering-eyewear-came-to-be/	28
Figura 16 - Esquema del funcionamiento del Videoplase.[79]	28
Figura 17 - Michel Naimark mostrando el prototipo de Aspen MovieMap.[80]	29
Figura 18 - Imagen promocional del Aspen MovieMap.[80]	29
Figura 19 - Prototipo del Super Cockpit. Imagen disponible en: https://www.slideshare.net/marknb00/the-reality-of-augmented-reality-are-we-there-yet	29
Figura 20 - Super Cockpit o VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator). Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1982-il-super-cockpit/	29

Figura 21 - View de la NASA. Imagen disponible en: https://www.deusens.com/hitos-historia-realidad-virtual/	30
Figura 22 - Jaron Lanier probando el EyePhone.[83]	30
Figura 23 - Chad Leeper de Hewlett-Packard probando el DataGlove.[84]	30
Figura 24 - Holodeck de Star Trek, una habitación preparada para proyectar escenarios totalmente inmersivos e interactivos. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1987-star-trek-holodeck/	31
Figura 25 - Publicidad del PowerGlove. Imagen disponibles en: https://www.tomshw.it/altro/1989-nintendo-power-glove/	31
Figura 26 - Virtuality 1000CS. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1991-virtuality-1000cs/	31
Figura 27 - SEGA VR. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1993-sega-vr/	32
Figura 28 - Virtual IO i-glasses. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1995-virtual-io-i-glasses/	32
Figura 29 - Gafas Forte VFX1. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1995-forte-vfx1/	33
Figura 30 - Nintendo Virtual Boy. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1995-nintendo-virtual-boy/	33
Figura 31 - Sony Glasstron. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1996-sony-glasstron/	33
Figura 32 - Phillips Scuba VR. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1997-philips-scuba-vr/	34
Figura 33 - Visor ISS VFX3D. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/1998-iis-vfx3d/	34
Figura 34 - Sony PUD-J5A. Imagen disponible en: https://www.digitalgamemuseum.org/sony-pud-j5a-virtual-reality-headset/	35
Figura 35 - eMagin Z800. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2005-emagin-z800/	35
Figura 36 - Vuzix Wrap VR1200. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2011-vuzix-wrap-vr1200/	35
Figura 37 - Funcionamiento del Tobii Dynavox. Imagen disponible en: https://www.tobiidynavox.com/es/sobre-tobii-dynavox/sobre-nosotros/como-funciona-seguimiento-ocular/	36
Figura 38 - Un usuario con cuadriplegia utilizando el sistema Tobii Dynavox. Imagen disponible en: https://www.tobiidynavox.com/es/sobre-tobii-dynavox/sobre-nosotros/como-funciona-seguimiento-ocular/	36
Figura 39 - iPhone Virtual Reality Viewer. Imagen diponible en: https://www.trendhunter.com/trends/iphone-virtual-reality-viewer	36
Figura 40 - Oculus Rift.[89]	37

Figura 41 - Google Cardboard. [90]	37
Figura 42 - Componentes del Google Cardboard. [91]	37
Figura 43 - Oculus CV1. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2015-oculus-cv1/	38
Figura 44 - HTC Vive DK1. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2015-htc-vive-dk1/	38
Figura 45 - Visor VR del Project StarVR. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2015-project-starvr/	38
Figura 46- VRUnion Claire. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2015-vrunion-claire/	39
Figura 47 - Vrvana Totem. Imagen disponible en: https://www.tomshw.it/altro/2015-vrvana-totem/	39
Figura 48 - Samsung Gear VR.[94].....	40
Figura 49 - HTC Vive con sus accesorios. [75]	40
Figura 50 - Playstation VR. [96]	41
Figura 51 - Oculus Go. [97]	41
Figura 52 - Oculus Quest 1.[79]	42
Figura 53 - Imagen promocional del Nintendo Labo: VR kit.[98].....	42
Figura 54 - Visor Pico G2 4K [99].....	42
Figura 55 - Oculus Quest 2. [100]	43
Figura 56 - Playstation VR 2. [101]	43
Figura 57 - Visor Pico 4 Pro. [103]	44
Figura 58 - Visor Meta Quest Pro.[104].....	44
Figura 59 - Ubicación geográfica de la Ciudad de Apóstoles (Google Maps).....	46
Figura 60 - Esquema del Ciclo en Tiempo Real de Producción propuesto por Unity Technologies.....	51
Figura 61 - Pasos comunes en el proceso de digitalización propuesto por Pavlidis ..	54
Figura 62 - Métodos de adquisición de datos combinados (Elaboración propia)	54
Figura 63 - Proceso de RSL propuesto por Kitchenham et al. (citado por [117]).....	58
Figura 64 - Esquema de montaje y funcionamiento del escáner láser aéreo. [119] ...	59
Figura 65 - Esquema de montaje y funcionamiento del escáner láser terrestre [123]	60
Figura 66 - Ejemplo de UAV [42].....	62
Figura 67 - Tipos de Barrido del sensor CCD [46]	63
Figura 68 – Proceso de Datos e Información, usado en fotogrametría y escaneo remoto [39] (traducción propia).....	66
Figura 69 - Esquema de la batalla de Apóstoles publicado por [145].....	68
Figura 70 - Andrés Guacurará durante la batalla de Apóstoles publicado por [146]..	68

Figura 71 - Representación de la batalla de Apóstoles realizada por el Regimiento Monte 30 y ciudadanos apostoleños publicado por [147]	68
Figura 72 - Representación de la batalla de Apóstoles realizada por el Ballet del Parque del Conocimiento, a cargo de Luis Marinoni publicada por [148].....	68
Figura 73 - Video de la representación de la batalla de Apóstoles disponible en el canal InforMate de youtube [149].....	69
Figura 74 - Video de la representación de la batalla de Apóstoles transmitido por Canal 12 (Posadas - Mnes) y publicado en el canal misionesturística de youtube [150]	69
Figura 75 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 1).	69
Figura 76 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 2).	69
Figura 77 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 3).	69
Figura 78 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 4).	69
Figura 79 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre.....	69
Figura 80 – Fases del ciclo de vida para el desarrollo de videojuegos propuesto por Aleem. [154].....	71
Figura 81 - Detalle de fases y tareas de la metodología SUM. [152].....	71
Figura 82 - Sistemas Operativos Móviles en Argentina – enero 2023 (Fuente: StatCounter, con acceso el 10/01/23 disponible en: https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/argentina).....	76
Figura 83 - Casos de uso de sistema.....	84
Figura 84 - Animal pack Deluxe de JANPEC (https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/animals/animal-pack-deluxe-99702).....	108
Figura 85 - Mtree – Tree Creation de MX (https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/mtree-tree-creation-132433).....	108
Figura 86 - City Street Skyboxes vol. 1 (https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/city-street-skyboxes-vol-1-157401)	108
Figura 87 - Fire & Spell Effects deDigital Ruby (Jeff Johnson) https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/fire-spell-effects-36825).....	108
Figura 88 - Realistic Tree 9 [Rainbow Tree]de Rakshi Games (https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/realistic-tree-9-rainbow-tree-54622).....	108
Figura 89 - Realistic Terrain Collection LITE-de 400m Creations (https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/realistic-terrain-collection-lite-47726)	108
Figura 90 - Crates and Barrels Pack vol 1 de Helix Studio (https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/exterior/crates-and-barrels-pack-volume-1-free-version-128829).....	109

Figura 91 - Explosive Relistic Texture pack de Gustav Hagerling (https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/explosive-realistic-vfx-texture-free-34541)	109
Figura 92 - Terrain Textures Pack Free de ALP8310 (https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/terrain-textures-pack-free-139542).....	109
Figura 93 - Standard Assets de Unity Technologies (https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2018-4-32351)	109
Figura 94 - Google VR SDK for Unity (https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases)	109
Figura 95 - Talleres, Almacén y 1er Patio.....	110
Figura 96 - Coti Guazú y 2do Patio.....	110
Figura 97 - Iglesia (vista interior).....	110
Figura 98 - Residencia de los Padres, Colegio y Patio del Colegio	110
Figura 99 - Iglesia (vista frontal).....	110
Figura 100 - Iglesia (corte sagital).....	110
Figura 101 - Campanario (con texturas).....	110
Figura 102 - Campanario (sin texturas).....	110
Figura 103 - Huerta de los Padres	110
Figura 104 - Cementerio.....	111
Figura 105 - Plaza Central (vista proyectada)	111
Figura 106 - Casa de los guaraníes (paso 1).....	111
Figura 107 - Casa de los guaraníes (paso 2).....	111
Figura 108 - Casa de los guaraníes (paso 3).....	111
Figura 109 - Casa de los guaraníes (paso 4).....	111
Figura 110 - Cabildo (paso 1).....	112
Figura 111 - Cabildo (paso 2).....	112
Figura 112 - Cárcel (modificación de una casa - paso 1)	112
Figura 113 - Cárcel (modificación de una casa - paso 2)	112
Figura 114 - Cárcel (modificación de una casa - paso 3)	112
Figura 115 - Soldado Argentino (adaptación de un modelo realizado por terceros).....	112
Figura 116 - Bandeirante (elaboración propia).....	112
Figura 117 - Guaraní (elaboración propia)	113
Figura 118 - Gaucho (elaboración propia)	113
Figura 119 - Diseño del personaje Gaucho (elaboración propia).....	113
Figura 120 - Diseño del personaje Bandeirante (elaboración propia).....	113

Figura 121 - Animaciones incluídas en modelos de terceros	116
Figura 122 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 1	116
Figura 123 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 2	116
Figura 124 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 3	117
Figura 125 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 4	117
Figura 126 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 5	117
Figura 127 - Animaciones de modelos propios no humanoides.....	117
Figura 128 - Gráfico de navegación de nivel superior (Elaboración propia)	120
Figura 129 - Prototipo Interactivo (Elaboración propia)	120
Figura 130 - Maqueta de la aplicación final (Elaboración propia).....	121
Figura 131 - Ubicación geográfica del evento (Google Maps)	129
Figura 132 - Proyección del video promocional de la Aplicación VR-Yvy	129
Figura 133 - Proyección del video promocional de la Aplicación VR-Yvy	129
Figura 134 - Video promocional (Elaboración propia)	130
Figura 135 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.	130
Figura 136 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.	130
Figura 137 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.	130
Figura 138 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.	130
Figura 139 - Afiche presentación de la primera instancia del recorrido (Elaborado por la Municipalidad de Apóstoles).....	131
Figura 140 - Prueba con usuarios reales.....	131
Figura 141 - Prueba con usuarios reales.....	131
Figura 142 - Video promocional creado por la municipalidad.....	131
Figura 143 - Video promocional creado por la municipalidad.....	131
Figura 144 - Video promocional creado por la municipalidad.....	132
Figura 145 - Video promocional creado por la municipalidad.....	132
Figura 146 - Afiche presentación de la segunda instancia del recorrido (Elaborado por la Municipalidad de Apóstoles).....	132
Figura 147 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas	132
Figura 148 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas	132

Figura 149 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas	133
Figura 150 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas	133
Figura 151 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas	133
Figura 152 - Modelo de cuestionario de evaluación de la experiencia de usuario...	134

INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INDICE DE CONTENIDOS.....	14
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Estructura del Trabajo Final de Maestría.....	4
Capítulo 2	6
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	7
2.1.1 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel mundial	7
2.1.2 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel nacional.....	9
2.1.3 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel local.....	11
2.2 Patrimonio Cultural.....	12
2.2.1 Patrimonio Cultural Inmaterial.....	13
2.2.2 Patrimonio Cultural en Misiones.....	14
2.3 Realidad Virtual	14
2.3.1 Conceptos	14
2.3.2 Continuum de la Realidad (Realidad-Virtualidad):.....	17
2.3.3 Marco de referencia de tecnología inmersiva en 3 dimensiones	18
2.3.4 Agencia (nivel de interactividad) en Realidad Virtual	22
2.3.5 Dispositivos	23
2.3.6 Grados de Libertad (Degrees of Freedom – DoF).....	23
2.3.7 Evolución histórica de la Realidad Virtual y sus dispositivos	23
2.4 Motores de Realidad Virtual.....	44
2.5 Realidad Virtual y la Reconstrucción del Patrimonio Cultural	45
2.6 Ciudad de Apóstoles	45
2.6.1 Historia	46
2.6.2 Batalla de Apóstoles	46
Capítulo 3	48
3.1 Recursos Disponibles:.....	49
3.1.1 Hardware:	49

3.1.2	Software:	50
3.2	Metodología	50
3.2.1	Recolección de datos	50
3.2.2	Análisis de la Información	51
3.2.3	Documentación	51
3.2.4	Elaboración	51
3.2.4.1	Pre-Producción	51
3.2.4.2	Producción	51
3.2.4.3	Post-Producción	52
3.2.4.4	Operaciones	52
Capítulo 4		53
4.1	Técnicas y Herramientas utilizadas para la materialización digital del patrimonio	54
4.1.1	Digitalización de objetos y/o entornos tridimensionales	54
4.1.2	Después de la captura de datos ¿qué?	66
4.2	Materialización del Patrimonio Cultural Inmaterial	67
4.3	Representaciones del escenario de la Batalla de Apóstoles	68
4.4	Metodologías para la reconstrucción de la batalla de Apóstoles	70
4.5	SUM para representación de la Batalla de Apóstoles	71
4.6	Aplicación de SUM para la reconstrucción de la batalla de Apóstoles	72
4.6.1	Conceptualización del juego:	72
4.6.2	Planificación	79
4.6.3	Equipo de desarrollo	80
4.6.4	Especificaciones	84
4.6.5	Elaboración	87
Capítulo 5		90
5.1	Resultados	91
Capítulo 6		92
6.1	Conclusiones	93
6.2	Líneas Futuras de Trabajo	94
Anexos		95
ANEXO I:	Entrevistas	95
ANEXO II:	Bibliografía acerca de las Reducciones Jesuíticas y la Batalla de Apóstoles	97
AIII.1	Iteración A1:	99
AIII.2	Iteración A2:	104

AIII.3 Iteración A3:	115
AIII.4 Iteración A4:	119
AIII.5 Iteración A5:	122
AIII.6 Iteración B1:	124
AIII.7 Iteración B2:	126
ANEXO IV: Presentación de la aplicación	129
ANEXO V: Consulta de experiencia con la aplicación.....	134
ANEXO VI: Manual de instalación de la aplicación VR-Yvy.....	139
Referencias	145

Capítulo 1

Introducción.

1.1 Introducción

Gran cantidad de patrimonio cultural alrededor del mundo se está deteriorando, siendo robado, o destruido por causa de desastres naturales (inundaciones o terremotos) o provocados por el hombre (robos, guerras, vandalismo, entre otros).

La posibilidad de poder transformar el contenido físico a digital, es útil no sólo para la preservación de piezas o sitios culturales históricos sino también para la planificación de posibles restauraciones o incluso la realización de investigaciones sobre los datos digitalizados sin dañar el objeto real. [1]

El proyecto de investigación busca recuperar el patrimonio histórico cultural inmaterial de la localidad de Apóstoles y del estado en general, dando “vida” a un escenario histórico de gran relevancia, como lo fue la Batalla de Apóstoles, a través de un modelo virtual que pueda ser accedido desde cualquier parte del mundo sin la necesidad de equipamientos costosos.

De esta manera, no sólo se busca reconstruir el entorno histórico, sino también proporcionar recursos y conocimientos que sirvan de guía a otros, para que puedan recrear sitios de similares características. [2]

Implementado sobre tecnología móvil, permitirá al usuario generar su propia experiencia, otorgando una sensación realista y profunda, permitiéndole "caminar" libremente dentro del entorno.

Todo esto contribuye a fortalecer la comprensión de la historia local, así como a aumentar el conocimiento de las culturas locales e internacionales [3] [4], acercando a las personas de todo el mundo, la historia argentina, mostrando particularmente la importancia de la Batalla de Apóstoles en el camino hacia la independencia.

Además, de ser una excelente oportunidad para desarrollar nuevas técnicas en el campo de la tecnología móvil y la realidad virtual, con la creación de aplicaciones informáticas que ofrezcan una manera de explorar y disfrutar el patrimonio histórico sin la necesidad de desplazarse físicamente. Permitiendo que un mayor número de personas conozcan y disfruten del mismo, contribuyendo al resguardo de la cultura y la historia de la región para las generaciones futuras. [5]

1.2 Justificación

Todo pueblo o ciudad posee valores históricos que lo identifican, éstos son considerados Patrimonio Cultural y es por ello la importancia de su conservación. [5] Los edificios y lugares emblemáticos son preservados y destacados de forma particular, pero a veces, el paso del tiempo, acompañado por la necesidad de urbanización, hace que éstos sean arrasados (en el buen sentido de la palabra) perdiendo su existencia física y pasan a formar parte del Patrimonio Cultural Inmaterial. Es entonces cuando surge la necesidad de recordarlos por medio de la transmisión oral (de generación en generación), escrita (bibliografía específica) o por medio de fechas emblemáticas donde se rinde culto al hito histórico determinado. [2]

La ciudad de Apóstoles no es ajena a esta situación, el crecimiento demográfico convirtió en memorias, ciertos espacios que hoy podrían considerarse de suma importancia por los acontecimientos ocurridos en ellos. El escenario de la Batalla de Apóstoles forma parte de este acervo histórico, que, debido a la necesidad de dar respuesta a las tempranas demandas edilicias de la comunidad, ha desaparecido desdibujando su realidad histórica y cargándose de subjetividades en los recuerdos de los habitantes del lugar.

A través de los años, muchas personas ayudaron a mantener presente el recuerdo de aquel escenario y los hechos sucedidos en él, a través de relatos, investigaciones documentales y dioramas, captando el interés de las personas por conocer su historia. Actualmente, existen nuevas técnicas que podrían colaborar aún más en esta empresa, siendo la realidad virtual una de ellas. Las características propias de esta técnica, brindan la posibilidad de “traer a la vida” nuevamente estos lugares y contribuir con su preservación. [3]

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Conocer las técnicas y herramientas tridimensionales utilizadas para materializar digitalmente el Patrimonio Cultural.
- Determinar las potencialidades y condicionantes de la aplicación de estas técnicas y herramientas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Contribuir a la preservación del patrimonio cultural inmaterial a través del uso de tecnología 3D aplicada en la reconstrucción del escenario de la Batalla de Apóstoles.

El objetivo específico antes descripto requiere el desarrollo de los siguientes subobjetivos:

- Determinar las potencialidades y condicionantes de la aplicación de estas técnicas y herramientas en el contexto de la Localidad de Apóstoles Misiones.
- Obtener y seleccionar información temática relevante en coordinación con la Secretaría de Turismo de Apóstoles y expertos en la temática, que sirva como base para la reconstrucción virtual del escenario en cuestión.
- Diseñar las fases y los procedimientos involucrados en la reconstrucción del escenario de la Batalla de Apóstoles.
- Verificar y validar el modelo generado.

1.4 Estructura del Trabajo Final de Maestría

El presente trabajo final de maestría se estructura en capítulos como se enuncia a continuación:

El Capítulo 1 expone los motivos por el cual se realiza el presente trabajo de investigación, los objetivos y la estructura del mismo.

En el Capítulo 2 presenta el marco teórico, donde se revisarán los antecedentes o investigaciones previas relacionados al tema de investigación, para luego desarrollar los conceptos teóricos que dan sustento y permiten comprender el tema de estudio. Además, se redactará una breve revisión histórica de la Ciudad de Apóstoles que colabora en posicionar espacial y temporalmente a la batalla homónima que se llevara a cabo en la localidad y que es motivo principal de esta propuesta.

El Capítulo 3 comentan los recursos disponibles, las limitaciones del proyecto y la metodología aplicada para su desarrollo. Además, se describe el caso de estudio, partiendo de su situación inicial, la propuesta de solución a la problemática planteada en el capítulo anterior. Los errores u omisiones posibles de cometer durante el desarrollo

debido a la falta de documentación existente y algunas consideraciones generales en cuanto a las escalas a utilizar.

En el capítulo 4 se explican las tecnologías utilizadas para la representación de los objetos y el escenario en realidad virtual a ser aplicadas en el trabajo, así como el hardware y software a implementar para su desarrollo. Luego se realiza una descripción de las etapas que componen la hoja de ruta para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

En el capítulo 5 se exponen los resultados obtenidos y en el capítulo 6 se detallan las conclusiones arribadas y las posteriores líneas de investigación derivadas del presente trabajo.

Capítulo 2

Marco Teórico.

2.1 Antecedentes de la Investigación

Muchos son los esfuerzos a lo largo del mundo por devolver a la comunidad aquello que el paso del tiempo se encargó de ocultar o desvanecer y gracias al avance de la tecnología, quien aporta nuevas técnicas de reconstrucción, es que se las puede volver a disfrutar plenamente.

Debido a que los objetivos de este trabajo de investigación no pretenden realizar una descripción exhaustiva de la gran variedad de material existente, es que a continuación se presentan algunos proyectos desarrollados en la temática, clasificados según su relación geográfica con el presente proyecto en regional, nacional y mundial.

2.1.1 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel mundial

En 2001, La Fundación del Mundo Helénico (FHW), con sede en Grecia, es una institución de patrimonio cultural sin ánimo de lucro, emplea la tecnología de realidad virtual (RV) para crear experiencias inmersivas, interactivas y fotorrealistas. Emplearon dos sistemas de RV inmersiva. El primero es un panel retroproyectado y el segundo sistema es una pantalla inmersiva similar a una CAVE®, para el proyecto "Un viaje por la antigua Mileto", donde los visitantes recorren “caminando” o sobrevolando, la ciudad de Mileto tal y como era hace dos mil años. [6]

En 2003, [7] realizan la reconstrucción de la cultura china presente en Peranakan, por medio de un recorrido inmersivo asistido por un guía virtual, el cual asiste a los turistas con información en tiempo real, mientras ellos recorren el lugar libremente.

En 2004, se reconstruye el Templo Egipcio de Kalabsha en alta calidad para realizar pruebas de simulación de iluminación, debido a que en 1963, el mismo fue trasladado de su ubicación original modificando el cómo influye la luz sobre el mismo, cambiando la percepción del observador. [8]

En 2006, [9] desarrollan un método de modelización de sitios patrimoniales que han sufrido cambios a lo largo de los años. El método crea modelos independientes a partir de distintos tipos de datos, como frescos y pinturas, dibujos, fotos antiguas, descripciones históricas y digitalización de restos, y luego ensambla e integra estos modelos para una presentación interactiva. Aplicados a la modelización de: la destruida casa Haida del jefe Weah (Masset, Canadá), la demolida y parcialmente reubicada capilla Rideau (Ottawa,

Canadá), y el castillo Stenico (Trentino, Italia), que sufrió numerosos cambios a lo largo de varios siglos. Cada uno de estos ejemplos ilustra un enfoque diferente para reconstruir sitios patrimoniales que han cambiado a lo largo del tiempo.

En 2007, un profesor de la UCLA (Universidad de California en Los Ángeles) luego de haber vivido 28 años en Roma, comenzó un proyecto llamado Rome Reborn (Renacimiento de Roma) publicando la fase 1 del mismo. Tal fue su éxito, que al año siguiente publica una actualización denominada Rome Reborn 2.0. La aplicación permite una experiencia inmersiva por la ciudad de Roma, en donde sus edificios emblemáticos (como el Coliseo y el Foro Romano) pueden ser visitado y recorridos gracias a la realidad virtual. [10]

En 2008, se crea la aplicación "Viajar por Europa" (Travel in Europe, TiE), un entorno en línea que apoya a los usuarios en la realización de aventuras similares a las de los videojuegos de última generación, con mecanismos y pautas de uso que estimulan la adquisición de conocimientos y promueven una comprensión efectiva del patrimonio. La arquitectura de TiE se basa en un motor de juego, con características de los juegos masivos multijugador en línea (Massive Multiplayer Online Games, MMOG) que proporcionan un acceso amplio y agradable, además de módulos diseñados ad hoc. [11]

En 2010, [12] lanza un sistema de exposición virtual, basado en modelos 3D realistas de alta calidad de hallazgos arqueológicos (reconstruidos mediante un escáner 3D y una cámara de alta definición) y un sistema estereoscópico multimedia de bajo coste denominado MNEME, que permite al usuario interactuar de forma libre y sencilla con una rica colección de hallazgos arqueológicos. MNEME fue diseñado para promover y difundir el conocimiento arqueológico e histórico de las poblaciones de Oenotrias y Bruttias. Para evitar fallos y errores, todo el trabajo se planificó con precisión siguiendo una metodología ad hoc. El primer paso fue la adquisición de las piezas y su posterior reconstrucción en 3D; al mismo tiempo se desarrolló y probó la aplicación multimedia del software.

En 2013, el Museo Thermopylae, desarrolló una aplicación interactiva con realidad virtual, que mostraba la localización de la Batalla de Thermopylae, ocurrida en las cercanías de la ciudad de Lamia (Grecia). El proyecto se desarrolló utilizando técnicas y principios aplicados en el desarrollo de videojuegos. Los visitantes podían experimentar

el primer día de la batalla en donde los Griegos y Persas se asentaron y colaborar con el armado de sus campamentos previo a la batalla. [13]

En 2015, se realiza una reconstrucción con realidad aumentada de la Capilla (Museo) Koldinghus, en Dinamarca. Para ello se desarrolló una aplicación para tabletas Android en Unity3D. Las mismas estaban ubicadas en puntos estratégicos de la capilla, ofreciendo información a los visitantes de forma autónoma. [14]

En 2017, Se realiza la interpretación del registro, procesamiento y presentación de los datos 3D del jardín arqueológico de Bastia St. Michele (Cavaion Veronese, Verona, Italia), con la intención de demostrar las capacidades de la fotogrametría aplicada a la arqueología. [15]

También en 2017, se desarrolló una aplicación inmersiva en Unity3D, basada en videos 360°, invitando al usuario a recorrer la ciudad de Rethymno (Grecia) utilizando elementos de bajo costo, como ser un dispositivo móvil y un visor tipo cardboard. [16]

En 2018, con la ayuda de las gafas Oculus Rift (Facebook), se realizó la reconstrucción virtual de la ciudad de Mons (Bélgica), referente cultural en 2015, debido a su arquitectura particular. Se modelaron los edificios con el software Rhino y se los importaron a Unity3D para poder animarlos y generar una aplicación compatible con el visor. [17]

En 2022, se utilizó el sistema de aprendizaje automático para guiar la modelización de objetos 3D (en su mayoría edificios). Aplicando un método de restricción de parámetros multicapa para el modelado rápido de edificios emblemáticos de arquitectura Huizhou¹, el cual es adaptable al usuario por medio de la modificación de parámetros de entrada. [18]

2.1.2 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel nacional

En [19] y [20] en el año 2000 utilizaron técnicas de realidad virtual para la reconstrucción de la ciudad de San Juan previo al terremoto ocurrido en 1944. El autor

¹ La arquitectura de Huizhou es una parte muy importante de la arquitectura residencial tradicional de China. La arquitectura de Huizhou se distribuye principalmente en Huangshan de la provincia de Anhui, Wuyuan de la provincia de Jiangxi y Jinhua de la provincia de Zhejiang, etc., donde existen más de 100 antiguas aldeas de estilo Huizhou y más de 8.000 viviendas antiguas, entre ellas, las antiguas aldeas como la de Xidi y la de Hong quedan incluidas en la Lista del Patrimonio Cultural Mundial. [160]

comenta la necesidad de realizar la “materialización de la ciudad” se necesitó de un modelo interdisciplinario, y que, al no contar con antecedentes suficientes, se tornó en un proceso de prueba y error. En el trabajo se mencionan dos etapas, la primera de preproducción, en la cual se recopilaron, analizaron y completaron los datos a partir de fotointerpretación, reconstrucción de la documentación, croquisado y escalado por homologías. La segunda, la de producción, en donde se reconstruyó la zona a nivel de fachadas pero sin nombrar el software involucrado en el proceso. Como resultado se menciona un modelo virtual que conta de una “maqueta electrónica” y un “video” con imágenes realistas y abstractas que referencian al sitio antes de su destrucción.

En 2009, una empresa de diseño y animación 3D, desarrolla una reconstrucción virtual de las reducciones jesuíticas de San Ignacio Miní, con la intención de ser utilizado como material infográfico de un espectáculo audiovisual realizado por Proyecto Experience en las ruinas. [21]

Desde el año 2016, el Laboratorio de Ablación, Limpieza y Restauración con Láser (LALRL) del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) en interacción con el Centre for Cultural and General Studies del Karlsruhe Institute of Technology (ZAK-KIT) y el Intelligent Sensor-Actuator-Systems Laboratory (ISAS-KIT) de Alemania, desarrollaron investigaciones con tecnología 3D para el patrimonio cultural, por medio de la técnica de Reflectance Transformation Imaging (RTI) derivada de la fotogrametría, la cual es comúnmente utilizada para la preservación de obras de arte en instalaciones denominadas Media Art. Dichas instalaciones normalmente poseen registros bidimensionales (fotografías, videos y dibujos), el proyecto propone un e-installation de Media Art con tecnología de realidad virtual para ofrecer el máximo grado de inmersión posible. Para ello combinaron diversas tecnologías como el modelado 3D, fotogrametría, audio y video y el componente de realidad virtual, todo montado en un sistema de telepresencia programado en un motor de videojuegos como Unity3D. [22]

En [23] se presentan tres ejemplos de reconstrucción tanto de objetos como sitios patrimoniales, el primero son las piezas de cerámicas del sitio Las Marías, ubicado en el partido de Magdalena (Buenos Aires provincia) correspondiente a 1700 años AP. La información se obtuvo mediante fotografías que luego se trataron en el programa Strata 3D CX. El segundo se corresponde también con piezas cerámicas, pero esta vez de sitios de la cuenca del Río Salado (partido de Chascomús), de igual manera se tomaron

fotografías de lo encontrado para ser intervenidas con el programa Solid Edge v18. Por último, una reconstrucción virtual del casco de la Estancia Santa Coloma en Quilmes (1805), cuyos datos fueron recabados a partir de fuentes históricas que permitieron la confección de un plano en el programa AutoCAD que luego se renderizó en SketchUp.

Otros ejemplos son los realizados por la Universidad de Bahía Blanca, en donde becarios doctorales y postdoctorales trabajan dentro del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Visualización y Computación Gráfica (VyGLab) de la Universidad del Sur, con aplicaciones de realidad aumentada y virtual para la promoción del turismo. Llevaron a cabo proyectos como la “Innovación educativa: Los humedales costeros de la Bahía Blanca como espacio recreativo” (2013) una aplicación de realidad aumentada aplicada al turismo y la educación, la reconstrucción virtual de la “Fortaleza Protectora Argentina” (2018) sitio que dió origen a la Ciudad de Bahía Blanca, escenario virtual interactivo como herramienta educacional, entre otros proyectos similares en desarrollo. [24] [25] [26] [27]

La Universidad Nacional de La Plata, por su parte, lleva adelante desde el 2016 un proyecto para la Extensión de Huellas Patrimoniales, impulsado por la Facultad de Ciencias Económicas de dicha universidad, en donde se promueve el conocimiento y la inclusión social de niños y jóvenes, por medio de una muestra de referentes patrimoniales del país. El mismo comenzó con videos en 360° y su impacto hizo que, en 2018, en conjunto con la Facultad de Informática, lo transformaran en un juego de realidad virtual. “Huvi”. [28]

El sector rural también es referente en el uso de la realidad virtual con el patrimonio, una escuela de la localidad de San Cayetano, Corrientes, en conjunto con la Fundación Varkey, en 2018, desarrollaron un proyecto para incentivar el uso responsable del celular y visores de realidad virtual, en las aulas llamado: “El enemigo, un aliado para experimentar nuevas realidades”. Si bien no desarrollaron ninguna aplicación, utilizaron experiencias de terceros como ser: visitas al sistema solar, al Cabildo de Buenos Aires de 1810, al Monumento a la Bandera en Rosario, entre otras. [29]

2.1.3 Reconstrucción virtual del Patrimonio a nivel local

En 2016, en Misiones, se llevó a cabo un proyecto con relación a la preservación del patrimonio cultural, el cual continua el trabajo realizado en 2015 [30]. Por medio de una

aplicación de realidad aumentada y las plataformas OpenStreetMap y Wikipedia, se geoposicionaron las reducciones jesuíticas guaraníes de Argentina, Brasil y Paraguay para ofrecer al usuario información y la posibilidad de inmersión en el entorno cultural. [31]

En 2018, el Centro de Competencias de la Universidad Nacional de Misiones en colaboración con el programa ERASMUS² (acrónimo del nombre oficial en inglés, European Region Action Scheme for the Mobility of University Students) para el proyecto UMETECH (acrónimo del nombre University & Media Technology for Cultural Heritage o La Universidad y las Tecnologías Multimedia para el Patrimonio Cultural) representado por la Fundación EUROSUR (Argentina) participó en las acciones de fortalecimiento el rol de las Universidades Latinoamericanas como instrumento del desarrollo social y económico en el sector del patrimonio cultural a través del diseño y desarrollo de proyectos innovadores en el campo de las TIC aplicadas al patrimonio cultural. Se desarrolló una aplicación de realidad virtual que permite visitar las reducciones jesuíticas de Santa María la Mayor antes de convertirse en ruinas. [32]

Siguiendo la misma línea, en 2019, el mismo grupo desarrolla una aplicación para realizar un circuito guiado con 9 postas con información en realidad aumentada, como parte del proyecto *“Nuestra historia, nuestra gente, un circuito educativo y turístico en el Cementerio La Piedad, que rescata algunos de los personajes más valorados por la sociedad posadeña y misionera”*. [33]

2.2 Patrimonio Cultural

La Ley Nacional 25.197, en su artículo 2º, define el patrimonio cultural argentino como un universo de “Bienes Culturales”, compuesto por todos los objetos, seres o sitios que constituyen la expresión o el testimonio de la creación humana y la evolución de la naturaleza y que tienen un valor arqueológico, histórico, artístico, científico o técnico excepcional. [34]

La misma considera que dicho patrimonio se manifiesta en los siguientes ámbitos:

²<https://www.fundacioneurosar.net/es/proyectos/proyecto-umetech-university-amp-media-technology-for-cultural-heritage/>

- a) tradiciones y expresiones orales, incluido el idioma como vehículo del patrimonio cultural inmaterial;
- b) artes del espectáculo;
- c) usos sociales, rituales y actos festivos;
- d) conocimientos y usos relacionados con la naturaleza y el universo;
- e) técnicas artesanales tradicionales

2.2.1 Patrimonio Cultural Inmaterial

La Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, de aquí en adelante "la UNESCO", en su 32a reunión, celebrada en París del 29 de septiembre al 17 de octubre de 2003. Considerando la profunda interdependencia que existe entre el patrimonio cultural inmaterial y el patrimonio material cultural y natural, entiende por Patrimonio Cultural Inmaterial como:

“...los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas —junto con los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales que les son inherentes— que las comunidades, los grupos y en algunos casos los individuos reconozcan como parte integrante de su patrimonio cultural. Este patrimonio cultural inmaterial, que se transmite de generación en generación, es recreado constantemente por las comunidades y grupos en función de su entorno, su interacción con la naturaleza y su historia, infundiéndoles un sentimiento de identidad y continuidad y contribuyendo así a promover el respeto de la diversidad cultural y la creatividad humana. A los efectos de la presente Convención, se tendrá en cuenta únicamente el patrimonio cultural inmaterial que sea compatible con los instrumentos internacionales de derechos humanos existentes y con los imperativos de respeto mutuo entre comunidades, grupos e individuos y de desarrollo sostenible”. [35]

La inclusión de la dimensión intangible facilitó la referencia a los procesos históricos en los que se han generado los bienes y comprender la importancia social de los mismos. Esta dimensión favorece la complejización y la comprensión de los bienes culturales, sus vínculos y su vigencia en cuanto a las transformaciones de este “todo” vivo que es el Patrimonio Cultural.

2.2.2 Patrimonio Cultural en Misiones

En la provincia de Misiones se sancionó la ley Ley 1280, la cual declara de interés provincial a los bienes que incumben al patrimonio cultural. Donde se encuadran a todos *“los bienes de cualquier naturaleza que signifiquen o puedan significar un aporte trascendente para el desarrollo cultural de Misiones, que se encuentren en el territorio provincial, o ingresen a él, cualquiera fuese su propietario. Para declarar a un bien como integrante del patrimonio cultural de la provincia, se tendrá en cuenta su edad, su rareza, sus cualidades intrínsecas o su valor significativo”*³ [36]

Además, el tema central del documento es la Ley Integral del Aborigen, la cual instituye un *“régimen de promoción integral de las comunidades guaraníes existentes en la Provincia fundado en el pleno respeto de sus valores culturales y espirituales y propias modalidades de vida”*⁴. Propiciando la inscripción de las comunidades guaraníes en un registro que les otorga personería jurídica y estipula la *“creación de la Dirección de Asuntos Guaraníes como organismo encargado de la aplicación de los mandatos de la ley”*. [36]

2.3 Realidad Virtual

2.3.1 Conceptos

La humanidad, a través de la historia ha dejado impresiones como las pinturas rupestres encontradas en diferentes cuevas alrededor del mundo, en un intento de recrear lugares o comunicar experiencias vividas a los demás. Desde aquellos tiempos, hasta hoy la tecnología fue evolucionando otorgando nuevas formas de “contar la historia”, donde la realidad virtual (RV) es considerada un medio más. [37]

Debido a la reciente aparición de la RV como medio, su definición formal, aún está en constante fluctuación. [37] Para algunos autores, la primera aproximación a la idea actual de realidad virtual (RV), se expresa en el libro “Pygmalion’s Spectacles” escrito por

³ Ley 1280. Protección de Bienes del Patrimonio Cultural (1980). Sitio web de la Secretaría de Cultura. Presidencia de la Nación. Programas. Laboratorio de Industrias Culturales. Sistema de Información Cultural de la Argentina. Gestión Pública en Cultura. Legislación cultural vigente. Disponible en: <http://www.cultura.gov.ar/lic/sic/gestion/legislacion/ley.php?idley=420> 6/01/20

⁴ Ley 2727, Integral del Aborigen (1989). Artículo 1. Sitio web de la Secretaría de Cultura. Presidencia de la Nación. Programas. Laboratorio de Industrias Culturales. Sistema de Información Cultural de la Argentina. Gestión Pública en Cultura. Legislación cultural vigente. Disponible en: <http://www.cultura.gov.ar/lic/sic/gestion/legislacion/ley.php?idley=381> 6/01/20

Stanley G. Weinbaum⁵ en 1935, donde el escritor, por medio de un personaje, comenta acerca de unas lentes que permiten al lector vivir la historia, el cual aclara en sus palabras *“usted está en la historia”* y *“la historia está a su alrededor”*. [38]

Según [37] la realidad virtual se define mejor como “una experiencia” y como tal, debería poseer 4 dimensiones o características:

- **Mundo Virtual:** Es un espacio imaginario que a veces se manifiesta como medio, con sus reglas y relaciones internas. Existe sólo en la mente o en algún formato compatible. No necesariamente debe ser mostrado (o reproducido), así como una película puede estar en una cinta, se sabe que está ahí a pesar de no estar siendo mostrada.
- **Inmersión:** Como tal, es la sensación de estar en el entorno, puede ser **mental** cuando se habla de la sensación de presencia (también llamada telepresencia) o **física** cuando el cuerpo entero o parte de él es ingresado al ambiente y se estimulan sus sentidos sintéticamente por medio del uso de la tecnología.
- **Retroalimentación Sensorial:** Basada en la posición, se hacen uso del seguimiento de los ojos, cabeza o manos u objeto (sostenido en la mano) para estimular el sentido correcto.
- **Interactividad:** Es la habilidad del usuario de afectar al medio, cambiando su posición (localización), agarrando objetos, deformarlos, romperlos, etc.

La palabra virtual proviene del griego *vertus* que significa “verdad” o “realidad” aunque, a pesar de su significado, se la utiliza como una forma de caracterizar a las cosas que son similares a la realidad, transformando dicha palabra en un oxímoron (término que se contradice a sí mismo).

Siempre que se escucha la frase realidad virtual automáticamente se la asocia con algo relacionado a una computadora o a una actividad que se realiza a través de medios

⁵ Stanley G. Weinbaum (1935) Escritor americano de ciencia ficción, presentó un modelo de realidad virtual específico y comprensivo, aunque ficcional, en su historia denominada “Pygmalion's Spectacles”. En dicha historia el personaje principal, Dan Burke, conoce al profesor Albert Ludwig, quien inventó un par de lentes que permitían de “una película tener una visión, escuchar sonidos, probar, oler y tocar [...] Estar en la historia, hablar con las sombras (personajes) y recibir contestación y en lugar de estar en una pantalla, la historia está alrededor suyo y usted está en ella”. A pesar de ser un excelente escritor e influenciar a muchos, murió de cáncer de pulmón a la edad de 22 años. Obtenido de la web: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=4543> (19/10/2022)

electrónicos. Lo cierto es que esto no está lejos de su verdadera interpretación, si bien la misma aún está siendo discutida.

Greenbaum citado por Steuer define a la Realidad Virtual como: *“un mundo alternativo lleno de imágenes generadas por computadora que responden a los movimientos humanos. Estos entornos simulados se visitan generalmente con la ayuda de un costoso traje de datos que presenta gafas de video estereofónicas y guantes de datos de fibra óptica”*. [34]

Una aseveración más actual la entiende como: *“una aplicación de la tecnología computacional cuyo objetivo es el de generar representaciones visuales que simulan mundos reales o ficticios”*. [27]

El diccionario de términos de la empresa Unity Technologies, dueña de uno de los motores de desarrollo de aplicaciones 3D considera que, a pesar de las definiciones, la realidad virtual posee elementos cuasi universales [39]:

- *Efectos visuales estéreo generados por computadora que envuelven totalmente al usuario, sustituyendo por completo el entorno del mundo real que lo rodea. Muchos consideran que esta definición excluye acertadamente el video 360 de la verdadera VR.*
- *El contenido es consumido y experimentado desde una perspectiva centrada en el espectador.*
- *La interacción del usuario en tiempo real dentro del entorno virtual es posible, ya sea a través de interacciones detalladas o simplemente al ser capaz de observar a su alrededor dentro de la experiencia. En este caso, el elemento tiempo real significa que la respuesta se produce dentro de un intervalo de tiempo particular que es propio de la aplicación o campo.*

Si se combinan los factores claves y las propuestas de definición de los autores, se puede elaborar una definición más acertada de realidad virtual, como:

“La Realidad Virtual es el medio compuesto por simulaciones computacionales interactivas que afectan el sentido de posición y las acciones ejecutadas por el participante y las reemplaza o aumenta por una respuesta sintética a uno o más de sus sentidos, dándole la sensación de estar mentalmente inmerso o presente en la simulación (de un mundo virtual).” [37]

2.3.2 Continuum de la Realidad (Realidad-Virtualidad):

Debido a que existen diferentes tipos de experiencias posibles dentro de un mundo sintético y que éste a su vez puede imitar uno o varios aspectos del mundo real, de acuerdo a la tecnología implementada o a sus necesidades particulares, tampoco existe solamente un entorno al que podríamos llamar virtual. Sino que podríamos considerar un continuum de realidad, el cual posee en un extremo a la realidad física y en el otro al entorno virtual pasando por todo un conjunto de diferentes realidades virtuales. [40]



Figura 1 - Continuum de la Realidad (imagen disponible en [41])

Dentro de este continuum de la realidad, aparecen otros términos asociados, los cuales serán brevemente descriptos a modo de que el lector posea los conceptos mínimos para poder diferenciar uno de otro.

- **Realidad Aumentada:** Es un tipo de realidad virtual en la cual el estímulo digital está superpuesto en los objetos físicos de la realidad para ofrecer información y/o detalles que de otra manera serían imposibles de percibir por los sentidos. [37]
- **Virtualidad Aumentada:** También conocida como Realidad Artificial, es otro término usado para describir una simulación en donde el usuario tiene la capacidad de interactuar con el entorno, en términos de que las acciones corporales del mismo se relacionan con el mundo gráfico de forma tal que otorgan la sensación de que suceden dentro del mismo. [37]
- **Amiente Virtual:** Es una instancia de un mundo virtual representado por medio de un entorno interactivo como la realidad virtual. [37]
- **Realidad Mixta:** Es un tipo particular de realidad virtual, en donde la tecnología permite mezclar lo físico (real) con lo digital (virtual) y en algunos casos exceder las leyes físicas de espacio-tiempo o las propiedades materiales de los objetos por medio de simulaciones. [42]

Existen otros términos asociados a la realidad virtual, los cuales muchas veces son utilizados como sinónimo de la misma y que es importante hacer una diferenciación:

- **Ciberspacio:** Es un lugar que existe sólo en la mente de los usuarios, en la mayoría de los casos como resultado de la aplicación de la tecnología para su recreación que otorgan además la posibilidad de interacción entre personas geográficamente remotas. [37]
- **Telepresencia:** Es la habilidad de interactuar (mediado por computadoras) directamente con el mundo físico de forma remota desde el punto de vista del usuario sin importar el tamaño y/o complejidad de dispositivos utilizados para lograr dicha empresa. [37]

2.3.3 Marco de referencia de tecnología inmersiva en 3 dimensiones

Las características propias de la realidad virtual se pueden expresar de una forma ordenada y sencilla, siguiendo el marco propuesto por [43] el cual es una modificación del elaborado por [44] donde el autor las agrupa según tres dimensiones: Estímulo, Organismo y Respuesta (Figura 1).

Existe una dimensión adicional relacionada con las percepciones individuales según el género, edad, predisposición al malestar y la postura del usuario frente a la innovación, la cual no será analizada en este documento por ser utilizada como *moderadora entre dimensiones* [43] y la intención de este apartado es simplemente explicar las características de la tecnología inmersiva relacionada con la realidad virtual.

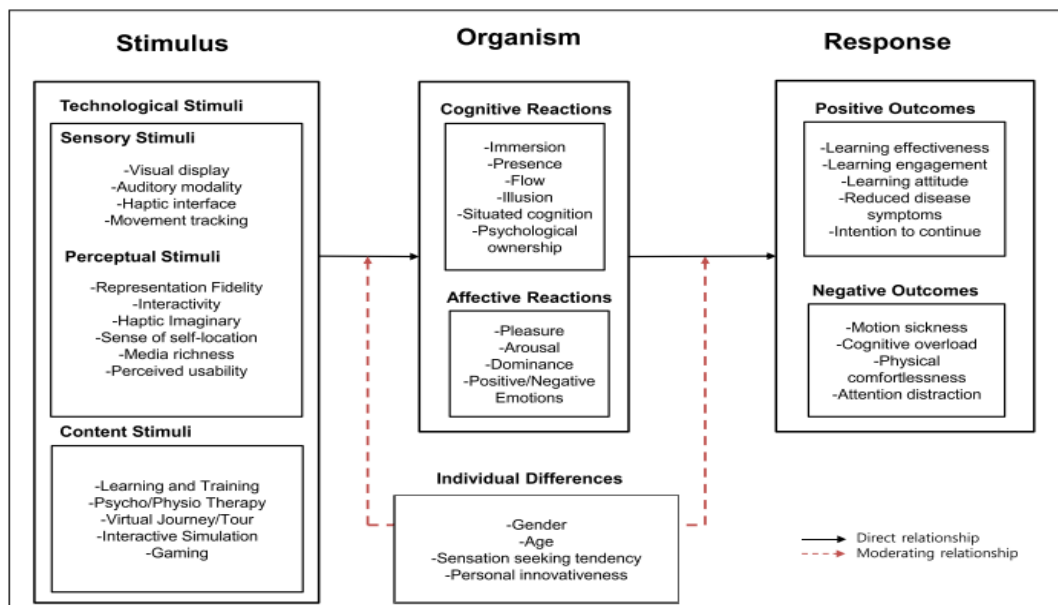


Figura 2 - Marco Conceptual de tecnología inmersiva propuesto por [10]

Dimensión 1: Estímulo

Se corresponde con el tipo de estímulos que son enviados al usuario para provocar una respuesta determinada. Puede ser:

Estímulo Tecnológico: del tipo tecnológico, cuando su intención es provocar un efecto sobre lo sensorial, como:

- Visualización: Comprendida por no sólo la apariencia del entorno virtual y los objetos incluidos en él, sino también la información adicional asociada a dichos objetos, su tamaño relativo, legibilidad, ubicación, cantidad, escalado, proximidad y diseño. [45]
- Audio: Del ambiente en general o perteneciente a un objeto o evento en ejecución dentro de la experiencia, los mismos pueden tener efectos direccionales, colaborando con la identificación de las fuentes de sonido [46] o ser fuentes de ayuda, información y/o instrucciones. [47]
- Interfaces Táctiles (hápticas): Usadas como estímulos suplementarios, se encargan de la interactividad usuario-entorno-objetos. [48]
- Seguimiento del movimiento (Movement tracking): Controladas por sensores incorporados en las interfaces hápticas registrando el movimiento de manos, brazos, piernas o cuerpo; o en los visores (Head Mounted Display o HDM) siguiendo la rotación de la cabeza del usuario y actualizando la vista del entorno virtual. [49] [50]

O lo perceptual, como:

- Fidelidad de representación: Asociado al entorno, objetos y del usuario virtual (avatar), cuanto más similar a la realidad sean estas representaciones mejor será la experiencia del usuario. [50]
- Interactividad: Por medio de la inspección, exploración, manipulación, comunicación del usuario con su entorno y los objetos, colaboran con la sensación de “estar ahí” a través de las acciones (seleccionar, cortar, rasgar, empujar, etc.) así como las vibraciones generadas en respuesta a las mismas. [48] [49]
- Imaginación háptica: La capacidad de simular la sensación de tocar un objeto o de ser tocado. [51]

- Sentido de localización: Relacionada con la sensación de ser el avatar y estar en un determinado punto dentro de la representación virtual. [51]
- Enriquecimiento multimedia: Provee al usuario la sensación de presencia por medio de estimulaciones visuales producidas por eventos dentro del entorno virtual (ej.: movimiento de la vegetación para simular el viento o la presencia de algún animal). [52]
- Usabilidad percibida: Asociada directamente a la experiencia del usuario, en cuanto a las dificultades de navegación, interacción, aprendizaje y la efectividad, compromiso, diversión y motivación producida por la simulación. [53] [54]

Estímulo de Contenido: cuando está asociado a la intención con la que se elabora la experiencia.

- Aprendizaje y entrenamiento: Generación de simulaciones de situaciones reales, donde el usuario debe realizar tareas individuales o en conjunto con la finalidad de aprender conceptos o nuevas habilidades. [55]
- Psico y fisio terapia: Creación de entornos controlados pensados para el tratamiento psicológico (ej.: fobias) y/o fisiológico (ej.: fisioterapia de restauración de movilidad luego de un trauma). [56]
- Viajes y turismo virtual: Diseño de ambientes virtuales de lugares turísticos y/o históricos factibles de visitar sin la necesidad de trasladarse físicamente con la posibilidad de agregar información adicional como: recomendaciones, puntos de interés e información en general. [57]
- Simulación interactiva: Orientada al comercio, otorgando la posibilidad al usuario de “probar” cosas, recreando la experiencia más allá de imágenes estáticas. [51]
- Juegos: Generación de experiencias que generen estimulación/excitación moderada en los usuarios, varían según las mecánicas, dinámicas y estéticas en particular, además pueden ser colaborativos o competitivos. [58] [59] [60]
- Diseño Arquitectónico o Ingenieril: Desde planos hasta la construcción y/o reconstrucción de sitios completos, permiten visualizar estructuras o recuperar espacios históricos. [61]

Dimensión 2: Organismo

Son las reacciones del usuario durante su experiencia. Pueden ser:

Reacciones Cognitivas:

- Inmersión: La creencia de que el usuario está dentro del entorno virtual, puede ser física, cuando los movimientos de cabeza o hápticos tienen una respuesta similar dentro de la simulación, o mental cuando el entorno logra un compromiso en la atención del participante. [62] [63]
- Presencia: Cuando la inmersión provoca un compromiso con la simulación, pero la misma no es total. [62]
- Flujo/control: Cuando la inmersión es tal que existe una “disociación” del entorno real. [62]
- Sensación de “estar ahí”: Asociado a la percepción por parte del usuario de realmente estar en el entorno virtual. [63]
- Sensación de “ser el avatar”: La percepción del usuario de que el avatar es su persona. [63]

Reacciones Afectivas:

- Placer: El grado de placer o desagrado que evoca el entorno virtual. [57]
- Excitación: La intensidad en la que el usuario demuestra el grado de placer o desagrado respecto al estímulo provocado por el entorno virtual. [57]
- Dominio: La capacidad de controlar o dominar las emociones provocadas por la simulación. [57]
- Emociones Positivas/Negativas: El usuario disfruta o rechaza los estímulos positivos y negativos dentro del entorno virtual, lo. [46]

Dimensión 3: Respuesta

Son las respuestas positivas y negativas al uso de la tecnología.

Respuestas Positivas:

- Efectividad de aprendizaje: En que grado colabora con un aprendizaje efectivo del usuario. [54]
- Compromiso de aprendizaje: Del usuario con los eventos propuestos en el entorno virtual. [55]

- Actitud de aprendizaje: Sensación o sentimiento de agrado o desagrado frente a la propuesta. [64]
- Eficiencia en las tareas: La capacidad de comprender y realizar las actividades propuestas dentro del entorno virtual. [65]
- Reducción de síntomas de enfermedad: Por medio de la distracción generada por el entorno virtual (ej.: tratamiento contra el dolor, ansiedad o estrés). [66] [67]
- Intención de uso: Normalmente asociado al placer que produce el utilizar la simulación y la motivación intrínseca de realizar las actividades propuestas por la misma. [47] [68]

Respuestas Negativas:

- Motion sickness: Mareos, dolores de cabeza y vómitos producidos por un desajuste sensorial provocado por la incapacidad del cerebro de disociar el movimiento (o la falta del mismo) en el mundo virtual con su contraparte en el mundo físico. [2]
- Incomodidad física: Producido por el mismo peso de los dispositivos, relacionado a la cantidad de tiempo en que el usuario sostiene tanto el visor como los mandos. [49], [69]
- Sobrecarga cognitiva: Generada por la cantidad de información proyectada en la pantalla, la cual puede tornarse molesta debido al poco espacio disponible. [69]
- Distracción: Puede provocar que el usuario se abstraiga al nivel de ignorar el mundo físico. [70]

2.3.4 Agencia (nivel de interactividad) en Realidad Virtual

- Imágenes o Videos 360: Espectador estático pasivo. Mira alrededor sin capacidad de movimiento.
- Videos 360 con Teletransportación: Movimientos limitados dentro de un área específica.
- Entornos Inmersivos: Libertad de movimiento con interacción limitada sobre algunos objetos.
- Entornos Totalmente Inmersión: Agrega al anterior la capacidad de mover, construir o destruir dentro del mundo virtual.

2.3.5 Dispositivos

- Head Mounted Displays (HMDs): Cascos o visores.
- CastAR: Lentes de RA
- CAVE: Cuevas o domos

2.3.6 Grados de Libertad (Degrees of Freedom – DoF)

Los grados de libertad hacen referencia a la cantidad de movimientos que puede ejecutar un objeto estático en un espacio de tres dimensiones. Existen en total 6 grados de libertad que pueden explicar todos los movimientos posibles (Figura 3): [71]

- Para el movimiento rotacional en las coordenadas de los ejes “x”, “y” y “z”.
- Para la traslación en los mismos ejes, que se traducen en movimientos hacia adelante, atrás, izquierda, derecha, arriba y abajo.

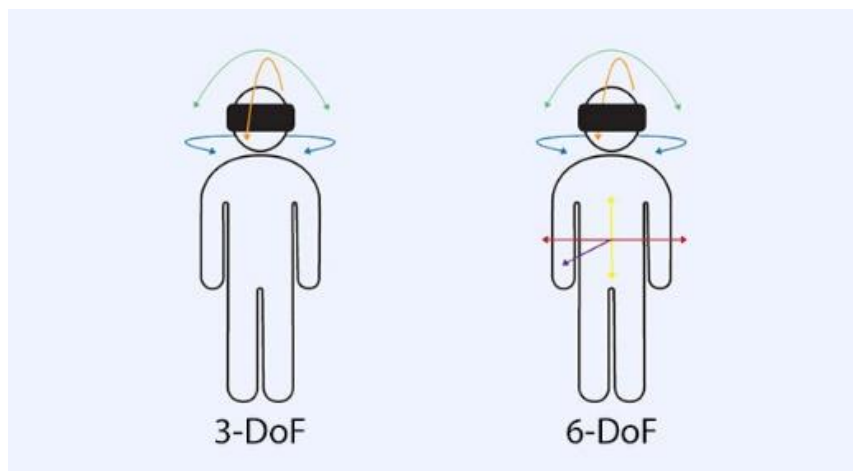


Figura 3 - Imagen que muestra la diferencia entre los 3 DoF y los 6 DoF para un visor de realidad virtual. [71]

Los visores de realidad virtual o sus periféricos (de acuerdo con su tecnología) pueden ser de 3 o 6 DoF. [71]

- 3 DoF: Permiten movimientos rotacionales, pero no traslacionales. Esto se traduce en la posibilidad de mirar a los lados y rotar la cabeza arriba, abajo y a los lados.
- 6 DoF: Permiten movimientos rotacionales y traslacionales, imitando el tipo de movimiento que se haría en el mundo real.

2.3.7 Evolución histórica de la Realidad Virtual y sus dispositivos

La historia de la realidad virtual tiene sus orígenes en el artefacto creado por Charles Wheatstone en 1838, conocido como “estereoscopio” (Figura 4), el mismo constaba de dos espejos para generar la ilusión óptica y una imagen realizada a mano ya que hasta el

momento no se contaban con fotografías. David Brewster añadió unas lentes al estereoscopio en 1849, logrando diseñar un dispositivo de menor tamaño. Se fabricaron más de 250.000 unidades que se repartieron a todo el mundo. [72]

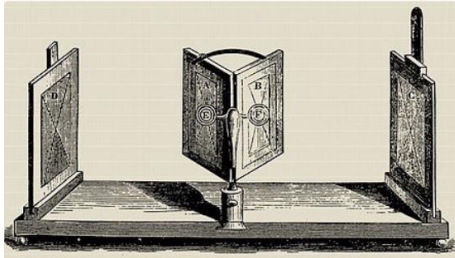


Figura 4 - Dibujo del estereoscopio de Sir Charles Wheatstone (Barambones, J. 2016)

2.3.7.1 - 1860: Gafas Estereoscópicas

En 1860, Oliver Wendell Holmes, inventó las primeras gafas de realidad virtual, similar a las que se conocen hoy en día (Figura 5). Holmes nunca patentó el producto ya que, en sus palabras “no hay ningún nuevo principio implicado en su construcción”. El diseño de Holmes era mucho más sencillo, lo que abarató su fabricación. Lo mismo ocurrió con el Google Cardboard lanzado en 2014. [72]



Figura 5 - Stereoscopio de Holmes. Está datado entre 1900 y 1910.
Imagen disponible en: <https://www.coleccioncrovetto.com/home/otros-instrumentos-opticos/estereoscopio>

Fue a partir de 1851, en el que la reina Victoria, en la exposición universal que se celebró en Londres, se mostró muy interesada en la fotografía estereoscópica, que estos aparatos empezaron a ser muy populares en toda Europa. Holmes lo introduciría en Estados Unidos, creando su propia línea de producción, estando muy de moda su uso hasta casi los años 20. [73]

2.3.7.2 - 1891: Anáglifo

En 1891, Louis Ducos du Hauron, inventa el “anáglifo” (Figura 6), unas gafas provistas de cristales de diferentes colores, en este caso uno rojo y otro cian, más adelante se intercambiaría el cian por el verde. El fenómeno de visión estereoscópica se lograba a través de una imagen a la que se sobrepone dos capas de color ligeramente desplazadas,

lo que los anáglifos hacen es absorber las ondas de color rojo o cian y dejan pasar las demás (como se cita en Noguera Paláu, 2013). [74]

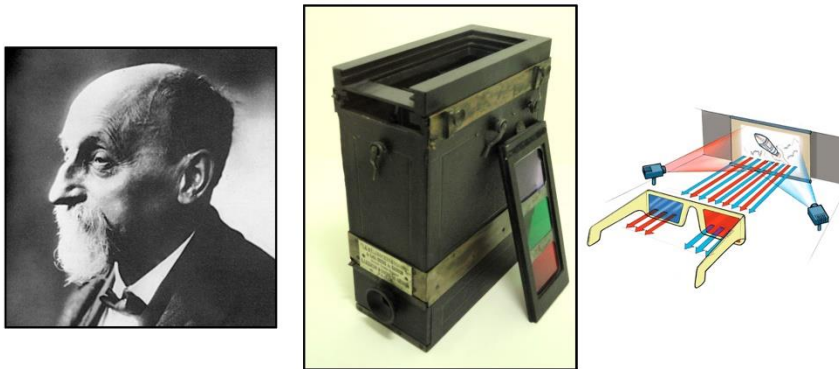


Figura 6 - Louis Ducos du Hauron: inventor del 3D anaglifo. Imagen disponible en: <https://kinofilmsmagazine.wordpress.com/2012/10/03/historia-de-la-estereoscopia-parte-2-los-pioneros>

2.3.7.3 - 1897: Quinetoscopio o Kinetoscopio

En 1897, (a pesar que algunos autores adjudican el invento al año 1880 por su relación con el zoopraxiscopio⁶) Thomas Alba Edison junto con William Dickson idearon una máquina capaz de reproducir imágenes continuamente (película) junto con un fonógrafo para reproducir los sonidos asociados a la misma y lograr una experiencia inmersiva para el usuario en un aparato individual (Figura 7). Actualmente es considerado el precursor del cinematógrafo inventado por los hermanos Lumiere (como se cita en Sánchez Mendoza, 2016). [74]

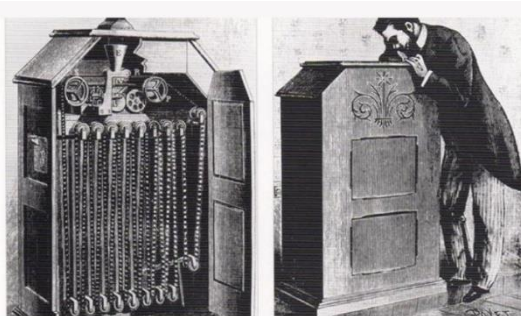


Figura 7 - Quinetoscopio o Kinetoscopio o cinetoscopio. Imagen disponible en: <https://www.monsuton.com/kinetoscopio/>

2.3.7.4 - 1939: View-Master

Entre 1939 y 1944, se comercializa el View-Master, un popular dispositivo para visualizar estereogramas a través de micro transparencias (Figura 8). Comenzó como un

⁶ Zoopraxiscopio: dispositivo pre-cinematográfico creado por Eadweard Muybridge en 1879 que consistía en la proyección de imágenes secuenciales que se encontraban en un disco de cristal. Definición disponible en: <http://proyectoidis.org/zoopraxiscopio/>

dispositivo para visualizar imágenes de interés turístico para luego transformarse en un simple juguete para niños. [75]



Figura 8 - El View-Master Model A fue producido entre 1938 y 1944. Estaba hecho de plástico Kodak Tenite, era muy liviano y era muy propenso a la deformación

2.3.7.5 - 1960: Máscara Telesférica

Creada en 1957 y patentada en 1960, Morston Heilig, inventó la “máscara telesférica” (Figura 9 y Figura 10), un dispositivo individual de visión estereoscópica. A partir de este objeto es que se considera realmente el nacimiento de la realidad virtual. [76]

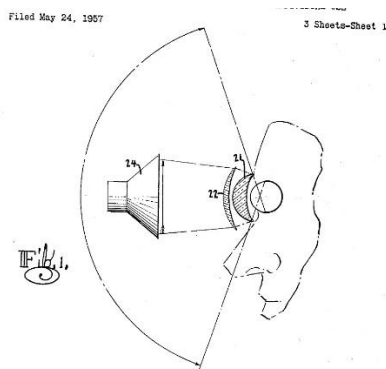


Figura 9 - Ejemplo águlo de visión. Figura 1 de la patente original. Imagen disponible en: <https://proyectoidis.org/mascara-telesferica/>

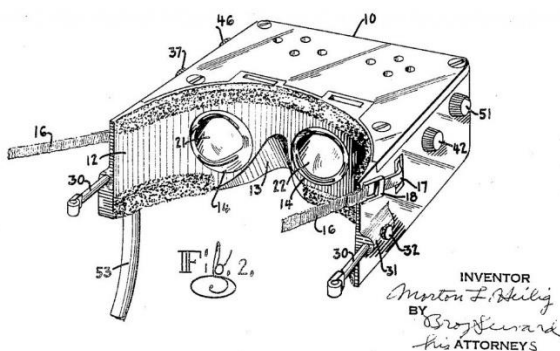


Figura 10 - Máscara telesférica. Figura 2 de la patente original. Imagen disponible en: <https://proyectoidis.org/mascara-telesferica/>

Su diseño es muy similar a los visores actuales, desde su marco ligero pensado para la visión periférica hasta el ajuste de posición y foco de los lentes. El aparato además contaba con un par de parlantes que soportan sonido estéreo y biaural, ubicados en la propia correa que podía ser ajustada de la misma manera que los lentes, para una escucha más confortable y clara. [77]

Luego lanzó el sensorama (Figura 11 y Figura 12), una máquina de proyección individual de películas en 3D con visión widescreen⁷, en pantalla color con sonido estéreo. Además de proporcionar difusión de aromas, vientos y vibraciones para simular movimientos.

⁷ Widescreen: Pantalla amplia. Traducción provista por el autor.



Figura 11 - Publicidad del Sensorama. Disponible en: <https://proyectoidis.org/sensorama/>



Figura 12 - Morton L. Heilig, Inventor of Sensorama portando la cámara con la que generaba las películas

2.3.7.6 - 1965: Espada de Damocles

Iván Sutherland propone las bases teóricas para un sistema multisensorial generado por computadora (Figura 13) en su trabajo denominado “The Ultimate Display” en el que aparece por primera vez el término “Realidad Virtual” [74]. Un año más tarde, inventa el primer dispositivo HMD (por sus siglas en inglés Head Mounted Display) o casco visor (Figura 14), llamado Espada de Damocles, debido a su peso. [72] Un sistema de visualización de dos pantallas sostenido desde el techo por medio de un brazo mecánico articulado, terminando en un casco para la cabeza del usuario. [74]

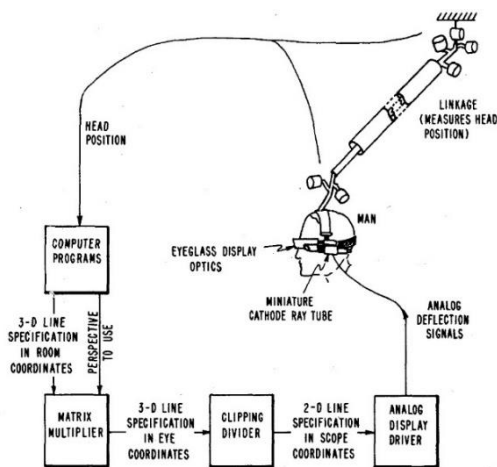


Figura 13 - Descripción del funcionamiento de la del HMD. Imagen disponible en: <https://proyectoidis.org/espada-de-damocles/>

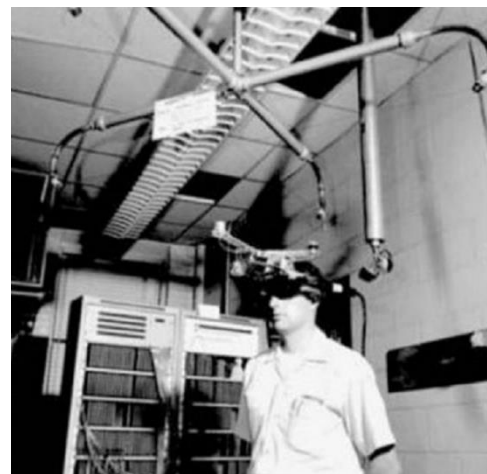


Figura 14 - Ivan Sutherland probando el dispositivo. Imagen disponible en: <https://proyectoidis.org/espada-de-damocles>

2.3.7.7 - 1980: CrystalEye

Una modificación de Lenny Lipton sobre las gafas inalámbricas activas que incorporan obturadores sincronizados con la frecuencia de actualización de la pantalla mediante un enlace inalámbrico propuestas por Hope en 1971, nunca comercializadas, en donde se reemplaza las ondas de radio (original) por ondas infrarrojas (Figura 15). Consistían en un paquete compacto de electrónica y electro-óptica. Un sensor infrarrojo en las gafas recibe señales de sincronización de un emisor de IR estacionado cerca del monitor. [78]



Figura 15 - CrystalEye. Imagen disponible en:
<https://lennylipton.wordpress.com/2010/03/18/how-shuttering-eyewear-came-to-be/>

2.3.7.8 - 1975: Videoplace

La primera plataforma de realidad virtual, hacía uso de gráficos generados por computadora, cámaras de video para el seguimiento del usuario y pantallas para mostrar el contenido. No disponía de un visor, ya que las pantallas envolvían al usuario generando la experiencia de realidad virtual. El participante podía ver una silueta digital imitar sus movimientos e interactuar con el entorno u otros usuarios ubicados en otros lugares (Figura 16). [79]

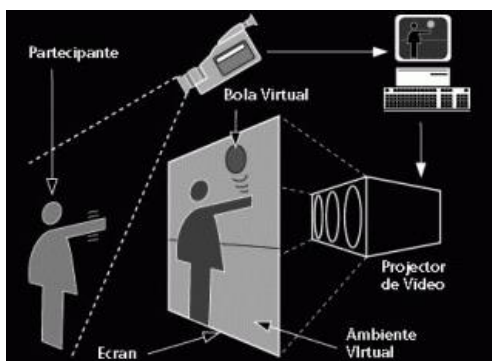


Figura 16 - Esquema del funcionamiento del Videoplace.[79]

2.3.7.9 - 1977: Aspen Movie Map

Creado por el Massachusetts Institute of Technology (Instituto Tecnológico de Massachusetts, MIT por sus siglas en inglés). Permitió la visita de la ciudad de Aspen en Colorado, similar al sistema Google Street View. No hacía uso de un visor, el usuario debía ubicarse frente a diferentes pantallas táctiles y seleccionar su destino (Figura 18). Michael Naimark, su creador (Figura 17), fue un visionario al afirmar que la realidad virtual algún día transportaría a los usuarios a otros lugares. [79]



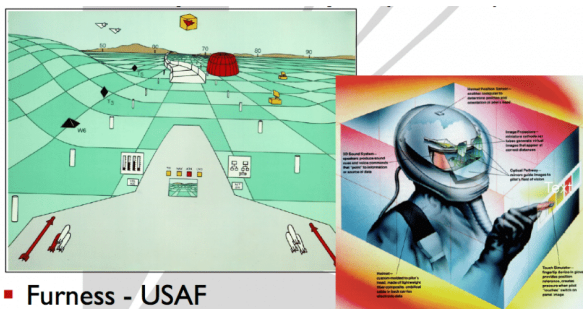
Figura 17 - Michel Naimark mostrando el prototipo de Aspen MovieMap.[80]



Figura 18 - Imagen promocional del Aspen MovieMap.[80]

2.3.7.10 - 1980: SuperCockpit

De la mano de Thomas Furness nace “SuperCockpit” un simulador de vuelo (Figura 19) que permitía a un piloto controlar un avión utilizando gestos, palabras o movimientos oculares. Provisto de una cabina en la cual se proyectaban mapas tridimensionales, imágenes infrarrojas y de radar, y datos de aeronáutica en un espacio tridimensional y en tiempo real (Figura 20). [81]



■ Furness - USAF

Figura 19 - Prototipo del Super Cockpit. Imagen disponible en: <https://www.slideshare.net/marknb00/the-reality-of-augmented-realityare-we-there-yet>

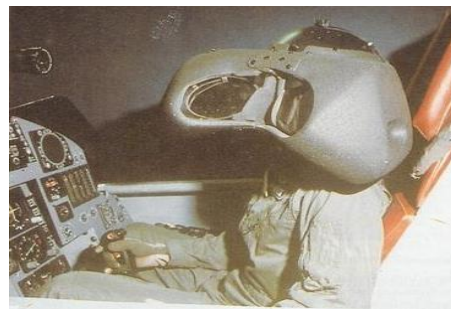


Figura 20 - Super Cockpit o VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator). Imagen disponible en: <https://www.tomshw.it/altro/1982-il-super-cockpit/>

2.3.7.11 - 1985: View de NASA

La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, mejor conocida como la NASA fue pionera en la presentación pública de unas gafas VR. Constaba de dos

pantallas LCD⁸ con un ángulo de visión de 120°, un control de voz y reconocimiento de movimientos, gestos y orientación espacial por medio de la incorporación de guantes y sensores adheridos a un traje (Figura 21). [81]



Figura 21 - View de la NASA. Imagen disponible en:
<https://www.deusens.com/hitos-historia-realidad-virtual/>

2.3.7.12 - 1987: EyePhone

Un especialista en informática, músico y escritor, Jaron Lanier, quien se atribuye la popularización del término Realidad virtual, funda la compañía VPLResearch, la primera en vender productos de realidad virtual. [82]

El EyePhone es un visor inmersivo de realidad virtual (Figura 22). Para lograr la inmersión cada pantalla proyecta una imagen diferente que otorga la sensación de profundidad (dicho método aún sigue vigente). Adicionalmente cuenta con un guante llamado DataGlove (Figura 23) que permite interactuar con los objetos virtuales. [83]



Figura 22 - Jaron Lanier probando el EyePhone.[83]



Figura 23 - Chad Leeper de Hewlett-Packard probando el DataGlove.[84]

2.3.7.13 - 1987: Star Trek Holodeck

La serie de televisión “Star Trek The Next Generation” dio a luz al holodeck (Figura 24), dándole al mundo una idea visual y concreta de cómo podría ser la realidad virtual. [85]

⁸ Sigla del inglés *Liquid Cristal Display*, 'representación visual por cristal líquido', sistema que utilizan determinadas pantallas electrónicas para mostrar información visual. Traducción: Google Dictionary

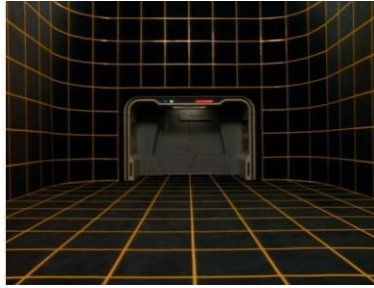


Figura 24 - Holodeck de Star Trek, una habitación preparada para proyectar escenarios totalmente inmersivos e interactivos. Imagen disponible en: <https://www.tomshw.it/altro/1987-star-trek-holodeck/>

2.3.7.14 - 1989: Nintendo PowerGlove

En 1989, Nintendo saca a la venta su guante de realidad virtual Power Glove, desarrollado por Tom Zimmerman y Jaron Lanier (Figura 25). Tenía la capacidad de reconocer 256 posiciones para cada dedo, igualmente limitados para la época en conjunto con la poca oferta de juegos compatibles. [85]

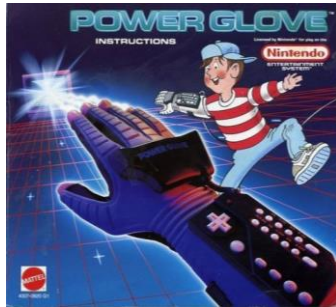


Figura 25 - Publicidad del PowerGlove. Imagen disponibles en: <https://www.tomshw.it/altro/1989-nintendo-power-glove/>

2.3.7.15 - 1991: Virtuality 1000CS

En 1991, el furor por la realidad virtual motivó a la construcción del Virtuality 1000CS basado en un Amiga 3000, el cual contaba de un visor, auriculares, un joystick 3D y una plataforma para el movimiento del usuario (Figura 26). Su alto costo lo llevó al fracaso (alrededor de los u\$s 60,000). [85]



Figura 26 - Virtuality 1000CS. Imagen disponible en: <https://www.tomshw.it/altro/1991-virtuality-1000cs/>

2.3.7.16 - 1993: SegaVR

En 1993, SEGA presenta el SEGA VR con un visor cómodo provisto de dos pantallas LCD y sensores para medir el movimiento, con un costo de u\$s 200, pero nunca salió al mercado debido a que el proyecto desarrollo de videojuegos compatibles con el dispositivo fue cancelado (Figura 27). [85]



Figura 27 - SEGA VR. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1993-sega-vr/>

2.3.7.17 - 1995: Virtual IO i-glasses

En 1995, salen al mercado las gafas Virtual IO i-glasses, cuya resolución de 920K pixeles le permitía mostrar imágenes 3D estereoscópica verdaderas en una proyección de 80 pulgadas (Figura 28). Utilizaba conexiones de Audio/Video compuestas y también podía ejecutar algo de contenido de realidad virtual. [85]



Figura 28 - Virtual IO i-glasses. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1995-virtual-io-i-glasses/>

2.3.7.18 - 1995: Forte VFX1

EN 1995, salieron al mercado las gafas Forte VFX1 un visor de realidad virtual con una interfaz para controlar juegos (Figura 29). Se conectaba a una computadora con DOS⁹ o Windows 95 Hizo uso de dos pantallas LCD y dio a los usuarios una imagen 3D

⁹ MS-DOS son las siglas de MicroSoft Disk Operating System (Sistema Operativo de Disco de MicroSoft) y es el nombre de uno de los sistemas operativos para sistemas informáticos basados en una arquitectura x86 y diseñados por la empresa norteamericana de software Microsoft. Se le conocía popularmente como DOS.
Fuente: <https://concepto.de/ms-dos/#ixzz6C4iJZf76>

estereoscópica. Se conectó a PC con DOS o Windows 95, pudiendo además controlar los movimientos del mouse con la cabeza. [85]



Figura 29 - Gafas Forte VFX1. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1995-forte-vfx1/>

2.3.7.19 - 1995: Nintendo VirtualBoy

En 1995, Nintendo lanzó al mercado una consola con forma de casco VR llamada Virtual Boy, con una pantalla monocromática en rojo que provocó mareos y náuseas de varios usuarios (Figura 30). SU peso, no solo lo hacía incómodo, sino que también poco portátil. El virtual Boy fue el segundo fracaso en materia de realidad virtual para la compañía japonesa. [85]



Figura 30 - Nintendo Virtual Boy. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1995-nintendo-virtual-boy/>

2.3.7.20 - 1996: Sony Glasstron

En 1996, Sony lanza al mercado sus gafas Sony Glasstron, similares a los i-glasses, funcionaba con conexiones de Audio/Video (Figura 31). Con la diferencia en el tamaño de la pantalla proyectada, de tan solo 52 pulgadas frente a las 80 de su predecesor. [85]



Figura 31 - Sony Glasstron. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1996-sony-glasstron/>

2.3.7.21 - 1997: Philips Scuba VR

Así como Sony imitó las i-glasses, Philips decidió seguir los pasos del Forte VFX1 con un producto diseñado para funcionar en un principio con el Atari Jaguar, pero finalmente lo hizo con Microsoft Windows (Figura 32). Constaba de dos pantallas LCD y la capacidad de controlar el mouse de la computadora como el VFX1. Era compatible con una amplia gama de títulos. [85]



Figura 32 - Philips Scuba VR. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1997-philips-scuba-vr/>

2.3.7.22 - 1998: IIS VFX3D

En 1998, vio la luz el visor VFX3D que no solo permitía el movimiento en los ejes “x” e “y” sino que incorpora el eje “z”, que si bien no era de gran utilidad para controlar el mouse de una computadora si lo era a la hora de utilizarse dentro de los videojuegos (Figura 33). [85]



Figura 33 - Visor IIS VFX3D. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/1998-iis-vfx3d/>

2.3.7.23 - 2002: PUD-J5A headset de Sony

Lanzado en 2002 y disponible solo en Japón, el auricular Sony PUD-J5A trajo realidad virtual a la Playstation 2 (Figura 34). El auricular presenta auriculares ajustables sobre la oreja; una pantalla ajustable montada en la cabeza; manuales; y una caja de control con video, USB y entradas de alimentación. [86]



Figura 34 - Sony PUD-J5A. Imagen disponible en:
<https://www.digitalgamemuseum.org/sony-pud-j5a-virtual-reality-headset/>

2.3.7.23 - 2005: eMagin Z800

Luego de mucho tiempo, la realidad virtual volvió a surgir, en 2005 se fabricó el eMagin Z800, con el cual se podía mostrar video en dos o tres dimensiones (Figura 35). Poseía la desventaja de necesitar la conexión mediante USB para interactuar con una computadora. [85]



Figura 35 - eMagin Z800. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/2005-emagin-z800/>

2.3.7.24 - 2011: Vuzix Wrap VR1200

En 2011, la empresa Vuzix, dueña de varios visores RA y RV, saca al mercado un HMD similares a unas gafas de sol, el Wrap VR1200. Su peso de 85 gr, capacidad de seguimiento de la cabeza y visión estereoscópica marcó el posible regreso de la realidad virtual (Figura 36). [85]



Figura 36 - Vuzix Wrap VR1200. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/2011-vuzix-wrap-vr1200/>

2.3.7.25 - 2011: Tobii Eye Tracking

En 2011, Tobii presentó dos productos con tecnología de seguimiento ocular. Uno incorporado en notebooks y otro como periférico (Figura 37). Los seguidores oculares de Tobii utilizan un modelo 3D único y muy preciso del ojo humano particularmente beneficioso para las personas que no controlan los movimientos de la cabeza (Figura 38). [87]

Desde entonces, el producto se ha extendido a través de múltiples sistemas, y los videojuegos ofrecen nuevos controles personalizados para la interfaz. Algunos auriculares VR están comenzando a integrar la tecnología de seguimiento ocular. [85]

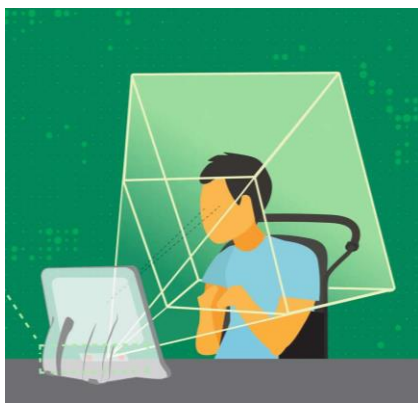


Figura 37 - Funcionamiento del Tobii Dynabox. Imagen disponible en: <https://www.tobiidynavox.com/es/sobre-tobii-dynavox/sobre-nosotros/como-funciona-seguimiento-ocular/>



Figura 38 - Un usuario con cuadriplegia utilizando el sistema Tobii Dynabox. Imagen disponible en: <https://www.tobiidynavox.com/es/sobre-tobii-dynavox/sobre-nosotros/como-funciona-seguimiento-ocular/>

2.3.7.26 - 2011: Iphone Virtual Reality Viewer

En 2011, Apple lanza unas gafas de realidad virtual para sus smartphones, similar a las ViewMaster pero para los iPhones. Con una montura de SLR y provisto de dos lentes biconvexas permitieron al usuario ver imágenes o videos 3D (Figura 39). [88]



Figura 39 - iPhone Virtual Reality Viewer. Imagen disponible en: <https://www.trendhunter.com/trends/iphone-virtual-reality-viewer>

2.3.7.27 - 2012: Oculus Rift (prototipo)

Un visor autónomo, de la empresa Facebook (actualmente Meta), con una resolución de 1080x1200 en un campo de visión de 87° a una frecuencia de 90 Hz (Figura 40). Utiliza un sistema externo de seguimiento con controles de 6DoF (grados de libertad). [89]



Figura 40 - Oculus Rift.[89]

2.3.7.28 - 2014: Google Cardboard

Un visor de cartón (Figura 41) para ser usado con un dispositivo móvil compatible (sistema operativo Android y sensor giroscópico). Es el más sencillo de la gama y precursor de las gafas “asequibles” (Figura 42). A pesar de su sencillez, la amplia gama de aplicaciones disponibles, permiten vivir experiencias en realidad virtual al alcance de cualquier persona. [79]



Figura 41 - Google Cardboard. [90]

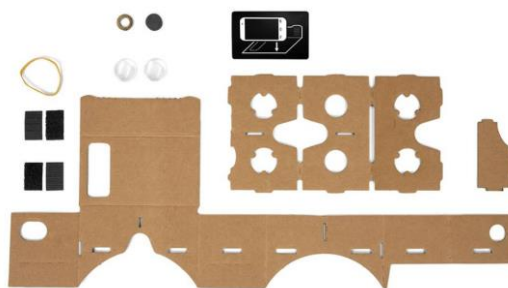


Figura 42 - Componentes del Google Cardboard. [91]

2.3.7.29 - 2015: Oculus CV1

En 2015, Palmer Luckey a través de su compañía Oculus VR presenta sus gafas Oculus Rift, las mismas funcionan conectadas a una computadora, su visor cuenta con dos pantallas OLED¹⁰. Además, posee un mando de Xbox One, método de control principal para los títulos en el lanzamiento y un mando de control remoto Oculus Remote, el seguimiento se realiza a través de un sensor infrarrojo (Figura 43). [85]

¹⁰ La sigla **OLED** proviene de la expresión inglesa *organic light-emitting diode*; es decir, “**diodo orgánico de emisión de luz**” o “**diodo de emisión de luz orgánica**”. Así se denomina al **diodo** fabricado con **materiales orgánicos** capaces de reaccionar frente a un estímulo eléctrico. Definición disponible en: <https://definicion.de/oled/>



Figura 43 - Oculus CV1. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/2015-oculus-cv1/>

2.3.7.30 - 2015: HTC Vive DK1

En 2015, la compañía HTC asociada a Valve Corporation, presenta sus gafas HTC Vive DK1, similar al Oculus Rift (Figura 44). Sus ventajas frente a la competencia radican en la incorporación de una cámara externa para interactuar con el mundo real dentro del entorno virtual. Posee dos mandos remotos. El seguimiento se realiza por medio de estaciones base que incorporan sensores láser los cuales deben ser ubicados en esquinas opuestas de la habitación. Esta versión nunca salió al mercado. [85]



Figura 44 - HTC Vive DK1. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/2015-htc-vive-dk1/>

2.3.7.31 - 2015: Project StarVR

En 2015, La empresa StarVR lanza al mercado sus gafas de realidad virtual, que, a diferencia de sus competidores, hacen fuerte hincapié en el campo de visión $210^{\circ} \times 130^{\circ}$ grados frente a los $110^{\circ} \times 110^{\circ}$ disponibles actualmente (Figura 45). Asimismo, incorpora tecnología Tobii para el seguimiento ocular. [92]



Figura 45 - Visor VR del Project StarVR. Imagen disponible en:
<https://www.tomshw.it/altro/2015-project-starvr/>

2.3.7.32 - 2015: VRUnion Claire

En 2015, la empresa Checa VRUnion se une a la carrera de la realidad virtual con sus gafas Claire 22M. Con dos pantallas LCD IPS con un ángulo de visión horizontal de 170°, incorporando un sensor LeapMotion de la empresa Solarix para la interacción con el mundo real y el seguimiento de las manos deshaciéndose de los controles remotos (Figura 46). [93]



Figura 46- VRUnion Claire. Imagen disponible en: <https://www.tomshw.it/altro/2015-vrunion-claire/>

2.3.7.33 - 2015: Vrvana Totem

El tótem Vrvana es uno de los primeros HMD en utilizar la plataforma OSVR de código abierto. Tiene ángulos de visión de hasta 120 grados y tiene una pantalla OLED de 1440p (Figura 47). Uno de los objetivos de diseño del Totem es crear un dispositivo que ofrezca VR y AR. La idea es poder crear un mundo virtual y luego usar la realidad aumentada para darle forma según el entorno en el que se encuentra el usuario, para colocar objetos del mundo real dentro del juego.



Figura 47 - Vrvana Totem. Imagen disponible en: <https://www.tomshw.it/altro/2015-vrvana-totem/>

2.3.7.34 - 2015: Samsung Gear VR

Un visor lanzado por la empresa Samsung, para ser utilizado con sus teléfonos móviles de la gama S a partir del modelo S8 en adelante (Figura 48). Hace uso de las prestaciones propias del móvil y las aplicaciones disponibles en la Playstore de Google. [94]



Figura 48 - Samsung Gear VR.[94]

2.3.7.35 - 2016: HTC Vive Pre e Vive

Vive sería lanzado en 2015, finalmente lo hizo en 2016 debido a una importante mejora de hardware. En el CES 2016, HTC presentó Vive Pre con una construcción más refinada y un nuevo sistema "Chaperone" que activa la cámara de video del visor frontal (Figura 49).

HTC también ha introducido el sistema de corrección Mura que ayuda a corregir la deformación de la imagen en los bordes exteriores de la pantalla. Vive Pre es un kit de desarrollo que es muy similar al hardware final. La versión para el consumidor, cuyas entregas acaban de comenzar, tiene una correa para la cabeza ligeramente mejorada y mejores agarres en la parte inferior de los controladores. HTC Vive también interactúa con el teléfono a través de Bluetooth, lo que le permite aceptar llamadas y SMS sin quitar el visor. [85]



Figura 49 - HTC Vive con sus accesorios. [75]

2.3.7.36 - 2016: PlayStation VR

Unos visores para consola que asegura una experiencia inmersiva en detrimento de la calidad gráfica (Figura 50). Su configuración es compleja y su aspecto físico, aunque confortable, posee una gran cantidad de cables para hacerlo funcionar, lo que dificulta vivir una experiencia sin pensar en “romper algo”. Posee una resolución de 960 x 1080 (1 MP) por ojo y un campo de visión de 100°. Además, los ajustes ópticos permiten el alivio ocular. [95]



Figura 50 - Playstation VR. [96]

2.3.7.37 - 2018: Oculus Go

Un visor autónomo, de la empresa Facebook (actualmente Meta), con una resolución de 1280x1440 en un campo de visión de 89° a una frecuencia de 60 Hz (Figura 51). Utiliza un sistema no posicional de seguimiento con 3DoF (grados de libertad). [97]



Figura 51 - Oculus Go. [97]

2.3.7.38 - 2019: Oculus Quest 1

Al igual que las gafas Oculus GO, es un visor autónomo, de la empresa Facebook (actualmente Meta), con conexión a internet (Figura 52). Este tipo de visores son más económicos y fáciles de utilizar que aquellos que dependen de una conexión con una computadora para funcionar. [79] Posee una resolución de 1440 x 1600, con un campo de visión de 93° a una frecuencia de 72 Hz (la cual ha cambiado a 120 Hz con la última actualización liberada). [97]



Figura 52 - Oculus Quest 1.[79]

2.3.7.39 - 2019: Nintendo Labo: VR kit

Una oferta de la empresa Nintendo, un kit de cartón para armar dispositivos contenedores para su consola Nintendo Switch con diferentes funcionalidades. El equipo viene con instrucciones para ser armados por el usuario (Figura 53). Cabe destacar que se trata de un simple cardboard que hace uso de las bondades de la consola para modificar el tipo de experiencia ofrecida y competir en el mercado de la realidad virtual. [98]



Figura 53 - Imagen promocional del Nintendo Labo: VR kit.[98]

2.3.7.40 - 2020: Pico G2 4K

Realizado por la empresa Pico (6th en el mercado de realidad virtual). Es un visor autónomo con un seguimiento no posicional de 3 DoF (grados de libertad) de resolución 1920x2160 a una frecuencia de 75 Hz (Figura 54). Con función “sin controles” para usarlo por medio del seguimiento de ojos y controlar la interfaz. Además, posee el modo “kiosk” que permite la ejecución dedicada mejorando la performance. [99]



Figura 54 - Visor Pico G2 4K [99]

2.3.7.41 - 2020: Oculus Quest 2

Un visor autónomo de la empresa Facebook (actualmente Meta), con una resolución de 1832x1920 a una frecuencia de 120 Hz con un ángulo de visión de 97° (Figura 55). Posee controles con 6 DoF (grados de libertad) además de un sistema de seguimiento de ojos y manos que incluye 4 cámaras blanco y negro. [100]



Figura 55 - Oculus Quest 2. [100]

2.3.7.42 - 2023: Playstation VR 2

Un visor con visión de 360 grados y una pantalla OLED personalizada e imágenes fluidas de 120 fps para generar una inmersión completa en tus juegos. Sonido 3D que permiten identificar la dirección y la distancia al punto de origen. Además, posee un micrófono integrado para chatear con otros usuarios (Figura 56). [101]

Admiten retroalimentación háptica, seguimiento ocular, 4K HDR, representación foveada (por campo de visión activa) y un campo de visión de 110 grados a 90Hz y 120Hz y una pantalla OLED de resolución 2000 x 2040. [102]



Figura 56 - Playstation VR 2. [101]

2.3.7.43 – 2023: Pico 4 Pro

Visor autónomo con una resolución de 2160x2160 a 90 Hz con un campo de visión de 105° (Figura 57). Incluye controles de 6 DoF (grados de libertad), un sistema de seguimiento del movimiento ocular y de las manos, además del renderizado dinámico por campo de visión actual. [103]



Figura 57 - Visor Pico 4 Pro. [103]

2.3.7.44 - 2023: Meta Quest Pro

Un visor autónomo de la empresa Meta, con una resolución de 1800x1920 a una frecuencia de 90 Hz con un ángulo de visión de 106° (Figura 58). Posee controles con 6 DoF (grados de libertad) además de un sistema de seguimiento de ojos y manos que incluye 5 cámaras color. [104]



Figura 58 - Visor Meta Quest Pro.[104]

2.4 Motores de Realidad Virtual

El desarrollo de una aplicación como soporte a la reconstrucción de un escenario virtual implica el trabajo sobre un Framework¹¹ especializado, del cual existen en el mercado unos pocos reconocidos por los desarrolladores profesionales. Autores como Gregory (2015, p. 43) y Šmíd (2017, p. 5) citados por [2], consideran algunos estándares comunes en motores de videojuegos, como ser:

- Multiplataforma: Para que el producto finalizado esté listo para ejecutarse en diversos sistemas operativos.
- Middleware o software de terceros: SDKs (Software Development Kit) o API (Application Programming Interface) desarrollado con funcionalidades como OpenGL para gráficos y Vuforia para realidad aumentada.
- Colisiones físicas (rigid body dynamics): Interpenetración e interacción entre objetos virtuales como fricciones y golpes.

¹¹ Framework: Marco de Trabajo o Entorno de desarrollo.

- **Animación:** Sistema que edita, reproduce y codifica parámetros como posición y rotación de objetos digitales.

En [105], se ofrece una lista de los motores de videojuegos más populares existentes en el mercado (Tabla 1), clasificados según su licencia en: Free and Open Source (de código abierto y gratuito), Freeware (sin costo con limitaciones) y Propietario (su licencia implica restricciones en su uso, modificación y/o distribución).

Tabla 1 - Motores de desarrollo según su licencia.

Licencia	Motores de desarrollo
Free & Open Source	Aleph_One – Blender – Box2D – Build_engine – Crystal_Space – Genesis3D – id Tech – OpenSceneGraph – Panda3D – Axiom Engine – Cube – Delta3d – Flexible Isometric_Free Engine – PixelLight – Quake Engine – Sccond Life
Freeware	Adventure Game Studio – DX Studio – Unity 3D – Unreal Engine
Propietario	Bork 3D Game Engine – BigWorld – Source engine – Enigma Engine – Freescape (1986) - id Tech 4 (“Motor Doom 3”) – Infinitv Engine – RAGE – Brender – DX Studio - M.U.G.E.N. – Q (game engine) – Scaleform – Zillions of Games

Nota 1 - Adaptación de las tablas propuestas por [74]

2.5 Realidad Virtual y la Reconstrucción del Patrimonio Cultural

El acceso a los diferentes formatos de patrimonio histórico cultural requiere diferentes formas de personalización, ya sea que se esté hablando de museos o sitios históricos, y más aún cuando éstos no representan en la actualidad lo que acostumbraban ser en su época de apogeo.

La Realidad Virtual como técnica de reconstrucción, es una solución prometedora para poder traer a la vida nuevamente a aquellos lugares que por diferentes motivos fueron perdiendo su encanto a través de los tiempos y que hoy son considerados de gran importancia para el acervo socio cultural de los pueblos.

2.6 Ciudad de Apóstoles

La Ciudad de los Santos Apóstoles Pedro y Pablo, se encuentra a solo 5 km de la provincia de Corrientes. Su acceso es la ruta Provincial 1 (Av. Primeros Colonos), al norte luego de San José pasa a ser la ruta Nacional 105, que se extiende hasta la ciudad de Posadas (Capital de la Provincia), y al sur se comunica con Azara. Hacia el este se convierte en la ruta Provincial 10, conectándola con Concepción de la Sierra, y al oeste con Estación Apóstoles y Colonia Liebig.

La ruta Provincial 202 la conecta con Tres Capones y la ruta Provincial 201, que luego se convierte en la Ruta Provincial 3 la comunica con Cerro Azul (Figura 59). Conocida como “la ciudad de las flores” o “capital de la yerba mate” debido a la alta producción de la materia prima. [106]

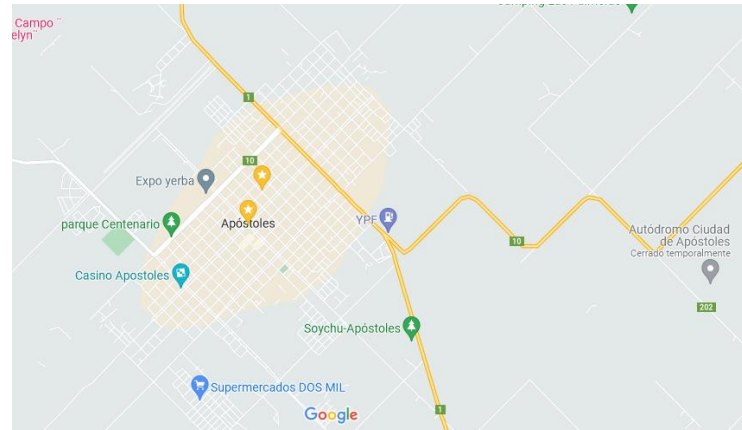


Figura 59 - Ubicación geográfica de la Ciudad de Apóstoles (Google Maps)

2.6.1 Historia

El Padre Pedro Alfaro fundó el 8 de septiembre de 1633, un pueblo al que llamó Natividad. Ubicado en la orilla derecha del río Uruguay, en la sierra del Tape, territorio hoy brasileño. En 1638, luego del ataque de los mamelucos, los pobladores lo abandonaron y cruzaron a la orilla izquierda del río Uruguay, refundando el pueblo, pero esta vez con el nombre de Los Santos Apóstoles Pedro y Paulo, en la orilla del Chimiray y al sur de la reducción de San José, es decir, en la locación actual. [107]

Pero antes de su nombre y locación definitiva se llamó “Príncipe de los Apóstoles” (1641), llevando este nombre por espacio de tres años, ubicándose la reducción entre las de San Javier y Santa María la Mayor. En 1644, se ubica transitoriamente entre las reducciones de Concepción y Santa María la Mayor y vuelve a cambiar de nombre a la reducción por el de “Santos Apóstoles Pedro y Pablo”, que será apocopado simplemente como Apóstoles. [107]

Recién en 1652, la reducción de Apóstoles se asienta definitivamente en el sitio en que actualmente se encuentra la ciudad de igual nombre. [107]

2.6.2 Batalla de Apóstoles

La Batalla de Apóstoles fue el enfrentamiento ocurrido el 2 de julio de 1817, en el marco de la Invasión Luso-Brasileña, también conocida como Invasión Portuguesa de 1816, Guerra contra Artigas o Segunda Invasión Portuguesa de 1816.

El general portugués Chagas invadió las Misiones Orientales y luego, el territorio que actualmente es la provincia argentina de Misiones, sometiendo y destruyendo varios pueblos misioneros. Posteriormente se dirigió hacia el Cuartel General de Apóstoles, donde fue completamente derrotado por el general Andrés Guazurary. [108]

Al anoecer de aquel 2 de julio la Batalla de Apóstoles concluía con una victoria rotunda de las fuerzas del comandante Andrés Guazurary y sus lugartenientes y subordinados como: Pantaleón Sotelo, Nicolás Aripí, Nicolás Cristaldo, Francisco Javier Sití, Blas Basualdo y el apostoleño capitán Matías Abucú. [108]

La Batalla de Apóstoles no constituyó un hecho aislado. Es un episodio crucial que llena de gloria a las campañas militares del comandante Andresito, desarrolladas en el transcurso de los años 1815 y 1819. Forma junto a la Batallas de Candelaria, San Carlos, Saladas, Lomas de Caa Catí, San José, la pura expresión de la lucha desatada por el pueblo misionero contra la dominación extranjera y la defensa de los principios de la Libertad y la autonomía. [108]

Por lo expuesto anteriormente, es que es de suma importancia conocer acerca de la batalla y su contexto histórico, ya que recordarlo solamente en una fecha es minimizar su relevancia. Es por ello que, a través de este proyecto, se pretende poner a disponibilidad el acceso a los acontecimientos en cualquier momento y lugar.

Capítulo 3

Modelado de la solución.

3.1 Recursos Disponibles:

3.1.1 Hardware:

Debido a que el presente trabajo no forma parte de ningún proyecto de investigación perteneciente a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SecIP) de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales (FCEQyN) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), los recursos con los que se cuentan para su concreción son los que el autor ya dispone o cuya incorporación al proyecto no implica ningún costo adicional.

- Computadora:
 - Procesador Intel® Core™ i5-6600K CPU @3.50 GHz 3.50 GHz.
 - RAM 40 GB
 - Sistema Operativo: Microsoft Windows 10 de 64 bits.
 - Tarjeta de video: Nvidia GForce GTX 750ti
- Teléfono inteligente: Samsung A20 (SM-A205G)
 - Pantalla táctil de 6.4’’
 - Densidad de píxeles 268 dpi
 - Procesador Exynos 7884 1.6GHz
 - RAM 3 GB
 - Sistema Operativo: Android 11
- Visor de realidad virtual: VR Box
 - Marca de celular compatible: Universal.
 - Línea compatible: smartphones.
 - Modelo compatible: 4,6 y 5,5 pulgadas o que tengan entre 60 y 77 mm de ancho.
 - Campo de Visión: 100°
 - Sistema operativo compatible: Android/iOS.
 - Soporte Control Inalámbrico: Si.
- Mando de Juego o GamePad:
 - Modos: Mouse inalámbrico para celulares, mando para juegos, control remoto de Pc y disparador para fotos.
 - Procesador: ARM968E-S Core
 - Compatible con iOS, Android 4.0 y superior y PC
 - Alimentación: pilas AAA, 1,5V.
 - Distancia: 10m.

3.1.2 Software:

Debido a que la curva de aprendizaje de una nueva herramienta, ya sea para el modelado tridimensional o la edición de otros componentes necesarios del proyecto, puede ser algo que impacte directamente en el éxito del mismo y, además, de no poder realizarlo por este o cualquier otro motivo, se debería proceder a contratar especialistas, lo que implica un costo económico importante del cual no se dispone al momento de su ejecución. Es que se aprovechan los conocimientos previos en las herramientas necesarias para el modelado o de edición de componentes que se detallan a continuación:

- Modelado tridimensional:
 - De objetos: SketchUp.
 - De personajes: Adobe Fuse
 - De ropa: Clo3D
- Editor de sonido: Magix Sound Forge Audio Studio
- Editor de imágenes: Adobe Photoshop 2021
- Editor de video: Filmora X
- Motor de videojuegos: Unity Engine
- Entorno de programación: Microsoft Code
- Generador de animaciones: Adobe Mixamo (versión online)

3.2 Metodología

El presente proyecto de investigación posee un enfoque mixto (cuali-cuantitativo), ya que se realizará un análisis objetivo (y en algunos casos subjetivo) de los resultados obtenidos debido a las técnicas de recolección de datos aplicadas, que sondean las opiniones de personas que pueden o no conocer los temas requeridos en profundidad.

Para el logro de los objetivos de este proyecto se llevarán a cabo las siguientes actividades:

3.2.1 Recolección de datos

- Revisión bibliográfica: De papers, tesis, libros, páginas web y artículos científicos relacionados con el tema a investigar.
- Recolección de información sobre herramientas informáticas para la ejecución del proyecto, en trabajos similares publicados en revistas científicas, buscadores académicos, entre otros.

- Consultas con especialistas, historiadores, licenciados en turismo, con un amplio conocimiento acerca de la “Batalla de Apóstoles”.

3.2.2 Análisis de la Información

- Obtención de información relevante, a través de la unificación de la información recolectada ya sea impresa o digital.
- Organizar y estructurar la información a ser utilizada en el desarrollo del proyecto, enmarcándolas en conceptos claros y precisos.
- Identificar los factores a tener en cuenta para el desarrollo de la reconstrucción.
- Estudiar las herramientas informáticas y aprender a utilizarlas en relación a las actividades necesarias para la reconstrucción 3D.

3.2.3 Documentación

- Almacenar, estructurar, elaborar y redactar digitalmente la información obtenida en la investigación al comienzo del trabajo, y organizar aquella que se encuentra en libros y apuntes.

3.2.4 Elaboración

Para materializar el escenario de la Batalla de Apóstoles, se implementará alguna metodología que se ajuste al Ciclo en Tiempo Real de Producción propuesto por Unity (Figura 60), compuesto por las siguientes fases:



Figura 60 - Esquema del Ciclo en Tiempo Real de Producción propuesto por Unity Technologies

3.2.4.1 Pre-Producción

- Definición de plazos, flujos de trabajo y los diseños iniciales.
- Identificar las referencias y guías para construir objetos y personajes tridimensionales que sean fácilmente adaptables al resto de las etapas.

3.2.4.2 Producción

- Realizar el modelado o representación tridimensional de los objetos que intervendrán en la escena.

- Aplicar las texturas con los materiales y características estéticas que tendrá la escena.
- Iluminar los objetos y el ambiente para la generación de una imagen fotorrealista de la escena.
- Animar los objetos dentro del escenario.
- Renderizar o realizar el proceso de creación de la imagen digital a través de complejos cálculos realizados por computadora.

3.2.4.3 Post-Producción

- Aplicar filtros y efectos para corrección de la escena final.
- Prueba de aceptación del prototipo por parte de los especialistas.

3.2.4.4 Operaciones

- Actualizaciones y mantenimiento continuo.

Capítulo 4

Desarrollo.

4.1 Técnicas y Herramientas utilizadas para la materialización digital del patrimonio

4.1.1 Digitalización de objetos y/o entornos tridimensionales

La creación de objetos y/o escenarios tridimensionales provenientes de la realidad, normalmente está estructurada en una serie de pasos, que dependiendo de las técnicas y herramientas utilizadas tendrán mayor correspondencia con su par físico.

En [109], el autor reconoce que no es posible identificar una sola metodología aplicable en todos los casos de digitalización, pero aun así se pueden establecer una serie de pasos comunes, como los observados en la Figura 61.

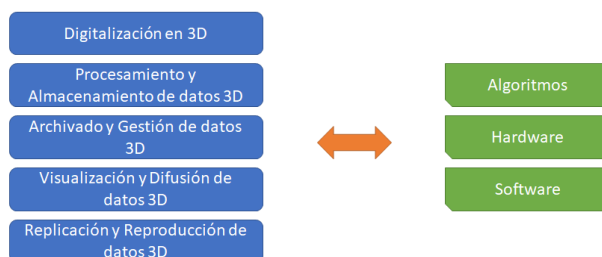


Figura 61 - Pasos comunes en el proceso de digitalización propuesto por Pavlidis

Cabe destacar que la mayoría de los expertos coinciden en que la captura de datos es el paso crucial para lograr un resultado convincente. Dependiendo de la escala del objeto a representar se definen diferentes métodos para la recolección de dichos datos, en [110] se sugieren algunos de ellos para ser utilizados en la preservación de patrimonio arquitectónico. Mientras que en [111], el autor propone una clasificación de métodos según su grado de automatización o técnica de adquisición de datos. Si combinamos ambas propuestas se puede tener un conocimiento más completo acerca de qué técnicas son factibles de ser utilizadas para la adquisición de datos para la reconstrucción de un elemento patrimonial en formato digital (Figura 62).

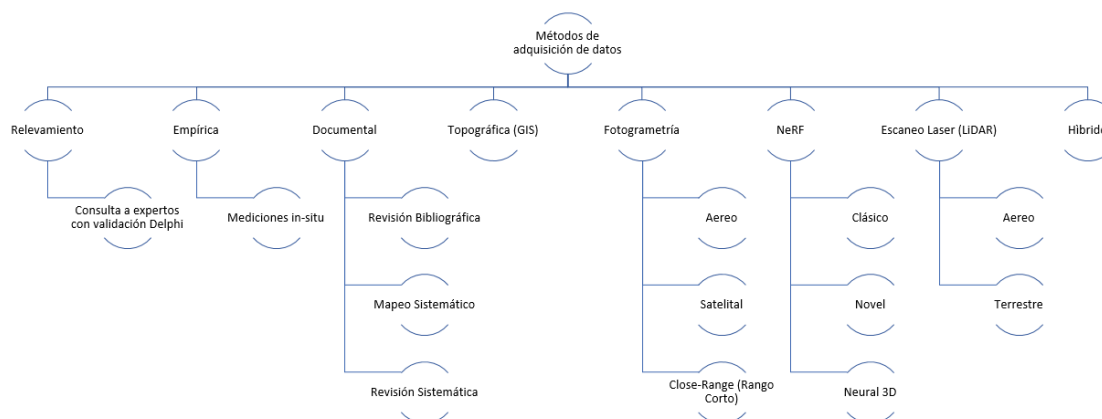


Figura 62 - Métodos de adquisición de datos combinados (Elaboración propia)

4.1.1.1 Técnicas de Relevamiento

Consulta a expertos o método de consulta basado en el juicio de expertos, su principal característica es la presencia de personas consideradas expertos en una temática determinada, los cuales proponen un constructo o evalúan uno realizado por el autor de la investigación respondiendo un cuestionario con ítems a los que se les debe asignar un valor (en escala de Likert) [112]

Ya que dicha técnica puede estar sujeta a sesgos provocados por la subjetividad de los expertos, necesariamente se deben realizar validaciones. A lo largo del tiempo la cantidad de métodos de validación se ha ido incrementando, en [112] se propone una tabla con los más utilizados (Tabla 2).

Tabla 2 - Adaptación de la tabla propuesta por [112] con la Síntesis de los métodos basados en el juicio de expertos para el análisis de la validez de contenido

Año	Autores	Método	Descripción
1961	Tucker	Análisis factorial	De las puntuaciones otorgadas por los expertos en cuanto a la relevancia de los ítems.
1975	Lawshe	CVR Razón de Validez de Contenido (RVC, Coefficient Validity Ratio en inglés)	Se determina qué ítems del instrumento son adecuados y deben mantenerse en la versión final del mismo.
1975	Linstone y Turoff	Delphi	Recopila opiniones de expertos sobre un tema y los incorpora en la configuración de un cuestionario, para conseguir un consenso a través de la convergencia de las opiniones. [113]
1977	Rovinelli y Hambleton	Índice congruencia ítem-objetivo	El juez debe valorar como +1 o -1 según el ítem mida o no el objetivo deseado y, aplicando sobre estos datos una fórmula.
1980	Aiken	V	Permite evaluar la relevancia de cada ítem respecto a su constructo; pero teniendo en cuenta, en este caso, no sólo el número de categorías ofrecidas a los jueces, sino también el número de expertos participantes

1980-1984	Hambleton	Índice de congruencia	Compara el grado en que un ítem evalúa el constructo esperado en relación al resto de dimensiones que componen el instrumento.
1986	Lynn	IVC (Índice de Validez de Contenido)	Establece el valor mínimo del índice teniendo en cuenta el número de expertos participantes y el número de expertos que consideran el ítem como relevante
1992	Sireci y Geisienger	Escalamiento multidimensional y análisis de clusters	Valora la tasa de similaridad de los ítems basándose en el escalamiento multidimensional y el análisis de clusters.
1997	Levine et al.	MQ Capacidades Mínimas (Minimum qualifications, MQs, en inglés)	Presenta como característica la focalización en el nivel de capacidad o habilidad mínima necesaria para tener éxito en un determinado criterio
2001	Fitch et al.	IPRAS (Rango Interpercentil Ajustado a la Simetría)	Los expertos deben valorar, en una escala tipo Likert de 9 puntos, la adecuación y relevancia de los distintos ítems con la condición que el instrumento final debe tener una mediana superior a 7.
2002	Hernández-Nieto	CVC (Coeficiente de Validez de Contenido)	Permite valorar el grado de acuerdo de los expertos (el autor recomienda la participación de entre tres y cinco expertos) respecto a cada uno de los diferentes ítems y al instrumento en general.
2003	Rubio et al.	FVI (Índice de Validez Factorial)	Combina tres índices, ligando la validez de contenido a la validez de constructo para ofrecer una evidencia mucho más exhaustiva
2012	Claeys et al	ADm (Índice Promediado de la Desviación Media)	se calcula el IVC de cada ítem y, a continuación, se emplea el ADm para calcular el grado de acuerdo de los expertos independientemente de que estos hayan valorado el ítem positiva o negativamente

4.1.1.2 Técnica Empírica

Utilizada cuando el acceso y las dimensiones del objeto no resultan una problemática. Esta técnica propone la captura de datos in situ, ayudado por instrumentos manuales de medición, como ser: cinta métrica, escuadra, transportador, entre otros. Dentro de sus ventajas están: la productividad, portabilidad y el bajo costo, sin embargo, están sujetas a los errores propios generados por el mal uso de dichos instrumentos. [109]

Debido a que, además de registrar medidas, se realizan estudios morfológicos o constitutivos, esta técnica debe ser realizada por expertos (agrimensores o técnicos en edificación). Sin embargo, la precisión lograda normalmente se encuentra por debajo de la posible a través de algún método digital. [1]

4.1.1.3 Técnica Documental

En toda investigación, necesariamente se debe recopilar información documental del tema y/o hechos involucrados, para ello se puede recurrir a diferentes herramientas:

- Revisión bibliográfica tradicional: Es un proceso destinado a obtener información acerca de un tema determinado, se diferencia de sus pares sistematizados debido a que carece de un protocolo específico, haciendo uso casi exclusivo de “buenas prácticas”. Se utilizan para presentar “estados de la cuestión” ya que no necesariamente se sustenta en preguntas de investigación. Sus resultados se utilizan para contrastar ideas, conceptos o teorías y no para compararse con otros trabajos de investigación realizados previamente bajo criterios unificados. La selección de investigaciones se basa en los conocimientos previos del autor o el impacto que le produce el artículo y no en ecuaciones de búsqueda. Por último, no existe una particular preocupación por establecer la trazabilidad del proceso, es decir que no se explica cómo fue el proceso de selección ni los criterios de inclusión o exclusión. [114]
- Mapeo de la literatura: El Mapeo Sistemático (MS) estructura (clasifica) un área de investigación. En [115], se realizó un mapeo sistemático sobre mapeos sistemáticos, para identificar cómo se lleva a cabo el proceso de e identificar potenciales mejoras en el proceso.
- Revisión sistemática de la literatura (RSL): En 2004, [116] propone una modificación del proceso de revisiones aplicadas en medicina y la adapta a las comunidades científicas de Ingeniería de Software (IS). El método busca obtener evidencias mayoritariamente de estudios primarios, y en menor medida de

secundarios. La salida producida al aplicar el proceso de RSL sobre estudios primarios se denomina estudio secundario, en tanto que el documento resultante de aplicar dicho proceso sobre estudios secundarios se denomina estudio terciario.[117]

Okoli et al. citado por [118], define una RSL como *un proceso formal y ordenado, que tiene como objetivo obtener los estudios primarios más relevantes relacionados con una o más preguntas de investigación. Estas revisiones se hacen con el fin de crear una base sólida de conocimiento, que sirva como fundamento para la investigación a realizar* (Figura 63).

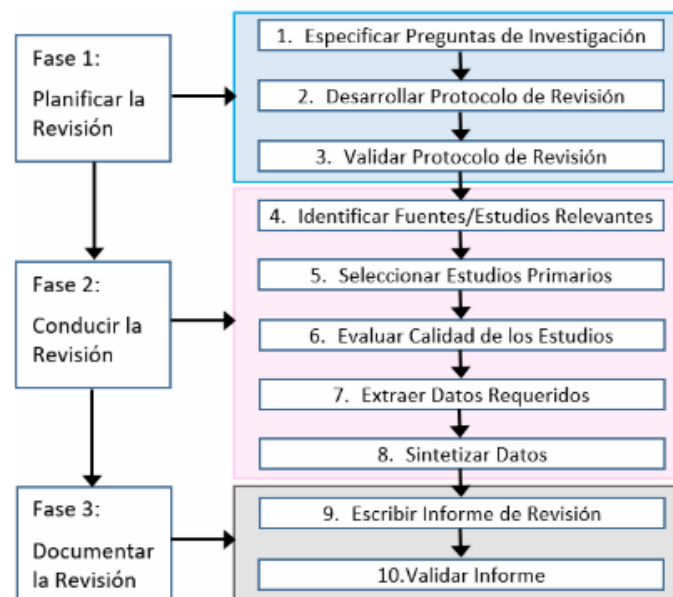


Figura 63 - Proceso de RSL propuesto por Kitchenham et al. (citado por [117])

4.1.1.4 Técnica Topográfica

Incorpora elementos del área de agrimensura o sistemas de posicionamiento global (GPS), tanto para la toma como para el registro de datos. Realizan mediciones de alta precisión de las características complejas de los objetos (o terrenos), los cuales son trasladados a un sistema de coordenadas ortogonal virtual. Se aconseja su utilización en situaciones en que, si bien el acceso es posible, las características del objeto (o terreno) hacen imposible la implementación de herramientas manuales, ya sea por sus dimensiones o por sus irregularidades. Dentro de las ventajas están la alta precisión y objetividad de las medidas, en contraposición con el tiempo necesario para llevarlas a cabo y los costos asociados a las herramientas. [109]

Particularmente, Percy (2015) citado por [1] considera que esta técnica en particular no es viable en proyectos que involucren sitios patrimoniales, debido a los altos costos y a la baja precisión, en cuanto a sus geometrías complejas, de los datos adquiridos, ya que se limitan a realizar una sola medición, en un punto y momento determinado.

4.1.1.5 Técnica de Escaneo Láser (LIDAR)

Realizada por dispositivos especiales que, luego de ser instalados en un punto determinado, ejecutan un “barrido” del objeto (o terreno) capturando datos en todas direcciones, para luego ser procesados por medio de una computadora. La principal ventaja es la altísima precisión en cuanto a las medidas y su velocidad de captura, frente al alto costo y la poca portabilidad del equipamiento. Cabe destacar que están afectados por la yuxtaposición propia de los objetos, por lo que se podrían perder (o esconder) algunos durante la medición, además de que la captura de datos también se ve afectada por la intensidad de luz del ambiente. [109]

- **Aéreo:** Cuando las características del terreno hacen que el escaneo terrestre sea imposible, como un campo ondulante o una ciudad cubierta de edificios. Se utilizan sensores montados en aviones ligeros que realizan un barrido de forma similar a los satélites (Figura 64). Son unidireccionales o bidireccionales, siendo el segundo más lento. Posee un rango que va desde los 2 cm a los 3 km según el modelo (Tabla 3). [119] [120] [121]

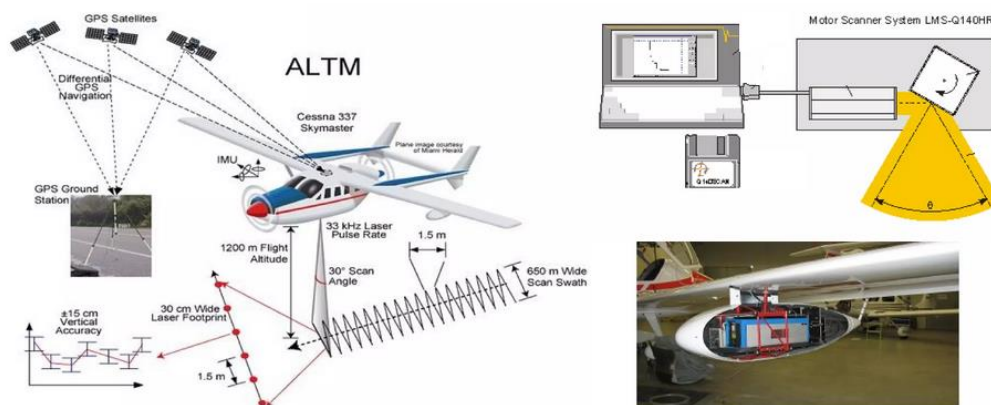


Figura 64 - Esquema de montaje y funcionamiento del escáner láser aéreo. [119]

Tabla 3 - Características de sensores LIDAR aéreo [119]

IMU model type		NUS4	DUS 5	NUS5	CUS6
Absolute accuracy after post- processing (RMS)	Position	0,05 - 0,3 m	0,05 - 0,3 m	0,05 - 0,3 m	0,05 - 0,3 m
	Velocity	0,005 m/s	0,005 m/s	0,005 m/s	0,005 m/s
	Roll b Pitch	0,008 deg	0,005 deg	0,005 deg	0,0025 deg
	Heading	0,015 deg	0,008 deg	0,008 deg	0,005 deg
Relative accuracy	Angular random noise	<0,05 deg/sqrt(hour)	<0,01 deg/sqrt(hour)	<0,01 deg/sqrt(hour)	<0,01 deg/sqrt(hour)
	Drift	<0,5 deg/hour	<0,1 deg/hour	<0,1 deg/hour	<0,01 deg/hour
IMU	High-performance gyros	200 Hz Fiber-optic Gyro	200 Hz Fiber-optic Gyro	500 Hz Dry-tuned Gyro	200 HZ Ring-laser Gyro
GNSS Receiver	internal in IPAS20 Control Unit	54-channel GPS + GLONASS dual frequency low noise receiver (L1/L2) 20 Hz raw data. DGPS ready			

- Terrestre: Funciona por medio de un escáner láser montado sobre un trípode (Figura 65) que realiza una captura en 360° con una precisión milimétrica y la almacena en forma de nube de puntos, con datos acerca de sus coordenadas geométricas dentro de un entorno digital con información métrica y radiométrica. En el mercado existen varios tipos de escáner terrestres, que varían en características según el modelo (Tabla 4). [1] [122]

Tabla 4 - Características de sensores LIDAR terrestre [123]

	FARO LS 880 HE80 ^a	FARO Focus 3D 120 ^a	Zoller + Fröhlich Imager 5003 ^b	Zoller + Fröhlich Imager 5010 ^b
Availability	Commercial	Commercial	Commercial	Commercial
Date of introduction	2006	2010	2003	2010
Range finder	Phase shift	Phase shift	Phase shift	Phase shift
Wavelength (nm)	785 (visible)	905 (near infrared)	780 (visible)	1,500 (near infrared)
Return type	Single signal	Single signal	Single signal	Single signal
Measurement range (m)	0.6–76	0.6–153	1–53.5	0.3–187
Range accuracy (mm)	3 (at 25 m)	2 (at 25 m)	3 (at 25 m)	1 (at 25 m)
Spot size at exit (mm)	3	3.8	3	3.5
Beam divergence (mrad)	0.25	0.16	0.22	0.3
V x H field of view (°)	320 x 360	305 x 360	310 x 360	320 x 360
Acquisition rate (pts/s)	120,000	up to 976,000	up to 500,000	up to 1,016,000
Weight including peripherals (kg)	18.5	5	16	11.5

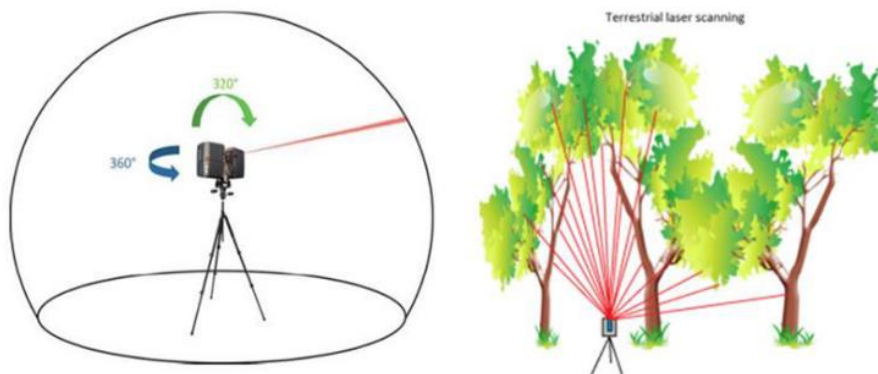


Figura 65 - Esquema de montaje y funcionamiento del escáner láser terrestre [123]

4.1.1.6 Técnica de Fotogrametría

Es una técnica sustentada en la utilización de registros fotográficos del objeto (o terreno) para la captura de datos, las mismas pueden ser del tipo profesional o amateur y no necesariamente provenientes del mismo dispositivo o persona, lo importante es que deben ser fotografías tomadas de diferentes ángulos para que al momento de procesarlas no haya pérdidas. Entre sus ventajas están el bajo costo, simplicidad y capacidad de ser combinadas con otras técnicas, pero dependen de la distancia al objeto, la cantidad de fotografías disponibles y del tiempo en el que fueron tomadas, ya que pueden reflejar distintas instancias del mismo objeto (o terreno). [124]

Dependiendo del tipo de dispositivos y la técnica implementada, la fotogrametría puede ser:

- Aérea: Con la utilización de dispositivos tipo dron¹² conocidos comúnmente por sus nombres en inglés como *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) o *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS) controlados por software, encargados del procesamiento de los datos capturados, ejemplo de los mismos son: Agisoft PhotoScan¹³, Pix4D¹⁴ y APS¹⁵, permitiendo la reconstrucción de terreno por mosaico, con ortorrectificación y georreferenciación de imágenes, obteniendo mapas de gran precisión, modelos de terreno tridimensionales (Figura 66). Los drones poseen la capacidad de adaptar, además de las cámaras comunes, multiespectrales, infrarrojas, térmicas y tipo SWIR¹⁶ (Tabla 5). Otra capacidad de los drones, es la de ser programados por medio de GPS para seguir una ruta determinada de captura de datos de forma autónoma o semiautónoma, almacenándola en archivos con el formato “x,y,z,cod” para su posterior procesamiento. [125]

¹² Dron: Aeronave no tripulada. <https://dle.rae.es/dron>

¹³ Agisoft PhotoScan es un tipo de software autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D. Usado en aplicaciones GIS, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. <https://www.instop.es/Agisoft/agisoft-photoscan.php>

¹⁴ PIX4D: Un paquete de software de fotogrametría único para mapeo móvil y con drones. <https://www.pix4d.com/es/>

¹⁵ Aerial Photogrammetry Software, acrónimo en inglés para Programas de Fotogrametría Aérea

¹⁶ SWIR: Short Wavelength InfraRed, generalmente hace referencia a la longitud de onda de la banda de luz visible entre los 900nm y los 2500nm. <https://www.swirvisionsystems.com/about/what-is-swir/>



Figura 66 - Ejemplo de UAV [42]

Tabla 5 - Ejemplos de cámaras digitales de largo alcance (MS: Multiespectrales, PAN: Panorámica) [44]

Dispositivo	Tipo	Cabezales de cámara	Formato	Tamaño de Pixel	Resolución Radiométrica (nominal)
TJX Imaging DMC®	Frame	4 (PAN) 4 (MS)	7680x13824 pixels composite image size (PAN) 2000x3000 pixels per head (Multispectral)	12 μm	12 bits
Vexed UltraCam D™	Frame	4 (PAN) 4 (MS)	7500x 11500 pixels composite image size (PAN) 2672x4008 pixels image size (Multispectral)	9 μm	12 bits
Leica ADS-40	Linear Array	6 PAN. 4 MS lines	12000 pixels per line	6.5 μm	14 bits
Starlabo STARIMAGER® S1250	Linear Array	10 MS	14400 pixels per line	5 μm	11 bits

- Satelital: Dada la existencia de varias compañías que se dedican a la observación terrestre mediante satélites, es factible conseguir imágenes con diferentes niveles de procesamiento o directamente los Modelos de Elevación Digital para determinadas superficies, por medio de coberturas radiométricas, geométricas, espectrales y/o temporales dependiendo del presupuesto disponible. Comercialmente, estas imágenes varían en resolución, pero comparten el método de captura, Sensores CCD¹⁷ de array lineales [125]

Los sensores del tipo CCD trabajan capturando secuencias lineales de imágenes que se combinan para formar una matriz con el resultado final, en dos direcciones: *in-track* (en línea con la dirección del satélite) o *cross-track* (ortogonal a la dirección del satélite) [126] con el cual se realiza el escaneo de 3 diferentes formas (Figura 67):

- Escaneo Lineal: Utiliza un solo detector para escanear toda la escena.
- Escaneo Whiskbroom (barrido de escoba): Utiliza varios detectores alineados (*in-track*) para realizar escaneos en paralelo durante cada ciclo de barrido (ej.: Landsat TM), una variante es el Paddlebroom, el cual

¹⁷ Charge-Coupled Device: Dispositivo de Carga acoplada. Traducción propia.

realiza una rotación de 360° del sensor para realizar un barrido continuo (cross-track) (ej: AVHRR y MODIS). La principal diferencia entre ambos es que Paddlebroom escanea siempre en la misma dirección mientras que wishkbroom reinicia la posición del sensor por cada ciclo.

- Escaneo Pushbroom (barrido de escobillón): Utiliza cientos de detectores en paralelo (tipo cross-track) realizando un barrido de toda la superficie de interés a medida que el satélite avanza (ej.: SPOT).

Para todos los tipos de sensores, el ángulo de cobertura del mismo recibe el nombre de *Field Of View* (o campo de visión, FOV) y su cobertura terrestre correspondiente se denomina Ground-projected Field Of View (o superficie proyectada del campo de visión, GFOV) [126]

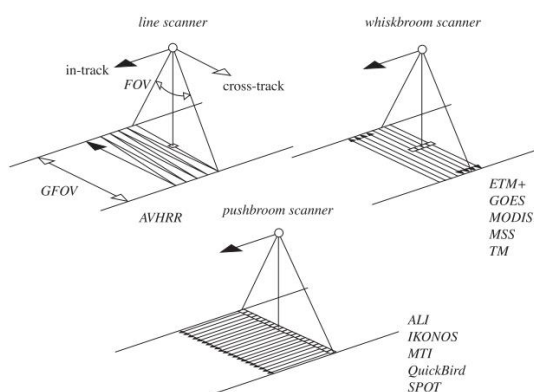


Figura 67 - Tipos de Barrido del sensor CCD [46]

A continuación, se muestra la Tabla 6 con algunos ejemplos de sensores que son utilizados para fotogrametría satelital:

Tabla 6 - Ejemplos de sensores y sus características. [45]

Sensor	Operador	Resolución Geométrica	Estereo	Tecnología	Precios
IKONOS	Space Imaging	1 m	Si	Linear Array CCD	13-27 USD (por Km)
QUICKBIRD	Digital Globe	0.66 m	Si	Linear Array CCD	14 USD (por km ²)
SPOT-5	Spot Image	2.5 m	Si	Linear Array CCD	8600 USD (60x60 km ² *)
ASTER	USA (NASA)	15 m	Si	Linear Array CCD	55 USD (60x60 km ²)
CORONA	USA	2 - 3 m (depending on the mission)	Si	Film	24 USD (scanned image)

- Terrestre: Por medio de una técnica que se denomina “triangulación” en donde una cámara (o varias) capturan imágenes (fotos) de un sitio u objeto desde diferentes posiciones, para luego unirse en un mismo punto. El resultado obtenido son imágenes ortogonales destinadas a servir de texturas y nubes de puntos que se utilizan como fuente de datos para generar el modelo tridimensional. [1] Según el

rango con el que trabaja el sensor de la cámara a utilizar, se pueden clasificar en fotogrametría de corto alcance o Close Range (pocos centímetros hasta algunos kilómetros) y de largo alcance o Large Range (varios kilómetros).

4.1.1.7 Técnica NeRF (*Neural Radiance Fields o Campos de Radiación Neural*)

Es una alternativa a la fotogrametría que utiliza inteligencia artificial para captar la realidad con sus detalles, creada por Thomas Müller¹⁸. En la cual una red neuronal modela, a partir de un conjunto de imágenes RGB de entrada, renderizando nuevas vistas fotorrealistas de objetos y/o escenas reales. [127] Su diferencia con la fotogrametría yace en que el NeRF genera objetos con su volumen 3D completo (conocido como renderización volumétrica), mientras que el primero lo hace a través de mallas geométricas poligonales (renderización por superficie) que dan como resultado objetos “huecos”. Otra característica es que el NeRF toma la información de la luz, soportando la renderización de transparencias y reflejos, siendo su principal desventaja el tiempo de procesamiento. [128] Debido a su novedad, existen diferentes proyectos de investigación trabajando en la optimización del proceso NeRF, donde cada uno aporta un prefijo según el problema a solucionar, algunos de ellos son:

- NeRF “in the Wild¹⁹”: Se caracteriza por el entrenamiento de la red neuronal utilizando fotografías comunes disponibles en internet de un sitio u objeto determinado, esto resulta en una renderización inexacta en donde la red asume que las variables de entrada son estáticas. También puede generar objetos o deformaciones adicionales. [129]
- D-NeRF: NeRF para escenas dinámicas, agrega dos dimensiones adicionales a las entradas, como ser la ubicación espacial y la dirección del observador), permitiendo reconstruir y renderizar nuevas imágenes de los objetos con movimientos rígidos y no rígidos a partir de una única cámara que se desplaza por la escena. [130]

¹⁸ Thomas Müller trabaja en la sede Suiza de la empresa Nvidia. Un ejemplo de como funciona NeRF puede apreciarse en el siguiente video: <https://nvlabs.github.io/instant-ngp/assets/mueller2022instant.mp4> y también en este otro: <https://tom94.net/data/publications/mueller22instant/mueller22instant-gtc.mp4>
In the wild: ¹⁹ Anglicismo que podría asociarse con la expresión técnica: “no sistematizado” o que “no sigue un procedimiento en particular”. El autor se refiere a la captura de fotos por parte de personas sin entrenamiento o sin tener en cuenta que podrían ser tomadas como entradas para el entrenamiento de una red neuronal.

- Mip-NeRF y Mip-NeRF 360: Agrega la posibilidad de trabajar con el muestreo²⁰ y aliasing²¹, tanto de fotos estáticas como en 360°. Produce renderizaciones realistas y mapas de profundidad detallados para escenas reales muy intrincadas y no delimitadas. [131]
- InstantXR: Fusiona NeRF con métodos tradicionales de renderización 3D para generar entornos virtuales en tiempo real que son soportados por dispositivos de gama media-baja. [132]
- Deep-Supervised NeRF: Agiliza los tiempos de renderizado aprovechando la capacidad de la supervisión profunda para eliminar los puntos sin información, que normalmente resultan en un espacio vacío o superficie opaca. [133]
- AD-NeRF: Utiliza NeRF para la generación de avatares parlantes, mejorando la sincronización del video (movimiento del avatar) con el audio (discurso). [134]
- Head-NeRF: Genera cabezas de avatares con alto grado de realismo fusionando técnicas de renderización 2D clásicas con NeRF. [135]
- H-NeRF: Utiliza dos técnicas (reconstrucción 3D y renderizado de imágenes 2D) para la generación de escenas fotorrealistas, debido a que el NeRF por si solo no garantiza la precisión de la escena resultante. [136]
- Deblur-NeRF: La captura de fotos “in the wild” (no sistematizada) perjudica el entrenamiento de la red, ya que está asociados a imágenes de mala calidad (normalmente borrosas)
- Geo-NeRF: Utiliza un razonador geométrico (análisis estático y dinámico de tensiones, basado en la forma, y simulación cinemática de mecanismos [137]) y un renderizador para generar vistas en donde se reducen los costes de generación volumétrica de los objetos, por medio de la técnica de eliminación selectiva (occlusion culling) de objetos.
- High Dynamic Range – NeRF (HDR-NeRF): NeRF de alto rango dinámico, que permite generar imágenes de alta calidad desde sus respectivas de baja calidad. Agrega al NeRF un mapeador tonal para visualizar los tonos medios, oscuros y claros de los objetos o escena para mejorar el resultado. [138]

²⁰ El muestreo consiste en la conversión de una señal analógica (tiempo continuo) en una señal digital (tiempo discreto). Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/circulo/index.html>

²¹ Decimos que ocurre aliasing cuando la frecuencia de muestreo es inferior al doble de la máxima frecuencia contenida en el espectro de la señal analógica (frecuencia de Nyquist). Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/tesys/html/circulo/index.html>

- Ref-NeRF: Mejora la capacidad para la representación de superficies brillantes o reflejantes, reemplazando la parametrización de NeRF de la radiación saliente dependiente de la vista por una representación de la radiación reflejada. [139]
- CLIP-NeRF: Permite la manipulación de objetos, controlando su forma y apariencia, separando estas características por medio del modelo de preentrenamiento contrastivo de lenguaje-imagen (CLIP) y ofreciendo al usuario una interfaz de ajuste de los mismos. [140]
- Point-NeRF: Implementa nubes de puntos 3D neuronales, similares a las clásicas, pero con características neuronales asociadas, para un renderizado eficiente basado en la marcha de rayos. [141]
- Real Time – NeRF (RT-NeRF): Implementa el primer algoritmo de hardware acelerador del proceso de renderizado NeRF pensado para dispositivos AR/VR, mediante el cálculo directo de la geometría de puntos preexistentes. [142]

4.1.1.8 Técnicas Híbridas

Resultan de la combinación de una o más de las técnicas anteriormente descritas. La posibilidad de implementación de más de una técnica, depende de la complejidad del sitio y/u objeto a representar y de la disponibilidad económica del proyecto. No existe una especificación formal acerca de qué técnicas son combinables entre sí, pero la lógica dice que se podrían combinar sensores aéreos y terrestres para la captura de datos de sitios patrimoniales de gran extensión, en donde existen edificaciones aún en pie o sus respectivas ruinas.

4.1.2 Después de la captura de datos ¿qué?

En el manejo de datos para la construcción de representaciones 3D de los mismos existe un pipeline²² que describe todo el proceso (Figura 68):

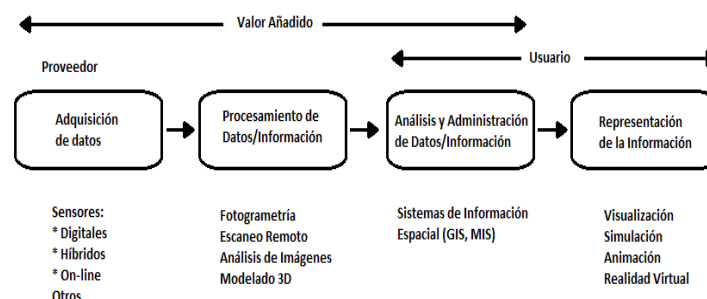


Figura 68 – Proceso de Datos e Información, usado en fotogrametría y escaneo remoto [39] (traducción propia)

²² Pipeline: Es un anglicismo que hace referencia a un conjunto de pasos o proceso.

- Adquisición de datos: Se realizan por medio de la utilización de uno o la combinación de diferentes sensores, el cual condicionará la siguiente etapa. [143]
- Procesamiento de datos: Se realiza por medio de computadoras, donde el nivel de automatización determinará el tiempo a utilizar en dicha etapa. [143]
- Administración y análisis de datos: Por medio de Sistemas de Información Espacial o SIS (por sus siglas en inglés) permitiendo el almacenamiento de datos no redundantes, geométricos y no geométricos (atributos, donde se incluyen características propias de la arqueología). [143]
- Representación de los datos: Por medio de la utilización de software especializado, permitiendo la representación en diferentes formatos 2D o 3D, variando la calidad de acuerdo al formato seleccionado (visualización pura, realidad virtual, realidad aumentada, entre otros). [143]

4.2 Materialización del Patrimonio Cultural Inmaterial

En el apartado anterior se describen las técnicas para la reconstrucción del patrimonio cultural, pertenecientes a objetos y/o escenarios que “existen” físicamente en el mundo real, independiente de su estado de conservación, el cual influiría únicamente en la cantidad de esfuerzo necesario para obtener el objeto y/o escenario digital, pero ¿Qué pasa cuando el patrimonio cultural es inmaterial? Cuando no existen vestigios físicos de su existencia. A pesar de no contar con una presencia material, es importante conservarlos y preservados principalmente de intervenciones que modifiquen su integridad o su manifestación cultural. [27]

En esos casos las opciones disminuyen, la información debería estar en un documento académico realizado por algún investigador en algún momento anterior, en libros escritos por historiadores o recopiladores de relatos y experiencias, otra posibilidad es que se encuentre información en la hemeroteca o archivos municipales de la localidad y una última opción es indagar en los museos, para conocer si existen vestigios que guíen el trabajo.

Particularmente, para la reconstrucción del sitio de la Batalla de Apóstoles, al ser un lugar en el que actualmente se erige la ciudad de Apóstoles, necesariamente se deben aplicar técnicas que no requieran de una captura de datos de terreno *in situ*, ya que si bien en el lugar existe una excavación que dejó a la luz una muestra de las baldosas de la época, es el único vestigio físico que aún se encuentra en su ubicación original.

Debido a esto, se recurrirán a estrategias menos “tecnológicas” pero no por ello menos eficaces, como ser:

- Revisión documental.
- Consulta a expertos en la temática.

Se espera con ello recabar todos los datos necesarios como para efectuar una reconstrucción con un nivel de fidelidad aceptable, que colaboren no sólo con la preservación, sino que también con la difusión cultural, innovación turística potenciando su economía, interconectar disciplinas, fomentar la investigación del patrimonio y generar conciencia acerca de los mismos. [1] [2] [4] [144]

4.3 Representaciones del escenario de la Batalla de Apóstoles

La representación de un escenario normalmente se podría realizar por medio de:

- Una ilustración: Disponibles en los libros que tratan en la temática, en la web o en instituciones. Las mismas podrían no reflejar todas las características debido a las limitaciones propias de la representación en dos dimensiones (Figura 69 y Figura 70).



Figura 69 - Esquema de la batalla de Apóstoles publicado por [145]



Figura 70 - Andrés Guacurarí durante la batalla de Apóstoles publicado por [146]

- Una representación teatral: Como la que se realiza todos los 2 de julio, durante el acto conmemorativo a la fecha en la ciudad de Apóstoles. La misma está centrada en las personas y situaciones y no en el lugar (Figura 71 a la Figura 74).



Figura 71 - Representación de la batalla de Apóstoles realizada por el Regimiento Monte 30 y ciudadanos apostoleños publicado por [147]



Figura 72 - Representación de la batalla de Apóstoles realizada por el Ballet del Parque del Conocimiento, a cargo de Luis Marinoni publicada por [148]



Figura 73 - Video de la representación de la batalla de Apóstoles disponible en el canal InforMate de youtube [149]



Figura 74 - Video de la representación de la batalla de Apóstoles transmitido por Canal 12 (Posadas - Mnes) y publicado en el canal misionesturística de youtube [150]

- Un diorama: Como el que se encuentra actualmente en el Museo Padre Alfaro de la ciudad de Apóstoles. Si bien representa el lugar y las personas, sus limitaciones radican es el espacio disponible y en su formato estático (Figura 75 a la Figura 79).



Figura 75 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 1)



Figura 76 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 2)



Figura 77 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 3)



Figura 78 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 4)



Figura 79 - Diorama de la Batalla en el Museo Padre Alfaro de Apóstoles (Foto 5)

- Un modelo digital: Una representación tridimensional animada tanto del escenario como de los personajes intervinientes, con la posibilidad de recorrerlo y observarlo desde el punto que el usuario considere de interés.

De todas las opciones comentadas anteriormente, se considera que el modelo digital, particularmente en formato de videojuego con realidad virtual, es la mejor opción para representar la Batalla de Apóstoles en su máximo esplendor, debido a las posibilidades que aporta este tipo de tecnologías en cuanto a la innovación, interacción, flexibilidad, capacidad de comunicación verbal y no verbal, entre otras.

4.4 Metodologías para la reconstrucción de la batalla de Apóstoles.

Para la reconstrucción del escenario de la batalla de Apóstoles, es necesario contar con una metodología capaz de ajustarse a las necesidades del proyecto y que esté en concordancia con los estándares utilizados para el desarrollo de software, como la ISO/IEC 19501:2005 (E) que detalla las especificaciones del Lenguaje de Modelado Unificado (Unified Modeling Language UML) en cuanto a la visualización, especificación, construcción y documentación de las partes de un sistema software. [151]

Las metodologías estándar no siempre se ajustan al desarrollo de software del tipo videojuego y los intentos de adaptarlas siempre han sido de forma parcial. Sin embargo del conjunto de ellas, Scrum y XP poseen una gran cantidad de casos de éxito en la materia. [152]

Existe una metodología que toma lo mejor de sus pares ágiles, incorporando los componentes propios del desarrollo de videojuegos y los adapta a las necesidades de grupos de trabajo y pequeñas empresas de Latinoamérica. SUM²³, propuesta por [153], es la respuesta, ofreciendo soporte al desarrollo, patrones de diseño para reutilización de código, gestión de riesgos y testeos. [154]

Por otro lado, la Realidad Virtual se ha convertido en una tendencia, a pesar de no ser algo cotidiano aún, el descenso de los costos de los dispositivos y la mejora de las prestaciones hacen que esto ocurra en un futuro cercano. [155]

²³ SUM: A pesar de estar escrito en mayúsculas, SUM no es un acrónimo, es el nombre de la metodología propuesta por Acerenza en su artículo “Una metodología para el desarrollo de videojuegos” publicada en 2009, en el Simposio Argentino de Ingeniería del Software.

4.5 SUM para representación de la Batalla de Apóstoles

Luego de una revisión sistemática de la literatura, Aleem et. al, citado por [154], establecieron que el ciclo de vida del proceso de desarrollo de videojuegos puede fusionarse en tres fases principales, similar a lo propuesto por la empresa Unity como ciclo de desarrollo en tiempo real (Figura 60). Éstas son:

- Pre-producción; Se comprueba la viabilidad de los escenarios de juego.
- Producción: Donde tiene lugar el proceso de desarrollo propiamente dicho, en contraste con el software tradicional en el que el proceso de producción es cuando el software realmente se ejecuta y está listo para su uso.
- Post-producción: Se realizan las pruebas, el marketing y la publicidad.

El marco Scrum para el desarrollo de videojuegos sigue estas mismas fases, pero denominadas fases de Pre-juego, Juego y Post-juego (Figura 80). [154]

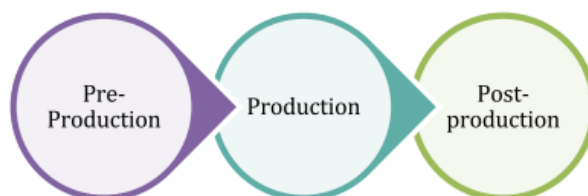


Figura 80 – Fases del ciclo de vida para el desarrollo de videojuegos propuesto por Aleem. [154]

La metodología SUM incorpora 2 fases adicionales (Figura 81):

- Pre-producción → Concepto y Planificación.
- Producción → Elaboración
- Post-producción → Prueba Beta y Cierre.

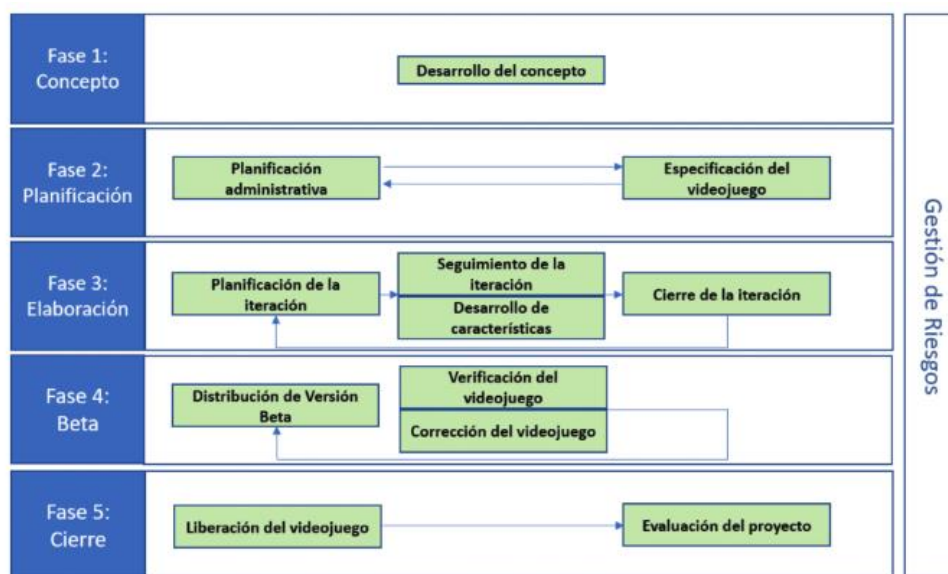


Figura 81 - Detalle de fases y tareas de la metodología SUM. [152]

Una descripción breve de cada fase, se describe a continuación:

- Fase 1: Conceptos. Se especifican los elementos básicos necesarios para el diseño del videojuego, los lenguajes y herramientas técnicas. Aquí, tiene lugar el Desarrollo del concepto de juego.
- Fase 2: Planificación. Se construye el calendario del proyecto junto con sus principales hitos. Se detallan las características funcionales y no funcionales. Esta fase es flexible y adaptable.
- Fase 3: Elaboración. Se implementa el videojuego, de forma iterativa e incremental para obtener una versión ejecutable. Esta fase se divide en tres hilos: planificación de objetivos, ejecución de las tareas y evaluación del estado del videojuego.
- Fase 4: Beta. Evalúa y ajusta diferentes aspectos del juego para eliminar los errores detectados.
- Fase 5: Cierre. Se desarrolla una versión final del videojuego basada en los requisitos. Se evalúa el proyecto por medio del cumplimiento de objetivos.

A lo largo de todo el desarrollo, se realiza la gestión de riesgos, buscando minimizar las consecuencias y el impacto de los posibles problemas detectados. [154]

4.6 Aplicación de SUM para la reconstrucción de la batalla de Apóstoles

4.6.1 Conceptualización del juego:

4.6.1.1 *Definir aspectos del juego*

4.6.1.1.1 Definición de la visión del proyecto

El objetivo del proyecto es generar conciencia acerca de la importancia de la Batalla de Apóstoles en la lucha por la independencia de la Argentina. Debido a que una batalla es un evento situado en un tiempo y espacio determinado y que el mismo es irreproducible por medios convencionales en la actualidad, es que se recurre al uso de la Realidad Virtual como herramienta tecnológica para lograr la recreación de la dicha experiencia.

A través del modelado del escenario de la Batalla de Apóstoles, se pretende dar la posibilidad al usuario de explorarlo libremente ofreciendo información adicional asociada a determinados objetos situados dentro del mismo, los cuales servirán de tótems de información relevante acerca de lo sucedido.

4.6.1.1.2 Género:

Debido a sus características, el proyecto no pertenece a un solo género de juego, sino que engloba determinadas características de géneros existentes, donde los más similares son:

- **No Lineal** (EcuRed, 2016): Se caracterizan por ser videojuegos en los que el jugador puede elegir el orden de las misiones o viajar libremente por el mapa del videojuego, e interactuar con casi todo lo que esté a su disposición, estos juegos suelen ser una mezcla de géneros.
- **SandBox** (GamerDic, 2013): Género donde el jugador cuenta con cierta libertad para moverse por un escenario con varias rutas y afrontar las distintas misiones principales o secundarias en el momento y orden que él decida. A menudo también se le da cierta libertad para completar cada misión de diferentes maneras. En este entorno, que generalmente trata de recrear la actividad real de una ciudad u otra población, también se suelen poder realizar todo tipo de actividades e interacciones con el mismo.

4.6.1.1.3 GamePlay (Jugabilidad):

El usuario posee la posibilidad de explorar el territorio de forma abierta, sin restricciones, más que los límites propios del escenario. Interactuando con determinados objetos con información relevante.

4.6.1.1.4 Características:

El proyecto debe ser:

- **Realista**: Debe poder acercarse lo más posible a la realidad, cabe destacar que, al no poseer vestigios tangibles de lo sucedido en la época, la “realidad” está basada en relatos orales y/o escritos realizados por personas y/o instituciones dedicadas al estudio histórico del suceso en cuestión para no generar “falsos históricos”
- **Inmersivo**: Debe posicionar al usuario en el escenario e integrarlo en lo que se muestra.
- **Cultural**: Debe transmitir información relevante acerca de lo sucedido. Debe servir tanto para informar como para aprender.
- **Atractivo**: Debe provocar emociones en el usuario.

4.6.1.1.5 Historia y Ambientación:

El proyecto propone la reconstrucción del escenario de la Batalla de Apóstoles ubicado en la ciudad homónima de la provincia de Misiones, ambientada temporalmente en el año 1817. Hoy, a más de dos siglos, no se tiene una clara imagen del viejo pueblo de origen jesuítico que era Apóstoles entre 1815 y 1817 al 19, pero los historiadores entrevistados concuerdan en ciertos aspectos:

- Existía un gran templo, “Santos Apóstoles Pedro y Pablo”, cuya entrada, como en todos los pueblos jesuíticos, miraba hacia el Norte, y frente a él, la Plaza Mayor.
- Su cementerio estaba junto al templo que, viéndolo de frente, estaba a la izquierda, mientras que hacia la derecha estaban la Casa de los Padres o Claustro, el Colegio y los Talleres, sucesivamente de izquierda a derecha.
- Frente a estos edificios, cruzando la plaza, a cada lado de la calle avenida estaban los cabildos.
- A los lados y detrás del cabildo, una enorme cantidad de hileras de viviendas, conformando por aquel entonces, uno de los poblados más grandes de las Misiones Occidentales, junto a Candelaria (la capital), Concepción (el pueblo más antiguo, y por lo tanto, uno de los que más había crecido), y Santa María La Mayor (su nombre lo dice todo, no sólo por referirse al personaje bíblico, sino también por sus dimensiones).
- Desde su fundación, contaba con su propia estancia ganadera, como todos los poblados jesuíticos, pero también contaba con sus talleres comunes a todos los otros pueblos del mismo origen, además de uno que le era diferenciable, el de la fundición de metales, que lo destacaba (al adherirse a la Revolución de Mayo), y tras solicitud de la Primera Junta, envió maestros fundidores, que más tarde pasaron a trabajar con fray Luis Beltrán en El Plumerillo para el Ejército de los Andes en Mendoza.
- Tenía su propia producción de yerba mate, que aún se podía cosechar en el “Tavámbaé²⁴”, y que era de gran interés como producto alimentario para las tropas de los distintos ejércitos nacionales en campaña.

²⁴ Tavámbaé: Término en el idioma guaraní cuyo significado es: “ciudad” o “nuestra ciudad”. Cabe destacar que se realizó una corrección al término original escrito como “Tabambaé” ya que la persona consultada aclara que en el idioma guaraní la “b” nunca se escribe sin anteponer la “m” como regla gramatical, por lo que la palabra necesariamente debería escribirse Tavámbaé. Traducido por: Marcos Ariel Centurión (macentu@hotmail.com), ciudadano paraguayo. Consultado el 12/02/2023.

4.6.1.1.6 Pruebas de conceptos:

En las entrevistas con los historiadores, quienes alternan su trabajo con su pasión por la historia y especialmente con los acontecimientos sucedidos antes, durante y posteriores a la Batalla de Apóstoles, comentan que las construcciones que mejor representan aquel hito histórico son los dioramas que actualmente se encuentran emplazados en el Museo bajo su cuidado.

Uno de ellos comenta que hace más de una década, el entonces Capitán del Ejército Argentino, Miguel Escalante Galain (hoy Teniente Coronel), quien también es Profesor de Arte (estudió en Corrientes capital) y Profesor Licenciado en Historia, Magister en Historia de la Guerra, fue quien armó los dioramas, hizo los personajes, investigó acerca de los uniformes (en particular los portugueses) y los distribuyó conforme a lo que se quería mostrar, mientras que recibió asesoría histórica del Prof. Lic. en Historia Esteban Snihur. Las maquetas edilicias (Iglesia, Casa de los Padres, Talleres, Colegio, hileras de casas), las hizo el Sr. Arturo Pfaiffer (empleado municipal).

Actualmente, los dioramas se encuentran en una Sala del Museo mencionado, que lleva por nombre "Batalla de Apóstoles", y que es donde grandes y chicos se agolpan normalmente con curiosidad, más que nada para ver las miniaturas, aunque los verdaderos interesados en los sucesos son los adultos.

Uno de los dioramas, denominado "de la primera parte o del Arroyo Cuñamanó", muestra el ataque inicial portugués y la defensa previa por parte de los soldados federales de Andresito y habitantes locales.

El segundo diorama representa la Batalla en el pueblo, donde se aúnan tres momentos: el ataque al pueblo con la defensa local, el ingreso de Andresito con la caballería desde San José a las 3 de la tarde y el intento fallido de quemar el pueblo.

Nada mejor que mostrar un evento histórico como este, con una representación que nos ayuda a tener una idea aproximada de cómo pudo haber sido.

4.6.1.2 Definir aspectos técnicos:

4.6.1.2.1 Plataforma:

Uno de los factores determinantes para el éxito de un proyecto móvil es la plataforma de implementación, debido a que condiciona la calidad y cantidad del público objetivo (ver el tema recursos). En Argentina, las plataformas con más incidencia en el mercado actual son: Android (de Google) y iOS (de Apple) frente a otras de menor aceptación por parte

de las personas, según la consultora internacional StatCounter²⁵ en una encuesta realizada en enero de 2023, el sistema operativo más utilizado en nuestro país es Android con un 91,79 % del total de usuarios de teléfonos móviles (Figura 82)



Figura 82 - Sistemas Operativos Móviles en Argentina – enero 2023 (Fuente: StatCounter, con acceso el 10/01/23 disponible en: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/argentina>)

Frente a esto y con la mirada puesta en el desarrollo de un proyecto que se mantenga al alcance de cualquier público, es que se decide desarrollar en dicha plataforma, manteniendo los requerimientos al mínimo posible para que el sistema pueda funcionar en un dispositivo de gama media baja.

4.6.1.2.2 Tecnología y Herramientas:

Realidad Virtual como técnica: La realidad virtual otorga la posibilidad materializar las ideas de las personas. En este caso recrear un escenario del cual los únicos vestigios, además de ser escasos, no solo no se encuentran en su emplazamiento original, sino que están esparcidos por diferentes lugares geográficos. Esta situación provoca que al visitarlos y/o observarlos, siempre que se permita el acceso a los mismos, las personas no puedan hacerse una idea concreta de como lucían en su época de esplendor.

La reconstrucción por esta técnica, permitirá traer a la “vida” dicho escenario, unificando el imaginario en relación con dicho emplazamiento, además de proporcionar la posibilidad de “caminar” libremente observando detalles los históricos.

4.6.1.2.3 Herramientas:

Hardware:

- Computadora:
 - Procesador Intel® Core™ i5-6600K CPU @3.50 GHz 3.50 GHz.
 - RAM 40 GB
 - Sistema Operativo: Microsoft Windows 10 de 64 bits.
 - Tarjeta de video: Nvidia GForce GTX 750ti

²⁵ StatConunter: <https://gs.statcounter.com/>

- Teléfono inteligente: Samsung A20 (SM-A205G)
 - Pantalla táctil de 6.4’’
 - Densidad de píxeles 268 dpi
 - Procesador Exynos 7884 1.6GHz
 - RAM 3 GB
 - Sistema Operativo: Android 11
- Visor de realidad virtual: VR Box
 - Marca de celular compatible: Universal.
 - Línea compatible: smartphones.
 - Modelo compatible: 4,6 y 5,5 pulgadas o que tengan entre 60 y 77 mm de ancho.
 - Campo de Visión: 100°
 - Sistema operativo compatible: Android/iOS.
 - Soporte Control Inalámbrico: Si.
- Mando de Juego o GamePad:
 - Modos: Mouse inalámbrico para celulares, mando para juegos, control remoto de Pc y disparador para fotos.
 - Procesador: ARM968E-S Coer
 - Compatible con iOS, Android 4.0 y superior y PC
 - Alimentación: pilas AAA, 1,5V.
 - Distancia: 10m.

Software:

- Modelado tridimensional:
 - De objetos: SketchUp.
 - De personajes: Adobe Fuse
 - De ropa: Clo3D
- Editor de sonido: Magix Sound Forge Audio Studio
- Editor de imágenes: Adobe Photoshop 2021
- Editor de video: Filmora X
- Entorno de programación: Microsoft Code
- Generador de animaciones: Adobe Mixamo (versión online)

- **Motor de videojuegos:** Para su elección se tuvo en cuenta la lista de motores del apartado 2.4, de los cuales se observó que, solamente 2 de ellos poseen soporte para la API²⁶ de Google Cardboard²⁷, ellos son: Unity 3D y Unreal Engine.
 - **Unity 3D:** Creado por la empresa Unity Technologies, el cual permite la creación de aplicaciones que pueden ser ejecutadas en diferentes plataformas (Web, PC, Móviles, SmartTV, Consolas y dispositivos de realidad virtual o mixta) [156]
 - **Unreal Engine:** Creado por Epic Games, posee la capacidad de generar productos de estética más realistas. Posee compatibilidad para con PS5, Xbox, Pc, Mac e IOS, entre muchas otras. [156]

En [74], se realiza una comparación particularmente entre estos dos motores:

Tabla 7 - Tabla comparativa entre Unity 3D y Unreal Engine

Característica	Unity 3D	Unreal Engine
Licencia	Comercial (Básica gratuita – Plus, Pro y Enterprise de pago)	Comercial (Básica gratuita y Profesional de pago)
Interfaz	Sencilla	Intermedia
Lenguajes de Programación	C#, UnityScript, Boo	C++, UnrealScript
Sistemas operativos soportados	MS Windows, MacOS, Ubuntu, CentOS	MS Windows, MacOS, Linux
Plataformas de distribución	MacOS, MS Windows, Android, Playstation 4, Xbox One, Wii U, Switch, PSP, 3DS, Web.	MacOS, MS Windows, Linux, Android, PlayStation 4 y 5, Xbox One, Xbox Series X y Nintendo Switch
Soporte Google Cardboard API	Gratuita (Licencia Apache 2.0)	De pago (u\$s 299.99)
Compatibilidad	Realidad aumentada (RA), Realidad virtual (RV) y Realidad mixta (RM). Para SteamVR, Meta Quest, PlayStation® VR, Samsung GearVR, HTC Vive, HoloLens, Google Daydream y Cardboard.	Realidad aumentada (RA), Realidad virtual (RV) y Realidad mixta (RM). Para Oculus VR, SteamVR, HoloLens, PlayStation VR2, ARKit, ARCore, OpenXR y Google Cardboard.

Nota 2 – Adaptación de la tabla realizada por [74]

²⁶ API: Application Programming Interface, que en español significa Interfaz de Programación de Aplicaciones. Traducción obtenida de: [161]

²⁷ Disponible en: <https://github.com/googlevr/cardboard-xr-plugin>

Desde el inicio del proyecto, se tuvo presente la necesidad de realizar una experiencia que no requiera de una gran inversión por parte del usuario para poder disfrutarla. Es así que, el desarrollo debería estar condicionado por la creación de una aplicación de realidad virtual para dispositivos móviles que cuenten únicamente con un sensor giroscópico y sea compatible con visores de realidad virtual tipo cardboard.

De los 2 motores antes vistos, Unity es el único cuyo soporte para la API de Google Cardboard es gratuito y está bajo licencia Apache 2.0²⁸, por lo que su utilización no sería una limitante para el proyecto.

4.6.1.2.4 Prototipo Técnico:

- No aplicable ya que se desarrollará para una sola plataforma.

4.6.1.3 Definir los aspectos de negocios

4.6.1.3.1 Modelos de negocio

El proyecto pretende otorgar la posibilidad de visitar el escenario de la Batalla de Apóstoles por medio de una aplicación de realidad virtual ejecutable en un smartphone de gama media y un visor de realidad virtual.

4.6.1.3.2 Público objetivo

Personas de todas las edades, de cualquier parte del mundo que dispongan de un teléfono celular de gama media, un visor de realidad virtual y conexión a internet, que deseen realizar un recorrido virtual en el escenario de la Batalla de Apóstoles.

4.6.2 Planificación

4.6.2.1 Objetivos del proyecto

2.6.2.1.1 Objetivo General

Contribuir a la preservación y promoción del escenario de la Batalla de Apóstoles como patrimonio cultural inmaterial a través del uso de tecnología móvil con realidad virtual.

²⁸ Licencia Apache 2.0: Licencia permisiva cuyas condiciones principales exigen la conservación de los derechos de autor y los avisos de licencia. Los contribuyentes proporcionan una concesión expresa de derechos de patente. Las obras bajo licencia, las modificaciones y las obras de mayor envergadura pueden distribuirse en condiciones diferentes y sin código fuente. Traducido del inglés. Disponible en: <https://github.com/googlevr/cardboard-xr-plugin/blob/master/LICENSE.md>

2.6.2.1.2 Objetivos Específicos

- Reconstruir virtualmente el escenario de la Batalla de Apóstoles.
- Agregar las características necesarias para que el modelo tenga la posibilidad de ser “navegable” por los usuarios.
- Desarrollar una aplicación móvil con realidad virtual que implemente como “mundo virtual” el escenario generado, haciendo hincapié en tecnologías accesibles.
- Distribuir la aplicación móvil.

2.6.2.1.3 Criterios de evaluación:

- Fidelidad del modelo generado con la información disponible acerca del mismo.
- Grado de libertad en la navegabilidad dentro del escenario generado.
- Retroalimentación de los usuarios en cuanto a su facilidad de uso, tiempos de respuesta, porcentajes de error, consumo de recursos.

4.6.3 Equipo de desarrollo

4.6.3.1 Identificación de las necesidades del proyecto

Según el concepto de proyecto propuesto y sus características, para llevarlo a cabo se necesitan los siguientes conocimientos:

- Modelado tridimensional: Para “materializar” el escenario y los personajes.
- Mapeo y Texturizado: Para lograr, dentro de lo posible un acercamiento de las estructuras modeladas a las reales.
- Animación: Para proporcionar dinamismo a la escena y que no sea un simple modelo estático.
- Programación: Para establecer las acciones que pueden realizar los objetos dentro del escenario.
- Históricos: Para ajustar el modelo a la realidad.
- Arquitectónicos: Para verificar que las edificaciones son estructuralmente correctas.

4.6.3.2 Equipo de desarrollo

Para la realización del proyecto se necesita de la colaboración de diferentes agentes:

- Historiadores:
 - Licenciado en Historia Esteban Snihur
 - Licenciado en Turismo Jorge Rendiche
- Desarrolladores de Videojuegos:
 - Técnico en Desarrollo de Videojuegos Gastón Caminiti

4.6.3.3 Contratistas externos

Ante la necesidad de lograr una mayor ambientación del escenario y una mejor experiencia al usuario, existe la necesidad de agregar distintos objetos en el entorno o mundo virtual, los cuales, debido a su complejidad, se deben adquirir comercialmente.

- Animal pack Deluxe de JANPEC
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/animals/animal-pack-deluxe-99702>)
- Mtree – Tree Creation de MX
(<https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/mtree-tree-creation-132433>)

Asimismo, ciertos objetos a implementar son distribuidos libremente en la red.

- City Street Skyboxes vol. 1 (<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/city-street-skyboxes-vol-1-157401>)
- Fire & Spell Effects de Digital Ruby (Jeff Johnson)
(<https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/fire-spell-effects-36825>)
- Realistic Tree 9 [Rainbow Tree] de Rakshi Games
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/realistic-tree-9-rainbow-tree-54622>)
- Realistic Terrain Collection LITE de 400m Creations
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/realistic-terrain-collection-lite-47726>)
- Crates and Barrels Pack vol 1 de Helix Studio
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/exterior/crates-and-barrels-pack-volume-1-free-version-128829>)

- Explosive Relistic Texture pack de Gustav Hagerling
[\(<https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/explosive-realistic-vfx-texture-free-34541>\)](https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/explosive-realistic-vfx-texture-free-34541)
- Terrain Textures Pack Free de ALP8310
[\(<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/terrain-textures-pack-free-139542>\)](https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/terrain-textures-pack-free-139542)

Cabe mencionar que para comenzar con un proyecto de realidad virtual se debe trabajar con el paquete de iniciación de Unity y los controladores de realidad virtual de Google que se encuentran disponibles en las siguientes páginas web:

- Standard Assets (for Unity 2018.4) de Unity Technologies
[\(<https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2018-4-32351>\)](https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2018-4-32351)
- Google Virtual Reality Software Development Kit (del inglés: Equipo de desarrollo de software de realidad virtual de Google)
[\(<https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases>\)](https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases)

4.6.3.4 Cronograma

4.6.3.4.1 Cronograma de elaboración alfa (iteraciones A)

Tabla 8 - Cronograma de iteraciones alfa

N° de Iteración	Tareas	Tiempo
A1	Definir el escenario a representar Definir los objetos a incluir dentro del escenario	2 meses
A2	Modelado de objetos seleccionados Importación de objetos externos modelados por terceros	8 meses
A3	Animación de objetos modelados Coordinación de animaciones propias y de terceros dentro del escenario	4 meses
A4	Elaboración de Interfaz de Usuario	2 meses
A5	Prueba alfa de funcionamiento	1 mes

4.6.3.4.2 Cronograma de elaboración Beta (iteraciones B)

Tabla 9 - Cronograma de iteraciones beta

N° de Iteración	Tareas	Tiempo
B1	Distribución de la versión Beta Recepción de retroalimentación	1 mes
B2	Verificación de videojuego Corrección del videojuego	1 mes

4.6.3.5 Cierre del proyecto

La fecha de cierre prevista para el proyecto es marzo de 2023.

4.6.3.5.1 Hitos del cronograma de elaboración alfa (hitos H-Ax)

H-A1: Contar con toda la información relevante acerca de la Batalla de Apóstoles, temporalidad, escenarios, personajes, objetos, estructuras involucradas y hechos relevantes.

H-A2: Disponer de todos los objetos necesarios para “dar vida” al escenario seleccionado ya sea a través del modelado o la importación de modelos de terceros adquiridos de manera gratuita o comercial.

H-A3: Realizar todas las animaciones necesarias para que la experiencia sea similar a lo ocurrido en la Batalla de Apóstoles.

H-A4: Contar con una interfaz de usuario que permita el correcto funcionamiento de la aplicación móvil.

H-A5: Disponer de una aplicación móvil con realidad virtual funcional que permita la navegabilidad por el escenario de la Batalla de Apóstoles.

4.6.3.5.2 Hitos del cronograma de elaboración beta (hitos H-Bx)

H-B1: Lograr un mínimo de 30 instalaciones con sus respectivas retroalimentaciones.

H-B2: Realizar todas las correcciones sugeridas durante la prueba Beta.

4.6.4 Especificaciones

4.6.4.1 Especificación de requisitos

4.6.4.1.1 Requisitos Funcionales:

Indican cómo debe responder la aplicación cuando el usuario interactúa con ella. EL prototipo de aplicación no considera la posibilidad de uso multiusuario, por lo que cada instancia de ejecución es individual (Figura 83).

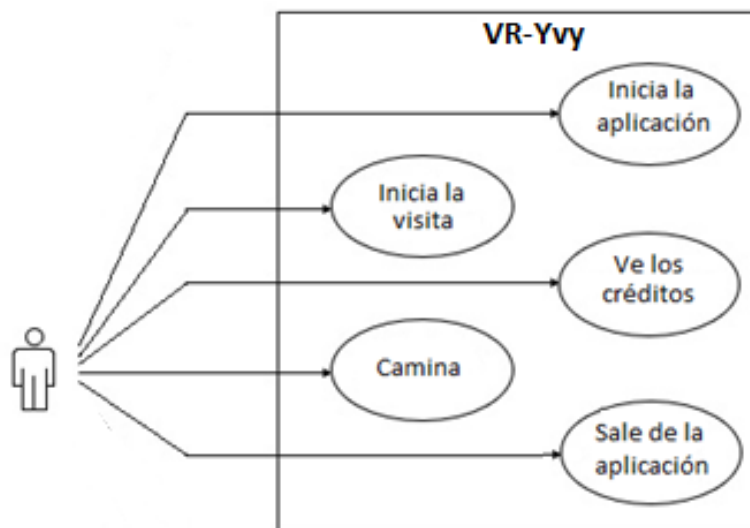


Figura 83 - Casos de uso de sistema

4.6.4.1.1.1 Definición de Actores

Tabla 10 - Definición de actores

Actor	Usuario
Descripción	Cualquier persona que utilice la aplicación
Comentarios	

4.6.4.1.1.2 Casos de Uso de Sistema

Tabla 11 - Caso de uso de sistema RF-001

Código	RF-001
Nombre	Inicia la aplicación
Descripción	Ingresar a la aplicación
Precondición	--
Secuencia Normal	1. El usuario realiza una pulsación sobre el ícono de la aplicación. 2. Inicia la aplicación. 3. Se muestra la pantalla de gestos durante 3 segundos. 4. Se muestra el menú principal.
Post-Condición	--
Excepciones	--

Tabla 12 - Caso de uso de sistema RF-002

Código	RF-002
Nombre	Inicia la Visita
Descripción	Iniciar el recorrido virtual.
Precondición	El usuario debe poseer un visor de realidad virtual tipo Cardboard.
Secuencia Normal	1. El usuario realiza una pulsación sobre el botón iniciar. 2. Se carga el escenario virtual. 3. El usuario/personaje se ubica en la entrada del escenario.
Post-Condición	--
Excepciones	--

Tabla 13 - Caso de uso de sistema RF-003

Código	RF-003
Nombre	Ve los créditos
Descripción	Leer la información acerca del autor de la aplicación y agradecimientos.
Precondición	--
Secuencia Normal	1. El usuario realiza una pulsación sobre el botón créditos. 2. Se oculta el menú principal. 3. Se muestra el menú créditos.
Post-Condición	--
Excepciones	--

Tabla 14 - Caso de uso de sistema RF-004

Código	RF-004
Nombre	Camina
Descripción	El usuario recorre el escenario virtual.
Precondición	El usuario debe estar detenido en algún lugar del escenario virtual.
Secuencia Normal	1. El usuario mueve la cabeza de forma vertical con un ángulo mayor a 30° por debajo de la línea del horizonte. 2. El usuario/personaje se mueve hacia adelante dentro del escenario virtual.
Post-Condición	--
Excepciones	1. El usuario mueve la cabeza de forma vertical con un ángulo menor a 30° por debajo de la línea del horizonte durante la caminata. 2. El usuario/personaje se detiene.

Tabla 15 - Caso de uso de sistema RF-005

Código	RF-005
Nombre	Sale de la aplicación
Descripción	El usuario finaliza el recorrido virtual y sale de la aplicación.
Precondición	El usuario debe estar detenido a una distancia focal del objeto que permite la salida de la aplicación.
Secuencia Normal	1. El usuario posiciona el Gaze pointer/cursor sobre el objeto de salida de la aplicación durante 2 segundos. 2. El sistema cierra la aplicación.
Post-Condición	--
Excepciones	1. El usuario cierra la aplicación desde el menú de aplicaciones activas del smartphone. 2. El sistema operativo cierra la aplicación.

4.6.4.1.2 Requisitos no Funcionales:

Son necesarios para el correcto funcionamiento de la aplicación

Tabla 16 - Requisitos no funcionales RNF-001

Código	RNF-001
Nombre	Facilidad de uso
Prioridad	Alta
Descripción	La aplicación debe ser fácil de usar para todos los usuarios sin importar su nivel de conocimientos.
Comentarios	--

4.6.4.1.2.1 Restricciones técnicas:

Son limitaciones de diversa índole que impiden el correcto funcionamiento de la aplicación

Tabla 17 - Restricciones técnicas RT-001

Código	RT-001
Nombre	Dispositivo móvil
Prioridad	Alta
Descripción	La aplicación se ejecutará en dispositivos móviles que posean un sistema operativo Android en su versión 4.2.2 o posterior y sensor giroscópico.
Comentarios	--

Tabla 18 - Restricciones técnicas RT-002

Código	RT-002
Nombre	Visor de realidad virtual
Prioridad	Alta
Descripción	La aplicación requiere de la implementación de un visor de realidad virtual tipo Cardboard para su correcto funcionamiento.
Comentarios	--

4.6.4.1.3 Definir criterios de evaluación

Se definen cuáles son los criterios de aceptación para comprobar la correctitud y completitud de cada característica a realizar en la iteración. Esto ayuda a eliminar ambigüedades en la definición de la característica.

4.6.4.2 Estimar requisitos esenciales

Tabla 19 - Requisitos esenciales

Requisito	Tiempo mínimo	Tiempo máximo
Ver los créditos	2 días	5 días
Caminar	5 días	10 días

4.6.4.3 Priorizar requisitos

Tabla 20 - Priorización de requisitos

Prioridad	Requisito	Justificación
Alta	Caminar	La aplicación debe permitir al usuario trasladarse dentro del escenario virtual.
Baja	Ver los créditos	El usuario puede requerir conocer el autor de la aplicación.

4.6.5 Elaboración

Nota: Debido a su extensión, las iteraciones se desarrollan en su totalidad en el Anexo III incluido en el apartado correspondiente a tal fin, dejando en esta sección únicamente los objetivos involucrados para que el lector pueda realizar el seguimiento del proceso.

4.6.5.1 ITERACIÓN A1:

El objetivo de la iteración A1 es definir el escenario a representar virtualmente, así como los objetos necesarios para materializarlo.

4.6.5.2 *ITERACIÓN A2:*

El objetivo de la iteración A2 es modelar los objetos a ser incluidos dentro del escenario virtual y/o adquirirlos a partir del trabajo de terceros, siempre que cumplan con las características deseadas, a fin de acortar los tiempos de la iteración.

4.6.5.3 *ITERACIÓN A3:*

El objetivo de la iteración A3 es animar los objetos modelados y coordinar dichas animaciones con la de los objetos de generados por terceros.

- Se configurarán las animaciones preestablecidas de los objetos terceros.
- Se utilizarán servicios de terceros para animar los personajes a ser utilizados dentro del escenario.
- Se generarán las animaciones de los objetos propios dentro del motor de juego.

4.6.5.4 *ITERACIÓN A4:*

El objetivo de la iteración A4 es elaborar la interfaz de usuario.

- Construcción del gráfico de nivel superior de la aplicación.
- Construcción del prototipo interactivo.
- Construcción del maquetado final de la aplicación.

4.6.5.5 *ITERACIÓN A5:*

El objetivo de la iteración A5 es realizar la prueba de funcionamiento y aceptación del prototipo.

- Instalar la versión alfa de la aplicación en el dispositivo de pruebas.
- Determinar si la aplicación cumple con los requisitos.
- Encontrar errores.
- Presentar la aplicación en un evento donde concurren personas que puedan probar la aplicación.
- Solicitar el llenado de un cuestionario de satisfacción al finalizar la experiencia.
- Analizar los resultados obtenidos.

4.6.5.6 *ITERACIÓN B1*

- El objetivo de la iteración B1 es realizar la prueba beta de la aplicación relacionada a su experiencia luego del uso de la misma.

4.6.5.7 *ITERACIÓN B2*

- El objetivo de la iteración B2 es realizar los cambios sugeridos en la etapa B1.

4.6.5.8 CIERRE

Se considera cerrado el desarrollo de la aplicación VR-Yvy al momento de su instalación permanente en la “Casa del Mate” de la Ciudad de Apóstoles.

4.6.5.9 EVALUACIÓN FINAL

La aceptación de la aplicación por parte de los usuarios fue muy buena, teniendo en cuenta la respuesta al cuestionario luego de la experiencia con la aplicación de realidad virtual VR-Yvy. Donde:

El 47 % es sencilla de instalar y el 42 % se refirió que es fácil de utilizar siempre y cuando se cuente con el visor. Un 37 % de los encuestados considera que es adecuada para los dispositivos que están a la venta actualmente, ya que la mayoría cuenta con sensor giroscópico.

Un 49 % asegura que demanda poco tiempo en aprender a usar la aplicación, y que podrá ser usada sin ayuda adicional (47 %). Por tal motivo, la recomendarían a sus amistades (75 %).

Un 70 % afirma que es una herramienta que permite incluir a las personas en las nuevas tecnologías, mientras que un 68 % que ayuda a promover la historia de la localidad y 68% que ayudará a entender lo que ocurrió en la batalla de Apóstoles. 73 % de los encuestados, considera que es una aplicación que se podría utilizar en la escuela o en lugares turísticos.

Un 50 % quedó totalmente satisfecho con la primera versión de la aplicación, mientras que un 17 % concluyó que debería tener una alternativa a la línea de visión para trasladarse dentro del entorno virtual. Pero que, con dicha salvedad, no necesita de alguna otra modificación para lograr una mejor experiencia (45 %).

Capítulo 5

Resultados.

5.1 Resultados

A través de una revisión bibliográfica se identificaron las técnicas más utilizadas para la captura y construcción de modelos tridimensionales, con dicha información se realizó un esquema que combina las opciones propuestas por diferentes autores, de forma tal de colaborar con futuras investigaciones al ofrecer toda la información necesaria en un solo lugar.

Se realizó una descripción de cada técnica, comentando las principales herramientas a ser implementadas en cada caso. Asimismo, se indicaron las características necesarias para su aplicación y los condicionantes que hacen necesaria la presencia de personal especializado para su ejecución.

Se estableció la viabilidad de aplicación de una de las técnicas en el contexto de la Localidad de Apóstoles (Misiones) según las características económicas de sus habitantes.

Se desarrolló una aplicación móvil con realidad virtual, denominada VR-Yvy²⁹, que permite revivir la experiencia de la Batalla de Apóstoles en su locación original. Para ello se tuvo la oportunidad de interactuar con referentes en la temática y autoridades municipales, quienes prestaron su desinteresada colaboración para la realización del proyecto.

Se realizó una adaptación de la metodología SUM para el desarrollo de videojuegos y se la utilizó como guía de desarrollo, demostrando que la su implementación es posible, siempre y cuando la persona tenga los conocimientos adecuados en las áreas del saber intervinientes o el tiempo necesario para adquirirlos.

Se pudo verificar y validar el modelo en varias oportunidades, la fidelidad aproximada frente a los referentes en la temática, la funcionabilidad con un usuario técnico y la aceptación de la aplicación, midiendo la experiencia con usuarios reales.

Se logró un acuerdo con las autoridades municipales para que la aplicación VR-Yvy se encuentre en exhibición permanente en la “Casa del Mate” a cargo de la Secretaría de Turismo Municipal.

²⁹ VR-Yvy: Disponible en sus versiones LookWalk (caminar por línea de visión) y GamePad (caminar por movimientos del mando de control) en la siguiente dirección: <https://cutt.ly/J3cKIG6> En ambos casos es necesario contar con un visor tipo Cardboard y un teléfono móvil con sensor giroscópico.

Capítulo 6

Conclusiones y Líneas futuras de trabajo.

6.1 Conclusiones

En concordancia con [152] se identificó que el desarrollo de la aplicación móvil con VR implica el conocimiento de varias disciplinas asociados a la curva de aprendizaje particular de cada una. Hacerlo con un grupo reducido, permite ganar experiencia en diferentes áreas del conocimiento útiles para desempeñarse en otros proyectos de similares características.

Se estableció la criticidad del tiempo y los costos, tanto como para dominar cada disciplina (si bien es sabido que no se puede esperar tener todos los conocimientos), como para realizar todo el contenido a incluir. En [157] se aconseja recurrir a objetos creados por terceros con licencias que permitan su uso, tal como se hizo en este proyecto o recortar aquello que se considere que no afectará el resultado final. La falta de experiencia en determinadas áreas de conocimiento (modelado, texturizado, animación) y la incapacidad de recurrir a los RRHH específicos desemboca en dicha alternativa.

Se determinó que la mayoría de las metodologías suponen que el desarrollo será realizado por varias personas, lo que dificulta su implementación con grupos muy reducidos, sin embargo, se comprobó que esto es factible. Como lo plantea [152], la interdisciplinariedad necesaria, implica formar un equipo de trabajo en donde la especificidad juega un papel prioritario y de esto depende el éxito o fracaso del proyecto. SUM como metodología, colaboró con el entendimiento de cada concepto interviniente y proporcionó las herramientas suficientes para gestionar los riesgos durante todo el proceso, tal como lo afirma. [157]

Se identificó el impacto de los cambios de tecnologías, ya que implican actualizaciones permanentes de las herramientas, provocando la obsolescencia de códigos o complementos que se puedan implementar en el proyecto o la incompatibilidad entre ellos dentro de un mismo proyecto. Y los tutoriales o videotutoriales pueden no seguir el ritmo de las actualizaciones de los complementos o del motor de videojuegos. Siempre se recomienda utilizar una versión estable del mismo con los niveles de las API de desarrollo exigidos por la empresa que diseñó el sistema operativo para el cual se está desarrollando, como lo comenta [158].

Se encontró que utilizar un motor de videojuegos para el desarrollo permite la compatibilidad con múltiples plataformas sin la necesidad de grandes ajustes, como lo plantea también [159]. Además, se puede optar por un producto independiente de internet,

es decir que, una vez descargada e instalada la aplicación posee todo lo necesario para funcionar.

A partir de la labor realizada en este trabajo final de maestría, se logró identificar y seleccionar, de las diferentes técnicas existentes para la reconstrucción del patrimonio, la más adecuada para el proyecto. La descripción realizada ayudará a reducir los tiempos de búsqueda de otros investigadores.

Se aplicó con éxito la metodología SUM, describiendo paso a paso todo el desarrollo, a modo de guía para quien quiera (o necesite) replicar la experiencia.

Se demostró la posibilidad de implementar la realidad virtual para traer a la “vida” nuevamente al escenario de la Batalla de Apóstoles, innovando en materia educativa, cultural y turística. Además, se contribuyó con el acervo histórico patrimonial de la localidad.

6.2 Líneas Futuras de Trabajo

- Contar con la posibilidad de navegación utilizando algún periférico (mouse, joystick) como opción a la navegación por línea de visión.
- Navegación multiusuario.
- Implementación de reconocimiento de voz para una interacción más natural.
- Conversión a videojuego para generar una mayor motivación en los jóvenes.
- Diseñar un protocolo de validación de elementos, animaciones y composición de escenarios a compartir con los historiadores o el público en general.

Anexos

ANEXO I: Entrevistas

Primera Jornada de Entrevistas:

- Entrevistado: Curador del Museo Padre Alfaro de la Ciudad de Apóstoles, Lic. En Turismo, Jorge Rendiche.
 - Objetivo: Tener un panorama general de la Batalla de Apóstoles y conocer la bibliografía existente acerca del tema.
1. ¿Cuáles fueron los escenarios de la batalla de Apóstoles?
 2. ¿Cuántos y cuáles eran los grupos enfrentados?
 3. ¿Había mujeres o niños durante la batalla?
 4. ¿Qué puede decir del día antes de la batalla?
 5. ¿Cómo fue la batalla?
 6. ¿Y el día después?
 7. ¿Conoce alguna bibliografía acerca del tema?

Segunda Jornada de Entrevistas

- Entrevistado: Curador del Museo Padre Alfaro de la Ciudad de Apóstoles, Lic. En Turismo, Jorge Rendiche.
 - Objetivo: Conocer la topología y distribución de las reducciones jesuíticas de la Ciudad de Apóstoles y sus características al momento de la batalla.
1. ¿Qué tipo de edificaciones existían en las reducciones de Apóstoles?
 2. ¿Eran las mismas que existían al momento de la batalla?
 3. ¿Qué características propias tenían cada uno?
 4. En el museo existe un diorama de la batalla, según su opinión, ¿Se puede decir que el mismo es totalmente fiel?

Tercera Jornadas de Entrevistas

- Entrevistados:
 - Curador del Museo Padre Alfaro de la Ciudad de Apóstoles, Lic. En Turismo, Jorge Rendiche.
 - Historiador, Escritor, Prof. de Historia Esteban Snihur.
 - Objetivo: Revisar los modelos 3D realizados y verificar su similitud con lo real.
-
1. Hay imágenes en donde las casas de los guaraníes poseen un “sobretecho” ¿Las pertenecientes a la reducción de Apóstoles tenían características similares?
 2. ¿Los techos de dichas edificaciones eran de tejas?
 3. La iglesia jesuita que supo estar en Apóstoles en la época de la batalla. ¿A cuál de las otras iglesias hermanas que aún siguen en pie se parecía? ¿A la de Brasil o la de Paraguay?

ANEXO II: Bibliografía acerca de las Reducciones Jesuíticas y la Batalla de Apóstoles

- ALLASSIA, Bernardo. “Apóstoles, su historia”. Talleres “Lumicop” y Cía. S.R.L., Posadas, Misiones. 1974.
- AMABLE, María Angélica; DOHMANN, Karina y ROJAS, Liliana Mirta. “Historia misionera. Una perspectiva integradora”. Ediciones Montoya. 1996
- BARREYRO, Julio G. “Breve Historia de Misiones”. Talleres Gráficos “Lumicop” y Cía. S. R. L., Posadas, Misiones. 1976.
- CABRAL ARRECHEA, Salvador. “Andresito Artigas”. Ediciones Castañeda. 1978
- CARBALLO, Casiano Néstor. “Síntesis de Historia de la Provincia de Misiones”. Ediciones “Montoya”, Posadas, Misiones. 1980.
- CAMOGLI, Pablo. Andresito. Historia de un pueblo en armas. Editorial Aguilar. 2015
- FURLONG, Guillermo. “Misiones y sus pueblos de guaraníes. 1610 – 1813”. “Lumicop” y Cía. S.A., Posadas, Mnes., 2ª Edición, 1978.
- GONZÁLEZ, Juan. “Andrés Guacurará y Artigas. Comandante guaraní de los Pueblos Libres”. Editorial de la prov. De Entre Ríos. 2012
- LAVALLE, Jorge Luis. “Andresito y la Melchora. La historia de un amor en guerra”. Talleres Gráficos “Creativa”. 2007
- MACHÓN, Jorge Francisco. “La batalla de Apóstoles y otros trabajos”. Junta de Estudios Históricos, Sociales y Literarios de Jardín América. Jardín América, Misiones. 1996.
- MACHÓN, Jorge Francisco y CANTERO, Oscar Daniel. “Andrés Guacurará y Artigas”. Talleres Gráficos “Creativa”. 2006
- MACHÓN, Jorge Francisco y CANTERO, Oscar Daniel. “Andresito Artigas. El líder guaraní-misionero del artiguismo”. Tierra Adentro Ediciones. Durazno, Montevideo, Uruguay. 2013.
- MAEDER, Ernesto J. A. “Misiones. Historia de la tierra prometida”. EUDEBA. Buenos Aires. 2004.
- P. de SCHIAVONI, Ángela. “Evolución Urbana y Social de Apóstoles (1652-1944)”. Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Instituto de Investigación, Posadas, Misiones.

- POENITZ, Alfredo y SNIHUR, Esteban. “La Herencia Misionera”. Diario “El Territorio”.
- QUEIREL, Juan. “Misiones”. Taller Tipográfico de la Penitenciaría Nacional, Buenos Aires, 1897.
- SILVERSTON ZUBIAURRE, Roberto Oscar. Una síntesis histórica de la Provincia de Misiones “Desde otra perspectiva”. Misiones. 2015.
- SNIHUR, Esteban. “Cronología Histórica de Apóstoles (1652-1913)”. Dirección Municipal de Cultura y Turismo, Municipalidad de Apóstoles, Apóstoles, Mnes., 1996.
- SNIHUR, Esteban. “La Batalla de Apóstoles. 2 de Julio de 1817”. Municipalidad de Apóstoles. 2010.
- SNIHUR, Esteban Ángel. “El universo misionero guaraní. Un territorio y un patrimonio”. Golden Company. Buenos Aires. 2007.
- LEVINTON, Norberto y SNIHUR, Esteban. El porvenir de Misiones, Contratiempo ediciones, Buenos Aires, 2011.
- LEVINTON, Norberto y SNIHUR, Esteban. Misiones Territorio de Fronteras (1609 - 1895). Entidad Nacional Yacyretá, Misiones.

ANEXO III: Metodología SUM (Iteraciones)

Como ya se comentó en el Capítulo IV de este trabajo, se seleccionó la metodología SUM, debido a las características propias del mismo, ya que su similaridad a lo que los desarrolladores de videojuegos denominan “juego serio” hacen que el aplicar dicha metodología sea la indicada para lograr un producto de calidad, disminuyendo los costos y el tiempo necesario. Además, se encuentra en concordancia con el pipeline de desarrollo de videojuegos propuesto por Unity, motor de desarrollo utilizado en el proyecto.

AIII.1 Iteración A1:

AIII.A1.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración A1 es definir el escenario a representar virtualmente, así como los objetos necesarios para materializarlo.

Métrica:

- Nombre del escenario y justificación de su elección.
- Lista de objetos necesarios para su representación.

Requisitos involucrados:

- Relevar la documentación existente y accesible relacionada con el escenario.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.A1.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 21 - Manejo de problemas A1

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
Escasa o nula documentación	Alto	Consultar a historiadores de la zona y al curador del museo local.
Bibliografía existente no accesible.	Alto	Corroborar cual es el motivo por el cual no está accesible.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto está en su etapa inicial.

Registrar medidas

- Se revisarán los registros históricos para situar temporal y geográficamente al escenario de la Batalla de Apóstoles.
- Una vez seleccionado el escenario a modelar se identificarán los objetos involucrados susceptibles de ser reproducidos digitalmente.

AIII.A1.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Búsqueda documental
- Entrevistas a expertos.
- Listar objetos involucrados.

Ejecución de tareas

Se realizó una investigación para recabar información acerca de los hechos sucedidos en el período de la Batalla de Apóstoles con la finalidad de determinar la ubicación y características del escenario. El listado del material disponible que narra toda o una parte de la misma se encuentra en el Anexo II.

En su mayoría, la bibliografía es de difícil acceso o directamente no se encuentra disponible para su consulta de forma gratuita. Sin embargo, en la localidad de Apóstoles existen personas que dedicaron gran parte de su vida a investigar lo sucedido y que hicieron su contribución al proyecto compartiendo su conocimiento, como ser el Licenciado en Turismo Jorge Rendiche, el Mgtr. en Historia de la Guerra Cte. Miguel Escalante Galain y el Historiador Licenciado Esteban Snihur. Asimismo, se consultaron a profesionales no residentes en la ciudad de apóstoles, los cuales contribuyeron a este trabajo con su valioso aporte, la Dra Arq. Graciela Gayetzky, Mgtr Beatriz Rivero y Mgtr Cristina Ferreyra.

Con base en la información recabada, se pudieron identificar tres campos de batalla para un mismo evento:

- Primer Campo: Enfrentamiento a orillas del Arrollo Cuñamanó (del guaraní “de la mujer muerta): A unos aproximadamente 3 km, en las afueras de la ciudad de Apóstoles, es el sitio donde comenzaron los enfrentamientos, con la utilización de artillería por parte del ejército portugués en dirección Este-Oeste, así como también contiendas cuerpo a cuerpo entre locales e invasores. La táctica fue un

ataque sorpresa frustrado con el sol de frente para los locales debido a que la lluvia y el frío provocó un amanecer nublado.

- Segundo Campo: Enfrentamiento en el Pueblo de Apóstoles, en las reducciones jesuíticas de la época, en lugares como la Plaza Mayor (hoy Estadio de Fútbol “General Belgrano”) la Iglesia (hoy mitad de la Plazoleta sobre Av. 9 de Julio entre calles Suipacha y Táras Schevchenko) la Casa de los Padres, patio, refectorio, colegio, talleres y fundición, así como los huertos Tupambaé (sobre la misma plazoleta antes mencionada) el Cementerio (hoy la Iglesia “Santos Apóstoles Pedro y Pablo”) y las casas de los pobladores (actual Barrio “Las Ruinas”)
- Tercer Campo: Hacia el norte, sobre la actual Ruta Provincial N° 1, en las afueras de la ciudad de Apóstoles con dirección al municipio de San José. Un tercer enfrentamiento hipotético, ya que no se ha escrito nada al respecto oficialmente, en donde las fuerzas del Comandante Andrés Guacurá, debieron de repeler los últimos vestigios invasores de las tropas portuguesas.

De los tres campos analizados, el más representativo es el segundo, debido a:

- Su ubicación, en las Reducciones Jesuíticas dentro de la ciudad de Apóstoles, de las cuales no quedan rastros en la actualidad.
- Participación: Donde se enfrentaron las tropas portuguesas (el Regimiento de Dragones de Río Pardo, Regimiento de Santa Catalina, los Tupíes, mercenarios y Civiles) con las del comandante Andresito (milicias Federales de la Liga de los Pueblos Libres y defensores locales entre guaraníes, mestizos y gauchos)
- Importancia: Ya que fue el enfrentamiento que definió la Batalla.

Con la información obtenida se confeccionó un listado de objetos (ver Tabla 22) susceptibles de ser incluidos en el escenario virtual en su versión prototipo o final, donde además se especificó la necesidad de animación de algunos de ellos.

Tabla 22 - Lista de edificios y objetos a modelar en el escenario

Objeto	Descripción	Animado
Iglesia (Templo)	De 25 a 65 metros, orientada de norte a sur. Normalmente construida íntegramente en piedra y adobe. Incluye en su terreno el Pórtico, Torre o Campanario, Corredor y Sacristía.	No

Campanario	Independiente al templo, pero dentro de su terreno. Construida con horcones de madera sobre una base de piedra.	No
Residencia de los padres (Colegio o 1er Patio)	Adosada a la Iglesia, era conocida también como Colegio o 1er Patio. Conjunto de habitaciones donde residían los curas y se ubicaban la biblioteca, cocina, comedor, botica, sala de músicos, entre otros.	No
Talleres (2do Patio)	Funcionaban allí la herrería, carpintería, carnicería, la tahona (molino), fábrica de rosarios y carretas.	No
Percheles (Almacén)	Galpones pertenecientes a la comunidad para el almacenamiento de productos agrícolas, maderas o tejas.	No
Huerta de los Padres	Ubicada detrás del templo, residencia, talleres y cementerio. Normalmente rodeada de un muro.	No
Cementerio	Emplazado al costado del templo, rodeada por muros y una puerta de acceso a la plaza.	No
Plaza Central o Plaza de Armas	De hasta 1 ha, El pueblo se organizaba con base en sus lados y es allí donde desembocaban las calles principales. Poseía cruces en las esquinas y en el centro una estatua del patrono de la reducción.	No
Casas del Cabildo y de caciques	Ubicada en una de las tiras de las viviendas, al borde de la plaza. Se diferenciaba de las demás edificaciones por su amplitud interior.	No
Casas de Indios	Organizada por cuadras, ocupadas por los caciques (las más cercanas a la plaza) y por las demás familias. Construidas en piedra y adobe. Una construcción alargada (tipo casa comunal) con divisiones en su interior.	Solo una casa que debe incendiarse
Coti Guazú (Casa de Mujeres)	Conjunto de habitaciones que rodeaban a la plaza central, ubicada en uno de los extremos del pueblo y cercano al cementerio. Poseía una única puerta, la cual se habría con 2 llaves.	
Cárcel	Normalmente una vivienda modificada para tal fin. Ubicada en el extremo más lejano a la plaza.	No
Árboles	Lapacho, Guatambú, Anchico, Petiribí, Timbó, Ybira-pitá, Musa Paradisiaca (Pacobá o Plátano), Yerba Mate (ilex Paraguariensis), Guayaba (Azará Guazú), Mburucuyá	No

	(Passiflora cincinnata), Algarrobo, Piña (Caraguatá), Mamón (Pino Guazú), Guembé, Guabirá, Yataiba, entre otros.	
Armas	Lanzas, pistolas, bayonetas, cañones.	Si
Guaraníes	Hombres, mujeres y niños (Tupíes y Tapés)	Si
Gauchos	Originalmente son personas que se dedican a la actividad pecuaria en zonas rurales.	Si
Soldados	Defensores y Enemigos	Si
Animales	Caballos y gallinas.	Si

Verificar tarea

- Se definió el escenario a modelar justificando el motivo de su elección.
- Se listaron los objetos intervinientes necesarios para elaborar el prototipo requerido por el proyecto.

AIII.A1.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 20 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 23 - Elementos positivos y negativos A1

Positivos	Negativos
Predisposición de los expertos a responder consultas.	Acceso restringido al material bibliográfico
	Disparidad en las versiones de lo ocurrido según la visión del autor
	Imposibilidad de acceso a los datos relacionados con las características propias de las edificaciones de las reducciones locales.

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

Las tareas planificadas se llevaron a cabo en su totalidad, se pudieron identificar las necesidades de proyecto en cuanto al escenario y los objetos a modelar. En una posterior iteración se analizarán las posibilidades de incorporar objetos modelados y/o animados por terceros para acortar los tiempos.

Proponer mejoras al proceso

- Obtener el visto bueno de los expertos sobre las conclusiones abordadas del análisis de la documentación.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

AIII.2 Iteración A2:

AIII.A2.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración A2 es modelar los objetos a ser incluidos dentro del escenario virtual y/o adquirirlos a partir del trabajo de terceros, siempre que cumplan con las características deseadas, a fin de acortar los tiempos de la iteración.

Métrica:

- Conjunto de objetos modelados que figuren en la lista de objetos necesarios confeccionada en la iteración A1.

Requisitos involucrados:

- Conocimiento práctico de las técnicas de captura de información para el modelado tridimensional.
- Manejo de herramientas de modelado tridimensional.
- Contacto con especialistas en áreas como arquitectura e historia para realizar la comprobación de los modelos en cuanto a su correcta estructura y similitud histórica dentro de los parámetros aceptables según la información disponible.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.A2.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 24 - Manejo de problemas A2

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
Falta de información arquitectónica de edificaciones involucradas.	Alto	Entrevista con expertos a fin de conocer modelos actuales o históricos que posean especificaciones de estructura similar a fin de obtener un modelo que refleje el edificio en cuestión.
Escaso manejo de técnicas de retopología ³⁰ .	Medio	Investigar técnicas de retopología sencillas con una curva de aprendizaje baja a fin de no perjudicar los tiempos del proyecto. Generación de objetos con un nivel adecuado de vértices.

AIII.A2.3 - Desarrollo de la iteración

Adquisición de objetos 3D:

En el mercado existen diversos sitios web que ofrecen objetos 3D modelados por empresas y/o particulares, los cuales son adquiribles de forma gratuita o con un costo determinado. La búsqueda y adquisición de objetos pre-modelados acorta los tiempos del proyecto, pero los mismos deben cumplir con las especificaciones para dicho objeto, estar en un formato compatible con el motor de desarrollo y poseer un costo asequible.

El sitio web All3DP ofrece una lista de almacenes de objetos 3D (ver Tabla 25), la que se utilizó para realizar un relevamiento de los objetos 3D necesarios para su descarga, a saber:

Tabla 25 - Lista de sitios web con objetos 3D descargables

Nombre del Sitio web	Dirección del sitio web	Tipos de modelos	¿Gratuito o de pago?
Galería en línea de Autodesk	https://gallery.autodesk.com/	Impresión 3D, ingeniería, arquitectura/visualización	Gratuito
Thingiverse	https://www.thingiverse.com	Impresión 3D	Gratuito
Recursos 3D de la NASA	https://nasa3d.arc.nasa.gov/	Impresión 3D, archivo/documentación	Gratuito

³⁰ La retopología es un **proceso digital** esencial dentro de la tecnología 3D con el que se construye una malla de polígonos simplificados de una forma 3D compleja existente.

Nombre del Sitio web	Dirección del sitio web	Tipos de modelos	¿Gratuito o de pago?
Instructables	https://www.instructables.com/	Impresión 3D	Gratuito
3D Warehouse	https://3dwarehouse.sketchup.com/	Impresión 3D, arquitectura/visualización, animación, juegos	Gratuito
TinkerCAD Things	https://www.tinkercad.com/things/	Impresión 3D, animación, juegos	Gratuito
Smithsonian X3D	https://3d.si.edu/	Impresión 3D, animación, diseño gráfico	Gratuito
MyMiniFactory	https://www.myminifactory.com/es/	Impresión 3D	Gratuito
TraceParts	https://www.traceparts.com/es	Impresión 3D, ingeniería, arquitectura/visualización	Gratuito
Evermotion	https://evermotion.org/downloads	Arquitectura/visualización, animación, diseño gráfico	Gratuito
OpenGameArt	https://opengameart.org/	Juegos	Gratuito
Thangs	https://thangs.com/	Impresión 3D, animación, juegos, diseño gráfico	Gratuito
YouMagine	https://www.youmagine.com/	Impresión 3D	Gratuito
Archive 3D	https://archive3d.net/	Arquitectura/visualización, animación, diseño gráfico	Gratuito
Blendswap	https://www.blendswap.com/	Impresión 3D, animación, juegos, diseño gráfico	Gratuito
3DContentCentral	https://www.3dcontentcentral.es/	Ingeniería	Gratuito
3D CAD Browser	https://www.3dcadbrowser.com/	Impresión 3D, animación	Gratuito
ShareCG	https://www.sharecg.com/	Animación, diseño gráfico	Gratuito
3DModelFree	http://es.3dmodelfree.com/	Arquitectura/visualización, animación, diseño gráfico	Gratuito
Unity Asset Store	https://assetstore.unity.com/3d	Arquitectura/visualización, animación, juegos	Ambos
Sketchfab	https://sketchfab.com/	Impresión 3D, animación, juegos	Ambos
CGTrader	https://www.cgtrader.com/	Impresión 3D, arquitectura/visualización, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos

Nombre del Sitio web	Dirección del sitio web	Tipos de modelos	¿Gratuito o de pago?
TurboSquid	https://www.turbosquid.com/es/	Arquitectura/visualización, juegos, diseño gráfico	Ambos
GrabCAD	https://grabcad.com/	Impresión 3D, ingeniería	Ambos
Cults	https://cults3d.com/es	Impresión 3D	Ambos
Free3D	https://free3d.com/es/	Arquitectura/visualización, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos
3dsky	https://3dsky.org/	Arquitectura/visualización, animación, diseño gráfico	Ambos
PARTcloud	https://partcloud.net/	Impresión 3D, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos
BiblioCAD	https://www.bibliocad.com/	Arquitectura/visualización, ingeniería, diseño gráfico	Ambos
STLFinder	https://www.stlfinder.com/	Impresión 3D, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos
3DExport	https://es.3dexport.com/	Impresión 3D, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos
3dMdb	https://3dmdb.com/	Impresión 3D, arquitectura/visualización, animación, juegos, diseño gráfico	Ambos
Pinshape	https://pinshape.com/	Impresión 3D	Ambos
Clara.io	https://clara.io/	Impresión 3D, animación, diseño gráfico	Ambos
3DMili.com	https://3dmili.com/	Arquitectura/visualización	Ambos
Kenney	https://kenney.nl/	Juegos	Ambos
Design Connected	https://www.designconnected.com/	Arquitectura/visualización, diseño gráfico	Ambos
PixelLab	https://www.thepixellab.net/freebies	Animación, diseño gráfico	Ambos
3D Scanstore	https://www.3dscanstore.com/	Animación, juegos	Ambos
Dimensiva	https://dimensiva.com/	Animación, diseño gráfico	Ambos
Renderpeople	https://renderpeople.com/es/	Arquitectura/visualización, diseño gráfico	Ambos
VizPeople	https://www.viz-people.com/	Arquitectura/visualización, diseño gráfico	Ambos

Nombre del Sitio web	Dirección del sitio web	Tipos de modelos	¿Gratuito o de pago?
Sincronia	https://www.sincronia.com/en	Arquitectura/visualización, animación, diseño gráfico	Ambos
Human Alloy	https://humanalloy.com/	Arquitectura/visualización, diseño gráfico	Ambos

Objetos 3D obtenidos comercialmente:



Figura 84 - Animal pack Deluxe de JANPEC
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/animals/animal-pack-deluxe-99702>)

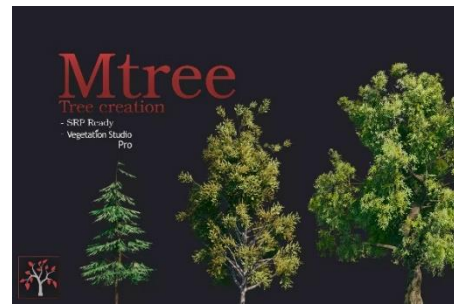


Figura 85 - Mtree – Tree Creation de MX
(<https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/mtree-tree-creation-132433>)

Objetos 3D obtenidos de forma gratuita:

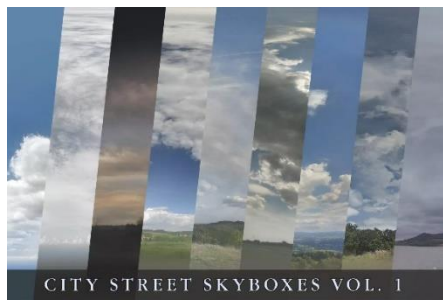


Figura 86 - City Street Skyboxes vol. 1
(<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/city-street-skyboxes-vol-1-157401>)



Figura 87 - Fire & Spell Effects deDigital Ruby (Jeff Johnson)
(<https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/fire-spell-effects-36825>)



Figura 88 - Realistic Tree 9 [Rainbow Tree] de Rakshi Games
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/realistic-tree-9-rainbow-tree-54622>)



Figura 89 - Realistic Terrain Collection LITE de 400m Creations
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/realistic-terrain-collection-lite-47726>)



Figura 90 - Crates and Barrels Pack vol 1 de Helix Studio
(<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/exterior/crates-and-barrels-pack-volume-1-free-version-128829>)



Figura 91 - Explosive Realistic Texture pack de Gustav Hagerling
(<https://assetstore.unity.com/packages/vfx/particles/fire-explosions/explosive-realistic-vfx-texture-free-34541>)



Figura 92 - Terrain Textures Pack Free de ALP8310
(<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/terrain-textures-pack-free-139542>)

Cabe mencionar que para comenzar con un proyecto de realidad virtual se debe trabajar con el paquete de iniciación de Unity y el software de desarrollo de Realidad Virtual de Google (GVR SDK) disponibles en el repositorio de Github.



Figura 93 - Standard Assets de Unity Technologies
(<https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2018-4-32351>)



Figura 94 - Google VR SDK for Unity
(<https://github.com/googlevr/gvr-unity-sdk/releases>)

Objetos 3D Modelados dentro del proyecto

Iglesia, Residencia de los Padres, Colegio, 1er Patio, Talleres, Almacén y 2do Patio
(Figura 95 a la Figura 100)

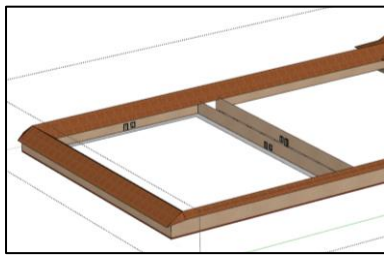


Figura 95 - Talleres, Almacén y 1er Patio

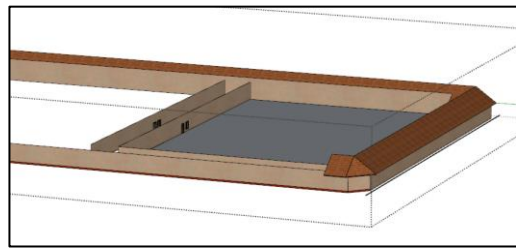


Figura 96 - Coti Guazú y 2do Patio



Figura 97 - Iglesia (vista interior)

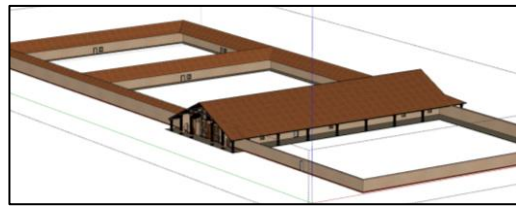


Figura 98 - Residencia de los Padres, Colegio y Patio del Colegio



Figura 99 - Iglesia (vista frontal)



Figura 100 - Iglesia (corte sagital)

Campanario (Figura 101 y Figura 102)



Figura 101 - Campanario (con texturas)



Figura 102 - Campanario (sin texturas)

Huerta de los padres (Figura 103)



Figura 103 - Huerta de los Padres

Cementerio (Figura 104)



Figura 104 - Cementerio

Plaza Central (Figura 105)



Figura 105 - Plaza Central (vista proyectada)

Casas de los indios (Figura 106 a la Figura 109)

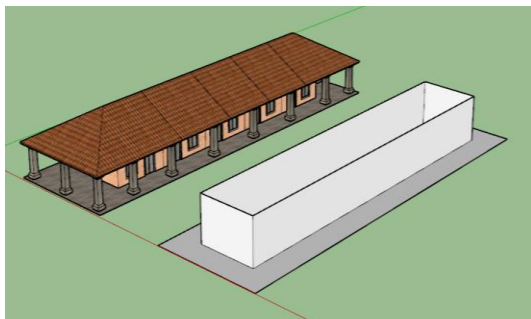


Figura 106 - Casa de los guaraníes (paso 1)

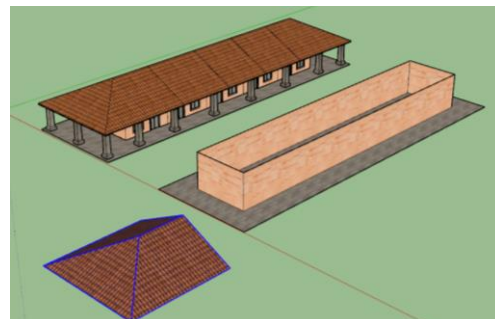


Figura 107 - Casa de los guaraníes (paso 2)



Figura 108 - Casa de los guaraníes (paso 3)



Figura 109 - Casa de los guaraníes (paso 4)

Casas del Cabildo y de Caciques (Figura 110 y Figura 111)

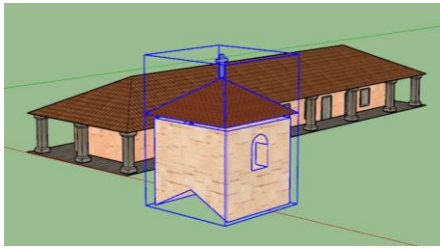


Figura 110 - Cabildo (paso 1)

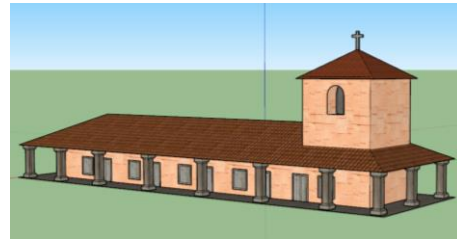


Figura 111 - Cabildo (paso 2)

Cárcel (Figura 112 a la Figura 114)

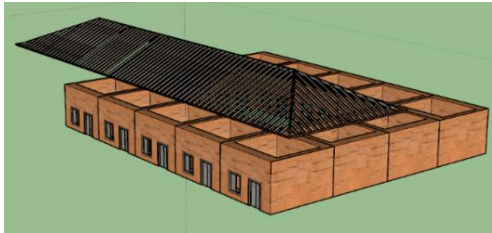


Figura 112 - Cárcel (modificación de una casa - paso 1)

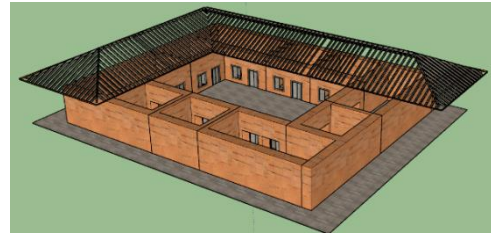


Figura 113 - Cárcel (modificación de una casa - paso 2)



Figura 114 - Cárcel (modificación de una casa - paso 3)

Soldados, Bandeirantes, Guaraníes y Gauchos (Figura 115 a la Figura 118)



Figura 115 - Soldado Argentino (adaptación de un modelo realizado por terceros)



Figura 116 - Bandeirante (elaboración propia)



Figura 117 - Guarani (elaboración propia)



Figura 118 - Gaucho (elaboración propia)

Particularmente para el caso de los gauchos y los bandeirantes, al no existir en ningún repositorio modelos disponibles, debido a sus características particulares, se los desarrolló dentro del proyecto por medio del software Marvelous Designer 9 (Figura 119 y Figura 120)

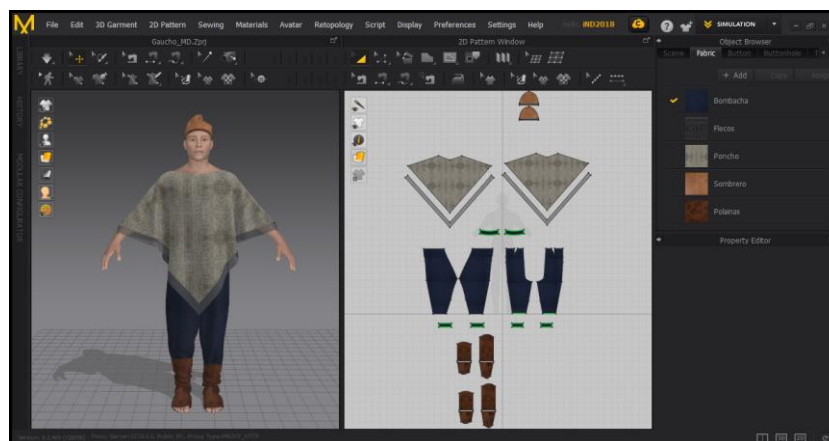


Figura 119 - Diseño del personaje Gaucho (elaboración propia)

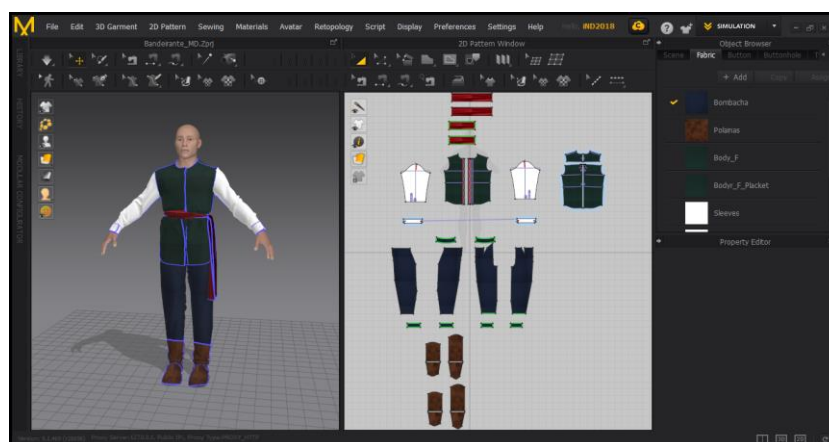


Figura 120 - Diseño del personaje Bandeirante (elaboración propia)

Verificar tarea

- Se modelaron los objetos a incluir en el prototipo.
- Se realizó una búsqueda de sitios que ofrecen objetos 3D modelados por terceros adquiribles de forma gratuita o de pago.
- Se adquirieron objetos complejos producidos por terceros.

AIII.2.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 35 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 26 - Elementos positivos y negativos A2

Positivos	Negativos
Posibilidad de adquirir objetos 3D modelados por terceros de forma gratuita.	Imposibilidad de conseguir todos los objetos necesarios para lograr una representación realista del escenario.
	Restricción en el número de objetos 3D para mantener la compatibilidad con los dispositivos de implementación.

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

- Los objetivos se cumplieron en un 80 %, excluyendo objetos no imprescindibles en el desarrollo del primer prototipo.

Proponer mejoras al proceso

- Contar con un fondo económico para adquirir objetos 3D modelados de terceros que posean un costo asociado.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

AIII.3 Iteración A3:

AIII.A3.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración A3 es animar los objetos modelados y coordinar dichas animaciones con la de los objetos de generados por terceros.

Métrica:

- Cantidad de Objetos animados en relación a los que figuran en la lista de objetos necesarios confeccionada en la iteración A1 cuya propiedad “Animar” posea el valor “Si”.

Requisitos involucrados:

- Conocimiento práctico de animación de objetos 3D.
- Manejo de herramientas de animación de objetos 3D.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.A3.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 27 - Manejo de problemas A3

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
Sobreexigencia del motor gráfico que provoca errores en la ejecución.	Alto	Reducir la cantidad de animaciones.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto se encuentra al 60% de su ejecución en fase alfa.

Registrar medidas

- Se configurarán las animaciones de los objetos propios y de terceros.

AIII.A3.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Se configurarán las animaciones preestablecidas de los objetos terceros.
- Se utilizarán servicios de terceros para animar los personajes a ser utilizados dentro del escenario.

- Se generarán las animaciones de los objetos propios dentro del motor de juego.

Ejecución de tareas

Las animaciones fueron configuradas según el tipo de elemento:

- Modelos 3D de terceros: Las animaciones están incluidas dentro del paquete descargable del modelo, las mismas solo deben ser direccionadas dentro del motor de desarrollo (Figura 121).

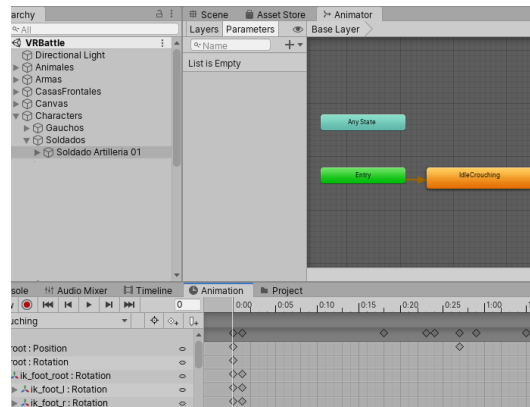


Figura 121 - Animaciones incluidas en modelos de terceros

- Modelos propios humanoides: Las animaciones para los modelos humanoides se pueden incorporar a los modelos por medio de la herramienta gratuita de Adobe llamada Mixamo, la cual es accesible desde la web por medio del siguiente vínculo: <https://www.mixamo.com/>. La herramienta permite subir los modelos humanoides a su servidor, aplicarles una animación de las disponibles en su repositorio (previa configuración) y descargarlos para ser incorporados en el motor de desarrollo (Figura 122 a la Figura 126).

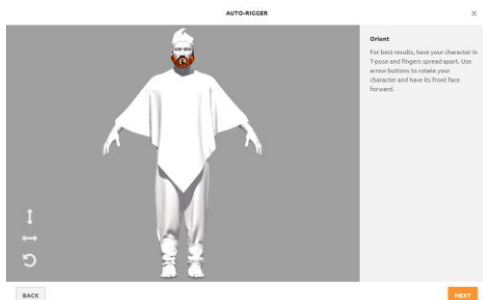


Figura 122 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 1

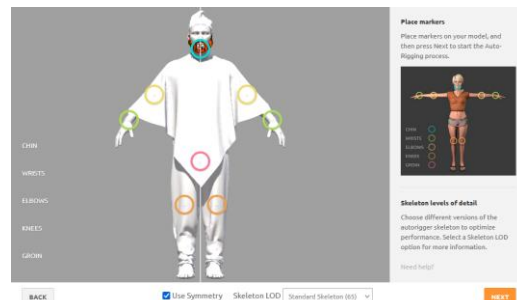


Figura 123 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 2



Figura 124 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 3

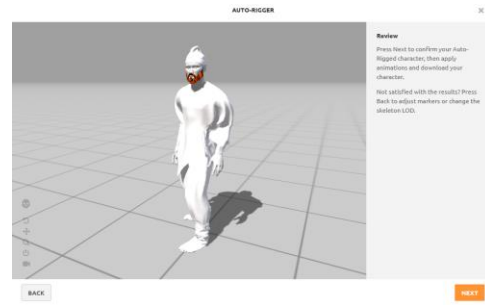


Figura 125 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 4

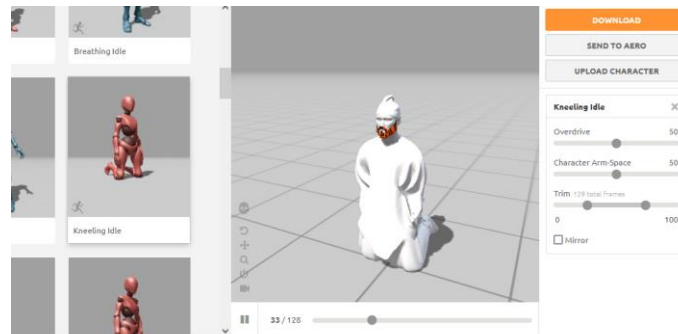


Figura 126 - Animación de modelos propios en Mixamo - paso 5

- Modelos propios no humanoides: Las animaciones para este tipo de modelos se configuran dentro del mismo motor de desarrollo, generando un archivo de tipo controlador de animación (animator) y uno de tipo animación (animation). Cada controlador puede tener una o más animaciones, las cuales se pueden activar por medio de variables o desencadenadores (triggers). Dichas animaciones se “programan” utilizando la pestaña “timeline” (línea de tiempo) en donde se pueden cambiar los valores de las distintas propiedades de los objetos en un frame (marca de tiempo) determinado (Figura 127).

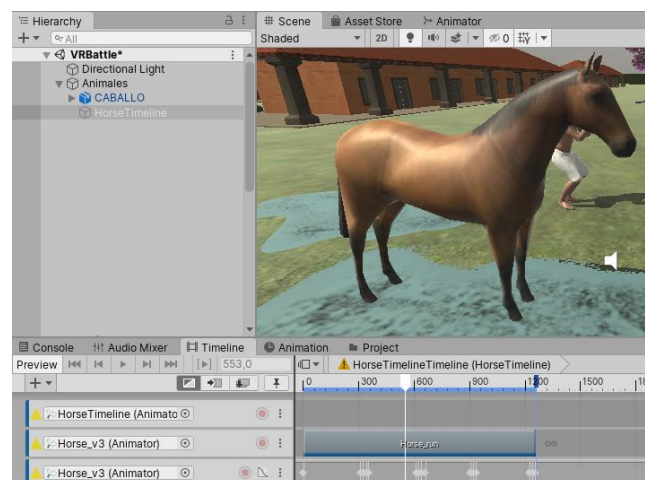


Figura 127 - Animaciones de modelos propios no humanoides

Verificar tarea

- Se agregaron las animaciones a los objetos 3D dentro del escenario en concordancia con lo estipulado en la iteración A1.
- Se realizaron las comprobaciones necesarias para asegurarse que las animaciones no provoquen una sobreexigencia del motor gráfico del teléfono móvil.

AIII.A3.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 60 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 28 - Elementos positivos y negativos A3

Positivos	Negativos
Animaciones incluidas en modelos adquiridos.	Si bien la disponibilidad de animaciones dentro de las herramientas online es muy variada, pueden no ajustarse a las necesidades del proyecto.
Disponibilidad de herramientas gratuitas online para animar modelos humanoides.	Programar las animaciones de forma manual, dentro del motor de desarrollo, consumen tiempos excesivos.
Herramienta de animación incluida dentro del motor de desarrollo.	

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

Se llevaron a cabo todas las tareas planificadas para esta iteración. Los modelos 3D de terceros y las herramientas online permitieron agregar más animaciones de las planificadas sin que esto perjudique la ejecución de la aplicación.

Proponer mejoras al proceso

- Realizar una búsqueda exhaustiva de modelos 3D gratuitos ya animados de terceros con características similares a las necesarias por el proyecto para poder reutilizarlos y ahorrar tiempo.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

AIII.4 Iteración A4:

AIII.A4.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración A4 es elaborar la interfaz de usuario.

Métrica:

- Generación de un Prototipo funcional de interfaz de usuario.

Requisitos involucrados:

- Conocimiento práctico de desarrollo de aplicaciones móviles.
- Manejo de herramientas de desarrollo de aplicaciones móviles.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.A4.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 29 - Manejo de problemas A4

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
Problemas para el intercambio de modalidad entre “vista normal” y “VR”	Alto	Investigación en la web para determinar si algún otro desarrollador tuvo el mismo inconveniente y cómo lo solucionó.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto se encuentra al 80% de su ejecución en fase alfa.

Registrar medidas

- Se desarrollará la interfaz de usuario.

AIII.A4.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Construcción del gráfico de nivel superior de la aplicación.
- Construcción del prototipo interactivo.
- Construcción del maquetado final de la aplicación.

Ejecución de tareas

Gráfico de nivel superior: Realizado en computadora, mostrando solamente la estructura básica de la aplicación en concordancia con los requisitos. El mismo funciona como una ayuda visual que enfatiza el recorrido del usuario. (Figura 128)

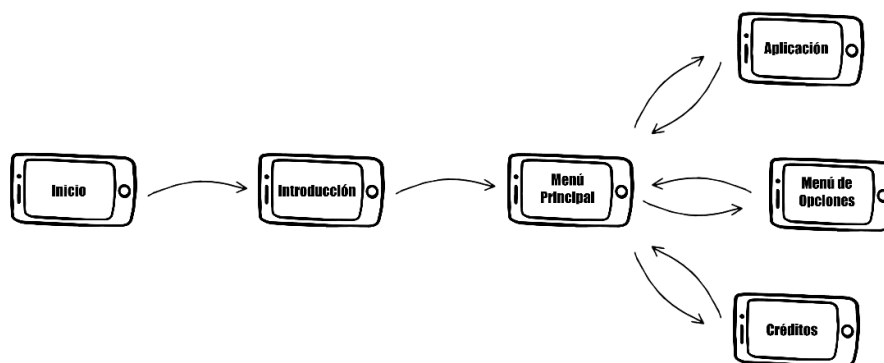


Figura 128 - Gráfico de navegación de nivel superior (Elaboración propia)

Prototipo Interactivo: A continuación, se realizó el prototipo interactivo, el cual no incluye las gráficas, fuentes, colores y/o animaciones finales, su finalidad principal es probar la navegación entre pantallas (Figura 129).

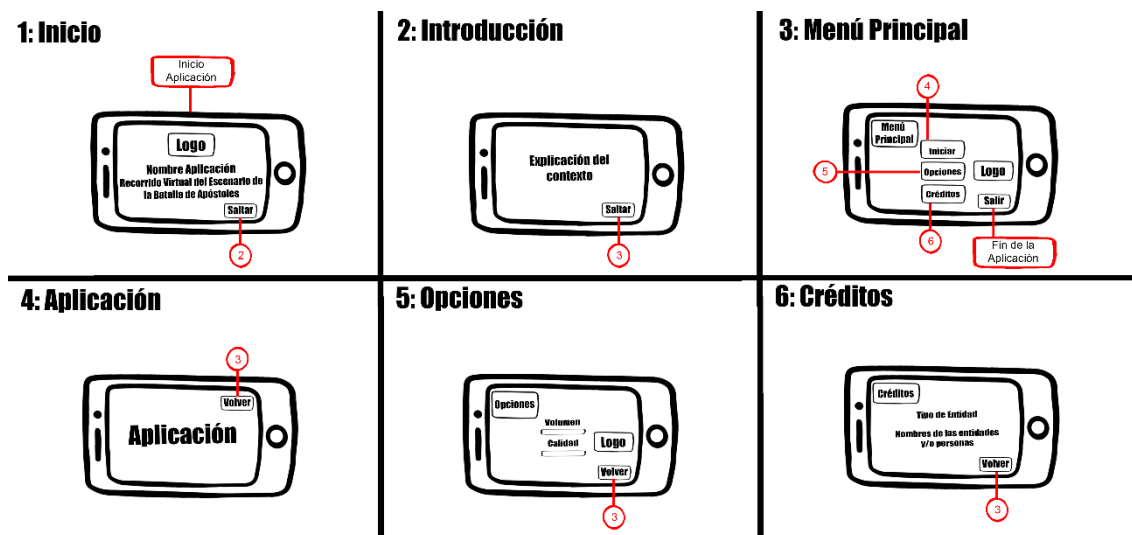


Figura 129 - Prototipo Interactivo (Elaboración propia)

Mockup (Maqueta): Se completó el diseño con las gráficas, fuentes y colores a ser utilizados en la aplicación, teniendo en cuenta la temática de las reducciones jesuíticas (Figura 130).



Figura 130 - Maqueta de la aplicación final (Elaboración propia)

Se realizó una búsqueda en repositorios de sonidos gratuitos a fin de encontrar uno que

Verificar tarea

- Se crearon las gráficas para los componentes de interfaz de la aplicación.
- Se realizaron las compilaciones de prueba para verificar que la interfaz cumple con las funcionalidades requeridas.

AIII.A4.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 80 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 30 - Elementos positivos y negativos A4

Positivos	Negativos
Disponibilidad de componentes de desarrollo de interfaz dentro del motor de desarrollo.	Necesidad de conocimientos de herramientas adicionales de diseño para la creación de las gráficas.

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

Se llevaron a cabo todas las tareas planificadas para esta iteración.

Proponer mejoras al proceso

- Verificar la disponibilidad de paquetes de interfaz de terceros gratuitos.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

AIII.5 Iteración A5:

AIII.A5.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración A5 es realizar la prueba alfa de funcionamiento y aceptación del prototipo.

Métrica:

- Evaluación del prototipo de aplicación por parte de un usuario técnico.

Requisitos involucrados:

- El estado del proyecto se encuentre del 70% - 90%.
- El prototipo es estable.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.A5.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 31 - Manejo de problemas A5

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
La aplicación no se instala	Medio	Verificar la compatibilidad. Verificar el espacio de almacenamiento.
La aplicación no se ejecuta	Medio	Verificar la compatibilidad.
La aplicación se ejecuta de forma incorrecta/inesperada	Medio	Cerrar las aplicaciones ejecutadas en segundo plano del dispositivo.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto se encuentra al 90% de su ejecución en fase alfa.

Registrar medidas

- Se desarrollarán las pruebas alfa con un usuario técnico.

AIII.A5.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Instalar la fase alfa de la aplicación en el dispositivo de pruebas.
- Ejecutar pruebas de funcionalidad y usabilidad.

Ejecución de tareas

Durante el mes de junio se tuvo contacto con el usuario experto, el cual accedió a realizar las pruebas alfa.

Verificar tarea

- La prueba alfa se llevó a cabo con éxito y se identificaron las modificaciones necesarias para su correcto funcionamiento en dispositivos de gama media-baja.

AIII.A5.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 90 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 32 - Elementos positivos y negativos A5

Positivos	Negativos
Posibilidad de realizar las pruebas alfa de la aplicación con expertos en la temática.	

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

- Se llevaron a cabo todas las tareas planificadas para esta iteración.

Proponer mejoras al proceso

- Verificar la compatibilidad con la mayor cantidad de dispositivos.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

AIII.6 Iteración B1:

AIII.B1.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración B1 es realizar la prueba beta de la aplicación relacionada a su experiencia luego del uso de la misma.

Métrica:

- Evaluación del prototipo de aplicación por parte de usuarios reales.

Requisitos involucrados:

- El estado del proyecto se encuentre del 95%.
- El prototipo es estable.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.B1.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 33 - Manejo de problemas B1

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
La aplicación no se instala	Alto	Verificar la compatibilidad. Verificar el espacio de almacenamiento.
La aplicación no se ejecuta	Alto	Verificar la compatibilidad.
La aplicación se ejecuta de forma incorrecta/inesperada	Alto	Cerrar las aplicaciones ejecutadas en segundo plano del dispositivo.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto se encuentra al 95% de su ejecución en fase beta.

Registrar medidas

- Se realizarán las pruebas de experiencia de usuario.

AIII.B1.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Presentar la aplicación en un evento donde concurren personas que puedan probar la aplicación.
- Instalar la aplicación en los dispositivos de los usuarios reales.

- Solicitar el llenado de un cuestionario de satisfacción (ver Anexo V) al finalizar la experiencia, con excepción de aquellos eventos que se hayan realizado en la ciudad de Posadas.
- Analizar los resultados obtenidos.

Ejecución de tareas

Presentaciones: Durante los meses julio, agosto y septiembre, se realizaron presentaciones oficiales de la experiencia en las ciudades de Apóstoles y Posadas, el detalle y registro fotográfico de las mismas se encuentran disponibles en el Anexo IV.

- 2 de julio de 2022: Acto en conmemoración de la Batalla de Apóstoles en la Plaza del Comandante Andresito de la Ciudad de Apóstoles.
- 8 de julio de 2022: Entrevista realizada por el canal de cable local acompañado de las autoridades municipales.
- 13 de julio de 2022: Cada del Mate de la Ciudad de Apóstoles, como actividad final de la primera instancia del City Tour (recorrido) de vacaciones.
- El 18 de julio de 2022: Spot publicitario municipal promocionando la experiencia virtual como actividad turística recreativa.
- 22 de julio de 2022: Cada del Mate de la Ciudad de Apóstoles, como actividad final de la segunda instancia del City Tour (recorrido) de vacaciones.
- 8 de septiembre de 2022: En la jornada de Expo Carreras de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones en el 4to tramo de la avenida Costanera de la Ciudad de Posadas (Misiones).

Cabe destacar que la experiencia se encuentra como actividad permanente en la Casa del Mate de la Ciudad de Apóstoles.

Verificar tarea

- Se logró la instalación y prueba por un total de 96 usuarios, de los cuales 60 estuvieron dispuestos a completar la encuesta.

AIII.B1.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 95 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 34 - Elementos positivos y negativos B1

Positivos	Negativos
Posibilidad de presentar la aplicación en concordancia con las actividades municipales.	Solicitar la participación en el cuestionario de evaluación de la aplicación y experiencia de uso generó molestias en algunos usuarios.

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

- Se llevaron a cabo todas las tareas planificadas para esta iteración.

Proponer mejoras al proceso

- Verificar la compatibilidad con la mayor cantidad de dispositivos.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- Se solicitó la posibilidad de agregar la compatibilidad con un mando tipo bluetooth.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual ya que estaba prevista la incorporación de modificaciones luego de esta etapa.

AIII.7 Iteración B2:

AIII.B2.1 - Planificación de la iteración

Objetivo

- El objetivo de la iteración B2 es realizar los cambios sugeridos en la etapa B1.

Métrica:

- Incorporación de las modificaciones solicitadas.

Requisitos involucrados:

- El estado del proyecto se encuentre del 98%.
- El prototipo es estable.

Refinamiento de requisitos involucrados

- No aplicable

AIII.B2.2 - Seguimiento de la iteración

Manejo de problemas:

Tabla 35 - Manejo de problemas B2

Causa	Impacto	Soluciones Posibles
La aplicación no reconoce el mando bluetooth	Alto	Verificar la compatibilidad.
La aplicación reconoce el mando, pero éste no responde	Alto	Verificar la programación.

Determinar y comunicar el estado actual del proyecto

- El proyecto se encuentra al 98% de su ejecución en fase beta.

Registrar medidas

- Se realizarán las modificaciones sugeridas por los usuarios.

AIII.B2.3 - Desarrollo de la iteración

Definición de tareas

- Adquirir un mando bluetooth compatible.
- Codificar la nueva funcionalidad.
- Probar el correcto funcionamiento.

Ejecución de tareas

Se decidió incorporar al proyecto el mando bluetooth incluido en la compra del visor cuyas características están descriptas en el apartado 3.1 Recursos Disponibles:.

Verificar tarea

- Se logró la correcta incorporación del mando bluetooth.

AIII.B2.4 - Cierre de la iteración

Evaluar el estado del proyecto

- El proyecto se encuentra al 98 % de su conclusión.

Evaluar iteración

- Se cumplieron con los objetivos de la iteración.

Identificar los elementos positivos y negativos

Tabla 36 - Elementos positivos y negativos B2

Positivos	Negativos
Posibilidad de recorrer el entorno virtual utilizando un mando externo y no el ángulo de visión.	Necesidad de poseer un mando bluetooth para poder disfrutar de la experiencia.

Evaluar el cumplimiento de los objetivos

- Se llevaron a cabo todas las tareas planificadas para esta iteración.

Proponer mejoras al proceso

- No aplicable.

Actualizar el plan de proyecto

Determinar cambios

- No se necesitan realizar cambios al proyecto actual.

Realizar cambios

- No se necesitan realizar cambios en el proyecto actual.

ANEXO IV: Presentación de la aplicación

El 22 de junio de 2022, luego de una reunión con la Intendente de la Municipalidad de Apóstoles, María Eugenia Safrán, se llegó a un acuerdo para presentar el prototipo de aplicación el 2 de julio de 2022, durante el acto en conmemoración a la Batalla de Apóstoles, que se llevó a cabo en la intersección de la calle Suipacha y la Avenida 9 de Julio (Figura 131), a la vera de la plazoleta “General Andresito” de la localidad de Apóstoles (Figura 132 y Figura 133).



Figura 131 - Ubicación geográfica del evento (Google Maps)

Para dicha presentación, se realizó un video corto, en donde se dejaba entrever la existencia de una nueva alternativa para conocer el escenario de la Batalla de Apóstoles y revivir la experiencia. El mismo está disponible de forma privada en el siguiente link: <https://www.youtube.com/watch?v=BsTHsekjCz4> y cuyas capturas se pueden apreciar a continuación (Figura 134)



Figura 132 - Proyección del video promocional de la Aplicación VR-Yvy



Figura 133 - Proyección del video promocional de la Aplicación VR-Yvy



Figura 134 - Video promocional (Elaboración propia)

El 8 de julio de 2022 se organizó una reunión en la Casa del Mate de Apóstoles, con la directora de turismo de la localidad, Florencia Banacor Tuzinkievicz. Junto a ella y demás personal de la municipalidad se realizó una entrevista televisiva para el noticiero local, en donde se invitó a la comunidad a disfrutar de la experiencia de realidad virtual VR-Yvy (Figura 135 a la Figura 138).



Figura 135 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.



Figura 136 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.



Figura 137 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.



Figura 138 - Presentación de la Aplicación VR-Yvy en el noticiero del canal de cable local.

El miércoles 13 de julio se realizó un City Tour (recorrido) patrocinado por la municipalidad como parte de las actividades de la primera semana de vacaciones de invierno en el municipio, donde se culminó con la demostración de la experiencia virtual VR-Yvy (Figura 139 a la Figura 141).



Figura 139 - Afiche presentación de la primera instancia del recorrido (Elaborado por la Municipalidad de Apóstoles)



Figura 140 - Prueba con usuarios reales



Figura 141 - Prueba con usuarios reales

El 18 de julio de 2022 se publicó un spot publicitario municipal (Figura 142 a la Figura 145) con las actividades de invierno, donde se puede apreciar la visita de los alumnos de distintas instituciones disfrutando de la experiencia virtual VR-Yvy. El mismo está disponible en el siguiente enlace: <https://fb.watch/iodNXLrqN1/>



Figura 142 - Video promocional creado por la municipalidad



Figura 143 - Video promocional creado por la municipalidad



Figura 144 - Video promocional creado por la municipalidad



Figura 145 - Video promocional creado por la municipalidad

El viernes 22 de julio se realizó la segunda instancia del City Tour, ofreciendo nuevamente la experiencia de realidad virtual VR-Yvy.



Figura 146 - Afiche presentación de la segunda instancia del recorrido (Elaborado por la Municipalidad de Apóstoles)

El 8 de septiembre de 2022 durante la jornada de Expo Carreras realizada en el 4to tramo de la avenida Costanera de la localidad de Posadas (Mnes), el Profesorado Universitario de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la Universidad Nacional de Misiones, presentó como uno de los atractivos la experiencia de realidad virtual VR-Yvy, entre otros contenidos desarrollados (Figura 147 a la Figura 151).



Figura 147 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas



Figura 148 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas



Figura 149 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas



Figura 150 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas



Figura 151 - Muestra de la aplicación VR-Yvy en la ExpoCarreras en la Ciudad de Posadas

En cada caso (con excepción de las muestras en la localidad de Posadas) se dejó a disposición un cuestionario, el mismo evalúa dos dimensiones, “Aplicación” y “Experiencia”. El modelo de cuestionario y sus resultados se encuentran en el Anexo V, los mismos se utilizarán para mejorar la aplicación en versiones futuras de la experiencia.

ANEXO V: Consulta de experiencia con la aplicación

Modelo de cuestionario:

		1	2	3	4	5
Cuestionario de evaluación de experiencia de usuario – VR-Yvy (prototipo)						
Teniendo en cuenta tu experiencia con la aplicación VR-Yvy, te pido que respondas el cuestionario y califiques cada situación del 1 al 5, siendo 1: “Nada de acuerdo” y 5: Totalmente de acuerdo” según tu grado de satisfacción.						
APLICACIÓN						
1	Es sencilla de instalar.					
2	Es fácil de utilizar.					
3	Es adecuada para los dispositivos que hoy están a la venta.					
4	Demanda mucho tiempo aprender a usarla.					
5	Podrá ser usada sin ayuda.					
EXPERIENCIA						
6	La recomendaría a tus amistades.					
7	Es una herramienta que permite incluir a las personas en las nuevas tecnologías.					
8	Ayuda a promover la historia de la localidad de Apóstoles.					
9	Ayudará a las personas a entender lo que ocurrió en la Batalla de Apóstoles					
10	Es una aplicación que se podría utilizar en la escuela o lugares turísticos.					
11	Me ha dejado satisfecho, siendo esta una primera versión de la aplicación					
12	Necesita modificaciones para lograr una mejor experiencia.					

Figura 152 - Modelo de cuestionario de evaluación de la experiencia de usuario

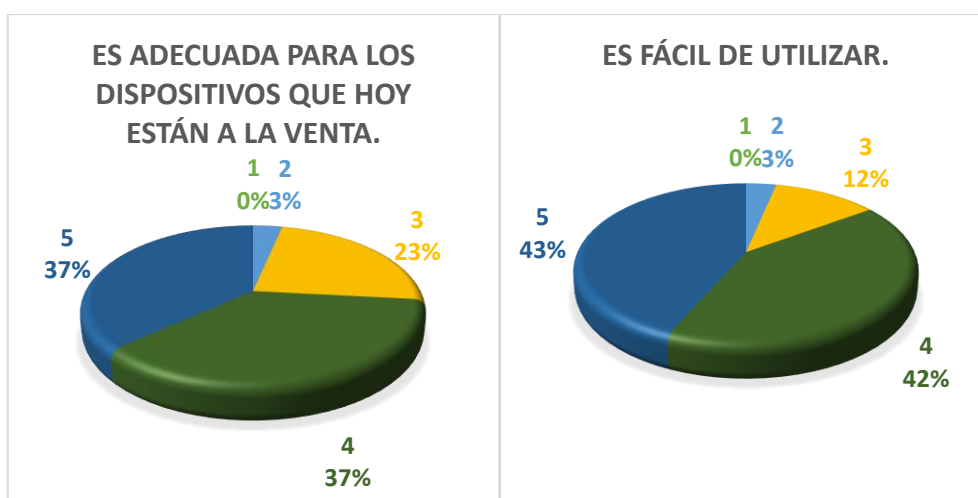
Resultados:

- Personas encuestadas: 60

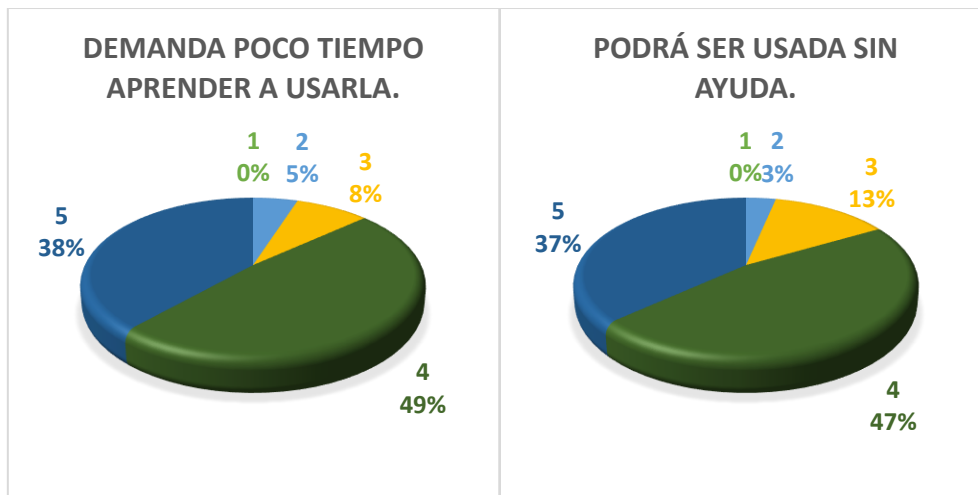
Tabla 37 - Resultados del cuestionario aplicado a los usuarios reales

		1	2	3	4	5
1	Es sencilla de instalar.	0	2	4	26	28
2	Es fácil de utilizar.	0	2	7	25	26
3	Es adecuada para los dispositivos que hoy están a la venta.	0	2	14	22	22
4	Demanda poco tiempo aprender a usarla.	0	3	5	29	23
5	Podrá ser usada sin ayuda.	0	2	8	28	22
6	La recomendaría a tus amistades.	0	1	0	14	45
7	Es una herramienta que permite incluir a las personas en las nuevas tecnologías.	0	0	2	16	42

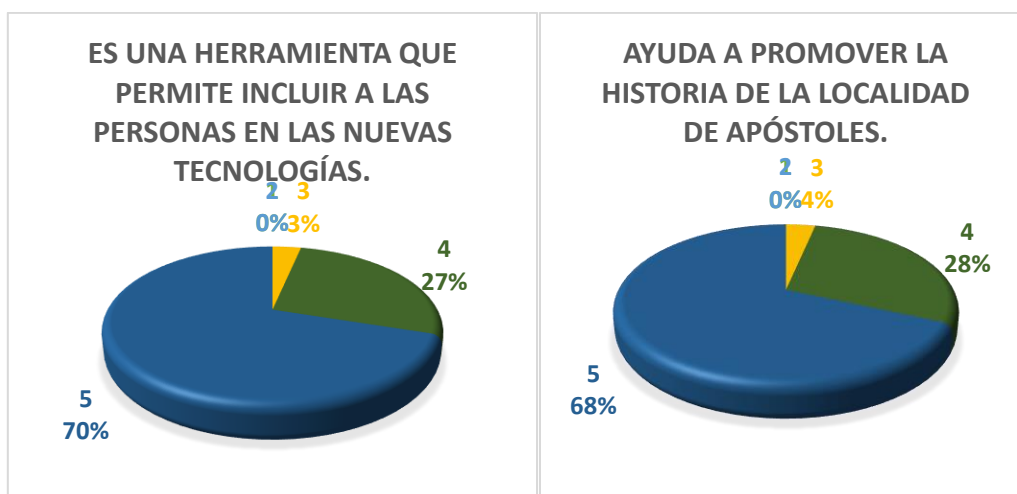
8	Ayuda a promover la historia de la localidad de Apóstoles.	0	0	2	17	41
9	Ayudará a las personas a entender lo que ocurrió en la Batalla de Apóstoles	0	0	2	17	41
10	Es una aplicación que se podría utilizar en la escuela o lugares turísticos.	0	0	2	14	44
11	Me ha dejado satisfecho, siendo esta una primera versión de la aplicación	0	0	10	20	30
12	No necesita modificaciones para lograr una mejor experiencia.	0	0	12	21	27

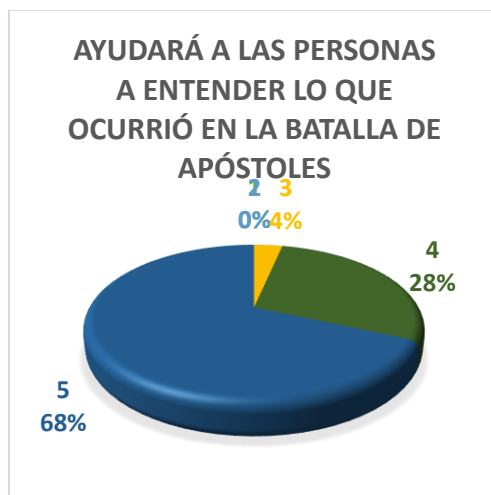


El 47 % es sencilla de instalar y el 42 % se refirió que es fácil de utilizar siempre y cuando se cuente con el visor. Un 37 % de los encuestados considera que es adecuada para los dispositivos que están a la venta actualmente, ya que la mayoría cuenta con sensor giroscópico.



Un 49 % asegura que demanda poco tiempo en aprender a usar la aplicación, y que podrá ser usada sin ayuda adicional (47 %). Por tal motivo, la recomendarían a sus amistades (75 %).





Un 70 % afirma que es una herramienta que permite incluir a las personas en las nuevas tecnologías, mientras que un 68 % que ayuda a promover la historia de la localidad y 68% que ayudará a entender lo que ocurrió en la batalla de Apóstoles. 73 % de los encuestados, considera que es una aplicación que se podría utilizar en la escuela o en lugares turísticos.



Un 50 % quedó totalmente satisfecho con la primera versión de la aplicación, mientras que un 17 % concluyó que debería tener una alternativa a la línea de visión para trasladarse dentro del entorno virtual. Pero que, con dicha salvedad, no necesita de alguna otra modificación para lograr una mejor experiencia (45 %).

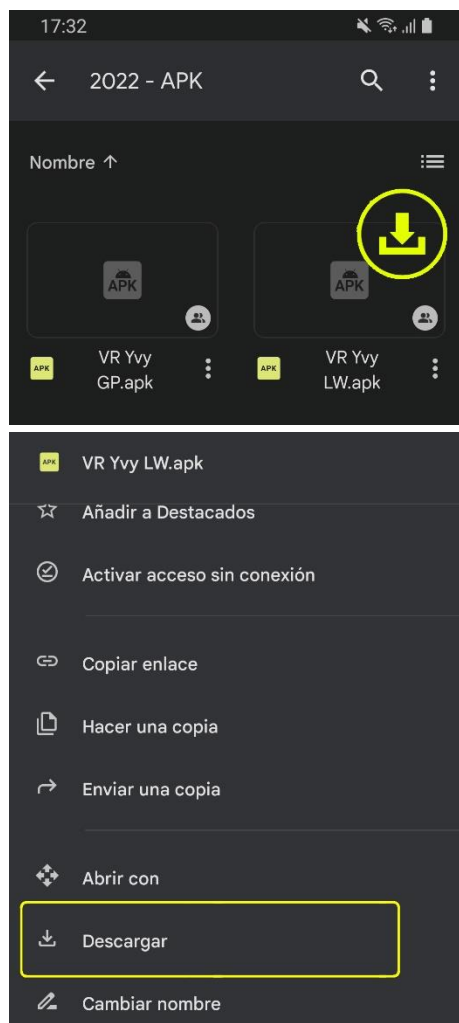
ANEXO VI: Manual de instalación de la aplicación VR-Yvy

VR-Yvy: Disponible en sus versiones LookWalk (caminar por línea de visión) y GamePad (caminar por movimientos del mando de control) en la siguiente dirección: <https://cutt.ly/J3cKIG6>

Descarga e Instalación:

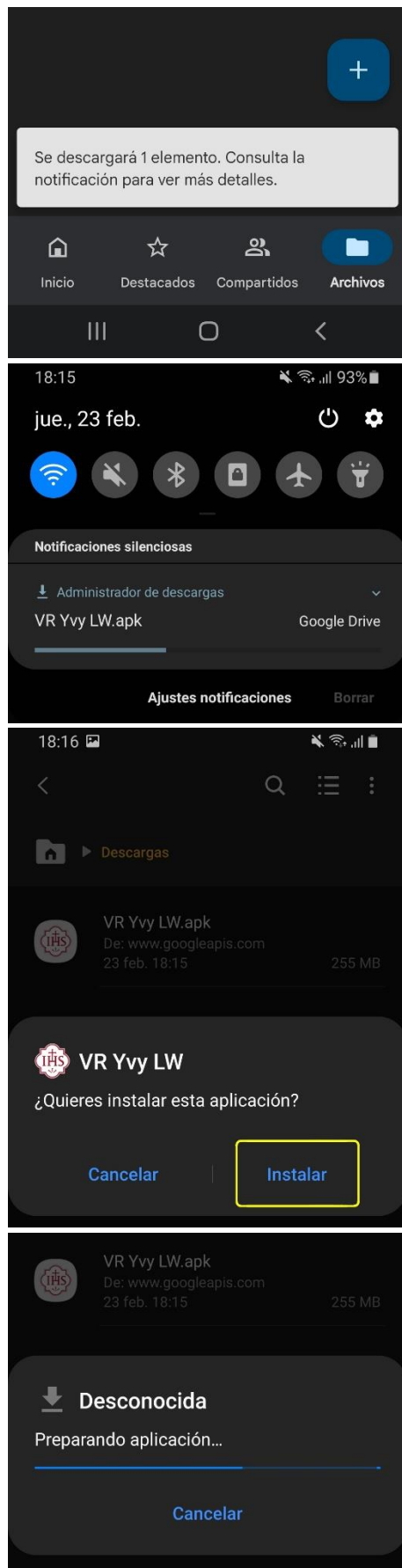
Para lograr la instalación efectiva y sin problemas de la aplicación VR-Yvy se debe contar con un dispositivo móvil con sensor giroscópico y un espacio de almacenamiento mínimo disponible de 256 megabytes. Mientras que para poder utilizarlo se debe poseer un visor tipo cardboard y opcionalmente un mando de juegos o joystick dependiendo de la versión a instalar.

Debido a que ambas versiones de la aplicación son similares en cuanto a su instalación, en el siguiente apartado no se hará distinción alguna entre ambas a menos que sea estrictamente necesario.



Ingresa a la dirección web proporcionada y realiza un toque (tap) sobre los 3 puntos de la esquina inferior derecha del ícono de la versión de la aplicación que desea descargar.

En las opciones, seleccionar “Descargar” para obtener una copia del archivo de instalación en su dispositivo.

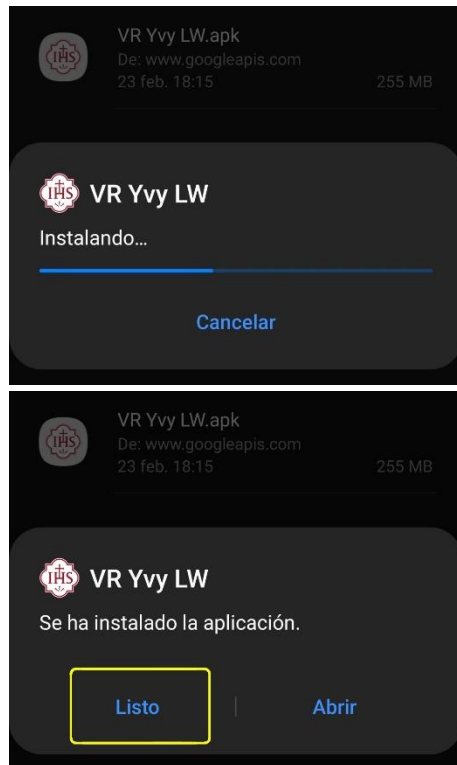


El sistema le avisará que se ha comenzado una descarga.

Puede consultar el progreso de la descarga en el área de notificación de su teléfono.

Una vez finalizada la descarga, será consultado por la siguiente acción. Seleccione “Instalar” para continuar.

El sistema verificará los requisitos para la instalación (normalmente asociado al espacio de memoria disponible).



Luego de la verificación, la aplicación se instalará.

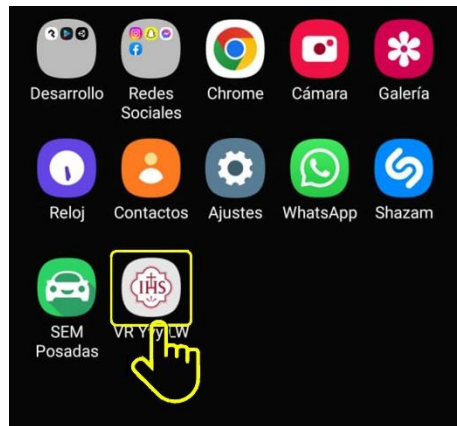
Terminada la instalación, seleccione la opción “Listo” para preparar el visor si no lo tiene a mano.



Quite el soporte para el teléfono móvil del visor.



Coloque su teléfono móvil en el soporte del visor.



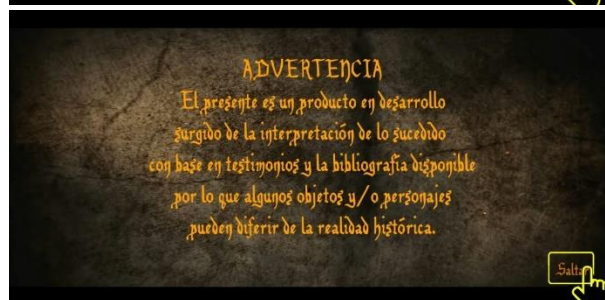
Inicie la aplicación con el teléfono ubicado en el soporte. Esto le servirá para verificar la orientación del mismo, antes de colocarlo nuevamente en el visor.



Verifique la orientación del teléfono móvil y de la aplicación como se muestra en la imagen.



Haga tap en el botón “Entrar”



A continuación, se mostrará un aviso y comenzará a reproducirse el video de introducción. El mismo narra los sucesos que llevaron al enfrentamiento entre las fuerzas argentinas y luso-brasileras. Puede saltarlo haciendo tap en el botón “Saltar”



Para comenzar con la experiencia, haga tap en el botón “Iniciar”



Cuando comience la experiencia verá que el teléfono móvil posee 2 representaciones de la escena (una para cada ojo).



Ahora puede colocar el soporte nuevamente dentro del visor.



Para una correcta visualización, puede regular la separación ocular (ajuste horizontal) y la distancia focal (ajuste vertical) del visor utilizando los botones deslizantes.



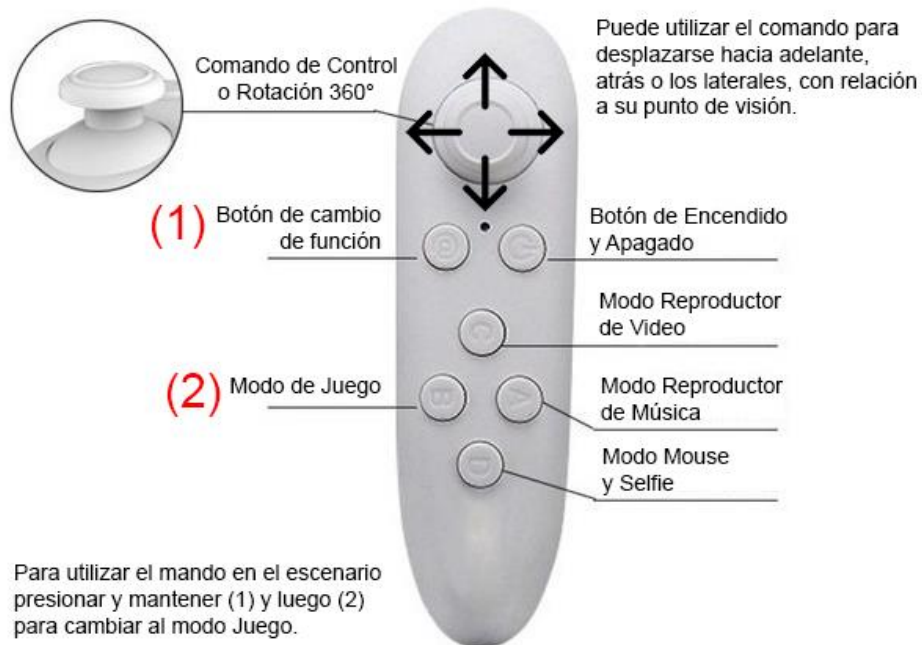
Ya puedes disfrutar de la experiencia con realidad virtual de la Batalla de Apóstoles.

Desplazamiento dentro del entorno virtual:

La versión LookWalk permite el libre desplazamiento dentro del escenario por medio de la variación en el ángulo de visión.



La versión GamePad hace uso de un mando de juego o joystick con conexión Bluetooth para desplazarse dentro del entorno virtual. Para ello debe emparejar el mando con el teléfono móvil previamente a la ejecución de la aplicación y seguir las indicaciones:



Referencias

- [1] A. Marroquín Villafañe, “Recorrido Virtual como solución a un problema de acceso a lugares patrimoniales, caso edificio coltabaco,” *Photosynthetica*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2018, [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3%0Aht>
- [2] S. F. Haensel Solórzano, “Aplicación para Oculus Go basada en fósil de megafauna prehistórica como soporte a la divulgación del patrimonio paleontológico ecuatoriano,” 2019.
- [3] D. Pérez Vidal, “Difusión del patrimonio cultural: Actualidad,” *Ark Magazine*, pp. 1–18, 2020.
- [4] E. I. García Vacas, “Análisis comparativo de diferentes sistemas de digitalización tridimensional aplicados a patrimonio escultórico,” 2018. [Online]. Available: [file:///C:/Users/OH/Downloads/Analisis comparativo de diferentes sistemas de digitalizacion tridimensional aplicados a patrimonio escultorico. Caso de estudio La Fuente, obra de Enrique Cejas Zaldivar..pdf](file:///C:/Users/OH/Downloads/Analisis%20comparativo%20de%20diferentes%20sistemas%20de%20digitalizacion%20tridimensional%20aplicados%20a%20patrimonio%20escultorico.%20Caso%20de%20estudio%20La%20Fuente,%20obra%20de%20Enrique%20Cejas%20Zaldivar..pdf)
- [5] P. Irala Hortal, “Patrimonio Fotográfico y nuevas tecnologías: EL archivo de jalón y la realidad aumentada,” *Archivos e Industrias Culturales*, pp. 1–9, 2014.
- [6] A. Gaitatzes, D. Christopoulos, and M. Roussou, “Reviving the past: Cultural Heritage meets Virtual Reality,” *Proceedings VAST 2001 Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage*, pp. 103–109, 2001.
- [7] M. Song, T. Elias, W. Müller-Wittig, and T. K. Y. Chan, “Interacting with the virtually recreated Peranakans,” *Proceedings of the 1st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia, GRAPHITE '03*, pp. 223–229, 2003, doi: 10.1145/604471.604515.
- [8] V. Sundstedt, A. Chalmers, and P. Martinez, “High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha,” *ACM International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality and Visualisation in Africa*, pp. 107–113, 2004, doi: 10.1145/1029949.1029970.
- [9] S. F. El-hakim, G. Macdonald, J. Lapointe, L. Gonzo, and M. Jemtrud, “On the Digital Reconstruction and Interactive Presentation of Heritage Sites through Time,” no. Vast, 2006.
- [10] “History in the Making | Computer Graphics World.” <https://www.cgw.com/Publications/CGW/2009/Volume-31-Issue-12-Dec-2008-/History-in-the-Making.aspx> (accessed Feb. 14, 2023).
- [11] F. Bellotti, R. Berta, A. de Gloria, and V. Zappi, “Exploring gaming mechanisms to enhance knowledge acquisition in virtual worlds,” *Proceedings - 3rd*

- International Conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts, DIMEA 2008*, pp. 77–84, 2008, doi: 10.1145/1413634.1413653.
- [12] F. Bruno, S. Bruno, G. de Sensi, M. L. Luchi, S. Mancuso, and M. Muzzupappa, “From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition,” *J Cult Herit*, vol. 11, no. 1, pp. 42–49, 2010, doi: 10.1016/j.culher.2009.02.006.
- [13] D. Christopoulos, P. Mavridis, A. Andreadis, and J. N. Karigiannis, “Digital storytelling within virtual environments: ‘The Battle of Thermopylae,’” *Department of 3D Graphics and Virtual Reality Foundation of the Hellenic World*, vol. 7544, pp. 29–48, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-37042-7_2.
- [14] J. B. Madsen and C. B. Madsen, “Handheld visual representation of a castle chapel ruin,” *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 9, no. 1, pp. 1–18, 2015, doi: 10.1145/2822899.
- [15] S. Morandi and D. Storia, “Interactive Past .,” 2017.
- [16] V. Argyriou, Lemonia; Economou, Daphne; Bouki, “360-degree interactive video application for Cultural Heritage Education,” *Westminster Research*, 2017.
- [17] L. Debailleux, G. Hismans, and N. Duroisin, “Exploring Cultural Heritage Using Virtual Reality,” no. February, pp. 289–303, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-75826-8_24.
- [18] F. Cakir, “Structural Performance Evaluation of Reconstructed Masonry Structure: A Case of Ephesus Celsus Library in Turkey,” *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 15, no. 4, pp. 1–26, 2022, doi: 10.1145/3517339.
- [19] I. Balmaceda *et al.*, “Título : Modelo virtual abierto de la ciudad de San Juan”.
- [20] S. M. Deiana and M. A. Baseggio, “La Ciudad Intangible: Reconstrucción Virtual del Imaginario Urbano,” *SIGraDi 2000*, pp. 180–182, 2000.
- [21] Trexel Animation, “San Ignacio Miní,” 2009.
<https://www.behance.net/trexelanimation> (accessed Feb. 03, 2023).
- [22] P. María Mercedes Morita Gabriel Bilmes, G. M. Bilmes en Física, and M. Morita, “Digitalización 3D Para Documentación De Objetos Patrimoniales E Instalaciones De Media Art,” *Conversa: Voces en la conservación*, pp. 581–543, 2016.
- [23] N. Ghiani Echenique, O. L. Sokol, and M. Lozano, “Reconstrucción virtual: un aporte a la arqueología en tres dimensiones,” *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, vol. 4, no. 4, pp. 20–29, 2017, [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/78990>
- [24] G. Bjerg, Astrid; Larrea, Martín; Pachiana, “TIC y su Integración de la realidad virtual como herramienta para la educación y el turismo. El Caso de la Fortaleza Protectora Argentina (Bahía Blanca, Argentina),” *Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina*, no. 1, 2013, [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>

- [25] M. Selzer, N. Gazcón, J. Trippel Nagel, M. Larrea, S. Castro, and E. Bjerg, “Tecnologías Inmersivas Aplicadas: Realidad Virtual y Aumentada,” *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, pp. 366–370, 2018, [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/67458>
- [26] Y. Martín Varisto, A. Pinassi, M. Larrea, A. Bjerg, and D. Flores Choque, “Tics Y Difusión Del Patrimonio Cultural. Realidad Aumentada Y Virtual En El Área Fundacional De Bahía Blanca,” *Realidad, Tendencias Y Desafíos En Turismo*, vol. 10, pp. 53–73, 2012.
- [27] M. L. Larrea, D. F. Choque, and D. B. Blanca, “TICs y Difusión del Patrimonio Cultural Resumen Contexto Introducción Realidad Virtual y Aumentada,” pp. 240–244, 2014.
- [28] Y. Chirinos Delfino, C. V. Sanz, A. C. Rucci, G. J. Comparato, G. Gonzalez, and S. H. Dapoto, “HUVI: una aplicación de realidad virtual para acercar el patrimonio argentino,” *XV Congreso Nacional de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (TE&ET 2020)(Neuquén, 6 y 7 de julio de 2020)*, pp. 224–227, 2020, [Online]. Available: <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/10982>
- [29] N. A. Acuña, Ana Luz; Hollman, “Uso pedagógico del celular y de la realidad virtual en escuela rural de la provincia de Corrientes, Argentina,” *Bitkom Research*, vol. 63, no. 2, pp. 1–3, 2018, [Online]. Available: http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_umsetzungsempfehlungen.pdf%0Ahttps://www.dfki.de/fileadmin/user_upload/import/9744_171012-KI-Gipfelpapier-online.pdf%0Ahttps://www.bitkom.org/sites/default/files/pdf/Presse/Anhaengenan-PIs/2018/180607-Bitkom
- [30] C. R. la Red Martínez, David L. y Brys, “Realidad Aumentada Para Telefonos Inteligentes En Misiones Jesuiticas,” p. 4, 2015.
- [31] C. la Red Martínez, David; Gálvez Rojas, Sergio; Florentín, María Nieves; Martínez Jara, Alcides; Brys, Carlos; Kurtz Myriam; Zuzaniuk, “Realidad Aumentada con Tecnologías Móviles para la Preservación del Patrimonio Cultura,” pp. 15–29, 2016.
- [32] el Territorio, “Incorporan tecnología 3D a las Ruinas de Santa María | EL TERRITORIO noticias de Misiones,” 2018. <https://www.elterritorio.com.ar/noticias/2018/09/03/593632-incorporan-tecnologia-3d-a-las-ruinas-de-santa-maria> (accessed Feb. 03, 2023).
- [33] UNaM FCEQyN, “Presentaron aplicación para recorrido turístico en el Cementerio La Piedad – FCEQyN,” 2019. <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/presentaron-aplicacion-para-recorrido-turistico-en-el-cementerio-la-piedad/> (accessed Feb. 03, 2023).
- [34] J. Steure, “Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence,” *Journal of Communication*, vol. 42, no. 4, pp. 73–93, 1993.

- [35] “El texto de la Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial - patrimonio inmaterial - Sector de Cultura - UNESCO.” <https://ich.unesco.org/es/convenci%C3%B3n> (accessed Feb. 04, 2023).
- [36] A. Torre, J. Molteni, and E. Pereyra, *Patrimonio Cultural Inmaterial: Conceptualización, estudio de casos, legislación y virtualidad*, vol. 27. 2009. [Online]. Available: http://www.cimarrones-peru.org/pdf/patrimonio_cultu.pdf
- [37] W. R. Sherman and A. B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. 2003. doi: 10.1162/105474603322391668.
- [38] J. L. Rubio-Tamayo, M. G. Barrio, and F. G. García, “Immersive environments and virtual reality: Systematic review and advances in communication, interaction and simulation,” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 1, no. 4, pp. 1–20, 2017, doi: 10.3390/mti1040021.
- [39] “Glossary of Terms & Acronyms for Immersive Technology.” <https://unity.com/how-to/what-xr-glossary> (accessed Feb. 04, 2023).
- [40] P. Milgram and F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual displays,” *IEICE Transactions on Information Systems*, no. 12, pp. 1–15, 1994.
- [41] T. Piumsomboon, A. Day, B. Ens, Y. Lee, G. Lee, and M. Billinghamurst, “Exploring enhancements for remote mixed reality collaboration,” *SIGGRAPH Asia 2017 Mobile Graphics and Interactive Applications, SA 2017*, no. November, 2017, doi: 10.1145/3132787.3139200.
- [42] A. E. Foni, G. Papagiannakis, and N. Magnenat-Thalmann, “A taxonomy of visualization strategies for cultural heritage applications,” *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 3, no. 1, pp. 1–21, 2010, doi: 10.1145/1805961.1805962.
- [43] A. Suh and J. Prophet, “The state of immersive technology research: A literature analysis,” *Comput Human Behav*, vol. 86, pp. 77–90, 2018, doi: 10.1016/j.chb.2018.04.019.
- [44] M. J. Kim, C. K. Lee, and T. Jung, “Exploring Consumer Behavior in Virtual Reality Tourism Using an Extended Stimulus-Organism-Response Model,” *J Travel Res*, vol. 59, no. 1, pp. 69–89, 2020, doi: 10.1177/0047287518818915.
- [45] N. F. Polys, D. A. Bowman, and C. North, “The role of Depth and Gestalt cues in information-rich virtual environments,” *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 69, no. 1–2, pp. 30–51, 2011, doi: 10.1016/j.ijhcs.2010.05.007.
- [46] J. H. T. Lin, “Fear in virtual reality (VR): Fear elements, coping reactions, immediate and next-day fright responses toward a survival horror zombie virtual reality game,” *Comput Human Behav*, vol. 72, pp. 350–361, 2017, doi: 10.1016/j.chb.2017.02.057.

- [47] R. Wojciechowski and W. Cellary, "Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments," *Comput Educ*, vol. 68, pp. 570–585, 2013, doi: 10.1016/j.compedu.2013.02.014.
- [48] S. A. A. Jin, "The moderating role of sensation seeking tendency in robotic haptic interfaces," *Behaviour and Information Technology*, vol. 32, no. 9, pp. 862–873, 2013, doi: 10.1080/0144929X.2012.687769.
- [49] D. Datcu, S. Lukosch, and F. Brazier, "On the Usability and Effectiveness of Different Interaction Types in Augmented Reality," *Int J Hum Comput Interact*, vol. 31, no. 3, pp. 193–209, 2015, doi: 10.1080/10447318.2014.994193.
- [50] L. Chittaro, R. Sioni, C. Crescentini, and F. Fabbro, "Mortality salience in virtual reality experiences and its effects on users' attitudes towards risk," *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 101, pp. 10–22, 2017, doi: 10.1016/j.ijhcs.2017.01.002.
- [51] T. L. Huang and S. Liao, "A model of acceptance of augmented-reality interactive technology: the moderating role of cognitive innovativeness," *Electronic Commerce Research*, vol. 15, no. 2, pp. 269–295, 2015, doi: 10.1007/s10660-014-9163-2.
- [52] T. L. Huang and F. H. Liu, "Formation of augmented-reality interactive technology's persuasive effects from the perspective of experiential value," *Internet Research*, vol. 24, no. 1, pp. 82–109, 2014, doi: 10.1108/IntR-07-2012-0133.
- [53] C. Pribeanu, A. Balog, and D. D. Iordache, "Measuring the perceived quality of an AR-based learning application: a multidimensional model," *Interactive Learning Environments*, vol. 25, no. 4, pp. 482–495, 2017, doi: 10.1080/10494820.2016.1143375.
- [54] J. A. Frank and V. Kapila, "Mixed-reality learning environments: Integrating mobile interfaces with laboratory test-beds," *Comput Educ*, vol. 110, pp. 88–104, 2017, doi: 10.1016/j.compedu.2017.02.009.
- [55] F. Ke, S. Lee, and X. Xu, "Teaching training in a mixed-reality integrated learning environment," *Comput Human Behav*, vol. 62, pp. 212–220, 2016, doi: 10.1016/j.chb.2016.03.094.
- [56] X. Zhao, X. You, C. Shi, and S. Gan, "Hypnosis therapy using augmented reality technology: Treatment for psychological stress and anxiety," *Behaviour and Information Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 646–653, 2015, doi: 10.1080/0144929X.2015.1022223.
- [57] D. Kourouthanassis, Panos; Bardaki, Cleopatra; Chasanidou, "Tourists Responses to Mobile Augmented Reality Travel Guides : the Role of Emotions on Adoption Behavior," *Current Issues in Tourism*, vol. 21, no. 2, pp. 154–174, 2018, [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13683500.2015.1070801>

- [58] A. M. von der Pütten *et al.*, “Subjective and behavioral presence measurement and interactivity in the collaborative augmented reality game TimeWarp,” *Interact Comput*, vol. 24, no. 4, pp. 317–325, 2012, doi: 10.1016/j.intcom.2012.03.004.
- [59] Y. Bian *et al.*, “A framework for physiological indicators of flow in VR games: construction and preliminary evaluation,” *Pers Ubiquitous Comput*, vol. 20, no. 5, pp. 821–832, 2016, doi: 10.1007/s00779-016-0953-5.
- [60] R. Hunicke, M. Leblanc, and R. Zubek, “MDA : Un enfoque formal sobre el diseño y la investigación de juegos Hacia un Marco Integral Introducción”.
- [61] A. Osello, G. Lucibello, and F. Morgagni, “HBIM and virtual tools: A new chance to preserve architectural heritage,” *Buildings*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2018, doi: 10.3390/buildings8010012.
- [62] Y. Georgiou and E. A. Kyza, “The development and validation of the ARI questionnaire: An instrument for measuring immersion in location-based augmented reality settings,” *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 98, no. December 2015, pp. 24–37, 2017, doi: 10.1016/j.ijhcs.2016.09.014.
- [63] H. M. Huang, U. Rauch, and S. S. Liaw, “Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach,” *Comput Educ*, vol. 55, no. 3, pp. 1171–1182, 2010, doi: 10.1016/j.compedu.2010.05.014.
- [64] K. F. Hsiao, N. S. Chen, and S. Y. Huang, “Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents,” *Interactive Learning Environments*, vol. 20, no. 4, pp. 331–349, 2012, doi: 10.1080/10494820.2010.486682.
- [65] R. Radkowski, J. Herrema, and J. Oliver, “Augmented Reality-Based Manual Assembly Support With Visual Features for Different Degrees of Difficulty,” *Int J Hum Comput Interact*, vol. 31, no. 5, pp. 337–349, 2015, doi: 10.1080/10447318.2014.994194.
- [66] H. G. Hoffman *et al.*, “Feasibility of articulated arm mounted oculus rift virtual reality goggles for adjunctive pain control during occupational therapy in pediatric burn patients,” *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, vol. 17, no. 6, pp. 397–401, 2014, doi: 10.1089/cyber.2014.0058.
- [67] D. Loreto-Quijada *et al.*, “Differential effects of two virtual reality interventions: Distraction versus pain control,” *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, vol. 17, no. 6, pp. 353–358, 2014, doi: 10.1089/cyber.2014.0057.
- [68] H. G. Lee, S. Chung, and W. H. Lee, “Presence in virtual golf simulators: The effects of presence on perceived enjoyment, perceived value, and behavioral intention,” *New Media Soc*, vol. 15, no. 6, pp. 930–946, 2013, doi: 10.1177/1461444812464033.

- [69] K. Goh, Dion Hoe-Lian; Lee, Chei Sian; Razikin, “Interfaces for Accessing Location-Based Information on Mobile Devices: An Empirical Evaluation,” *J Assoc Inf Sci Technol*, 2015, doi: 10.1002/asi.
- [70] K. E. Chang, C. T. Chang, H. T. Hou, Y. T. Sung, H. L. Chao, and C. M. Lee, “Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum,” *Comput Educ*, vol. 71, pp. 185–197, 2014, doi: 10.1016/j.compedu.2013.09.022.
- [71] “Degrees of Freedom (DoF): 3-DoF vs 6-DoF for VR Headset Selection.” <https://virtualspeech.com/blog/degrees-of-freedom-vr?ref=footer> (accessed Feb. 10, 2023).
- [72] J. Barambones, *Realidad Virtual 2015*. 2015. [Online]. Available: https://www.academia.edu/21525844/Realidad_Virtual_2015
- [73] “Colección de Instrumentos Científicos: G. Crovetto. - Estereoscopio H. C. White. Tipo Holmes-Bates. Stereoscope.” <https://www.coleccioncrovetto.com/home/otros-instrumentos-opticos/estereoscopio> (accessed Feb. 04, 2023).
- [74] F. E. Correa Falcón, “Creación de una aplicación interactiva utilizando realidad virtual para plataforma Android,” 2018.
- [75] “View-Master Modell A (1939).” http://www.stereoskopie.com/Viewmaster/View-Master_Modell_A__1939_/body_view-master_modell_a__1939_.html (accessed Feb. 04, 2023).
- [76] Y. de Pontes, “Development of an User Interface for Virtual Reality,” 2018, [Online]. Available: <https://digituma.uma.pt/handle/10400.13/1899>
- [77] “Máscara Telesferica | IDIS.” <https://proyectoidis.org/mascara-telesferica/> (accessed Feb. 04, 2023).
- [78] “THE PATENT SYSTEM | Lenny Lipton.” <https://lennylipton.wordpress.com/2010/02/26/the-patent-system/> (accessed Feb. 04, 2023).
- [79] “History of VR - Timeline of Events and Tech Development.” <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr> (accessed Feb. 10, 2023).
- [80] “ASPEN MOVIE MAP BY MICHAEL NAIMARK - ADA | Archive of Digital Art.” <https://digitalartarchive.at/database/general/work/aspn-moviemap.html> (accessed Feb. 12, 2023).
- [81] “REALIDAD VIRTUAL | 10 hitos en la historia de la VR.” <https://deusens.com/es/blog/hitos-historia-realidad-virtual> (accessed Feb. 04, 2023).
- [82] J. Lanier, “No somos computadoras: un manifiesto,” *Austral Comunicación*, vol. 2, no. 1, pp. 135–137, 2013.

- [83] “The Complete History of VR - VPL Research Inc - EP-01.” <https://www.virtual-reality-shop.co.uk/vpl-research-inc-ep-01/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [84] “Jaron Lanier’s EyePhone: Head And Glove Virtual Reality In The 1980s - Flashbak.” <https://flashbak.com/jaron-laniers-eyephone-head-and-glove-virtual-reality-in-the-1980s-26180/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [85] “Storia della realtà virtuale | Tom’s Hardware.” <https://www.tomshw.it/altro/storia-della-realta-virtuale/> (accessed Feb. 04, 2023).
- [86] “Sony PUD-J5A Virtual Reality Headset | The Digital Game Museum.” <https://www.digitalgamemuseum.org/sony-pud-j5a-virtual-reality-headset/> (accessed Feb. 04, 2023).
- [87] “¿Qué es el Seguimiento Ocular? - Tobii Dynavox ES.” <https://es.tobiidynavox.com/pages/what-is-eye-tracking> (accessed Feb. 04, 2023).
- [88] “3-D Smartphone Goggles : iPhone Virtual Reality Viewer.” <https://www.trendhunter.com/trends/iphone-virtual-reality-viewer> (accessed Feb. 05, 2023).
- [89] “Oculus Rift: Full Specification - VRcompare.” <https://vr-compare.com/headset/oculusrift> (accessed Feb. 12, 2023).
- [90] “Google Cardboard – Google VR.” https://arvr.google.com/intl/es_es/cardboard/ (accessed Feb. 12, 2023).
- [91] “Google deja de vender uno de sus accesorios más icónicos, ¿sabes cuál? | Gadgets | Cinco Días.” https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/03/03/gadgets/1614767155_225723.html (accessed Feb. 12, 2023).
- [92] “StarVR.” <https://www.starvr.com/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [93] “VR Union Claire - Info, Specs, Release Date, Price.” <https://www.virtual-reality-shop.co.uk/vr-union-claire/> (accessed Feb. 05, 2023).
- [94] “Samsung Gear VR (2017) review: Samsung Gear VR’s best feature isn’t the Galaxy S8, it’s the controller - CNET.” <https://www.cnet.com/reviews/samsung-gear-vr-2017-review/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [95] “ PSVR 2 contra PSVR 1 – Comparativa de especificaciones y novedades - NOTICIAS.” <https://randomaccessnoticias.com/vr/psvr-2-contra-psvr-1-comparativa-de-especificaciones-y-novedades/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [96] “PlayStation VR: la guía de preguntas frecuentes definitiva (Actualizado) – PlayStation.Blog en español.” <https://blog.es.playstation.com/2016/10/03/playstation-vr-la-gua-de-preguntas-frecuentes-definitiva/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [97] “Oculus Quest: Full Specification - VRcompare.” <https://vr-compare.com/headset/oculusquest> (accessed Feb. 12, 2023).

- [98] “Nintendo Labo™ Toy-Con 04 VR Kit | Nintendo Switch | Nintendo.”
<https://www.nintendo.com/my/switch/adfx/index.html> (accessed Feb. 12, 2023).
- [99] “Pico G2 4K Enterprise: Full Specification - VRcompare.” <https://vrcompare.com/headset/picog24kenterprise> (accessed Feb. 12, 2023).
- [100] “Oculus Quest 2: Full Specification - VRcompare.” <https://vrcompare.com/headset/oculusquest2> (accessed Feb. 12, 2023).
- [101] “PlayStation VR | Vive el juego con PS VR | PlayStation.”
<https://www.playstation.com/es-ar/ps-vr/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [102] “PlayStation: Videojuegos de PSVR 1 no serán compatibles con PSVR 2 – FayerWayer.”
<https://www.fayerwayer.com/entretenimiento/2022/09/20/playstation-videojuegos-de-psvr-1-no-seran-compatibles-con-psvr-2/> (accessed Feb. 12, 2023).
- [103] “Pico 4 Pro: Full Specification - VRcompare.” <https://vrcompare.com/headset/pico4pro> (accessed Feb. 12, 2023).
- [104] “Meta Quest Pro: Full Specification - VRcompare.” <https://vrcompare.com/headset/metaquestpro> (accessed Feb. 12, 2023).
- [105] “Manual de creación de videojuego con unity 3D,” vol. 1, pp. 1–153, 2012.
- [106] Municipalidad de Apóstoles, “Ciudad de Apóstoles.”
https://www.apostoles.gov.ar/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=9&Itemid=282 (accessed Feb. 04, 2023).
- [107] “Historia.”
https://www.apostoles.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=97 (accessed Feb. 04, 2023).
- [108] E. A. Snihur, I. Marcela, and A. Viarengo, “La batalla de apóstoles 2,” 2004.
- [109] G. Pavlidis, V. Tsioukas, and C. Chamzas, “Preservation of Architectural Heritage through 3D digitization.”
- [110] G. Pavlidis, V. Tsioukas, and C. Chamzas, “Preservation of Architectural Heritage through 3D digitization.”
- [111] S. P. Singh, K. Jain, and V. R. Mandla, “VIRTUAL 3D CITY MODELING: TECHNIQUES AND APPLICATIONS.”
- [112] Pedrosa, I., Suárez, J., and García, E., “Evidencias sobre la validez de contenido: avances teóricos y métodos para su estimación,” *Acción Psicológica*, vol. 10, no. 2, pp. 3–20, 2014.
- [113] Josefa E & Lopez A, “Validación Mediante Método Delphi De Un Cuestionario Para Conocer Las Experiencias E Interés Hacia Las Water Activities With Special Attention To Windsurfing,” vol. 12, no. 1, pp. 75–96, 2010.

- [114] L. Codina, “Cómo llevar a cabo revisiones bibliográficas sistematizadas.” 2020. doi: 10.31009/upfcommresearch.2021.01.
- [115] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Inf Softw Technol*, vol. 64, pp. 1–18, 2015, doi: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
- [116] B. Kitchenham and P. Brereton, “A systematic review of systematic review process research in software engineering,” *Inf Softw Technol*, vol. 55, no. 12, pp. 2049–2075, 2013, doi: 10.1016/j.infsof.2013.07.010.
- [117] G. Tebes, D. Peppino, P. Becker, and L. Olsina, “Proceso para Revisión Sistemática de Literatura y Mapeo Sistemático,” *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, vol. 19, no. 2, pp. 94–118, 2020, [Online]. Available: <https://publicaciones.sadio.org.ar/index.php/EJS/article/view/170/149>
- [118] N. A. López Luque, “Herramienta de Apoyo a Revisiones Sistemáticas de la Literatura en el Área de la Computación,” 2019.
- [119] “Airborne Laser Scanning Technologies.” <https://www.slideshare.net/gpetrie/petrie-greece-airborne-laser-scanning-technologies-comp> (accessed Feb. 11, 2023).
- [120] A. P. Charaniya, R. Manduchi, and S. K. Lodha, “Supervised parametric classification of aerial LiDAR Data,” *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, vol. 2004-Janua, no. January, 2004, doi: 10.1109/CVPR.2004.446.
- [121] V. Verma, R. Kumar, and S. Hsu, “3D building detection and modeling from aerial LIDAR data,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 2213–2220, 2006, doi: 10.1109/CVPR.2006.12.
- [122] T. Landes, P. Grussenmeyer, T. Voegtli, and K. Ringle, “Combination of Terrestrial Recording Techniques for 3D Object Modelling Regarding Topographic Constraints. Example of the Castle of Haut-Andlau, Alsace, France,” *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, vol. 36, no. June 2014, p. 6, 2007.
- [123] M. Dassot, T. Constant, and M. Fournier, “The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: Application fields, benefits and challenges,” *Ann For Sci*, vol. 68, no. 5, pp. 959–974, 2011, doi: 10.1007/s13595-011-0102-2.
- [124] M. Sauerbier and A. Gruen, “3D Modeling of large cultural heritage sites from satellite and aerial images.”
- [125] P. Uribe *et al.*, “Aerial mapping and multi-sensors approaches from remote sensing applied to the roman archaeological heritage,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 2015, vol. 40, no. 5W4, pp. 461–467. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-461-2015.

- [126] R. A. Schowengerdt, *Remote sensing: Models and methods for image processing: Second edition*. 2012. doi: 10.1016/C2009-0-21902-7.
- [127] F. Condorelli, F. Rinaudo, F. Salvatore, and S. Tagliaventi, “A comparison between 3D reconstruction using nerf neural networks and MVS algorithms on cultural heritage images,” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, vol. 43, no. B2-2021, pp. 565–570, 2021, doi: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-565-2021.
- [128] T. Müller, A. Evans, C. Schied, and A. Keller, “Instant neural graphics primitives with a multiresolution hash encoding,” *ACM Trans Graph*, vol. 41, no. 4, 2022, doi: 10.1145/3528223.3530127.
- [129] R. Martin-Brualla, N. Radwan, M. S. M. Sajjadi, J. T. Barron, A. Dosovitskiy, and D. Duckworth, “NeRF in the Wild: Neural Radiance Fields for Unconstrained Photo Collections,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 7206–7215, 2021, doi: 10.1109/CVPR46437.2021.00713.
- [130] A. Pumarola, E. Corona, G. Pons-Moll, and F. Moreno-Noguer, “D-NeRF: Neural Radiance Fields for Dynamic Scenes Point of View & Time,” *Cvpr*, pp. 10318–10327.
- [131] J. T. Barron, B. Mildenhall, D. Verbin, P. P. Srinivasan, and P. Hedman, “Mip-NeRF 360 : Unbounded Anti-Aliased Neural Radiance Fields,” pp. 5470–5479.
- [132] M. Park, B. Yoo, J. Y. Moon, and J. H. Seo, “InstantXR: Instant XR Environment on the Web Using Hybrid Rendering of Cloud-based NeRF with 3D Assets,” *Proceedings - Web3D 2022: 27th ACM Conference on 3D Web Technology*, 2022, doi: 10.1145/3564533.3564565.
- [133] K. Deng, A. Liu, J. Y. Zhu, and D. Ramanan, “Depth-supervised NeRF: Fewer Views and Faster Training for Free,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2022-June, pp. 12872–12881, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01254.
- [134] Y. Guo, K. Chen, S. Liang, Y. J. Liu, H. Bao, and J. Zhang, “AD-NeRF: Audio Driven Neural Radiance Fields for Talking Head Synthesis,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 5764–5774, 2021, doi: 10.1109/ICCV48922.2021.00573.
- [135] Y. Hong, B. Peng, H. Xiao, L. Liu, and J. Zhang, “HeadNeRF: A Realtime NeRF-based Parametric Head Model,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2022-June, pp. 20342–20352, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01973.
- [136] H. Xu, T. Alldieck, and C. Sminchisescu, “H-NeRF: Neural Radiance Fields for Rendering and Temporal Reconstruction of Humans in Motion,” *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 18, no. NeurIPS, pp. 14955–14966, 2021.

- [137] C. Lu, J. Y. H. Fuh, and Y. S. Wong, “Geometric Reasoning,” *Collaborative Product Assembly Design and Assembly Planning*, pp. 9–34, 2011, doi: 10.1533/9780857093882.9.
- [138] X. Huang, Q. Zhang, Y. Feng, H. Li, X. Wang, and Q. Wang, “HDR-NeRF: High Dynamic Range Neural Radiance Fields,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2022-June, pp. 18377–18387, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01785.
- [139] D. Verbin, P. Hedman, B. Mildenhall, T. Zickler, J. T. Barron, and P. P. Srinivasan, “Ref-NeRF : Structured View-Dependent Appearance for Neural Radiance Fields Abstract Neural Radiance Fields (NeRF) is a popular view synthesis technique that represents a scene as a continuous volumetric function , parameterized by multilayer percep- t,” *Cvpr*, 2022.
- [140] C. Wang, M. Chai, M. He, D. Chen, and J. Liao, “CLIP-NeRF: Text-and-Image Driven Manipulation of Neural Radiance Fields,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2022-June, pp. 3825–3834, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.00381.
- [141] Q. Xu, Z. Xu, and J. Philip, “Point-NeRF : Point-based Neural Radiance Fields,” pp. 5438–5448.
- [142] C. Li, S. Li, Y. Zhao, W. Zhu, and Y. Lin, *RT-NeRF: Real-time on-device neural radiance fields towards immersive AR/VR rendering*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2022. doi: 10.1145/3508352.3549380.
- [143] A. Gruen, “Virtual Archaeology-new methods of image-based 3D modeling.” [Online]. Available: www.photogrammetry.ethz.ch
- [144] G. A. Veliz Cedeño, “Diseño e implementación de un sistema de realidad aumentada para el fortalecimiento del turismo ancestral en la ciudad de Jipijapa,” *Repositorio Unesum*, vol. 4, no. 1, p. 79, 2020, [Online]. Available: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article>
- [145] “La batalla de Apóstoles | Misiones Tiene Historia.” <http://www.misionestienehistoria.com.ar/la-batalla-de-ap%C3%B3stoles> (accessed Feb. 11, 2023).
- [146] “En Misiones honraron a Andresito tras 200 años de su batalla.” <http://porelpais.com.ar/andresito-batalla-de-apostoles/> (accessed Feb. 11, 2023).
- [147] “Recrearon la Batalla de Apóstoles donde Andresito derrotó a los portugueses invasores - MisionesOnline.” <https://misionesonline.net/2009/07/07/recrearon-la-batalla-de-apostoles-donde-andresito-derroto-a-los-portugueses-invasores/> (accessed Feb. 11, 2023).

- [148] “Se recordó la histórica ‘Batalla de Apóstoles’ - Primera Edición.”
<https://www.primeraedicion.com.ar/nota/100611343/se-recordo-la-historica-batalla-de-apostoles/> (accessed Feb. 11, 2023).
- [149] “Recreación de la Batalla de Apóstoles - YouTube.”
<https://www.youtube.com/watch?v=D994r631R9I> (accessed Feb. 11, 2023).
- [150] “Recreación de la Batalla de Apóstoles - 2º bloque (Misiones, Argentina) 2 de julio de 2009 - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=IZSLWxH8pQI> (accessed Feb. 11, 2023).
- [151] “Unified Modeling Language Specification,” 2005.
- [152] P. Emilio, O. Rodríguez, L. Guillermo, and M. Suárez, “Suite interactivas en ambientes con SUM,” no. 17, pp. 11–33, 2020.
- [153] N. Acerenza *et al.*, “Una Metodología para Desarrollo de Videojuegos,” *Simposio Argentino de Ingeniería de Software*, no. Asse, pp. 171–176, 2009.
- [154] D. B. Carranza, A. P. P. Negrón, and M. Contreras, “Videogame development training approach: A virtual reality and open-source perspective,” *Journal of Universal Computer Science*, vol. 27, no. 2, pp. 152–169, 2021, doi: 10.3897/jucs.65164.
- [155] D. Cuenca Orozco, “GAME STUDIES. Estado del arte de los estudios sobre video juegos [1],” *Luciérnaga-Comunicación*, vol. 10, no. 19, pp. 13–24, 2018, doi: 10.33571/revistaluciernaga.v10n19a1.
- [156] P. E. Ospina Rodríguez, L. G. Molero Suárez, J. Batista De Abreu, C. P. Ramírez Triana, and J. A. Gaitán Albarracín, “Suite interactivas en ambientes con SUM,” in *Gamificación y Discapacidad una Alternativa Socialmente Responsable. Volumen II*, no. September 2020, 2020, pp. 11–33. doi: 10.47212/gamificacionii2020.2.
- [157] M. N. Borja Rivadeneira, “Desarrollo de Videojuego de plataformas 2D utilizando Unreal Engine,” Escuela Politécnica Nacional, 2022.
- [158] K. M. Arenas Cancapa, “Desarrollo de un Serious Gaming para estudiantes de Primer Año de Primaria aplicando la Metodología SUM,” 2018.
- [159] S. L. Riocampo, “Virtual interactive system based on gamification for basic military training in the area of management of weapons,” *Proceedings - 2019 International Conference on Virtual Reality and Visualization, ICVRV 2019*, pp. 167–171, 2019, doi: 10.1109/ICVRV47840.2019.00039.
- [160] “Historia y actualidad de la arquitectura de Huizhou-Espanol.”
<https://espanol.cri.cn/news/culture/1021/20190820/335961.html> (accessed Feb. 14, 2023).
- [161] “¿Qué es una API? - Explicación de interfaz de programación de aplicaciones - AWS.” <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/> (accessed Feb. 22, 2023).