



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Programa de Doctorado en patrimonio arquitectónico, civil,
urbanístico y rehabilitación de construcciones existentes.

Diseño de un sistema de realidad mixta para la puesta en valor de sitios arqueológicos

Caso de estudio: complejo piramidal de Cochasquí Ecuador

Tesis doctoral realizada por:

Rafael Augusto Campoverde Durán

Dirigida por:

PhD Director: Ernest Redondo Domínguez

PhD Codirector: Lluís Giménez Mateu

Departamento de Representación Arquitectónica

Barcelona, enero 2022

Dedicatoria:

*A todos los investigadores que con su esfuerzo y pasión
aportan día a día al conocimiento científico.*

Agradecimientos:

Agradezco a la Universitat Politècnica de Catalunya, a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona ETSAB y su Departamento de Representación Arquitectónica por el apoyo brindado y la oportunidad de haber podido realizar este trabajo de investigación, especialmente a los profesores: Ernest Redondo, Lluís Gimenez e Isidro Navarro, por haberme guiado y compartido sus valiosos conocimientos.

A la Prefectura de la provincia de Pichincha en Ecuador y en especial al Arq. Fritz Reinthaller y Luis Alberto Mendoza directores del sitio Arqueológico de Cochasquí por las facilidades brindadas durante el trabajo de campo.

Además agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca-Ecuador y en especial al Dr. Jorge Galán Montesdeoca, por el apoyo brindado para realizar mi estancia de investigación en su prestigioso campus universitario.

ÍNDICE

Resumen	17
1) Introducción.....	1
1.1) El sistema de Realidad Mixta	5
1.2) El patrimonio arqueológico	7
1.3) La arqueología virtual	11
1.4) La virtualización del patrimonio.	15
1.5) Proyectos de referencia.....	18
2) Tecnologías de Realidad Mixta	23
2.1) La Realidad Aumentada	30
2.2) La Realidad Virtual	36
2.3) Principios matemáticos y físicos.....	44
2.4) Tipos de dispositivos.....	48
2.5) Ergonomía y factores humanos.....	54
3) Diseño de la experiencia de usuario	59
3.1) El diseño de la interacción	67
3.2) El diseño centrado en el usuario	73
3.3) Usabilidad y experiencia de usuario.....	75
3.4) Diseño emocional	81
4) Gestión del patrimonio cultural.....	89
4.1) Modelos de gestión	93
4.2) El turismo arqueológico	95
4.3) Usuarios del turismo arqueológico.....	99
4.4) Actores del patrimonio arqueológico.....	101
4.5) Interpretación y difusión del patrimonio	103
5) Metodología.....	109
5.2) Estudio de viabilidad.....	112
5.3) Caso de estudio.....	117
5.4) Reconstrucción virtual del sitio	123
5.5) Trabajo de campo y prototipado	126
5.6) Diseño del instrumento de recolección de datos.....	129

5.7) Experimentación y evaluación.....	130
6) Resultados.....	133
6.2) Conclusiones	148
7) Bibliografía	150
8) Anexos.....	167
A. El lienzo de la propuesta de valor	167
B. Modelo de encuestas, antecedentes, modelos SUS y TAM.....	170
C. Encuesta realizada a los visitantes	173
D. Estadísticas de visitantes al Parque Arqueológico Cochasquí	174
E. Autorización para realizar la investigación en el PAC	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Sistema de RM y subsistemas-componentes, fuente: elaboración propia.	5
Figura 1.2. Clasificación del Patrimonio, fuente: idcnacional.org/europe-direct	8
Figura 1.3. Fotografías de pecios y restos arqueológicos sumergidos, fuente: Convención de la UNESCO (2001) sobre la protección del patrimonio cultural subacuático.	10
Figura 1.4. Reconstrucción virtual de las hipótesis, fuente: (Redondo et al. 2011).....	17
Figura 1.5. Fotografías de la reconstrucción virtual del Templo de Hera en Olimpia, fuente: Vlahakis, et al., 2002, pp.57-58.	18
Figura 1.6. Fotografías de la reconstrucción virtual y visualización de las ruinas de Pompeya, Italia, fuente: MIRALab, Universidad de Ginebra.	19
Figura 1.7. Quiosco con la instalación de la reconstrucción virtual de la antigua iglesia, fuente: users.skynet.be/eyeblin/VSMM99/TimeFrame.html	20
Figura 1.8. Capturas de pantalla del proyecto Scan Pyramids, fuente: scanpyramids.org	21
Figura 2.1. Interacciones entre ordenadores, personas y entornos, fuente: xinreality.com	24
Figura 2.2 El espectro de la Realidad Mixta, fuente: Microsoft, 2020.	25
Figura 2.3 MagicBook de la realidad física a la realidad virtual, fuente: Billingham, et al., 2001.	25
Figura 2.4 Flujo de reconstrucción 3D y visualización, fuente: Allen, et al., 2014.	26
Figura 2.5 Sistema VITA. Foto izquierda interacción con el sistema, foto derecha dispositivos de interacción personales, fuente: Allen, et al., 2014.	27
Figura 2.6. Proyecto “Destino: Marte”, fuente: NASA, 2020.....	28
Figura 2.7. Dispositivo de RM HoloLens, fuente: Microsoft, 2015.	29
Figura 2.8. “La Espada de Damocles”, el primer dispositivo de RA., fuente: El Mundo, 2019.	31
Figura 2.9. Marcadores y visualización de un modelo virtual, fuente: ARToolKit, 2020...	32
Figura 2.10. Ejemplos de marcadores de imagen, fuente: Unity y Vuforia, 2020.....	32
Figura 2.11. Ejemplos de marcadores 3D utilizando objetos reales, fuente: Vuforia, 2020.	33
Figura 2.12. Aplicación Volkswagen seeMore, fuente: innovation.rocks, 2016.....	33

Figura 2.13. Captura de la aplicación Ikea Place optimizada para el sensor LiDAR, fuente: Apple.	34
Figura 2.14. Escultura virtual colocada en una escena real, mediante GPS, fuente: Redondo et. al, 2014.	35
Figura 2.15. Capturas de pantalla de la aplicación Google Maps AR, fuente: Google, 2020a.	35
Figura 2.16. En la experiencia Birdly de la Universidad de las Artes de Zurich, el usuario, que lleva unas gafas de RV, agita sus “alas” mientras vuela de forma virtual sobre San Francisco. Una plataforma de movimiento y un ventilador proporcionan una estimulación sensorial adicional. La figura de la derecha muestra el estímulo presentado a cada ojo, fuente: LaValle.	36
Figura 2.17. Sensorama, el primer sistema de inmersión virtual, fuente: semanticscholar.	37
Figura 2.18. Máquina de RV Virtuality, fuente: vrs.org.uk.	38
Figura 2.19. Imágenes: derecha Sega VR, izquierda Nintendo Virtual Boy, fuente: vrs.org.uk.	38
Figura 2.20. Gafas de VR Oculus Rift S, el nuevo modelo Quest 2 es autónomo, fuente: oculus.com.	39
Figura 2.21. Experimento de VR con roedores, fuente: LaValle.	41
Figura 2.22. Atracción de autos de choque con RV, fuente: Schloss thurn y DW.	42
Figura 2.23. Sistema SteamVR de HTC Vive, fuente: LaValle, p.263 y vive.com.	43
Figura 2.24. Imágenes de la aplicación Hand Physics Lab, fuente: sidequestvr.com.	43
Figura 2.25. Tres tipos de orientación, balanceo, cabeceo y guiñada, fuente: elaboración propia, basada en la ilustración de Auskaslanis, 2017.	44
Figura 2.26. Diagrama de bloques del algoritmo de fusión para AHRS., fuente: researchgate.net.	46
Figura 2.27. Campo visual horizontal y vertical, fuente: Auskaslanis, 2017.	47
Figura 2.28. Teléfono inteligente para optimizado para RA, fuente: ASUS, 2017.	48
Figura 2.29. Dispositivo MRCardBoard, fuente: mrcardboard.eu	49
Figura 2.30. Gafas Zeiss VR y Samsung Gear AR/VR, fuente: zeiss.com y samsung.com..	50
Figura 2.31. Gafas de RV Oculus Quest 2, fuente: oculus.com.	50

Figura 2.32. Esquema del cableado de las Gafas PlayStation VR, fuente: playstation.com	51
Figura 2.33. Mochila HP Z VR y gafas de AR Magic Leap, fuente: HP y magicleap.com	51
Figura 2.34. Sistema VisCube C4, consta de 12 proyectores y sonido envolvente, fuente: visbox.com	52
Figura 2.35. Kiosco o cabina interactiva de RA, fuente: enameabbey.wordpress.com	52
Figura 2.36. Timescope, dispositivo de RV ubicado en París, fuente: timescope.co	53
Figura 2.37. Nautreville, panel interactivo de RA, fuente: vaulot.com/portfolio/nautreville/	53
Figura 3.1. El paraguas de la Experiencia del Usuario, fuente: uxnet.org	59
Figura 3.2. Diseño de la UX centrado en el usuario, fuente: interaction-design.org.	61
Figura 3.3. Ciclo de vida para el diseño de la UX, fuente: UXBook, pp.54.....	62
Figura 3.4. Proceso Lean UX, fuente: Lean UX, p.18.....	63
Figura 3.5. Interacción entre el usuario y el producto, fuente: elaboración propia.	65
Figura 3.6. Golfos de ejecución y de evaluación en la interacción, fuente: Dubberly (2009, pp. 2).	66
Figura 3.7. Relación del IxD con otras disciplinas, fuente: Saffer (2010, pp. 36).	68
Figura 3.8. Disciplinas que contribuyen al diseño de interfaces, fuente: Lorés, et al. (2002, pp. 12).	72
Figura 3.9. Medidas de calidad de uso determinadas por el contexto, fuente: Bevan, 1995.	76
Figura 3.10. Evolución de los campos relacionados con la UX, fuente: Bongard y Bouchard, 2014.	81
Figura 3.11. La rueda de las emociones de Plutchik, fuente: Machine Elf 1735, 2011.	82
Figura 3.12. Niveles de procesamiento cognitivo y emocional, fuente: IDF, 2019.	83
Figura 4.1. Evolución del número de visitantes a sitios arqueológicos, fuente: Moreno y Sariego, 2017.	98
Figura 4.2. Actores del patrimonio arqueológico, fuente: Velasco, 2009.	101
Figura 4.3. Marco conceptual del impacto de la RA / RV en la experiencia de aprendizaje en los visitantes del turismo cultural, fuente: Han, et al., 2019.....	106
Figura 5.1. Proceso iterativo del diseño de la UX, fuente: elaboración propia.	110

Figura 5.2. izquierda: el dron utilizado y el ordenador procesando las fotografías, derecha: montaje del modelo fotogramétrico y el modelo 3D de la edificación (ágora y estoa), fuente: elaboración propia.	112
Figura 5.3. Imagen equirectangular esférica 360º, fuente: elaboración propia.	113
Figura 5.4. Experiencia virtual con gafas de RV, fuente: labs4Reality.....	113
Figura 5.5. Ejemplo del modelo de Sistema de Escala de Usabilidad, fuente: Broke, 1996.	114
Figura 5.6. Modelo TAM modificado a partir del original, fuente: Cabero, et al 2016. ..	115
Figura 5.7. Resultados de la aplicación del modelo TAM, fuente: elaboración propia...	116
Figura 5.8. Foto del Parque Arqueológico Cochasquí, fuente: Walker y Willis (2018)....	117
Figura 5.9. Plano topográfico de Cochasquí, fuente: Lenin Ortiz (2009).....	118
Figura 5.10. Fotos de una vivienda y objetos encontrados en Cochasquí, fuente: elaboración propia.....	119
Figura 5.11. Representación de las plataformas de barro cocido, fuente: Medina (2011, p.21).....	120
Figura 5.12. Reconstrucción hipotética de Cochasquí, fuente: Ugalde (2015, p.44).	120
Figura 5.13. El sistema calendárico ritual de las pirámides de Cochasquí, fuente: Holguín (2009).....	121
Figura 5.14. Supuesto uso astronómico de las pirámides según Yurevich, fuente: PAC (2012).....	121
Figura 5.15. Cráneos encontrados en la pirámide N.º 9 por Max Uhle, fuente: PAC (2012).	122
Figura 5.16. Izquierda: plano del sitio realizado por Oberem, derecha: montaje usando una fotografía aérea, el anterior plano y Google Earth, fuente: elaboración propia.	123
Figura 5.17. Fotografía de las gradas de la pirámide N.º 13, fuente: elaboración propia.	124
Figura 5.18. Primer prototipo ambientado en la actualidad, simula como se verían las pirámides si se les quitara la tierra y sin la pátina, fuente: elaboración propia.....	126
Figura 5.19. Vista general de 360º desde el punto tres del recorrido, fuente: elaboración propia.	128
Figura 5.20. Vista desde la plataforma de la pirámide N.º 10, fuente: elaboración propia.	128

Figura 5.21. Fotos de la experimentación y recogida de datos, fuente: elaboración propia.....	130
Figura 5.22. Resultados de las encuestas, fuente: elaboración propia.	131
Figura 5.23. Entrevista a los actores del PAC, fuente: elaboración propia.	132
Figura 6.1. Dibujos de los antiguos pobladores de los andes, fuente: Guamán (1615). .	134
Figura 6.2. Recreación de algunos de los personajes, fuente: elaboración propia.	135
Figura 6.3. Capturas de pantalla de la escena 1 en Unity, fuente: elaboración propia. .	136
Figura 6.4. Capturas de pantalla de la escena 1 RV en el teléfono, fuente: elaboración propia.	136
Figura 6.5. Capturas de pantalla de la escena 2 en Unity, fuente: elaboración propia. .	137
Figura 6.6. Capturas de pantalla de la escena 2 RV en el teléfono, fuente: elaboración propia.	137
Figura 6.7. Código QR, creado con qrcode-monkey.com, 2021, fuente: elaboración propia.	138
Figura 6.8. Escena de RA usando un marcador de código QR, fuente: elaboración propia.	138
Figura 6.9. Escena de RA en la pirámide N.º 9, fuente: elaboración propia.	139
Figura 6.10. Logotipo del proyecto Cochasquí Virtual, fuente: elaboración propia.	140
Figura 6.11. Pantalla de inicio de la aplicación, fuente: elaboración propia.	140
Figura 6.12. Esquema de funcionamiento de la aplicación, fuente: elaboración propia.	141
Figura 6.13. Gafas RV de tipo Cardboard, fuente: shinecon.com/vr-glasses	142
Figura 6.14. Modelos de gafas RV de tipo cardboard, fuente: arvr.google.com/cardboard	142
Figura 6.15. Medidas básicas para el diseño de las gafas, fuente: elaboración propia ..	143
Figura 6.16. Prototipos de las gafas, fuente: elaboración propia.....	144
Figura 6.17. Gafas diseñadas de RV, fuente: elaboración propia.....	144
Figura 6.18. Fotografía frontal del visor, fuente: elaboración propia	145
Figura 6.19. Visor desplegado, fuente: elaboración propia.....	146
Figura 6.20. Pruebas del producto con los actores del PAC, fuente: elaboración propia	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sintomatología de la enfermedad de movimiento estándar y VIMS, fuente: Auskaslanis, 2017	57
Tabla 4.1 Aspectos relevantes en la gestión del patrimonio cultural material e inmaterial, fuente: Lorena Monsalve (2011, p. 40).	90
Tabla 4.2. Etapas de un plan interpretativo según la AIP, fuente: Bazán (2014).	105
Tabla 5.1. Tabla de dimensiones de las pirámides, fuente: elaboración propia.	125
Tabla 5.2. Mapa con el recorrido de la visita guiada y los puntos de parada, fuente: elaboración propia.	127
Tabla 5.3. Diseño del instrumento para el análisis del TAM, fuente: elaboración propia.	129

LISTA DE ABREVIATURAS

3-DOF: Tres Grados de Libertad
6-DOF: Seis Grados de Libertad
ACM: Association for Computer Machinery
AHRS: Sistemas de Referencia de Actitud y Rumbo
AI: Arquitectura de la Información
AIP: Asociación para la Interpretación del Patrimonio
CAVE: Cave Automatic Virtual Environment
COVID 19: Enfermedad por Coronavirus
CPU: Central Processing Unit
DCU: Diseño Centrado en el Usuario
DW: Deutsche Welle
ETI: Ecuador Terra Incógnita
FOV: Campo de Visión
GIS: Sistema de Información Geográfica
GPS: Sistema de Posicionamiento Global
GPU: Graphics Processing Unit
GUI: Graphic User Interface
HCI: Human Computer Interaction
HMD: Head Mounted Display
HPU: Holographic Processing Unit
ICOMOS: Consejo Internacional de Monumentos y Sitios
IDF: Interaction Design Fundation
INPC: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
IPD: Distancia Inter-pupilar
IPO: Interacción Persona Ordenador
ISO: Organización Internacional de Normalización
IxD: Diseño de la Interacción
LCD: Pantalla de Cristal Líquido
LiDAR: Light Detection and Ranging
MVP: Mínimo Producto Viable

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

OMS: Organización Mundial de la Salud

PAC: Parque Arqueológico de Cochasquí

RA: Realidad Aumentada

RM: Realidad Mixta

RV: Realidad Virtual

SEAV: Sociedad Española de Arqueología Virtual

SUS: Escala de Usabilidad para Sistemas

TAM: Modelo de Aceptación Tecnológica

TOF: Time Of Flight

UI: Diseño de Interfaz

UI3D: Interfaces de Usuario Tridimensionales

UMI: Unidad de Medida Inercial

UNED: Universidad Nacional de Educación a Distancia

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya

UX: Experiencia de Usuario

UXD: Diseño de la Experiencia de Usuario

VIMS: Mareo Visual Inducido

VITA: Visual Interaction Tool for Archaeology

XR: Realidad Extendida

Resumen

Este trabajo de investigación muestra el diseño de un sistema de Realidad Mixta (RM) y su aplicación al caso de estudio, tiene como finalidad aportar a la solución de los problemas de interpretación que afectan frecuentemente a los visitantes de sitios arqueológicos. Se desarrolla teniendo como eje principal la experiencia de usuario (UX) de los visitantes y se plantea con un enfoque holístico y sistémico, ya que además de abordar los aspectos tecnológicos inherentes al tema, incorpora otros elementos relevantes como son: el diseño de experiencias y la gestión del patrimonio. Se realiza con un enfoque mixto de investigación, se utilizan los métodos cuantitativo y cualitativo de forma conjunta. Para el desarrollo de la propuesta se toma como método complementario el Diseño de la Experiencia de Usuario (UXD), un proceso iterativo de innovación continua que ha dado como resultado un producto interpretativo que consiste en una aplicación interactiva de RM y un visor. El objetivo principal es la puesta en valor del patrimonio arqueológico mediante el uso de tecnologías de RM, se trata de mejorar la experiencia del visitante para facilitar el entendimiento de cómo estaban construidas las edificaciones y de cómo era la vida cotidiana en esos lugares, evocando un viaje al pasado, aliviando sus frustraciones e incrementando su grado de satisfacción, obteniendo en consecuencia una mejor interpretación y por lo tanto un mayor respeto al patrimonio, constituyéndose esta tesis en un aporte efectivo para su puesta en valor.

Abstract

This research work shows the design of a Mixed Reality (MR) system and its application in a case study. It aims to contribute to the solution of interpretation problems that frequently affect visitors to archeological sites. It is developed with the user experience of visitors (UX) as its main axis and has been proposed with a holistic and systemic approach since, in addition to addressing the technological aspects inherent to the subject, it incorporates other relevant elements such as the design of experiences and heritage management. A mixed research approach is carried out; qualitative and quantitative methods are used together. For the proposal development, the User Experience Design (UXD) is taken as a complementary method, an iterative process of continuous innovation that has resulted in an interpretative product that consists of an MR interactive application and a viewer. The main objective is the enhancement of archeological heritage using MR technologies. It aims to improve the visitors' experience to ease understanding of how buildings were put up and how daily life was like in such places. This evokes a trip to the past and relieves frustrations as it increases the level of satisfaction. Consequently, obtaining a better interpretation and greater respect towards heritage. Thus, this research becomes an effective contribution for its enhancement.

1) Introducción

En las últimas décadas, tecnologías como la fotogrametría, el scanner láser 3D, la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV) han adquirido notable importancia en su aplicación a la puesta en valor del patrimonio, debido a las posibilidades que ofrecen para su documentación, reconstrucción virtual, visualización e interpretación. Campos como la arquitectura, la arqueología, la museografía y el turismo cultural, han visto en estas tecnologías un conjunto de recursos útiles para su desarrollo, en la actualidad internet y las redes sociales, juegan un papel importante en la difusión y promoción del patrimonio cultural.

La Realidad Mixta es un término de actualidad que hace referencia al uso conjunto de la RA y la RV, estas tecnologías permiten la visualización e interacción con objetos y escenarios virtuales. Es un concepto que describe la variedad de representaciones de la realidad que pueden existir entre la realidad material y la realidad virtual (Portalés, 2008, p.61). En la actualidad la combinación de estas tecnologías ha dado lugar a la aparición de nuevos dispositivos y aplicaciones (Microsoft, 2020), en el capítulo dos de esta tesis se explican estos conceptos con mayor profundidad.

Los visitantes son los protagonistas de esta investigación, por esta razón este trabajo se desarrolla teniendo como eje central la UX, la cual en términos generales se puede definir como el conjunto de percepciones, sensaciones y emociones que se producen como resultado de la interacción del usuario con un producto o servicio en un determinado contexto de uso, en el capítulo tres se exponen los conceptos y procesos para el diseño de experiencias.

El principal objetivo de esta investigación es aportar de forma efectiva a la puesta en valor del patrimonio, diseñando y aplicando una solución práctica a los problemas más frecuentes que afectan a los visitantes de sitios arqueológicos y con mayor énfasis en lo que tiene que ver con la interpretación y aprendizaje de estos lugares, esta tesis propone un modelo que puede ser aplicado a diferentes sitios arqueológicos, siguiendo la metodología expuesta en el desarrollo de este trabajo.

Contexto: se toma como contexto el conjunto de los sitios arqueológicos al aire libre, en donde la interacción de los visitantes con las tecnologías de RM resulta compleja debido a que los factores climáticos influyen notoriamente en la experiencia. El caso de estudio es el sitio arqueológico de Cochasquí, ubicado en el norte del Ecuador, abarca 83,9 hectáreas que albergan 15 pirámides truncadas y 21 montículos funerarios circulares, y que además incluye un museo con muestras de cerámica y otros artefactos desenterrados. Este parque es un lugar ideal para la aplicación de la RM ya que todas sus edificaciones se encuentran enterradas, se pueden determinar lugares en el recorrido de la visita para que a través del uso de las tecnologías de RM los visitantes puedan acceder a la información del sitio y visualizar los objetos arqueológicos en el lugar en donde fueron encontrados, así como observar la reconstrucción virtual de las edificaciones y simulaciones de la vida cotidiana del lugar.

Este sitio arqueológico fue un observatorio astronómico, durante las excavaciones realizadas en las pirámides se encontró un calendario lunar y otro solar, que permitía a los habitantes conocer los tiempos de siembra y cosecha de sus cultivos. Este lugar es el punto más alto por donde pasa la línea ecuatorial, y es conocido como uno de los puntos astronómicos más importantes del Ecuador.

Problemática: hace referencia a las dificultades de interpretación que afectan frecuentemente a los visitantes de sitios arqueológicos:

- Los visitantes en general no interpretan de una manera adecuada como estaban construidas las edificaciones y como era la vida cotidiana en el pasado.
- Los usuarios no encuentran entretenida la información disponible en los sitios arqueológicos.

Hipótesis: El uso de un sistema de RM mejora significativamente la experiencia de los visitantes de sitios arqueológicos y facilita su interpretación, aportando en consecuencia a la puesta en valor del patrimonio.

Objetivo general: Poner en valor el patrimonio arqueológico mediante el uso de las tecnologías de RM.

Objetivos específicos:

- Facilitar a los visitantes de sitios arqueológicos el entendimiento de cómo estaban construidas las edificaciones y de cómo era la vida cotidiana en el pasado.
- Mejorar la experiencia de los visitantes de los sitios arqueológicos mediante el uso de tecnologías de RM.
- Plantear una metodología para el diseño y evaluación de la experiencia de usuario en museos al aire libre.
- Potenciar el turismo cultural mejorando la interpretación en sitios arqueológicos.
- Democratizar el acceso a la información de los sitios arqueológicos mediante las tecnologías de RM.

Metodología: Este trabajo de tesis se realiza con un enfoque mixto de investigación, se utilizan los métodos cuantitativo y cualitativo de forma conjunta, del método cuantitativo se toman modelos estándar para evaluar la usabilidad y la aceptación tecnológica y del cualitativo: la observación, el análisis documental, el trabajo de campo y las entrevistas.

En primera instancia se realizó un Estudio de Viabilidad aprovechando un taller que tuvo lugar en el sitio arqueológico de Ampurias, ubicado sobre el golfo de Rosas, en el municipio de La Escala (Girona), y que es uno de los yacimientos arqueológicos más importantes de España. Este evento fue organizado por la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), y se realizó en abril del 2018. Estuvo a cargo de expertos arqueólogos, ingenieros y arquitectos, entre ellos Lluís Gimenez Mateu e Isidro Navarro, organizadores del taller, y en el cual se impartieron explicaciones sobre el uso de las tecnologías de RV.

Para la aplicación del sistema de RM al caso de estudio, se propone el diseño de un producto interpretativo destinado a provocar experiencias positivas en los visitantes, para diseñarlo se utiliza como metodología de apoyo el UXD, un proceso iterativo que comienza por observar y empatizar con los visitantes con el objetivo de identificar la problemática con precisión, posteriormente se pasa a una segunda fase de prototipado

y experimentación, en donde se analiza la interacción de los visitantes con prototipos de aplicaciones de RM que muestran la reconstrucción virtual del sitio, por último se pasa a una tercera fase de evaluación y validación de la experimentación utilizando modelos metodológicos diseñados para medir la usabilidad y la aceptación tecnológica. Los resultados obtenidos de la experimentación se incorporan nuevamente al proceso iterativo, mejorando de esta manera la solución de la problemática en cada ciclo de iteración del sistema, obteniendo en consecuencia una forma incremental de innovación. Es un proceso de co-creación juntamente con los visitantes, ya que las soluciones planteadas se basan en sus experiencias y opiniones.

En esta tesis se resaltan dos investigaciones realizadas en el campo académico con tecnologías de RA dentro de un contexto universitario y principalmente se hace referencia a las metodologías de evaluación de la usabilidad (Sánchez, 2013) y de la aceptación tecnológica (Cabero, et al., 2016). Se amplían estas investigaciones y se aplican en un contexto exterior de museos al aire libre, con visitantes “no cautivos” (Morales et al., 2009) de diferentes edades, desde niños hasta personas mayores y en condiciones atmosféricas cambiantes.

Justificación: Es vital para la conservación y puesta en valor del patrimonio que los usuarios tengan acceso al mismo y lo puedan conocer a través de la interpretación.

Límites: este trabajo se limita al diseño y evaluación de experiencias de usuario con tecnologías de RM durante la visita al sitio arqueológico.

Resultados esperados: un producto interpretativo desarrollado en base a la UX de los visitantes, utilizando tecnologías de RM.

Estructura: este trabajo se divide en dos partes:

- I. En la primera parte se define el sistema de RM y se hace una introducción al patrimonio arqueológico y su virtualización. Contiene el estado del arte dividido en tres capítulos que corresponden a los elementos del sistema: tecnología, diseño y gestión.
- II. En la segunda parte se describe la metodología empleada y las diferentes fases de prototipado y pruebas, además se exponen los resultados de la aplicación al caso de estudio, así como las conclusiones.

1.1) El sistema de Realidad Mixta

Es necesario recalcar que, aunque el título de esta tesis hace referencia a la Realidad Mixta y por tanto a las tecnologías que la conforman principalmente la RA y RV, se ha considerado conveniente no centrar este trabajo únicamente en el aspecto tecnológico, ya que quedaría obsoleto en poco tiempo debido a que la tecnología cambia de forma acelerada. Por el contrario, se aborda con un enfoque holístico y sistémico de investigación. Con este enfoque se han identificado los principales subsistemas-componentes que conforman el sistema global y además se analizan las interacciones entre ellos. Los subsistemas-componentes propuestos son: tecnología, diseño y gestión (Figura 1.1). Esta tesis se desarrolla teniendo como eje principal la experiencia de usuario de los visitantes de sitios arqueológicos.



Figura 1.1. Sistema de RM y subsistemas-componentes, fuente: elaboración propia.

Según Morin (1993) en su libro *El método I*, explica que un sistema es: “una interrelación de elementos que constituyen una entidad global o unidad global. Tal definición comporta dos caracteres principales: el primero es la interrelación de los elementos y el segundo es la unidad global constituida por estos elementos en interacción (...) se puede concebir el sistema como unidad global organizada de interrelaciones entre elementos, acciones o individuos” (Barberousse, 2008).

El enfoque holístico permite entender el sistema desde el punto de vista de las múltiples interacciones que se dan entre los componentes que lo conforman.

“Es por ello, que la holística se refiere a la manera de ver las cosas enteras, en su totalidad, en su conjunto, en su complejidad, pues de esta forma se pueden apreciar interacciones, particularidades y procesos que por lo regular no logran percibirse al estudiarse por separado. Se constituye así, como una opción metodológica y epistemológica según la cual el organismo debe ser estudiado no sólo como la suma de las partes sino como una totalidad organizada, de modo que es el todo lo que permite distinguir y comprender sus partes, y no al contrario, pues se asume que las partes por sí mismas no tienen entidad ni significado alguno al margen del todo, por lo que difícilmente se puede aceptar que el todo sea solo la suma de tales partes, asumiéndose entonces, que el todo es algo más que la suma de las partes” (Briceño, et al., 2010, p.74).

Los subsistemas-componentes se detallan en los capítulos correspondientes al estado del arte y son los siguientes:

- **Subsistema de tecnología:** es el conjunto de tecnologías de RA y la RV, así como los diferentes tipos de dispositivos que permiten visualizar e interactuar con las reconstrucciones virtuales.
- **Subsistema de diseño:** está compuesto por los conceptos teóricos y los procesos que permiten diseñar correctamente productos y servicios con el fin de provocar experiencias de usuario positivas.
- **Subsistema de gestión:** hace referencia a la administración de los recursos culturales por parte de los actores involucrados permitiendo preservar, promover y hacer viable el patrimonio arqueológico.

1.2) El patrimonio arqueológico

El término Patrimonio de la Humanidad o Patrimonio Mundial, nació como resultado de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Cultural y Natural celebrada en París en 1972, siendo aprobada por todos los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y a la que España se unió en 1982.

La Convención partió de la idea contenida en las Cartas de Atenas de 1931 (Esteban, 2013) y de Venecia de 1964 (ICOMOS, 2004), de que patrimonio cultural y patrimonio natural constituyen una herencia común de la humanidad al afirmar que: “el deterioro o la desaparición de un bien del patrimonio cultural y natural constituye un empobrecimiento nefasto del patrimonio de todos los pueblos del mundo” (UNESCO, 1972 y García, 2012, p.41).

“El concepto de patrimonio ha variado notablemente desde su aparición hasta la actualidad. En términos generales, puede afirmarse que se ha pasado de considerar el patrimonio como algo aislado para incardinarlo en un contexto más amplio. No solo se ha superado el concepto de patrimonio vinculado con el objeto, sino que va más allá de su definición como espacio físico –soporte de dichos objetos– e incluso en la actual coyuntura se relaciona con la sostenibilidad, el bienestar social e individual y la calidad de vida, como ha defendido recientemente la Unesco en Hábitat III, la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre vivienda y desarrollo sostenible* que tuvo lugar en Quito entre el 17 y el 20 de octubre de 2016” (Rey, 2017, p.36).

En un sentido más amplio, se considera patrimonio cultural al conjunto de objetos materiales e inmateriales, pasados y presentes, que definen a un pueblo: lenguaje, literatura, música, tradiciones, artesanía, bellas artes, danza, gastronomía, indumentaria, manifestaciones religiosas, la historia y sus restos materiales. A su vez se entiende por patrimonio natural todos los elementos de la naturaleza: montañas, ríos, flora, fauna, así como el resultado del trabajo del hombre en el ambiente natural, es decir, el paisaje humanizado: caminos, ciudades y pueblos, cultivos, caseríos agrícolas, etc. (García, 2012, p.17).

Según la UNESCO (1989) el patrimonio cultural, “es el conjunto de testimonios, artísticos o simbólicos, transmitidos por el pasado a cada cultura y, por ende, al conjunto de la especie humana. Elemento constitutivo de la afirmación y enriquecimiento de las identidades culturales, y legado común de la humanidad, el patrimonio confiere sus rasgos característicos a cada lugar y es la memoria de la experiencia humana”. La herencia cultural no son solo monumentos y colecciones de objetos. El patrimonio cultural inmaterial son las “tradiciones heredadas de nuestros antepasados, tales como tradiciones orales, artes escénicas, prácticas sociales, rituales y eventos festivos, conocimientos y prácticas sobre la naturaleza y el universo o los conocimientos y habilidades para producir artesanías tradicionales”. “Son los bienes intangibles, los que no se pueden tocar físicamente, pero se sienten. Es decir, aquellas representaciones culturales de relevancia social y que se identifican con un grupo y representan la cultura y la tradición de éstos. Puede ser, un baile tradicional, una representación, una actividad artística, una fiesta, etc.” (Conferencia General del 17 de octubre de 1989 en París. Programa de Preservación y revalorización del Patrimonio cultural) (Europe Direct, 2018 p.5). En la (Figura 1.2) se muestran las diferentes clasificaciones del patrimonio:

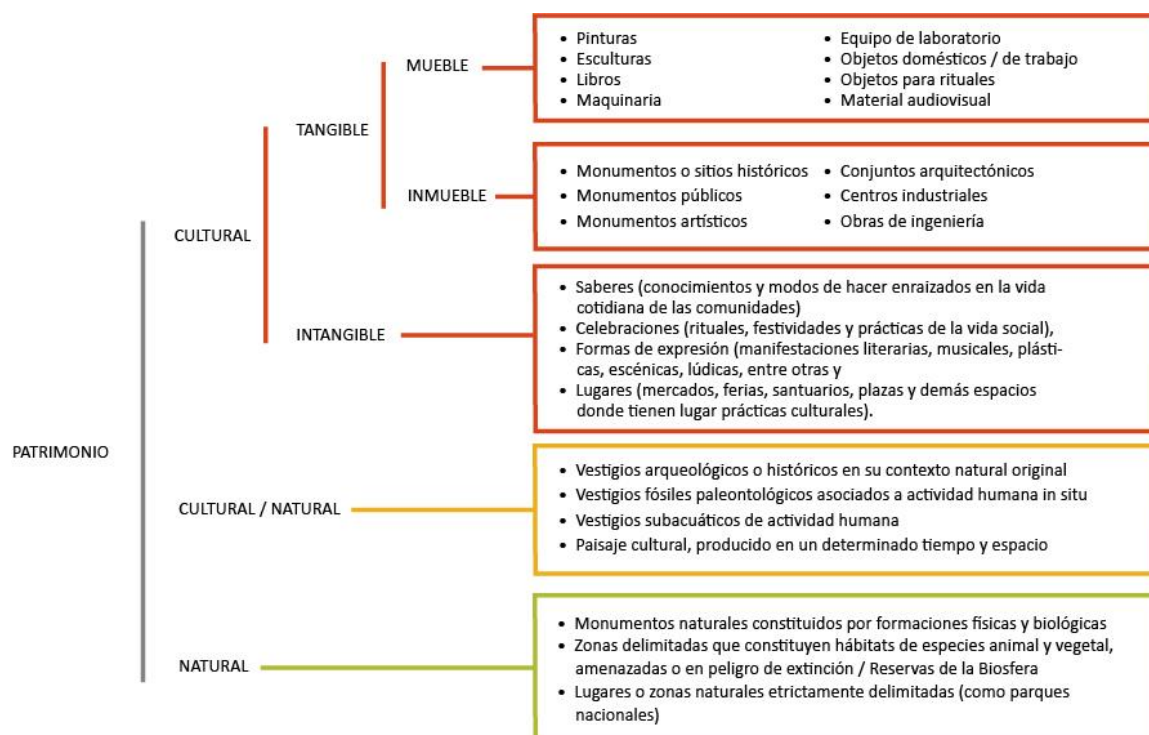


Figura 1.2. Clasificación del Patrimonio, fuente: idcnacional.org/europe-direct

El Artículo 1 de la Convención de la UNESCO de 1972, se ha ido ratificando a lo largo de las sucesivas conferencias de la organización y sigue vigente hasta la actualidad, en él se define el patrimonio cultural de la siguiente manera:

- “A los efectos de la presente Convención se considerará «patrimonio cultural»:
- los monumentos: obras arquitectónicas, de escultura o de pintura monumentales, elementos o estructuras de carácter arqueológico, inscripciones, cavernas y grupos de elementos, que tengan un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia,
 - los conjuntos: grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia,
 - los lugares: obras del hombre u obras conjuntas del hombre y la naturaleza, así como las zonas, incluidos los lugares arqueológicos que tengan un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista histórico, estético, etnológico o antropológico” (UNESCO, 2006, p.10).

Como se puede observar, los lugares o sitios arqueológicos pertenecen a la clasificación del patrimonio cultural-natural, estos sitios y los objetos encontrados en ellos (cerámica, utensilios, herramientas, textiles, etc.) forman el patrimonio arqueológico.

Según La Carta de Sevilla (2009) “Patrimonio arqueológico: es el conjunto de elementos materiales, tanto muebles como inmuebles, hayan sido o no extraídos y tanto si se encuentran en la superficie o en el subsuelo, en la tierra o en el agua, que junto con su contexto, que será considerado también como formante del patrimonio arqueológico, sirven como fuente histórica para el conocimiento del pasado de la humanidad. Estos elementos, que fueron o han sido abandonados por las culturas que los fabricaron, tienen como sello distintivo el poder ser estudiados, recuperados o localizados usando la metodología arqueológica como método principal de investigación, cuyas técnicas principales son la excavación y la prospección, sin menoscabo de la posibilidad de usar otros métodos complementarios para su conocimiento”. A esta categoría también pertenece el patrimonio arqueológico subacuático.

Durante la 31ª reunión de La Conferencia General de la UNESCO, celebrada en París del 15 de octubre al 3 de noviembre de 2001, se realizó una importante convención sobre la protección del patrimonio sumergido (Figura 1.3). La Convención de 2001 es una norma referida específicamente al patrimonio cultural subacuático. A efectos de la Convención:

“Por ‘patrimonio cultural subacuático’ se entiende todos los rastros de existencia humana que tengan un carácter cultural, histórico arqueológico, que hayan estado bajo el agua, parcial o totalmente, de forma periódica o continua, por lo menos durante 100 años, tales como:

- (i) los sitios, estructuras, edificios, objetos y restos humanos, junto con su contexto arqueológico y natural;
- (ii) los buques, aeronaves, otros medios de transporte o cualquier parte de ellos, su cargamento u otro contenido, junto con su contexto arqueológico y natural; y
- (iii) los objetos de carácter prehistórico” (UNESCO, 2001, p.3).



E. Trainito © UNESCO. Pecio de *Umbría*, Arrecife de Wingate, Port Sudán.



E. Trainito © UNESCO. Italia, Pecio ubicado en Baia Salinedda, Cerdeña, siglo III. A.D.



Drassm/Ifremer © UNESCO. Francia, Ánforas a gran profundidad, Arles 4, siglo I. A.D.



E. Trainito © UNESCO. Italia, Pecio ubicado en Porto San Paolo, siglo III. A.D.

Figura 1.3. Fotografías de pecios y restos arqueológicos sumergidos, fuente: Convención de la UNESCO (2001) sobre la protección del patrimonio cultural subacuático.

1.3) La arqueología virtual

Tradicionalmente se ha definido a la arqueología como la ciencia que estudia las sociedades humanas y sus transformaciones en el tiempo. Es una ciencia histórica porque investiga el pasado. Forma parte de la antropología y estudia al hombre como ente social, así como su inteligencia sobre el medio. Es una disciplina que integra la información procedente del conocimiento de la tierra (geología, geofísica y geografía) con datos provenientes de la biología (paleobotánica, paleozoología y paleoantropología) (Manzanilla y Barba, 2010, p.13). Según la RAE (2020) “La arqueología es la ciencia que estudia las artes, los monumentos y los objetos de la antigüedad, especialmente a través de sus restos”.

Actualmente en arqueología a menudo se trabaja sin pala, con frecuencia se utiliza lo último en tecnología, los métodos geofísicos han dado un enorme aporte al conocimiento de esta ciencia. De esta manera, los arqueólogos han descubierto miles de nuevos yacimientos arqueológicos sin necesidad de excavar.

“Los métodos geofísicos no provienen originalmente de la arqueología, sino del ámbito militar. Con esta tecnología y la ayuda de la geomagnética, debían rastrearse submarinos enemigos; en la arqueología, por otro lado, ahora se están revelando muros, fosos y tumbas en el suelo. En Irlanda, científicos irlandeses y alemanes buscan legendarias murallas y túmulos funerarios del Neolítico. En la ciudad alemana de Glauberg, el estudio geofísico revela vías procesionales ocultas. Arqueólogos subacuáticos de Bremerhaven, en el norte de Alemania, utilizan tecnología digital para reconstruir barcos hundidos. En Berlín, un equipo de arqueólogos desarrolla un proyecto junto con diseñadores de videojuegos. De esta forma se generó la copia virtual de un templo de Alepo. Antes de la guerra, los berlineses lo escanearon milimétricamente, sin sospechar lo importantes que llegarían a ser esos datos. Ahora, el templo se encuentra muy dañado. Gracias a los datos del escáner, el templo del Dios del Tiempo, en Alepo, aún se puede admirar, al menos de forma virtual” (DW Documental, 2018).

De esta manera se puede afirmar que la arqueología digital o arqueología virtual es el futuro de la investigación del pasado.

El término “Arqueología Virtual” se acuñó en los años noventa del siglo pasado para referirse a la elaboración de modelos informáticos de apoyo a la investigación e interpretación del patrimonio arqueológico (Reilly, 1990), aunque las primeras reconstrucciones virtuales de espacios arqueológicos datan de los años ochenta (Rivero, 2011). Con la incorporación de las nuevas tecnologías al campo de la arqueología, se ha hecho necesario establecer un conjunto de recomendaciones para regular la práctica de esta nueva disciplina. En el año 2009 durante la celebración del I Congreso Internacional de Arqueología e Informática Gráfica, Patrimonio e innovación, se realizó la reunión del Fórum Internacional de Arqueología Virtual, como resultado de esa reunión la Sociedad Española de Arqueología Virtual (SEAV) consideró oportuno redactar un borrador que sirviera de base para posteriores debates en el seno de la comunidad científica internacional, así surgieron en el año 2011 los Principios de Sevilla, contenidos en la conocida Carta de Sevilla. En este documento se define la arqueología virtual como: “la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico” (López-Menchero y Grande, 2011).

A su vez, la Carta de Sevilla toma como referencia la Carta de Londres documento reconocido internacionalmente y que fue concebido con la finalidad de garantizar el rigor metodológico de la reconstrucción y visualización asistida por ordenador en el campo de la investigación y divulgación del patrimonio cultural:

- **“Principio 1: Implementación.** Los principios de la Carta de Londres son válidos dondequiera que la visualización informatizada sea aplicada para la investigación o divulgación del patrimonio cultural.
- **Principio 2: Propósitos y métodos.** El método de visualización informatizada normalmente debería usarse únicamente en aquellos casos en los que resulta el método disponible más apropiado para lograr los objetivos propuestos.
- **Principio 3: Fuentes de la investigación.** Para asegurar la integridad intelectual de los métodos y resultados de la visualización informatizada, las fuentes más relevantes usadas en el proceso de investigación deben de ser identificadas y evaluadas de una manera estructurada y documentada.

- **Principio 4: Documentación.** Se debe recabar y proporcionar suficiente información como para permitir que los métodos y los resultados de la visualización informatizada puedan ser entendidos y evaluados en relación con los contextos y propósitos en los que se vienen usando.
- **Principio 5: Sostenibilidad.** Se deben programar y desarrollar estrategias que aseguren la sostenibilidad a largo plazo de los resultados de las visualizaciones informatizadas del patrimonio cultural, para evitar pérdidas irreparables de esta parte creciente del patrimonio intelectual, social, económico y cultural.
- **Principio 6: Acceso.** La creación y divulgación de las visualizaciones informatizadas se deben planear de tal manera que contribuyan, con el máximo de sus posibilidades, a mejorar el estudio, comprensión, interpretación, conservación y gestión del patrimonio cultural” (London Charter, 2009).

La Carta de Londres (2009) establece estos principios para el uso de los métodos y de los resultados de la visualización informatizada en el campo de la investigación y divulgación del patrimonio cultural con los siguientes objetivos:

- “Proporcionar un punto de referencia ampliamente aceptado por todos los profesionales implicados en este campo.
- Promover el rigor intelectual y técnico en las visualizaciones digitales del patrimonio.
- Garantizar que los procesos y resultados de la visualización computarizada pueden ser adecuadamente comprendidos y evaluados por los usuarios.
- Permitir que la visualización computarizada rigurosa contribuya plenamente al estudio, interpretación y gestión de los bienes culturales.
- Garantizar la selección y aplicación de estrategias de sostenibilidad y correcto acceso.
- Ofrecer unos sólidos fundamentos sobre los que la comunidad de especialistas pueda elaborar criterios y directrices mucho más detalladas”.

La Carta de Sevilla (2011) asume todos los objetivos aprobados por la Junta Consultiva de la Carta de Londres (2009) y además añade otros nuevos que se exponen a continuación:

- “Generar criterios fácilmente comprensibles y aplicables por toda la comunidad de expertos, ya sean estos informáticos, arqueólogos, arquitectos, ingenieros, gestores o especialistas en general en la materia.
- Establecer directrices encaminadas a facilitar al público un mayor entendimiento y mejor apreciación de la labor que desarrolla la disciplina arqueológica.
- Establecer principios y criterios que sirvan para medir los niveles de calidad de los proyectos que se realicen en el campo de la arqueología virtual.
- Promover el uso responsable de las nuevas tecnologías aplicadas a la gestión integral del patrimonio arqueológico.
- Contribuir a mejorar los actuales procesos de investigación, conservación y difusión del patrimonio arqueológico mediante el uso de nuevas tecnologías.
- Abrir nuevas puertas a la aplicación de métodos y técnicas digitales de investigación, conservación y difusión arqueológica.
- Concienciar a la comunidad científica internacional de la necesidad imperante de aunar esfuerzos a nivel mundial en el creciente campo de la arqueología virtual” (López-Menchero y Grande, 2011).

Los sitios arqueológicos cuentan historias, pero para que puedan hacerlo hacen falta herramientas que transmitan sus experiencias, en el patrimonio arqueológico estas herramientas son especialmente necesarias, ya que la distancia temporal con el presente genera una desconexión emocional entre el público y los bienes culturales, un vacío que se acentúa conforme se remontan a periodos históricos más lejanos. “La aplicación de la tecnología al campo del patrimonio cultural ha abierto enormemente el abanico de recursos interpretativos que ayudan a conectar a los usuarios con unos procesos culturales muy alejados de su vida cotidiana” (Frías, et al., 2017).

1.4) La virtualización del patrimonio.

Se entiende como virtualización del patrimonio al uso de nuevas tecnologías informáticas aplicadas a su reconstrucción virtual y puesta en valor, desde su prospección hasta su difusión. Detrás de todo proceso de virtualización existe una fase de estudio y análisis para obtener la mayor cantidad de datos contrastados acerca del sitio arqueológico, antes de proceder a su reconstrucción y visualización, proceso que se debe realizar de manera rigurosa y científica.

Según la Carta de Sevilla (2011) la reconstrucción virtual: “comprende el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, en un momento determinado de una construcción u objeto fabricado por el ser humano en el pasado a partir de las evidencias físicas existentes sobre dicha construcción u objeto, las inferencias comparativas científicamente razonables y en general todos los estudios llevados a cabo por los arqueólogos y demás expertos vinculados con el patrimonio arqueológico y la ciencia histórica”.

El escáner laser 3D, la fotogrametría y el modelado 3D son las técnicas de reconstrucción virtual más utilizadas en arquitectura y arqueología. La fotogrametría consiste en la reconstrucción virtual en tres dimensiones de objetos y lugares utilizando técnicas fotográficas, permite elaborar objetos en 3D a partir de la superposición de diferentes imágenes del propio objeto o superficie. Por otra parte, el escáner láser 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una superficie dentro de un campo limitado, mediante un rayo de luz láser y una cámara digital sincronizada, para reunir datos de su forma y color, con esta tecnología se obtiene una nube de puntos tridimensional que sirve para construir modelos digitales tridimensionales. Actualmente estas tecnologías tienen una gran aplicabilidad en el campo de la conservación y restauración del patrimonio.

Para poder observar las reconstrucciones virtuales, es necesario una serie de dispositivos con componentes de hardware y software que permitan la visualización, como pueden ser: cabinas, gafas especiales, tabletas y teléfonos móviles. Los dispositivos de visualización se analizan con detalle en el capítulo dos de esta tesis.

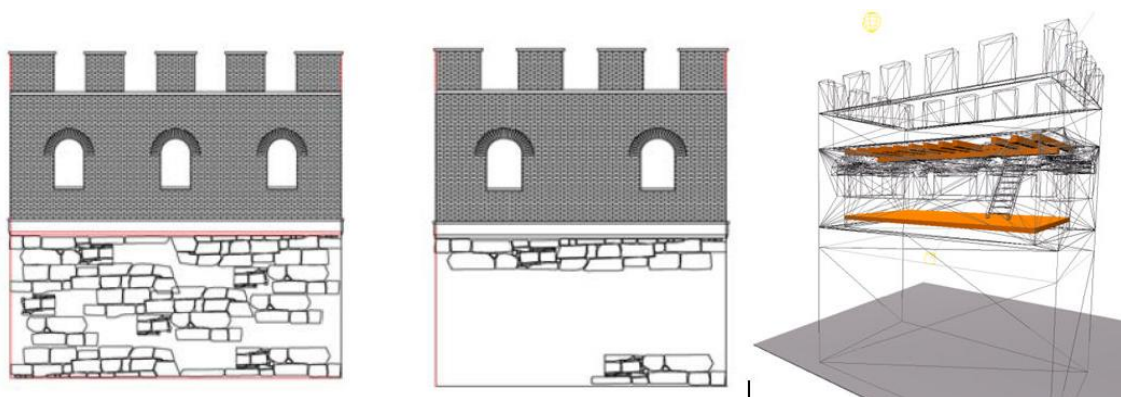
Como se ha expuesto anteriormente, tanto las tecnologías de reconstrucción como la fotogrametría y el escáner láser 3D, así como las de visualización como la RA y la RV son recursos novedosos en su aplicación a la virtualización del patrimonio arqueológico, desde hace algunos años la convergencia de estas tecnologías a propiciado la aparición de nuevos dispositivos y funcionalidades, lo que ha facilitado la difusión y la aplicación de estas tecnologías al patrimonio.

Según Izkara (2010) “Entre las principales tecnologías de la información de especial relevancia para la conservación y puesta en valor del patrimonio histórico cabe destacar las siguientes:

- Escaneado láser 3D y fotogrametría para la digitalización y preservación de monumentos y edificios históricos.
- Sistemas de Información Geográfica (GIS) y geo-referenciación de la información.
- Bases de datos de información incluyendo metadatos descriptivos de los elementos, que facilita las búsquedas.
- Síntesis de voz a partir de textos descriptivos, para narraciones de avatares y reproducción de textos escritos.
- Tecnologías de procesado inteligente/automático de datos (reconocimiento de imágenes, búsqueda de información en ficheros de texto, audio, vídeo, etc.)
- Tecnologías basadas en la Web, redes distribuidas y comunicaciones remotas.
- Realidad virtual y realidad aumentada como herramientas novedosas para la presentación de información.
- Ontologías y procesado semántico de información como herramientas de búsqueda de información compleja.
- Arquitecturas de sistemas basadas en dispositivos móviles para trabajos de campo y otras actividades que requieren movilidad del usuario.

Las tecnologías de la información proporcionan también nuevas herramientas y al mismo tiempo nuevas oportunidades para el soporte a la gestión y puesta en valor del patrimonio histórico” (Izkara, 2010, p.60).

Frecuentemente los sitios arqueológicos se encuentran en ruinas, enterrados, sumergidos o incompletos y en muchos casos no existen referencias de cómo estaban contruidos exactamente, siendo necesario consultar a expertos, para poder interpretarlos y proceder a su reconstrucción virtual (Museo de Calatayud, 2009), para este efecto se puede utilizar una herramienta metodológica llamada la “reconstrucción virtual de las hipótesis”. Un ejemplo es la Torre de Gironella (Figura 1.4), este proyecto tuvo como finalidad obtener un modelo en tres dimensiones formalmente verosímil y científicamente riguroso de la edificación, teniendo en consideración que gran parte de ella no existía y además no se disponía de referencias exactas de cómo estaba construida, por lo que fue necesario consultar a expertos investigadores, historiadores y arqueólogos, para interpretarla en base a sus hipótesis y proceder a la reconstrucción virtual, se trata de un importante estudio de viabilidad de la tecnología en el ámbito del patrimonio histórico (Redondo, et al., 2011).



Levantamiento geométrico de las torres de acuerdo con las hipótesis de los investigadores.



Reconstrucciones virtuales definitivas correspondientes a distintas hipótesis de los historiadores.

Figura 1.4. Reconstrucción virtual de las hipótesis, fuente: (Redondo et al. 2011)

1.5) Proyectos de referencia

ARCHEOGUIDE. Es el proyecto de referencia en el campo de la RA aplicada al patrimonio histórico, fue financiado por la Unión Europea con objeto de explorar las posibilidades y limitaciones de esta tecnología para la difusión del patrimonio (Vlahakis, et al., 2002). El objetivo del proyecto fue desarrollar un sistema que ofreciera formas novedosas de acceso a la información en lugares de patrimonio histórico. El proyecto fue validado mediante la visualización in-situ de reconstrucciones virtuales de las ruinas griegas en Atenas (Figura 1.5). Los usuarios iban equipados con un dispositivo HMD (Head Mounted Display). La visualización aumentada consiste en vídeos pregrabados en estudio, que mezclan la información real con el modelo virtual. “En el proyecto no solo se pusieron en práctica reconstrucciones virtuales de los edificios, sino que también se incorporaron personajes virtuales o avatares en el sitio arqueológico del stadium, recreando de forma realista el uso para el que estaba destinado el lugar” (Izkara 2010, p.27).



Imagen original.



Imagen aumentada.



Visualización de los avatares.



Equipo HMD.

Figura 1.5. Fotografías de la reconstrucción virtual del Templo de Hera en Olimpia, fuente: Vlahakis, et al., 2002, pp.57-58.

LIFEPLUS. Es otro de los proyectos relevantes sobre RA y patrimonio cultural, igual que el proyecto anterior fue promovido por la Unión Europea y llevado a cabo en la Universidad de Ginebra (Suiza) por medio del grupo de investigación MIRALab (Vlahakis et al., 2003). Se realizó en el parque arqueológico de Pompeya (Nápoles, Italia). Esta experiencia se basaba en insertar en los escenarios reales de las ruinas, animaciones virtuales de la flora y fauna y recreaciones de escenas cotidianas de la vida romana, por medio de gráficos y personajes virtuales en 3D. Mediante el uso de unas gafas de RA o HMD (Figura 1.6), fue posible diseñar un sistema inalámbrico capaz de determinar los gráficos 3D que se insertaban en la imagen del entorno real que en ese momento estaba visualizando el usuario, mostrando la imagen aumentada en el visor junto a los sonidos o narración relacionados con la escena, la aplicación se puso en práctica en el thermopolium o taberna de Vetitutus Placidus de Pompeya (MIRALab, 2004).



Usuario utilizando un visor HMD.



Recreación de un escenario.



Escena de la vida cotidiana.



Recreación de un diálogo.

Figura 1.6. Fotografías de la reconstrucción virtual y visualización de las ruinas de Pompeya, Italia, fuente: MIRALab, Universidad de Ginebra.

ENAME. Proyecto llevado a cabo en el sitio arqueológico de la ciudad de Ename en Bélgica, está dentro de los trabajos realizados conjuntamente por el Museo provincial de Ename y el “Ename Centre for Public Archaeology and Heritage Presentation”, los cuales trabajan arduamente en el conocimiento del pasado medieval de la ciudad. Actualmente, este recinto arqueológico se constituye como un museo al aire libre en donde se ha apostado por el uso de las tecnologías de RA para dar a conocer virtualmente los edificios medievales desaparecidos y transmitir al público la importancia del yacimiento, el que ha sido estudiado tras las sucesivas excavaciones realizadas desde mediados del siglo XX. “El proyecto ENAME 947, surgió como respuesta a la dificultad de interpretar los restos arqueológicos hallados en el yacimiento ya que resultaba difícil para el público en general, reconocer las edificaciones, a través de los restos de construcciones y cimientos”.



Figura 1.7. Quiosco con la instalación de la reconstrucción virtual de la antigua iglesia, fuente: users.skynet.be/eyeblyn/VSMM99/TimeFrame.html

Así surgió TimeScope, un sistema no intrusivo que consiste en una videocámara, un ordenador, dos monitores y una pantalla táctil que se ubican en un quiosco o cabina especialmente diseñada y situada en el yacimiento. Por ejemplo, la cámara captura la imagen de los restos, donde están los cimientos de la desaparecida iglesia medieval de Saint Salvator, y transmite las imágenes en tiempo real a los monitores que se encuentran en el interior de la cabina. Los visitantes a través de las pantallas táctiles pueden seleccionar las reconstrucciones virtuales de las sucesivas estructuras que se encuentran en ese lugar superpuestas a la imagen real actual (Figura 1.7). Por otra parte, el visitante puede acceder a información adicional relacionada con el yacimiento a través de un menú que aparece en las pantallas táctiles (Ruiz, 2011).

SCAN PYRAMIDS: Este proyecto lanzado el 25 de octubre de 2015, bajo la autoridad del Ministerio egipcio de antigüedades, iniciado, diseñado y coordinado por la Facultad de Ingeniería de El Cairo y el Instituto Francés HIP (Patrimonio, Innovación y Preservación). Utilizan para la exploración partículas cósmicas también conocidas como muones radiográficos, termografía infrarroja, fotogrametría, escáner y reconstrucción 3D, con el objetivo de sondear el corazón de las pirámides más grandes de Egipto, sin perforar la más mínima abertura. La misión científica "Scan Pyramids" es un proyecto sin precedentes, se han implementado avanzadas tecnologías no destructivas como la termografía infrarroja, con esta tecnología los investigadores establecerán un mapa térmico de las pirámides para revelar las diferencias en densidad, su meta es identificar si hay vacíos detrás de las caras de las pirámides.

También se ha utilizado la radiografía de muones con el objetivo verificar y visualizar con precisión la presencia de estructuras desconocidas dentro de los monumentos. Estas técnicas se han desarrollado en Japón por los equipos de KEK (Organización de investigación High Energy Accelerator) y Universidad de Nagoya (Figura, 1.8). "Se han propuesto muchas teorías, ya sea explicando su construcción o sus anomalías estructurales, pero somos físicos e ingenieros, no arqueólogos, nuestro objetivo es usar técnicas para obtener resultados concretos. Entonces los egiptólogos los interpretarán" (Scan Pyramids, 2020).



Figura 1.8. Capturas de pantalla del proyecto Scan Pyramids, fuente: scanpyramids.org

2) Tecnologías de Realidad Mixta

La RM hace referencia al uso conjunto de la RA y la RV. La unión de estas tecnologías permite crear nuevos entornos digitales en donde el usuario interactúa con objetos físicos y virtuales en tiempo real (Arpost, 2020). Una de sus características principales es que permite pasar de un entorno de RA a otro inmersivo de RV usando el mismo dispositivo y aplicación (Billinghurst, et al., 2001). “Significa que los elementos virtuales se fusionan con el entorno real del usuario, creando un mundo en el que los objetos reales y virtuales pueden interactuar” (NASA, 2020).

La tecnología de RA permite combinar el mundo físico con objetos generados por ordenador, los objetos virtuales son superpuestos como una capa de información en un entorno real, dando al usuario la ilusión que los objetos del mundo real y virtual coexisten, en cambio la RV sumerge al usuario dentro de un mundo virtual que reemplaza completamente al mundo real.

“En términos generales podemos decir que en un entorno virtual en el que no existe ninguna conexión o enlace (generalmente visual) con el mundo real, es un entorno de realidad virtual; si el entorno creado es esencialmente virtual, pero existe alguna representación (como una imagen o vídeo) del mundo real, hablaríamos de virtualidad aumentada; si el entorno es principalmente real y existen algunos elementos virtuales, nos referiremos a la Realidad Aumentada” (Sánchez, 2013, p.116).

Según Portalés (2008, p.61) No existen unos límites marcados entre la RA y la RV y la mezcla entre estas dos tecnologías da lugar a varias interpretaciones de la realidad, “la transición entre un mundo puramente virtual y la virtualidad aumentada, o entre la virtualidad aumentada y la realidad aumentada puede ser muy sutil, dándose el caso de que algunas aplicaciones rocen el límite entre una categoría u otra.” La RM es un concepto que describe el espectro de representaciones de la realidad que pueden existir entre la realidad material y la realidad virtual, fusiona los mundos físico y virtual.

Desde hace algunas décadas el estudio de la interacción entre humanos y ordenadores ha dado lugar a la disciplina conocida por sus siglas en inglés como HCI (Human Computer Interaction). La intervención humana se ha dado a través de diferentes medios, incluidos teclados, ratones, tacto, voz e incluso el seguimiento del cuerpo. En la actualidad los avances en sensores y procesamiento están dando lugar a nuevas formas de interacción, en un contexto de RM las entradas de ordenador provienen del entorno o ambiente, tema que se aborda a profundidad en el capítulo tres de esta tesis.

Para que exista interacción entre ordenadores y entornos es necesaria la comprensión ambiental o percepción del entorno. Los dispositivos capturan información ambiental como la posición de una persona en el espacio (seguimiento de la cabeza), superficies y límites (mapeo espacial y comprensión de la escena), iluminación ambiental, sonido ambiental, reconocimiento de objetos y ubicación.

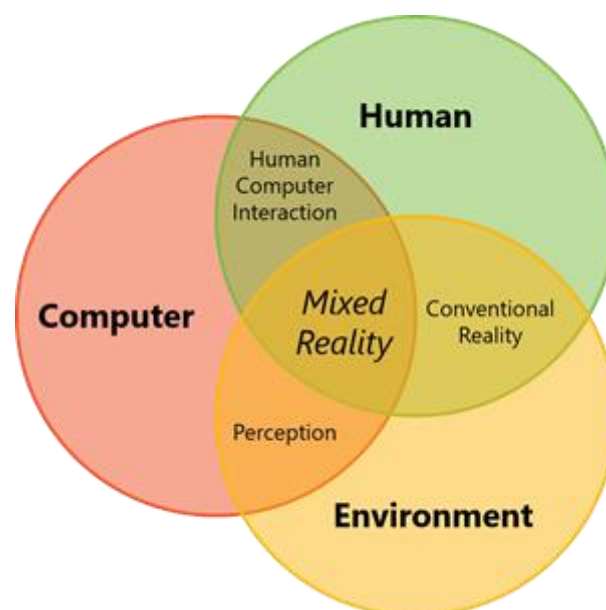


Figura 2.1. Interacciones entre ordenadores, personas y entornos, fuente: xinreality.com

La combinación de estos tres factores: procesamiento informático, aportación humana y aportación ambiental, prepara el escenario para crear experiencias de RM (Figura 2.1). El movimiento a través del mundo físico puede traducirse en movimiento en el mundo digital. Los límites del mundo físico pueden influir en las experiencias de las aplicaciones, como el juego, en el mundo digital. Sin información ambiental, las experiencias no pueden combinarse entre la realidad física y la digital (Microsoft, 2020a).

En el año 1994 Paul Milgram y Fumio Kishino definen por primera vez el concepto de continuo de virtualidad, hasta esa fecha no había existido una definición clara de este concepto, el cual describe una escala continua que oscila entre lo que se puede definir como completamente real y lo que es completamente virtual (Figura 2.2). De esta manera intenta abarcar todas las posibles variaciones y composiciones de objetos virtuales y reales (Milgram y Kishino, 1994).

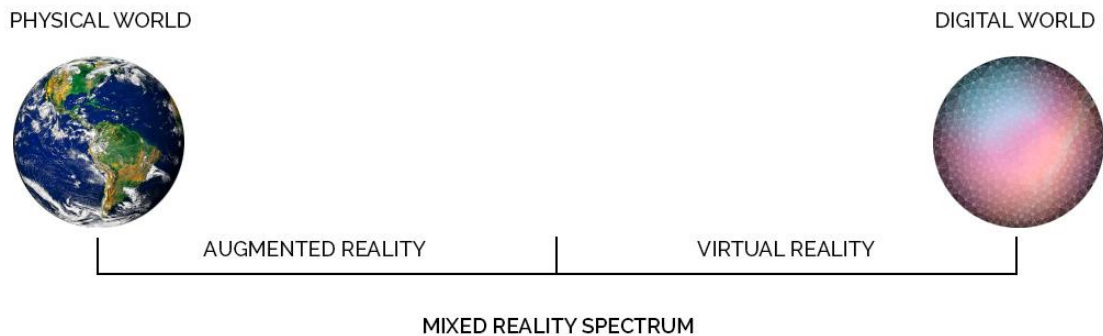


Figura 2.2 El espectro de la Realidad Mixta, fuente: Microsoft, 2020.

Un ejemplo de estos conceptos es el proyecto MagicBook (Figura 2.3) una aplicación que utiliza un método de seguimiento basado en la visión para superponer modelos virtuales en páginas de un libro real, creando escenas de RA, cuando los usuarios se fijan en una escena RA que les interesa, pueden entrar en ella y experimentarla como RV inmersiva. Este proyecto consiste en explorar las transiciones entre los diferentes tipos de interfaz de las aplicaciones de RA y RV. Estos autores se basan en el concepto de Milgram y clasifican los interfaces a lo largo del continuo de acuerdo con la cantidad de entorno de usuario generado por ordenador (Billinghurst, et al., 2001).



Figura 2.3 MagicBook de la realidad física a la realidad virtual, fuente: Billinghurst, et al., 2001.

En el verano de 2003, un equipo de investigación, compuesto por arqueólogos, conservadores, expertos en escáner láser 3D y sistemas de visualización, recopiló un conjunto de datos multimedia de una excavación arqueológica ubicada en la cima del Monte Polizzo en el oeste de Sicilia, donde un equipo de arqueólogos ha excavado una acrópolis elíptica construida entre los siglos VI y IV a. C. Durante un lapso de diez días, se utilizó un escáner láser 3D, un sistema de medición de estación total, videocámaras y cámaras fijas digitales para recopilar datos multimedia 2D y 3D, incluidas nubes de puntos 3D, secuencias de video de eventos interesantes, fotos panorámicas y numerosas imágenes estáticas de alta resolución de objetos y del sitio en general (Benko, 2004).

Como resultado de esta investigación en el año 2004 se presenta el proyecto VITA (Visual Interaction Tool for Archaeology), un sistema experimental colaborativo de RM para la visualización de una excavación arqueológica fuera del sitio, referenciado en el año 2010 por Ernest Redondo en la presentación del estudio de caso La Torre Gironella, expuesto en la introducción de esta tesis (Redondo, 2010).

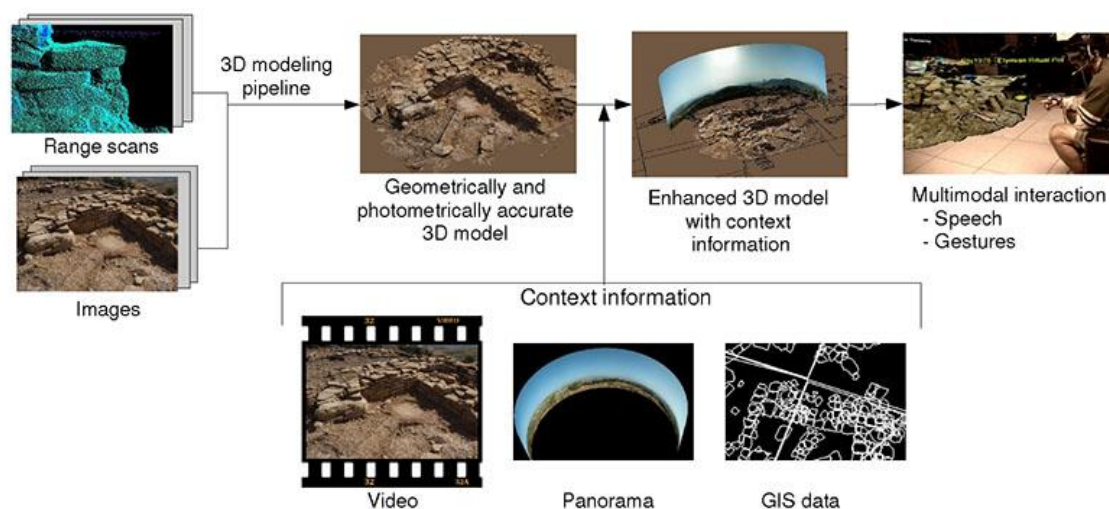


Figura 2.4 Flujo de reconstrucción 3D y visualización, fuente: Allen, et al., 2014.

El proceso comienza con la obtención de un modelo 3D texturizado usando imágenes y escaneos láser, modelo que se mejora con información contextual en forma de imágenes panorámicas, video y datos del Sistema de Información Geográfica (GIS). Este modelo rico en contexto se utiliza luego como entrada a la aplicación de realidad mixta multimodal (Allen, et al., 2014).

El sistema VITA permite que varios usuarios visualicen el sitio de la excavación en un entorno de RM, realiza el seguimiento de las cabezas de los usuarios, los cuales mediante el uso de gafas especiales pueden visualizar el modelo del sitio y los hallazgos arqueológicos asociados, así como interactuar multimodalmente con ellos utilizando una mesa multitáctil, una pantalla grande, los gestos de las manos y el habla.

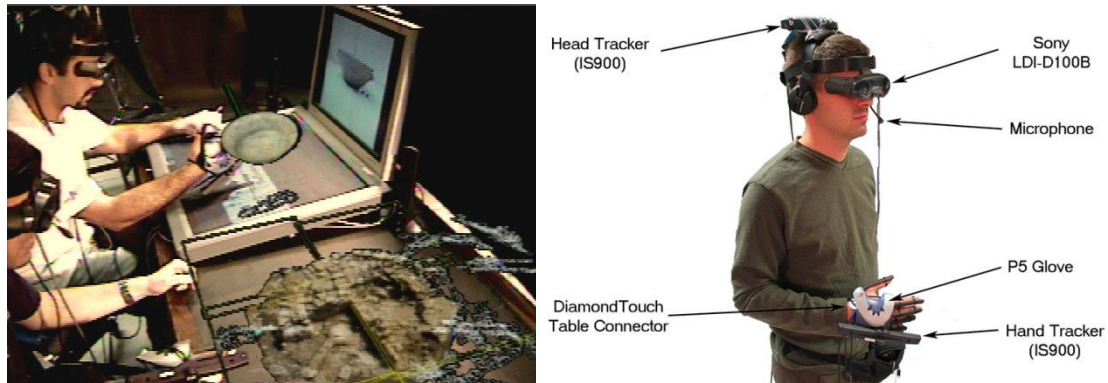


Figura 2.5 Sistema VITA. Foto izquierda interacción con el sistema, foto derecha dispositivos de interacción personales, fuente: Allen, et al., 2014.

Este sistema interactivo permite a los arqueólogos colaborar simultáneamente (Figura, 2.5), se puede observar en la foto de la izquierda que mientras un usuario está inspeccionando el modelo 3D virtual del recipiente de cerámica y comparándolo con la imagen de alta resolución en la pantalla, el segundo usuario está mirando el modelo del terreno en miniatura. El sistema posibilita además explorar el modelo virtual del sitio en primera persona a escala real y con detalle, se pueden cargar imágenes panorámicas del entorno lo que crea una experiencia inmersiva. Usando un guante con seguimiento, un usuario puede examinar los hallazgos arqueológicos que están situados en el modelo en los lugares exactos de su descubrimiento, cada uno etiquetado con su nombre y descripción (Ishak, 2007). Según (Benko, 2004), la excavación de un sitio arqueológico es por naturaleza un proceso destructivo y a menudo físicamente irreparable, por lo que es crucial el registro detallado de cada etapa de la excavación, gran parte del análisis, la interpretación, la redacción de informes y la investigación adicionales posteriores a la excavación se pueden beneficiar de la capacidad de integrar visualmente datos en 2D y 3D en un espacio interactivo 3D, en el que información del terreno en 3D se combina con bocetos, imágenes, video y otros elementos multimedia.

En la actualidad se encuentran disponibles en el mercado dispositivos de RM de diferentes marcas que usan la tecnología de Microsoft (Microsoft, 2018), siendo el más destacado el HoloLens 2. El uso potencial de esta tecnología es muy diverso, de hecho, Microsoft colaboró con la NASA para crear el proyecto "Destino: Marte" (Figura 2.6), una visita guiada a Marte utilizando la misma tecnología HoloLens que ayuda a los científicos a planificar las actividades del Rover Curiosity, lo que permite al personal de la NASA trabajar como si estuvieran en ese planeta (NASA, 2020).

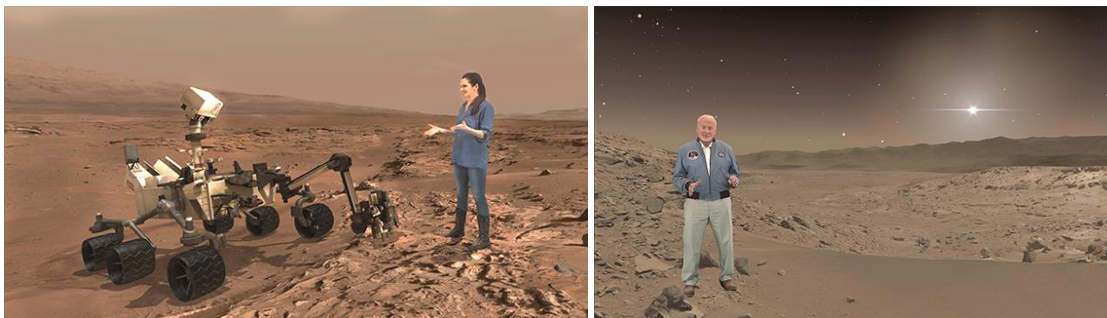


Figura 2.6. Proyecto "Destino: Marte", fuente: NASA, 2020.

Microsoft también se asoció con Volvo para mostrar cómo es posible usar el dispositivo en las salas de exhibición de automóviles para que los clientes puedan configurar un vehículo y ver los cambios de color, tapicerías o diseños de un volante de la manera más realista posible.

"HoloLens puede ofrecer nuevas formas de explorar nuestros vehículos y servicios, junto a sus beneficios, al traerlos casi de manera real a la vida. Somos la primera marca de coches en colaborar con Microsoft en desarrollar esta tecnología pionera, que utiliza hologramas para combinar a la perfección el mundo real y el digital" (Volvo, 2020).

El hardware y el software van dentro de unas gafas que no requieren de cables o conexiones con otros dispositivos y además son capaces de rastrear continuamente el entorno, con lo que se consigue una experiencia virtual única mientras que el usuario visualiza el mundo que le rodea. HoloLens ejecuta un ordenador autónomo con Windows 10. Cuenta con una pantalla óptica HD 3D montada en la cabeza, proyección de sonido espacial y sensores avanzados, permitiendo a sus usuarios interactuar con las aplicaciones a través de movimientos de la cabeza, gestos y el habla.

HoloLens tiene una CPU (Central Processing Unit) y GPU (Graphics Processing Unit) de alta gama, más un chip denominado HPU (Holographic Processing Unit), que procesan todos los datos de sus sensores, cámara de profundidad, micrófono, etc. Lo que, según Microsoft, le da al dispositivo más potencia de procesamiento que un ordenador portátil promedio (Figura 2.7).



Figura 2.7. Dispositivo de RM HoloLens, fuente: Microsoft, 2015.

Características técnicas: “Sistema de lentes holográficas transparentes de guía de onda de luz, dos motores de proyección HD 16:9, un sistema con calibración automática de la distancia inter-pupilar, una resolución holográfica de 2.3 Megas totales de puntos de luz con una densidad holográfica mayor de 2.5 k radiantes (puntos de luz por radián), un campo de visión 30° H y 17,5° V, CPU&GPU con arquitectura Intel 32 bits más un chip denominado Microsoft Holographic Processing Unit (HPU 1.0) para procesar la ubicación de las gafas, una memoria de 64GB Flash y un peso de 579g” (Xinreality, 2017).

Un proyecto interesante de uso de esta tecnología en el campo de la museografía es el denominado Holomuseum, consiste en una aplicación pensada para facilitar la creación y mantenimiento de exhibiciones de objetos multimedia en cualquier espacio y especialmente diseñada para las gafas HoloLens. “Este sistema utiliza las revolucionarias propiedades de este tipo de gafas para crear una nueva categoría de exposición -la exposición de realidad mixta- al tiempo que pretende solucionar varios de los problemas intrínsecos que todavía arrastra esta tecnología” (Martí, 2018).

La RM también es interpretada como Realidad Extendida (XR). Algunos estándares para el desarrollo de aplicaciones como: WebXR (W3C, 2020) y OpenXR (Khronos, 2020) han adoptado esta notación (Sherman y Craig, 2019, p.19).

2.1) La Realidad Aumentada

En el año 1997 Ronald Azuma dio una definición muy precisa de lo que es la RA y que ha servido de base para otras definiciones posteriores (Martí, 2018, p.81). “La AR es una variación de la realidad virtual, las tecnologías de RV sumergen completamente al usuario en un entorno sintético, mientras está inmerso, el usuario no puede ver el mundo real que lo rodea. Por el contrario, la RA permite al usuario ver el mundo real, con objetos virtuales superpuestos. Por lo tanto, la realidad aumentada complementa la realidad, en lugar de reemplazarla por completo, dando la sensación al usuario que los objetos virtuales y reales coexisten en el mismo espacio” (Azuma, 1997). La mezcla del entorno real y la información digital puede ser visualizada usando diferentes dispositivos, como: proyectores, ordenadores, teléfonos inteligentes, tabletas o gafas especiales (Redondo, et al., 2012). Según Azuma un sistema de AR debe cumplir tres características: combina lo real y lo virtual, es interactivo en tiempo real y está registrado en tres dimensiones (Azuma, 1997). González (2012) explica estas tres características de la siguiente manera:

“1. Combina mundo real y virtual. El sistema incorpora información sintética a las imágenes percibidas del mundo real.

2. Interactivo en tiempo real. Así, los efectos especiales de películas que integran perfectamente imágenes 3D fotorrealistas con imagen real no se considera Realidad Aumentada porque no son calculadas de forma interactiva.

3. Alineación 3D. La información del mundo virtual debe ser tridimensional y debe estar correctamente alineada con la imagen del mundo real. Así, estrictamente hablando las aplicaciones que superponen capas gráficas 2D sobre la imagen del mundo real no son consideradas de Realidad Aumentada”.

Siendo estrictos con esta definición, aplicaciones que superponen información en 2D no serían consideradas de Realidad Aumentada, ya que el registro del mundo real debe realizarse en 3D (González, et al, 2012). Para efectos de esta investigación se considera RA toda información digital superpuesta en el mundo real que pueda ser procesada por un dispositivo, tales como: objetos 3D, fotografías, videos, textos y sonidos.

En el año 2018 se cumplieron 50 años del origen de la RA (ACMSIGGRAPH, 2018) Esta tecnología se dio como consecuencia de los estudios realizados por Iván Sutherland, inventor de la primera interfaz gráfica de usuario (GUI) y creador del concepto de mundo virtual. En 1968 Sutherland crea el primer sistema de RA que consistía en un brazo mecánico articulado que sostenía un sistema óptico, compuesto por dos pantallas estereoscópicas, instalado en un soporte ajustable a la cabeza del usuario (HMD), con el que se podían visualizar sencillos objetos 3D en tiempo real, tenía dos rastreadores de cabeza, uno ultrasónico y otro mecánico llamado “La espada de Damocles” (Figura 2.8). Debido a la limitada capacidad de procesamiento de los ordenadores en ese momento, los dibujos eran muy simples y se mostraban solamente las aristas (Sdegno, 2014).

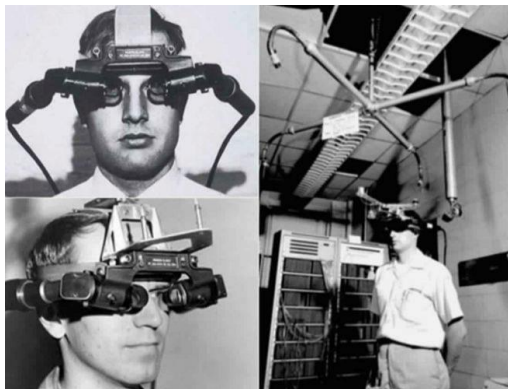


Figura 2.8. “La Espada de Damocles”, el primer dispositivo de RA., fuente: El Mundo, 2019.

Veintidós años después en 1990, Tom Caudell acuñó el término “Realidad Aumentada” para describir un sistema de visualización que usarían los técnicos electricistas de Boeing. Consistía en un dispositivo al que llamó (HUDset) que era capaz de detectar la posición de la cabeza y realizar el registro del entorno real. Desarrolló un software que mostraba la posición de los cables durante la construcción, el objetivo era reducir los costos y mejorar la eficiencia de las operaciones de fabricación de aeronaves que involucran a personas, al eliminar plantillas, diagramas de tablero y otros dispositivos de enmascaramiento (Caudell y Mizell, 1992).

En 1998, el ingeniero de Sony Jun Rekimoto crea CyberCode, un método para calcular el tracking visual de las cámaras empleando marcas 2D con formas cuadradas, para así determinar la posición del objeto 3D en el espacio. Esta técnica es la precursora de otros métodos de tracking visuales en los próximos años (Rekimoto y Ayatsuka, 2000).

En 1999, Hirozaku Kato desarrolla ArtoolKit, una de las librerías de software libre más potentes para la creación de aplicaciones de RA basadas en marcadores (Sánchez, 2013, p.143). En la actualidad ArtoolkitX es un proyecto creado para continuar el apoyo a la comunidad ARToolKit y que agrega nuevas funciones en apoyo de los objetivos del proyecto (ArtoolkitX, 2020) (Figura 2.9).



Figura 2.9. Marcadores y visualización de un modelo virtual, fuente: ARToolKit, 2020.

El sistema de RA debe ser capaz de rastrear el punto de vista de los usuarios. Para saber con qué orientación colocar los objetos virtuales la aplicación necesita saber dónde está mirando el usuario en el mundo real, para realizar esta tarea el sistema usa diferentes métodos de registro o tracking:

Tracking basado en marcadores 2D. Se basa en el reconocimiento de objetivos o marcadores que pueden ser de diferentes formas, cuadrados, circulares, códigos de barras, códigos QR, imágenes y texturas. Los marcadores se escanean mediante la cámara del dispositivo, con el fin de reconocer patrones y de esta manera mostrar el objeto virtual en la posición correcta (Figura 2.10).



Figura 2.10. Ejemplos de marcadores de imagen, fuente: Unity y Vuforia, 2020.

Tracking basado en modelos 3D. Se basa en la utilización de un modelo CAD 3D de partes de la escena, habitualmente un objeto, permite detectar aristas y puntos de interés en el vídeo de entrada, la posición de la cámara se establece con relación a ese objeto. (González, et al, 2012). Permite a las aplicaciones que utilizan este método reconocer y rastrear objetos particulares en el mundo real. Se puede utilizar una amplia variedad de objetos como marcadores, desde electrodomésticos y juguetes hasta vehículos, equipos médicos o industriales a gran escala e incluso puntos de referencia arquitectónicos (Figura 2.11).



Figura 2.11. Ejemplos de marcadores 3D utilizando objetos reales, fuente: Vuforia, 2020.

Un ejemplo interesante es Volkswagen seeMore, una aplicación de RA que tiene tres tipos de escáner para realizar el registro: Escáner de imágenes para carteles, anuncios, catálogos y códigos QR. Escáner de audio para anuncios en televisión y radio. Escáner de vehículos para modelos de Volkswagen reales, una vez realizado el registro del coche, se puede acceder a diferentes puntos interactivos que muestran la información en 3D de manera animada y visible desde diferentes ángulos. Permite al usuario visualizar el coche en diferentes colores y mediante el modo de animación de rayos X se puede observar el funcionamiento interno del vehículo (innovation.rocks, 2016) (Figura 2.12).



Figura 2.12. Aplicación Volkswagen seeMore, fuente: innovation.rocks, 2016.

Tracking basado en el entorno real. Este sistema se basa en el reconocimiento del entorno, en función de la capacidad de procesamiento del dispositivo, se pueden reconocer superficies planas como: el suelo, mesas o la fachada de un edificio. En la actualidad dispositivos móviles de alta gama como Samsung y LG, incorporan cámaras TOF 3D, acrónimo que procede del inglés *“Time Of Flight”* que significa tiempo de vuelo, utilizan luz infrarroja para medir la distancia de un objeto calculando el tiempo que tarda la luz en alcanzarlo y regresar, de esta manera pueden determinar la profundidad de campo de la escena, permitiendo el desarrollo de aplicaciones de RA.



Figura 2.13. Captura de la aplicación Ikea Place optimizada para el sensor LiDAR, fuente: Apple.

La marca Apple ha incorporado en algunos de sus dispositivos móviles un sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) (Figura 2.13) tecnología usada en topografía para estudiar el relieve del terreno y en los coches autónomos para reconocer el entorno. Usa el “tiempo de vuelo” directo para medir la luz reflejada a una distancia máxima de cinco metros, en interiores o en exteriores. La luz es emitida en forma de un haz láser y con velocidades de nanosegundos, creando con precisión un mapa de profundidad del entorno. Permite conocer la posición exacta de los objetos en la escena, de esta manera los objetos virtuales se pueden colocar detrás de los reales obteniendo un resultado realista, mejorando de esta manera los problemas de oclusión propios de la RA (Apple, 2020). Apple está desarrollando unas gafas de RA que tendrán incorporado el sensor LiDAR y como suele suceder con la tecnología en el futuro se estima que estará presente en dispositivos de otras marcas. El uso de esta tecnología abre un nuevo mundo de posibilidades para el desarrollo de aplicaciones de RA y RV.

Tracking basado en geolocalización. Este tipo de tracking se basa en recursos externos tales como Sistema de Posicionamiento Global (GPS) o el Sistema de Información Geográfica (GIS). Además, utiliza las características tecnológicas propias de los dispositivos como: brújulas, giroscopios y acelerómetros, en este contexto no es necesario interactuar con marcadores ni objetos de la escena, pero se necesita información precisa acerca de la ubicación o datos importantes de un lugar en específico. Las capacidades de los sensores actuales han mejorado en estabilidad y precisión. Por ejemplo, la precisión del GPS aumenta con GPS diferencial o DGPS, que lleva la precisión de las lecturas a entre 1 y 3 metros del objeto, como en comparación con los 5–30 metros de GPS normal (Redondo, et al., 2014) (Figura 2.14).



Figura 2.14. Escultura virtual colocada en una escena real, mediante GPS, fuente: Redondo et. al, 2014.

Un ejemplo de este sistema es la aplicación Google Maps AR (Figura 2.15), que sirve para guiar al usuario de una ubicación a otra, la aplicación es capaz de reconocer los edificios circundantes y mostrar las señales aumentadas con relación a estos (Google, 2020).

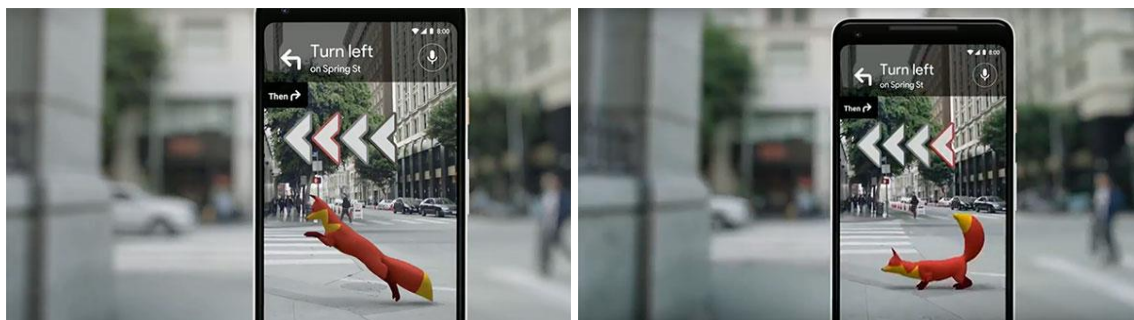


Figura 2.15. Capturas de pantalla de la aplicación Google Maps AR, fuente: Google, 2020a.

2.2) La Realidad Virtual

El término realidad virtual fue popularizado a finales de los años 80 por Jaron Lanier, técnico investigador que en 1984 creó la firma VPL Research, una empresa pionera en la investigación de esta tecnología y que también puso en el mercado el primer equipo de RV llamado EyePhone, compuesto por unas gafas, guantes de datos y posteriormente un traje completo (VRS, 2020a). Según la enciclopedia británica: “Realidad virtual (RV), es el uso de modelado y simulación por ordenador que permite a una persona interactuar con un entorno visual tridimensional (3-D) artificial u otro ambiente sensorial”.

Las aplicaciones de realidad virtual sumergen al usuario en un entorno generado por ordenador que simula la realidad mediante el uso de dispositivos interactivos, que envían y reciben información como: gafas, cascos, guantes y trajes especiales. En un formato típico de RV, un usuario lleva unas gafas con una pantalla estereoscópica y visualiza imágenes animadas de un entorno simulado (Figura 2.16). La ilusión de "estar allí" (telepresencia) se realiza mediante sensores que captan los movimientos del usuario y ajustan la vista en la pantalla en tiempo real, en el instante mismo en que se produce el movimiento. Por lo tanto, un usuario puede recorrer un conjunto simulado de habitaciones, experimentando puntos de vista y perspectivas cambiantes que están relacionados de manera convincente con sus propios giros y movimientos de cabeza. Usando guantes de datos equipados con dispositivos de retroalimentación de fuerza que brindan la sensación del tacto, el usuario puede incluso recoger y manipular objetos que ve en el entorno virtual (Enciclopedia Británica, 2020).



Figura 2.16. En la experiencia Birdly de la Universidad de las Artes de Zurich, el usuario, que lleva unas gafas de RV, agita sus “alas” mientras vuela de forma virtual sobre San Francisco. Una plataforma de movimiento y un ventilador proporcionan una estimulación sensorial adicional. La figura de la derecha muestra el estímulo presentado a cada ojo, fuente: LaValle.

El primer estereoscopio, desarrollado por Charles Wheatstone en 1838, usó espejos para presentar una imagen diferente a cada ojo, poco después los espejos fueron reemplazados por lentes, luego apareció en el mercado un estereoscopio de producción masiva llamado View-Máster que ha estado disponible desde la década de 1930. En competencia con la visualización estereoscópica, Cinerama ofreció un campo de visión más amplio. Las pantallas de cine más grandes hicieron que la popularidad de las películas en 3D disminuyera en la década de 1950 (LaValle, 2017). En 1957 Morton Heilig construye un simulador al que llamó Sensorama, similar a las máquinas de videojuegos arcade de los años 90 (Figura, 2.17), proyectaba imágenes en 3D y tenía sonido envolvente, hacía vibrar el asiento y creaba viento que lanzaba al espectador, además de desprender aromas. Heilig hizo cinco películas para Sensorama, que incluía un paseo en motocicleta por Nueva York, un paseo en bicicleta, un paseo en buggy, un paseo en helicóptero y un baile de una bailarina de danza del vientre (Bown, et al., 2017).

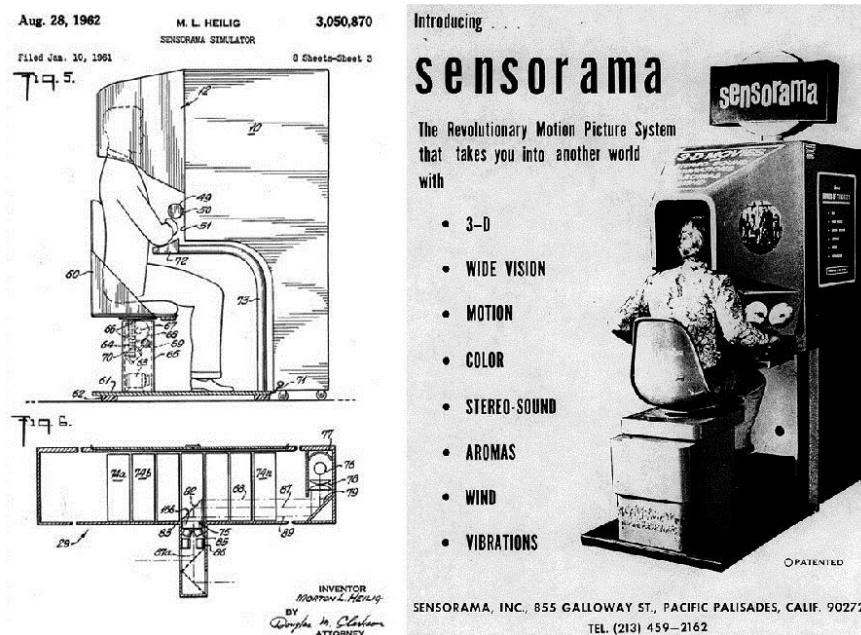


Figura 2.17. Sensorama, el primer sistema de inmersión virtual, fuente: semanticscholar.

Posteriormente Myron Krueger en 1972 crea Videoplace la primera plataforma interactiva de RV. El entorno virtual rodeaba al usuario y respondía a movimientos y acciones sin el uso de gafas o guantes, permitía a los usuarios interactuar con objetos gráficos utilizando un conjunto de proyectores, cámaras de vídeo y un ordenador desarrollado para tal fin.

En 1991 Virtuality Group lanzó una serie de consolas y juegos de arcade (Figura, 2.18) en las que los jugadores usaban un conjunto de gafas de RV. Los usuarios podían visualizar imágenes estereoscópicas en 3D envolventes en tiempo real y la interacción se realizaba por medio de joysticks, algunas unidades estaban conectadas en red para permitir juegos multijugador (VRS, 2020b).



Figura 2.18. Máquina de RV Virtuality, fuente: vrs.org.uk.

En 1993 Sega presentó un visor llamado Sega VR, el cual venía con un par de pantallas LCD y auriculares estéreo que incorporaban un sistema de seguimiento de la cabeza que se adaptaba al movimiento del usuario, este dispositivo no fue comercializado debido a que los usuarios manifestaron malestar físico al utilizarlos. En 1995 Nintendo lanzó Virtual Boy una consola de juegos en 3D que resultó un fracaso comercial debido principalmente a la falta de color en los gráficos (solo rojo y negro) y la dificultad para usar la consola en una posición cómoda (Figura, 2.19) (Xinreality, 2020).



Figura 2.19. Imágenes: derecha Sega VR, izquierda Nintendo Virtual Boy, fuente: vrs.org.uk.

En los años posteriores a 1997 el interés público por la RV disminuyó. Sin embargo, en los primeros quince años de este siglo se dieron varios avances en este campo, debido principalmente al desarrollo de las tecnologías móviles cada vez más pequeñas y potentes, la RV aumentó en potencia mientras los precios se volvían más accesibles. El interés en esta tecnología recuperó impulso después de que Palmer Luckey diseñara el primer prototipo de las gafas Oculus Rift, en 2011, y lanzara una exitosa campaña de Kickstarter para su desarrollo en 2012. La campaña tuvo éxito, recaudando 2,5 millones de dólares. El Oculus Rift pasó del prototipo a la producción, con unidades de desarrollo de primera generación (DK-1) enviadas en 2013, segunda generación (DK-2) enviadas en 2014. En marzo de 2014, Facebook (Meta) compró la empresa Oculus VR por 2.000 millones de dólares (Figura, 2.20) (Sherman y Craig, 2018, p.54).



Figura 2.20. Gafas de VR Oculus Rift S, el nuevo modelo Quest 2 es autónomo, fuente: oculus.com.

En la actualidad, varias empresas están invirtiendo en el desarrollo de sus propios sistemas de RV. El auge de los teléfonos inteligentes con pantallas de alta resolución y capacidades de procesamiento 3D ha permitido el desarrollo de dispositivos de realidad virtual más ligeros, baratos y accesibles para los usuarios. El software que se utiliza para desarrollar contenido de RV ha mejorado. Es más gráfico con una cantidad pequeña de codificación requerida, los usuarios con menos experiencia en programación y codificación son capaces de desarrollar contenido de realidad virtual usando diferentes plataformas (Sciencefocus, 2020).

Según Sherman y Craig, 2018, se necesitan cinco elementos clave para que sea posible experimentar la RV: el mundo virtual, la inmersión, la interactividad, así como las personas en los lados de creación y recepción del medio.

Elemento 1: los participantes. La RV es un medio de comunicación entre personas. El elemento más importante de cualquier experiencia de RV son los usuarios, toda la magia de la realidad virtual ocurre en su mente, por lo tanto, cada experiencia de realidad virtual es diferente, porque cada uno aporta sus propias capacidades, experimentando el mundo virtual de una manera única.

Elemento 2: los creadores. Es la persona o equipo que diseña e implementa la aplicación como un trabajo creado para ser experimentado por los participantes. La experiencia se crea como un esfuerzo de equipo entre los participantes y los creadores. Las aplicaciones de RV incluyen códigos, conceptos y modelos específicos que se presentan a los participantes para ayudarlos en su experiencia.

Elemento 3: mundo virtual. Un espacio imaginario que a menudo se manifiesta a través de un medio. Describe una colección de objetos en un espacio y las reglas y relaciones que gobiernan esos objetos. Cuando se ve ese mundo a través de un sistema que muestra esos objetos e interacciones en una presentación interactiva y físicamente inmersiva, se está experimentando la RV.

Elemento 4: inmersión. El término inmersión se puede utilizar de dos formas: inmersión mental e inmersión física. En la mayoría de los medios, "estar inmerso" se refiere a un estado emocional o mental, una sensación de estar involucrado en la experiencia, la inmersión física es la propiedad de un sistema de RV que reemplaza o aumenta los estímulos a los sentidos del participante.

Elemento 5: interactividad. Para que la realidad virtual parezca auténtica, debe responder a las acciones del usuario. Se refiere a las realidades computacionales como son los simuladores de vuelo y también a las colaborativas en el que varios usuarios interactúan dentro del mismo espacio virtual o simulación. Un entorno de realidad virtual colaborativa puede denominarse de multipresencia.

Los antes citados autores definen la RV como: “un medio compuesto por simulaciones interactivas por ordenador que detectan la posición y las acciones del participante y reemplazan o aumentan la retroalimentación de uno o más sentidos, dando la sensación de estar mentalmente inmerso o presente en la simulación” (Sherman y Craig, 2018, pp.6-14).

Según LaValle (2017, p.1), la RV pretende Inducir un comportamiento específico en un organismo mediante el uso de estimulación sensorial (Figura, 2.21), mientras que el organismo tiene poca o ninguna conciencia de la interferencia, en esta definición aparecen cuatro componentes clave:

1. **“Comportamiento dirigido:** el organismo está teniendo una ‘experiencia’ que fue diseñada por el creador. Los ejemplos incluyen volar, caminar, explorar, ver una película, y socializar con otros organismos.
2. **Organismo:** podría ser persona o un grupo de personas, o incluso otra forma de vida como como puede ser un roedor o un insecto, los científicos han experimentado con ellos.
3. **Estimulación sensorial artificial:** a través del poder de la ingeniería, uno o más sentidos del organismo son secuestrados, y sus entradas ordinarias son reemplazadas por estimulación artificial.
4. **Conciencia:** mientras vive la experiencia, el organismo parece no darse cuenta de la interferencia, siendo así ‘engañado’ para sentirse presente en un mundo virtual. Esta inconsciencia conduce a una sensación de presencia en un mundo virtual que se acepta como natural”.

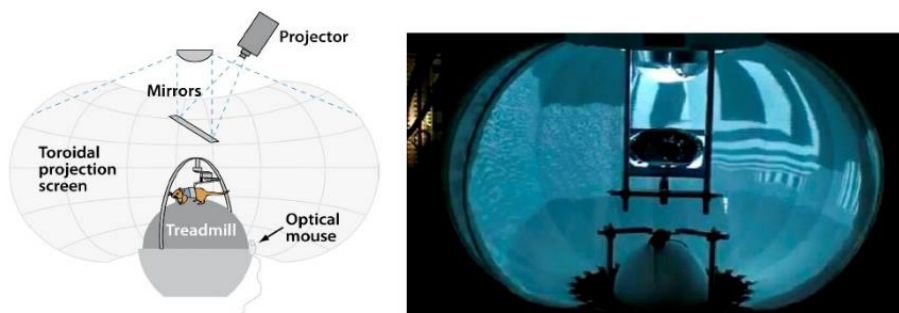


Figura 2.21. Experimento de VR con roedores, fuente: LaValle.

En una experiencia de RV el aspecto visual es importante, cuando se trata de gráficos la resolución y la calidad son cruciales al igual que el campo de visión, cuanto más amplio sea el campo más intensa será la experiencia, otro factor decisivo es reproducir los movimientos reales, para que el sistema funcione debe responder a los movimientos del usuario inmediatamente, es vital capturar el movimiento que hace la cabeza para saber en qué posición está en todo momento, el movimiento real tiene que estar sincronizado con lo que el usuario ve, eso es lo más importante, de lo contrario se crea el llamado “mareo por movimiento” o mareo por realidad virtual (DW, 2019b).

En el parque de atracciones Erlebnispark Schloss Thurn al norte de Nuremberg en Alemania, la empresa VR Coaster ha instalado el Steampunk VR Scooter, una atracción que mezcla la realidad virtual con la experiencia real de los autos de choque (Figura, 2.22), proyecto que fue desarrollado en colaboración con el Instituto Fraunhofer de Nuremberg y las empresas Holodeck y Qualisys (Fraunhofer, 2020).



Figura 2.22. Atracción de autos de choque con RV, fuente: Schloss thurn y DW.

Para el rastreo o tracking óptico se emplean sensores esféricos que ayudados de cámaras de infrarrojos analizan la posición en todo momento, los autos de choque y los conductores van equipados con 14 sensores y la posición del usuario la determinan las 32 cámaras de infrarrojos, desarrolladas por la empresa Qualisys usando la tecnología Miquis Mocap, las cámaras están “encadenadas” y se pueden comunicar entre ellas. El resultado es un entorno de realidad virtual a gran escala en el que múltiples personas pueden interactuar entre sí tanto en el mundo físico como en el virtual que les rodea. El objetivo de esta tecnología es minimizar al máximo la latencia, que es el retraso entre la acción real y la representación virtual (Qualisys, 2020).

En un sistema de RV el tracking se realiza mediante el seguimiento de la cabeza del usuario, también es posible detectar el movimiento de las manos lo que facilita una interacción más natural, la posición de otras las partes del cuerpo se puede capturar a través de varios dispositivos de entrada. Otro factor importante es conocer la posición del usuario en el espacio para mejorar la experiencia y también evitar que choque con paredes o tropiece con objetos. Las gafas HTC Vive utilizan la tecnología de seguimiento SteamVR Tracking, las estaciones base barren la estancia con múltiples pulsos de sincronización y rayos láser en un radio de unos 5 metros (Figura, 2.23). Combina múltiples sensores, 2 estaciones base y una UMI (unidad de medida inercial) de gran velocidad, calcula la orientación, la aceleración y la velocidad angular del objeto rastreado, todo ello a una tasa de actualización de 1000 Hz (Steamworks, 2020).

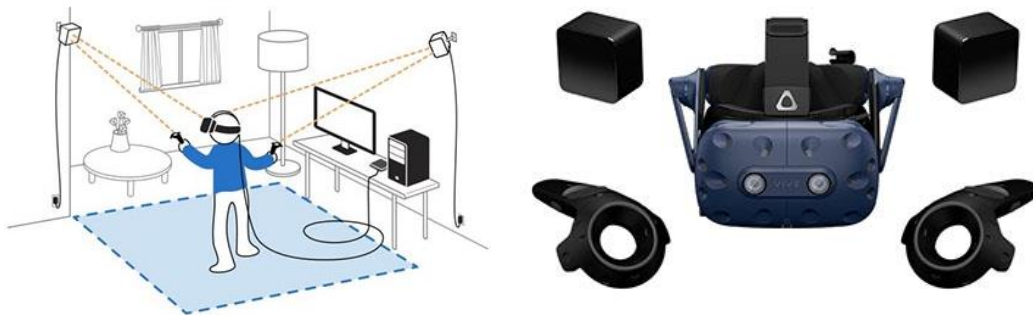


Figura 2.23. Sistema SteamVR de HTC Vive, fuente: LaValle, p.263 y vive.com.

Oculus Quest, puede hacer el seguimiento de las manos (Figura, 2.24). El software analiza imágenes de las manos a través de las cámaras del visor para calcular la ubicación de distintos puntos, como los nudillos o las puntas de los dedos. Este análisis se realiza en tiempo real a medida que se mueven las manos. A partir de estos puntos, el software realiza una estimación del tamaño de las manos, su ubicación y la forma en que se mueven, así como de la orientación y la forma de los dedos (Oculus, 2020b).

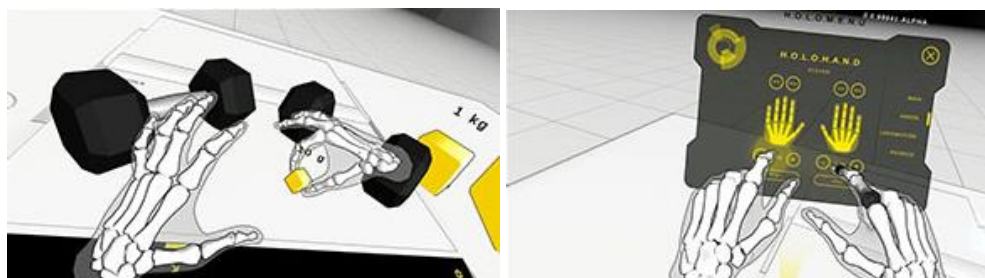


Figura 2.24. Imágenes de la aplicación Hand Physics Lab, fuente: sidequestvr.com.

2.3) Principios matemáticos y físicos

Conocer la posición y la orientación en el mundo virtual es importante, los usuarios ven, escuchan, interactúan y se mueven a través del entorno físico en tres dimensiones. Los mecanismos preceptuales de los sentidos están claramente optimizados para procesar la información de esta forma. El estudio de estos mecanismos sirve para crear matemáticamente los espacios virtuales, muchos están definidos usando el sistema cartesiano de coordenadas, en donde la posición del objeto está determinada por tres coordenadas numéricas, (x, y, z) . El seguimiento posicional rastrea los tres movimientos de traslación: adelante-atrás, arriba-abajo e izquierda-derecha. Además de la posición también es necesario definir la orientación y el punto de vista del usuario en relación con el sistema de coordenadas del espacio y de los objetos.

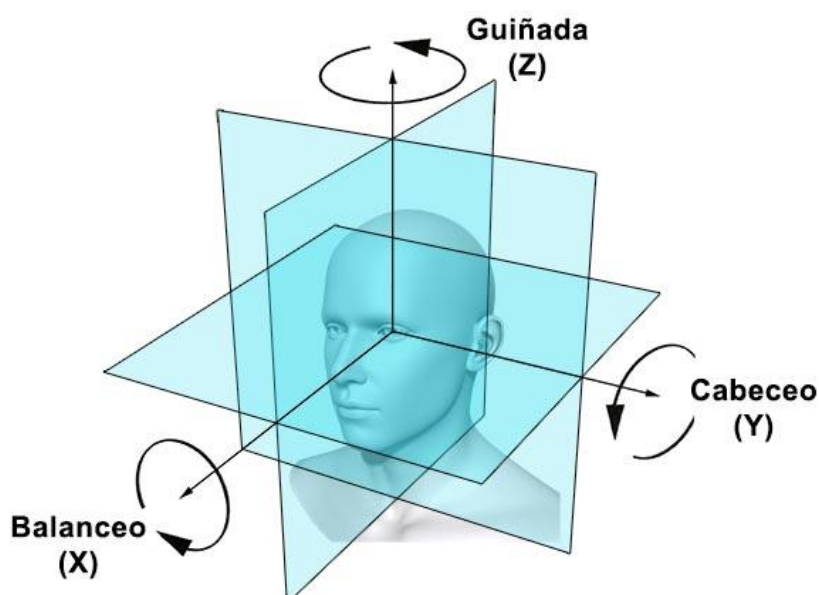


Figura 2.25. Tres tipos de orientación, balanceo, cabeceo y guiñada, fuente: elaboración propia, basada en la ilustración de Auskaslanis, 2017.

En el espacio tridimensional, la rotación se define de manera similar a la de un cuerpo rígido y requiere al menos tres valores independientes. Lo más común es usar lo que se conoce como ángulos de Tait-Bryan, expresados con mayor precisión como Balanceo (Roll), Cabeceo (Pitch) y Guiñada (Yaw) (Figura, 2.25). Es común dentro del campo de la RA y RV ver la posición (x, y, z) y la orientación (balanceo, cabeceo y guiñada) genéricamente referidas como seis grados de libertad (6-DOF) (Auskaslanis, 2017, p.20).

La medición de los movimientos se realiza mediante una UMI o IMU (por sus siglas en inglés), un tipo específico de sensor que puede medir diferentes parámetros como la aceleración, la orientación, la velocidad angular y el campo magnético. Las UMI pueden estar compuestas por un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes, por lo que se la consideraría una UMI de 6 ejes. También pueden incluir un magnetómetro adicional de 3 ejes, por lo que se la consideraría una UMI de 9 ejes, los principales componentes son:

Acelerómetros: miden la aceleración en uno, dos o tres ejes (x,y,z), detectan los cambios de orientación en un dispositivo, de esta manera un teléfono inteligente puede rotar el contenido de la pantalla hacia una posición horizontal o vertical. Detectan las fuerzas de aceleración que actúan sobre el sensor, ya sean estáticas o dinámicas, las estáticas incluyen la gravedad, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento.

Giroscopios: miden la velocidad angular en los tres ejes: cabeceo (eje x), balanceo (eje y) y guiñada (eje z). Se pueden utilizar para determinar la orientación de un objeto dentro del espacio 3D. Si bien un giroscopio no tiene un marco de referencia inicial (como la gravedad), puede combinar sus datos con los datos de un acelerómetro para medir la posición y la velocidad angular.

Magnetómetros: miden campos magnéticos, pueden detectar fluctuaciones en el campo magnético de la Tierra midiendo la densidad del flujo magnético del aire en el punto del sensor en el espacio. A través de esas fluctuaciones, encuentra el vector hacia el norte magnético de la Tierra. Esto se puede fusionar con los datos del acelerómetro y el giroscopio para determinar la posición y la orientación de forma precisa.

Técnicamente, el término "UMI" se refiere solo al sensor, pero las UMI a menudo se usan con el denominado software de fusión de sensores, que combina datos de varios sensores para proporcionar medidas de posición, orientación y rumbo. El término "UMI" también puede usarse para referirse a la combinación del sensor y el software de fusión del sensor, esta combinación también se conoce como AHRS (Pao, 2018).

Los sistemas AHRS (Attitude and Heading Reference Systems) o Sistemas de Referencia de Actitud y Rumbo se utilizan con frecuencia en la navegación aérea y el control de drones. En la actualidad muchos dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas y gafas de RV integran los sensores mencionados anteriormente y además GPS en el caso de los dispositivos móviles. Para procesar la información de los múltiples sensores se usan los llamados “algoritmos de fusión de datos” (Figura, 2.26), tienen como objetivo mejorar la calidad de la información de salida de los procesos, conocidos como sinérgicos, aumentar la supresión del ruido y la precisión del sistema de medición (Chérig y Rodríguez, 2017).

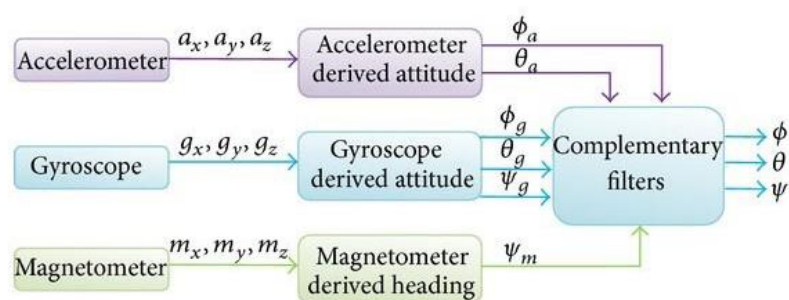


Figura 2.26. Diagrama de bloques del algoritmo de fusión para AHRS., fuente: researchgate.net.

Para poder desplazarse en el mundo virtual, es necesario realizar el seguimiento de los seis grados de libertad. Generalmente las gafas de RV de 6-DOF usan sensores de seguimiento posicional que actúan de afuera hacia adentro, dispositivos físicos colocados en una habitación y que pueden rastrear el movimiento de las gafas y de los controles, como es el caso de las Oculus Rift, sin embargo, el rango del movimiento físico está limitado por la longitud del cableado o el rango efectivo de la tecnología de seguimiento. Por otra parte, las ya comentadas gafas HoloLens, utilizan el seguimiento de adentro hacia afuera para lograr los 6-DOF. Para esto: "el sistema de seguimiento utiliza dos cámaras de luz visible de baja resolución para observar características en su entorno y fusiona esta información con datos IMU para determinar una posición precisa del dispositivo en su entorno". Para que el sistema funcione, se debe usar el dispositivo en un entorno con suficiente luz, para que pueda reconocer el entorno, también debe haber suficientes características visuales distintivas (es decir, decoraciones, puntos de contraste, etc.) (Microsoft, 2020b).

Otro elemento clave a tomar en cuenta en todos los dispositivos de RA y RV es el campo de visión (FOV por sus siglas en inglés), que se define como el tamaño angular total del mundo virtual visible para ambos ojos y se expresa en grados. Como las pantallas binoculares implican cantidades variables de superposición de FOV del ojo izquierdo y derecho, a veces es útil expresar tanto el FOV binocular horizontal como el FOV total como valores separados. Para un adulto sano, el campo de visión binocular horizontal promedio es de 120° , factor importante para la percepción de profundidad y es la base de la estereopsis, es de 120° , con un campo de visión total que mide aproximadamente 200° . El campo de visión vertical es de aproximadamente 130° (Figura, 2.27).

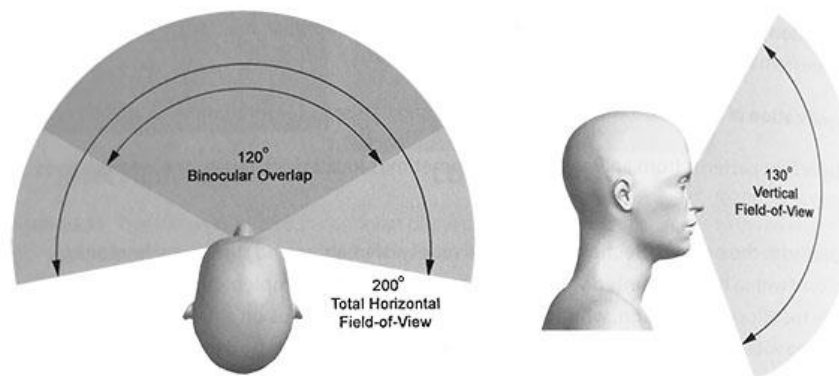


Figura 2.27. Campo visual horizontal y vertical, fuente: Auskaslanis, 2017.

El campo binocular, también conocido como superposición binocular de área, es la parte del campo visual total dentro de la cual se superpone el campo visual monocular de cada uno de los dos ojos. Esta característica de la visión humana es muy importante para la percepción de la profundidad porque los ángulos relativos en los que los objetos en una escena son visibles dan una estimación de qué tan lejos se encuentran.

La distancia inter-pupilar (IPD por sus siglas en inglés) es la distancia entre los centros de las pupilas de los ojos. Esta medida es importante para todos los sistemas de visualización binocular que van desde anteojos estándar hasta gafas de RA y RV. La mala alineación del cristalino puede resultar en una distorsión de la imagen, cuyo efecto puede causar fatiga ocular y dolores de cabeza pudiendo contribuir a la aparición de náuseas. La configuración incorrecta también puede afectar la convergencia ocular y la percepción incorrecta de la imagen mostrada (Auskaslanis, 2017, p.70).

2.4) Tipos de dispositivos

Como se ha expuesto anteriormente, en una experiencia virtual la calidad de los gráficos y la resolución son importantes, así como una interacción fluida para evitar la latencia, estos factores dependen de la potencia de la unidad de proceso CPU y de la gráfica GPU. Con este enfoque se hace una clasificación global de los diferentes tipos de dispositivos que se pueden dividir en autónomos, anclados y fijos:

Dispositivos autónomos: son aquellos que pueden funcionar de manera independiente ya que tienen el CPU y la pantalla integrados por lo que no necesitan estar conectados a un ordenador o consola. En las experiencias de RA frecuentemente se utilizan dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas, los cuales cada vez tienen más capacidad de procesamiento y memoria, así como cámaras especiales que son capaces de interpretar la profundidad de la escena y las características del entorno, observando la escena aumentada en la pantalla del dispositivo (Figura, 2.28).



Figura 2.28. Teléfono inteligente para optimizado para RA, fuente: ASUS, 2017.

Aprovechando las capacidades de estos dispositivos aparecieron en el mercado varios modelos de gafas que disponen de un compartimiento en donde se puede colocar el teléfono y experimentar la RA o la RV. Funcionan con un par de lentes biconvexas que sirven para dar la sensación de profundidad, para conseguir la visión estereoscópica se utiliza una aplicación instalada en el teléfono que separa la pantalla en dos imágenes, los lentes crean un efecto de lupa, por lo que es muy importante que el teléfono tenga buena resolución de pantalla.

Un ejemplo de este tipo de dispositivos es el Google Cardboard (Figura, 2.29), un dispositivo de bajo coste fabricado con cartón, el objetivo de la compañía fue hacer que la experiencia de la RV estuviera disponible para mucha gente, también publicó en su página web instrucciones detalladas para la fabricación casera del dispositivo. Originalmente este producto fue lanzado por Google y presentado por primera vez en la I/O Developer Conference 2014. El cartón le confiere rigidez garantizando la cohesión, la comodidad y la exclusión de la luz, es adecuado para personas que usan gafas de ver y es totalmente compatible con los sistemas Android e iOS (Google, 2020b).

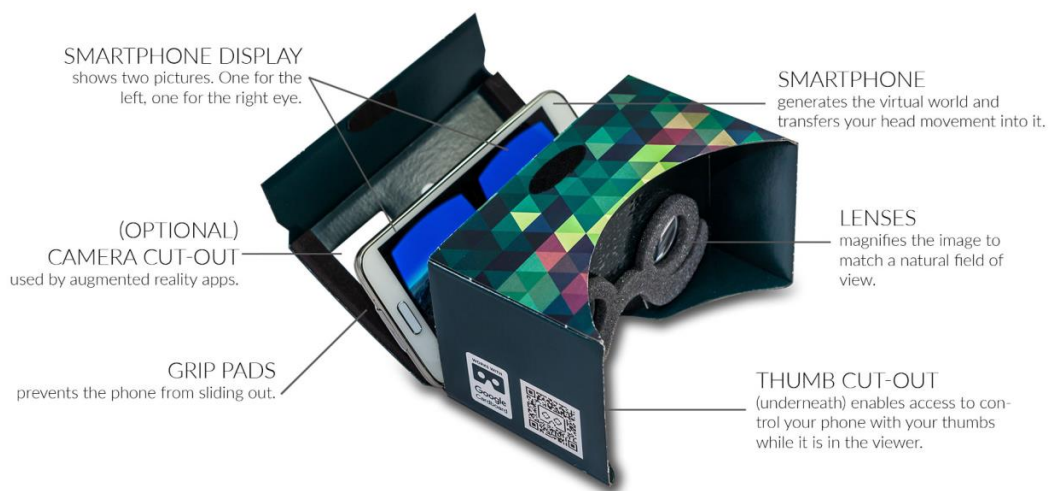


Figura 2.29. Dispositivo MRCardBoard, fuente: mrcardboard.eu

Un aspecto que vale la pena destacar es que dispone de un agujero o ranura al frente del dispositivo, lo que permite visualizar el entorno real a través de la cámara del teléfono, así que además de tener experiencias inmersivas de RV también se pueden tener experiencias de RA por lo que lo convierte en un dispositivo ideal para ejecutar aplicaciones de RM.

Hay muchos modelos de gafas que funcionan con este sistema también llamado “Gafas de Realidad Virtual + Móvil”. Debido a que todo el procesamiento y visualización se realiza en el teléfono son relativamente baratas, un inconveniente es que en este tipo de dispositivos no se puede contar con un seguimiento preciso de la posición en el espacio, la mayoría realiza solamente el seguimiento de movimiento de 3-DOF, usando los sensores del teléfono (Navarro, 2020).

Entre las más destacadas están las: Zeiss VR One Plus, Google Daydream View, y las Samsung Gear VR (Figura, 2.30), estas últimas fabricadas por Oculus son ligeras e incorporan sus propios sensores como acelerómetro, giroscopio y proximidad, son compatibles con varios modelos de teléfonos de la misma marca y dispone de un mando a distancia para interactuar con las aplicaciones (Samsung, 2020).



Figura 2.30. Gafas Zeiss VR y Samsung Gear AR/VR, fuente: zeiss.com y samsung.com

Dentro de esta clasificación están también las gafas que no incorporan el teléfono, es decir tanto el procesamiento como la visualización se realiza en las propias gafas, un ejemplo son las Oculus Quest 2. Requieren acceso inalámbrico a internet y la aplicación Oculus instalada en un teléfono, para realizar la configuración. Aunque funcionan de manera autónoma, también se pueden conectar a un ordenador y aprovechar su potencia para ejecutar videojuegos (Figura, 2.31).



Figura 2.31. Gafas de RV Oculus Quest 2, fuente: oculus.com

El uso de una pantalla dedicada en lugar del teléfono inteligente, así como sensores de movimiento incorporados, mejora drásticamente la fidelidad de la imagen y el seguimiento de la cabeza (Oculus, 2020).

Dispositivos cableados: en esta clasificación se encuentran las gafas o cascos que están físicamente conectados a una unidad de procesamiento CPU por medio de cables como las: Oculus Rift y HTC Vive que deben conectarse a un ordenador y en el caso de la PlayStation VR de SONY se conecta a una consola PlayStation (Figura, 2.32).

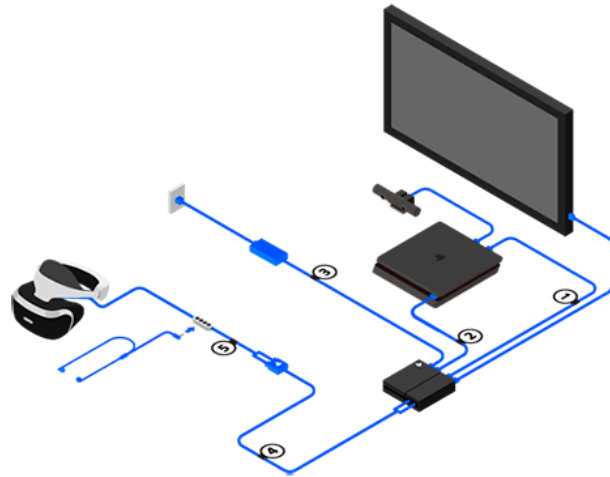


Figura 2.32. Esquema del cableado de las Gafas PlayStation VR, fuente: playstation.com

Un inconveniente de este tipo de gafas es que los cables pueden causar incomodidad, esto se compensa con la calidad de los gráficos y la baja latencia, debido a la calidad de las pantallas y la potencia de procesamiento, además de que funcionan con sistemas de seguimiento bastante precisos, por lo que se consiguen mejores experiencias. Otro aspecto a tener en cuenta es que el desplazamiento está limitado a la longitud del cable que suele ser de aproximadamente tres metros, para solucionar este inconveniente las gafas se pueden conectar a un CPU portátil como la mochila HP Z VR (HP, 2020). En las gafas de RA Magic Leap el proceso se realiza en un dispositivo que se coloca en la cintura (Magic Leap, 2020) (Figura, 2.33).



Figura 2.33. Mochila HP Z VR y gafas de AR Magic Leap, fuente: HP y magicleap.com

Dispositivos fijos: son aquellos que están fijos en el suelo, entre estos están los CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) (Figura, 2.34). Un sistema de visualización 3D inmersivo del tamaño de una habitación que permite a los usuarios examinar y manipular de forma colaborativa modelos 3D complejos con interacción natural (Visbox, 2020). Entre los dispositivos fijos más destacados están los siguientes:

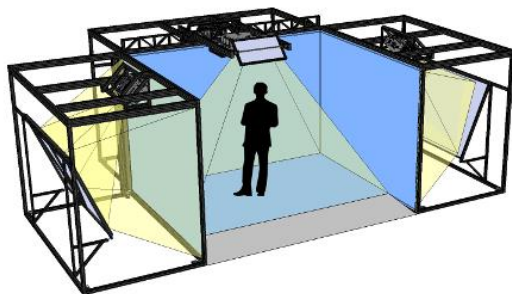


Figura 2.34. Sistema VisCube C4, consta de 12 proyectores y sonido envolvente, fuente: visbox.com

Ename. Este proyecto surgió como respuesta a la dificultad que tenían los visitantes de interpretar los restos hallados en el yacimiento arqueológico de la ciudad belga de Ename ya que resultaba difícil para el público en general reconocer estructuras específicas como casas, iglesias o talleres, a través de los restos fragmentarios de construcciones y cimientos (Figura, 2.35).



Figura 2.35. Kiosco o cabina interactiva de RA, fuente: enameabbey.wordpress.com

El sistema consiste en una video cámara de video, un ordenador, dos monitores y una pantalla táctil que se ubicaba en un kiosco especialmente situado en el yacimiento. La cámara captura la imagen de los restos, por ejemplo, donde se encontraban los cimientos de la desaparecida iglesia medieval de Saint Salvator (Ruiz, 2011).

Timescope. Es un dispositivo tipo poste que dispone de un visor que se puede ajustar a la altura de los ojos (Figura, 2.36). Muestra a los turistas contenidos de RV simulando un viaje en el tiempo y los sumerge en un ambiente inmersivo de 360°. Permite descubrir un lugar tal como era en otro tiempo de su historia o también una estimación de cómo será en el futuro, se ha experimentado con este dispositivo en las ciudades de París y Berlín (Timescope, 2020).



Figura 2.36. Timescope, dispositivo de RV ubicado en París, fuente: timescope.co

Nautreville. Es un panel digital transparente que puede ofrecer servicios de información local para grandes capitales y también museos al aire libre (Figura, 2.37). Es parte de un proceso para promover las tecnologías emergentes (RA y mapas interactivos) se puede ubicar en las principales circulaciones, ofrece información pública en tiempo real específica del vecindario, como lugares históricos para visitar, actividades culturales, mensajes del ayuntamiento o información sobre asociaciones. Su sistema de rotación de 360 ° puede mostrar información geolocalizada en un determinado lugar zona, ofrece a los visitantes y residentes la posibilidad de superponer información digital en la ciudad creando una vista mejorada de su entorno (Vaulot, 2020).

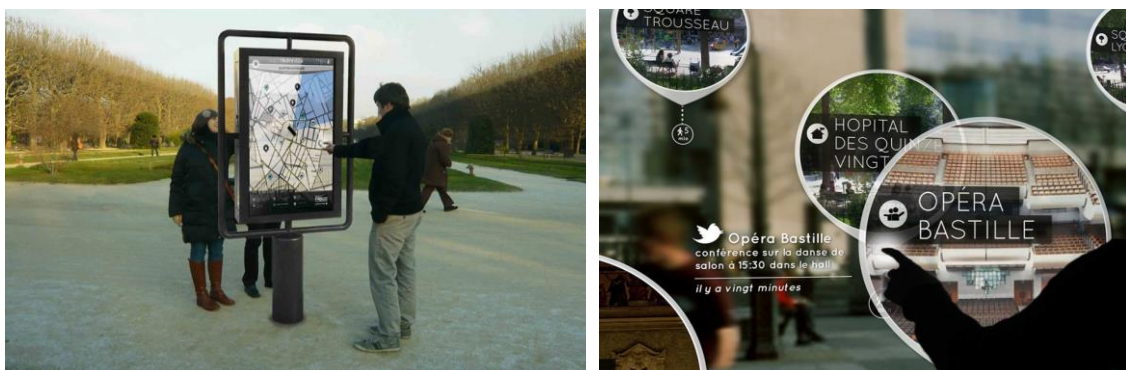


Figura 2.37. Nautreville, panel interactivo de RA, fuente: vaulot.com/portfolio/nautreville/

2.5) Ergonomía y factores humanos

Los cuerpos humanos no fueron diseñados para el mundo virtual. Al aplicar estimulación artificial a los sentidos, se está interrumpiendo el funcionamiento de los mecanismos biológicos que han tardado cientos de millones de años en evolucionar en un entorno natural. También se está proporcionando información al cerebro que no es exactamente consistente con otras experiencias de la vida cotidiana. En algunos casos, los cuerpos pueden adaptarse a los nuevos estímulos. Esto podría hacer que la persona no se dé cuenta de los fallos en el sistema de virtual. En otros casos, se puede desarrollar una mayor conciencia o la capacidad de interpretar escenas en 3D que alguna vez fueron difíciles o ambiguas de entender.

Según LaValle, 2017: “La psicología de la percepción es la ciencia de comprender cómo el cerebro convierte la estimulación sensorial en fenómenos percibidos. Aquí hay algunas preguntas típicas que surgen en la realidad virtual y caen bajo este paraguas:

¿Qué tan lejos parece estar ese objeto?

¿Cuánta resolución de video se necesita para evitar ver píxeles?

¿Cuántos FPS son suficientes para percibir el movimiento como continuo?

¿Aparece la cabeza del usuario a la altura adecuada en el mundo virtual?

¿De dónde viene ese sonido virtual?

¿Por qué tengo náuseas?

¿Por qué una experiencia es más agotadora que otra?

¿Qué es presencia?”

Para responder estas preguntas, se deben entender varias cosas: 1) fisiología básica del cuerpo humano, incluidos los órganos de los sentidos y las vías neurales, 2) las teorías clave y los conocimientos de la psicología perceptiva experimental, y 3) la interferencia del sistema de realidad virtual con los procesos perceptivos comunes y las implicaciones o efectos secundarios resultantes (LaValle, 2017, p.52).

El estudio de los factores humanos es un campo interdisciplinario que se ocupa de la aplicación de la información y la comprensión de las características físicas y psicológicas del comportamiento, las habilidades y las limitaciones humanas en el diseño y evaluación de dispositivos y sistemas (Holstein y Chapanis, 2018). Dentro de los campos de la RA y RV, el estudio de los factores humanos se extiende a cuatro áreas principales: controladores manuales, dispositivos táctiles y de retroalimentación de fuerza, soluciones de sonido espacial y pantallas. Cada una de estas áreas primarias es un campo especializado en sí mismo, pero hasta la fecha, la mayoría de los estudios acerca de los factores humanos se han centrado en temas relacionados con las pantallas y el contenido. El sistema visual humano dice más sobre el entorno que cualquiera de los otros cuatro sentidos. Se estima que el 80-85% de la percepción, aprendizaje, cognición y actividades están mediadas por la visión (Politzer, 2018).

Según Aukstakalnis, 2017, es importante entender cómo funcionan los sentidos humanos en el mundo real para a través de las tecnologías de RA y RV poder usarlos en el mundo virtual, los principales sentidos involucrados en las experiencias de RA y RV son la vista, el oído y el tacto.

El ojo humano es una maravilla de la ingeniería, el setenta por ciento de todos los receptores sensoriales del cuerpo se encuentran en los ojos, se cree que el cuarenta por ciento de la corteza cerebral está involucrada en algún aspecto del procesamiento de información visual, es importante conocer los procesos fisiológicos que permiten las personas percibir visualmente los mundos reales y virtuales. Otro de los sentidos primarios importantes es el oído, la audición permite la comunicación con los demás, suele ser la primera fuente de información sobre las amenazas a la seguridad y revela niveles extraordinarios de detalle sobre el entorno, el uso de un componente de audio en los sistemas de RA y RV puede mejorar la usabilidad y la sensación general de presencia dentro de un entorno virtual. Por otra parte, el sentido del tacto sirve como interfaz mecánica entre los humanos y el mundo físico, esta capacidad se puede aprovechar para proporcionar más realismo a las simulaciones basadas en ordenador, para comprender las capacidades de retroalimentación sensorial táctil dentro de las simulaciones de RA y RV, es importante conocer primero cómo sienten las personas en el mundo real, las señales táctiles complementan a la vista y el oído (Aukstakalnis, 2017).

La RA y la RV son tecnologías que se han usado desde hace décadas y en el caso de la segunda no ha tenido una aceptación generalizada por parte del público, debido en parte a sus problemas ergonómicos, como el peso de los dispositivos, la incomodidad de los cables y en algunos casos la mala calidad de los gráficos y un tiempo de respuesta lento en las interacciones.

Desafortunadamente, hay muchos casos en los que las personas reaccionan con fatiga, mareos o dolores de cabeza, debido a que el cerebro está trabajando más de lo habitual para interpretar los estímulos del mundo virtual. Un ejemplo es la lista de recomendaciones que Google da a los usuarios de su dispositivo Cardboard:

- No use Cardboard por mucho tiempo, descanse de vez en cuando. Si siente náuseas, mareos, desorientación o se cansan los ojos, deje de usar Cardboard inmediatamente.
- Los niños no deben usar Cardboard sin la supervisión de un adulto.
- No utilice Cardboard mientras conduce, monta o en cualquier otra situación que lo distraiga del mundo real y le impida cumplir con la seguridad del tráfico u otras leyes. No conduzca ni maneje maquinaria pesada inmediatamente después de usar Cardboard si no se siente bien o si se siente desorientado.
- Si ha sufrido ataques epilépticos o es propenso a ellos, consulte a un médico antes de usar Cardboard (Google, 2020c).

La enfermedad del movimiento inducida visualmente se conoce con varios nombres, incluyendo la enfermedad del simulador, la enfermedad cibernética, el "bostezo RGB" y VIMS por mareo visual inducido, la gama completa de síntomas regularmente reportados incluye náuseas, aumento de la salivación, desorientación y somnolencia, mareos, dolores de cabeza, dificultad para enfocar, visión borrosa e incluso ocasionalmente vómitos.

Aunque el mareo estándar y el VIMS comparten algunos síntomas similares, es importante resaltar el hecho de que el mareo por movimiento estándar ocurre en ausencia de vección, que es la sensación visual ilusoria de auto-movimiento pero sin que se produzca el movimiento físico.

En la siguiente tabla se muestra una comparación lado a lado de la sintomatología del mareo por movimiento estándar y VIMS (Tabla 1).

Sintomatología de la enfermedad de movimiento estándar y VIMS	
Cinetosis	Enfermedad por movimiento inducida visualmente
Náusea	Náusea
Piel pálida	Malestar de estómago Incremento de la salivación
Incremento de la salivación	Aumento de la sudoración
Sudores fríos	Inestabilidad postural
Eructar / vomitar	Palidez
Mareo	Apatía
Dolor de cabeza	Somnolencia
Fatiga	Desorientación Mareo Dolores de cabeza Dificultad para enfocar Visión borrosa Vómitos

Tabla 2.1. Sintomatología de la enfermedad de movimiento estándar y VIMS, fuente: Auskaslanis, 2017

Es importante tener en cuenta estos factores para el diseño de experiencias de RM, por lo que se recomienda que los gráficos tengan buena calidad y la interacción sea fluida. En la actualidad los inconvenientes expuestos en este apartado se ven minimizados gracias a que los visores son cada vez más ligeros y autónomos, también a la buena calidad de las pantallas y a la mejora en el procesamiento de la información. Por otra parte, aunque la RA y la RV son recursos eficaces para mostrar información, se recomienda su uso durante periodos cortos de tiempo.

3) Diseño de la experiencia de usuario

El diseño de la experiencia de usuario “user experience design” (UXD) es un campo que tiene sus inicios en el desarrollo de software e interfaces de usuario y que en la actualidad también se aplica al diseño de productos y servicios, abarca varias disciplinas como: la investigación de usuarios, el diseño centrado en el usuario, el diseño visual, el diseño de interacción, la usabilidad y los factores humanos, entre otras. Algunos investigadores como Dan Willis y Yef Hassan-Montero se refieren a este conjunto de disciplinas como el “paraguas de la experiencia de usuario” (Willis, 2014 y Hassan-Montero, 2019) (Figura 3.1).

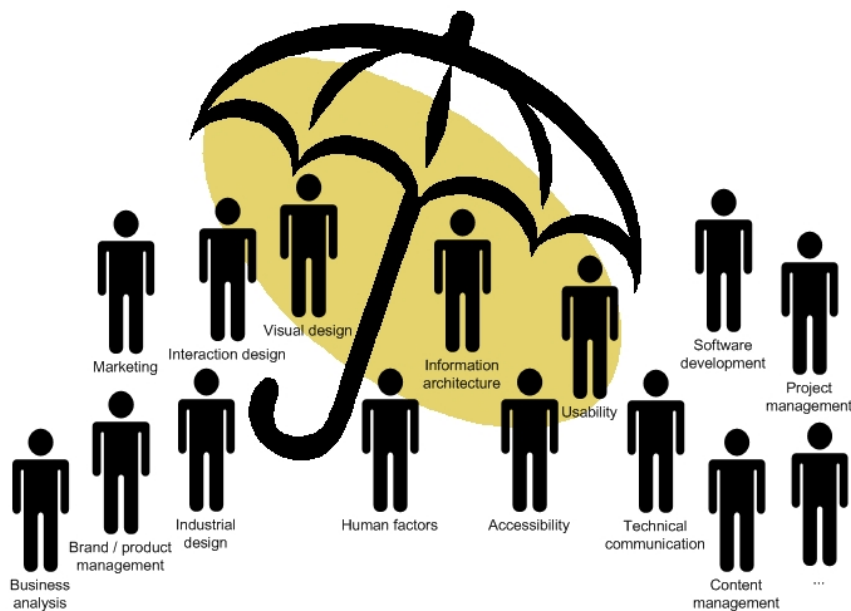


Figura 3.1. El paraguas de la Experiencia del Usuario, fuente: uxnet.org.

Según la IDF “Interaction Design Foundation” (2019), el UXD, es un campo multidisciplinario, los diseñadores de UX provienen de una variedad de entornos como: diseño visual, programación, psicología y diseño de interacción. Las tareas de un diseñador de UX pueden variar, pero a menudo incluyen la investigación del usuario, el diseño de prototipos interactivos, así como la evaluación de los diseños. Estas tareas pueden variar mucho de una organización a otra, pero siempre exigen que los diseñadores sean los defensores de los usuarios y mantengan las necesidades de estos en el centro de todos los esfuerzos de diseño y desarrollo.

El diseño de la UX a menudo se usa indistintamente con términos como "diseño de la interfaz de usuario" y "usabilidad". Sin embargo, si bien la usabilidad y el diseño de la interfaz de usuario (UI) son aspectos importantes del diseño de UX, son componentes o subconjuntos, el diseño de UX también cubre una amplia gama de otras disciplinas. Un diseñador de UX se preocupa por todo el proceso de adquisición e integración de un producto, incluidos los aspectos de marca, diseño, usabilidad y función. Es una historia que comienza antes de que el dispositivo incluso esté en manos del usuario. (IDF, 2019).

De acuerdo con Norman y Nielsen (2018). El diseño de la UX permite crear productos con la capacidad de despertar emociones positivas, facilitar los recuerdos y establecer vínculos afectivos entre el usuario y el producto o servicio:

“El primer requisito para una ejemplar experiencia de usuario es satisfacer las necesidades exactas del cliente. Luego viene la simplicidad y la elegancia de aquellos productos que producen esa sensación de satisfacción al ser utilizados. La verdadera experiencia del usuario va mucho más allá de dar a los clientes lo que ellos dicen que quieren, o de satisfacer las características de una lista de necesidades. Para lograr la experiencia de usuario de alta calidad en la oferta de una empresa, debe de existir una combinación perfecta de los servicios de múltiples disciplinas, incluyendo la ingeniería, marketing, diseño gráfico e industrial y el diseño de la interfaz” (Norman y Nielsen, 2018).

Como se puede observar el UXD es un conjunto de disciplinas que se enfocan en la creación de experiencias a partir de la información obtenida de los usuarios, en este trabajo de investigación se plantea el diseño de un producto interpretativo que es el resultado de la aplicación del sistema de RM al caso de estudio.

En este apartado se exponen las principales disciplinas que sirven de base y apoyan el diseño de la experiencia de usuario resultante de la interacción de los visitantes de sitios arqueológicos con tecnologías de RM y son: el diseño de la interacción, el diseño centrado en el usuario, la usabilidad y el diseño emocional.

El UXD desde un enfoque centrado en el usuario, es un proceso iterativo que comprende a los usuarios y su contexto como punto de partida para todo el diseño. Es un proceso en el que los diseñadores se centran en los usuarios y sus necesidades en cada fase del desarrollo. Los equipos de diseño involucran a los usuarios a lo largo del proceso a través de una variedad de técnicas de investigación, para crear productos altamente utilizables y atractivos para ellos. (IDF, 2019).

De acuerdo a este enfoque el UXD implica cuatro fases distintas. Primero, se trata de comprender el contexto en el que los usuarios pueden usar el sistema. Luego, se identifica y especifica los requisitos de los usuarios. En una fase siguiente, se desarrollan las soluciones. Para posteriormente proceder a una fase de evaluación. (Figura 3.2).

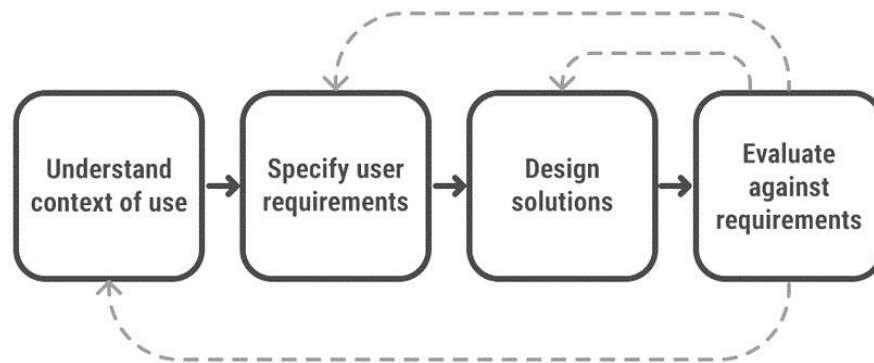


Figura 3.2. Diseño de la UX centrado en el usuario, fuente: interaction-design.org.

Según Donald Norman (2016), profesor de Informática y psicología en la Northwestern University y cofundador de Nielsen Norman Group:

“Es un proceso, que requiere una comprensión profunda de las personas. Comienza con observaciones y luego con un riguroso intento de utilizar esas observaciones para determinar los verdaderos problemas y necesidades, un proceso que podría denominarse “Definición de problema”. Luego, estas necesidades y problemas se abordan a través de un procedimiento iterativo, basado en la evidencia de observación, ideación, prototipado y pruebas, con cada ciclo de la iteración profundizando cada vez más en el espacio de la solución. El resultado es una forma de innovación incremental, donde se optimiza la solución de forma escalonada” (Norman, 2016).

Rex Hartson y Pardha Pyla autores del libro UXbook (2012, pp.54), proponen un modelo de ciclo de vida para el diseño de la UX, al que conciben como un proceso iterativo que lo representan en forma de rueda, es una abstracción básica de actividades para casi cualquier tipo de diseño, un ciclo compuesto por cuatro actividades elementales: analizar, diseñar, implementar, y evaluar; refiriéndose de forma genérica a estos términos como: análisis, diseño, implementación, y evaluación (Figura 3.3). Según estos autores estas cuatro actividades se pueden aplicar tanto si se está trabajando con un diseño arquitectónico, un diseño de hardware o un nuevo concepto de automóvil.

En este concepto de ciclo de vida, específico de un proceso de diseño de la UX. El análisis se traduce en comprender el trabajo y las necesidades del usuario. El diseño se traduce en la creación de un diseño conceptual y determinar el comportamiento de la interacción. La implementación se traduce en creación de prototipos. La evaluación se traduce en las formas de ver si el diseño propuesto está en el camino para satisfacer las necesidades y requisitos de los usuarios. (Hartson, 2012).

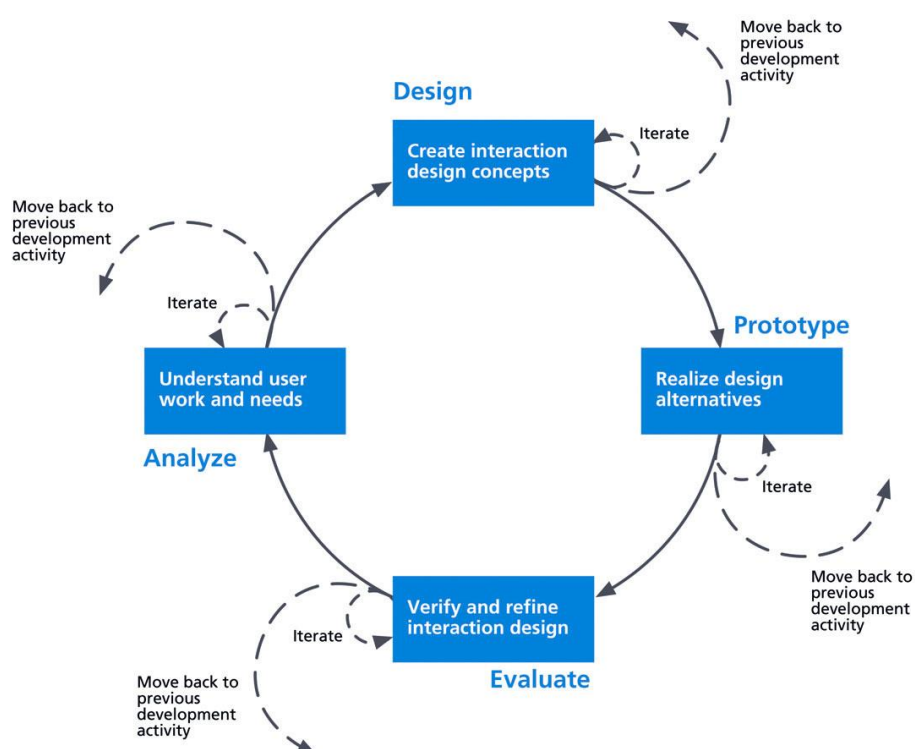


Figura 3.3. Ciclo de vida para el diseño de la UX, fuente: UXBook, pp.54.

Otro enfoque es el propuesto por Jeff Gothelf en su libro *Lean UX* (2013), este autor concibe al diseño de la UX como un proceso compuesto de cuatro partes que se suceden de forma iterativa:

Se comienza por analizar el problema y hacer suposiciones para su solución, estas suposiciones se transforman en hipótesis que posteriormente se pretenden comprobar con la experimentación. En la segunda parte se crea el Mínimo Producto Viable MVP (Minimum Viable Product) que es un prototipo rápido, permite, partiendo de la hipótesis planteada en la fase anterior, comprobar las suposiciones y saber si la hipótesis es cierta y si hay que perfeccionarla o abandonarla. La tercera es de experimentación, se pone a prueba el prototipo con las partes interesadas y con los usuarios o clientes potenciales. La cuarta etapa es de validación, se trata de obtener el “feedback” necesario que sirve de guía en el proceso de diseño, este se debe obtener de forma rápida y continua, y se debe incorporar a las siguientes iteraciones del proceso (Figura 3.4).



Figura 3.4. Proceso Lean UX, fuente: *Lean UX*, p.18.

Lean UX “se basa en la colaboración interdisciplinar y en la gestión basada en resultados. Supone un cambio de procesos, una nueva manera de pensar la gestión del diseño, centrada en soluciones, para crear de forma rápida mejores productos y experiencias de usuario. Se enfoca en la eliminación de elementos que no aportan valor añadido a los productos y se puede entender como un proceso iterativo que busca la innovación continua para agilizar las operaciones de diseño, perfeccionando el producto en cada nueva iteración. Tiene como objetivo ofrecer una mayor calidad de producto, reducir el tiempo de ciclo de diseño y reducir los costos” (Gothelf, 2013).

En la actualidad el desafío para los diseñadores de experiencias es adoptar una visión holística de la UX durante el diseño conceptual, la experimentación y la evaluación del diseño. El diseñador de experiencias define las propiedades funcionales, semánticas, sensoriales y de comportamiento del producto. Para validar y mejorar la experiencia diseñada los prototipos deben evaluarse regularmente a través de pruebas de usuario. Estas evaluaciones verifican qué cualidades pragmáticas y hedónicas, el usuario realmente atribuye al producto diseñado. (Bongard-Blanchy y Bouchard, 2014).

La UX se ha convertido en un tema de interés para investigadores y empresas más allá de los campos tradicionales, no se trata solamente de tecnología, diseño industrial o interfaces. Se trata de crear una experiencia significativa a través de un dispositivo. Mientras que la UX aún se asocia comúnmente con el ámbito de la Interacción persona-ordenador, otras disciplinas como el diseño de productos o servicios integran los hallazgos de estas disciplinas bajo el paradigma de diseño de experiencia de usuario o diseño de UX (Hassenzahl, 2011).

Para poder diseñar la UX, es necesario entender su significado, según la norma ISO 9241-210 (2019) define la experiencia de usuario: como las percepciones y respuestas de las personas, resultantes del uso o anticipación de uso de un producto, sistema o servicio.

Esta definición viene acompañada de dos notas que amplían su significado:

“La experiencia de usuario incluye todas las emociones, creencias, preferencias, percepciones, respuestas psíquicas y psicológicas, comportamientos y logros del usuario que ocurren antes, durante y después del uso (del producto, sistema o servicio).

La experiencia de usuario es una consecuencia de la imagen de marca, presentación, funcionalidad, rendimiento del sistema, comportamiento interactivo y capacidades de asistencia de un sistema, producto o servicio. También resulta del estado interno y físico del usuario como resultado de experiencias previas, actitudes, habilidades y personalidad, en un contexto de uso.” (ISO, 2019).

La interacción es un elemento clave para el diseño de la UX y en términos generales está presente en todos los actos cotidianos de las personas, desde el uso de dispositivos móviles, conversar con otra persona, conducir un automóvil o hasta tomar un ascensor. Actualmente los usuarios deben interactuar con muy variados dispositivos, muchos de ellos multifuncionales, se han creado nuevas formas de interacción más allá del ordenador, como las interfaces táctiles de móviles y tabletas, interfaces de solo voz, interfaces cerebrales, la interacción basada en la detección del movimiento del cuerpo o la interacción en entornos virtuales usando además el movimiento de las manos, los ojos y la cabeza.

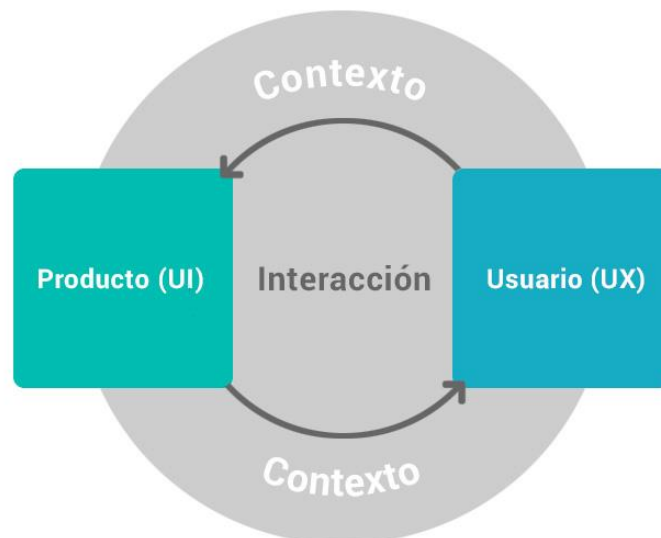


Figura 3.5. Interacción entre el usuario y el producto, fuente: elaboración propia.

Para que sea posible la interacción deben existir tres componentes fundamentales: las personas o usuarios, que en este caso son los visitantes de sitios arqueológicos, los productos que deben tener carácter interactivo y el contexto o entorno en donde se realiza la interacción (Figura 3.5). En este trabajo de investigación, el contexto de interacción resulta complejo, ya que el caso de estudio “Cochasquí” es un sitio arqueológico al aire libre, por lo que los factores climáticos y atmosféricos influyen notoriamente en la interacción.

Según Hassan-Montero (2015, p.17), no es adecuado considerar la interacción como un dialogo entre sistemas interactivos y personas, en todo caso se podría interpretar como dos monólogos, en los que a veces el sistema debe obedecer las órdenes y en otras ocasiones las personas deben obedecer las suyas. A diferencia de lo que sucede en el dialogo entre personas, en este intercambio de monólogos no hay opción de obtener explicaciones sobre el porqué de las órdenes del otro (argumentos, razones, intenciones) (Norman, 2007). Por ejemplo si se utiliza un sistema GPS mediante la voz mientras se conduce un coche. ¿Se podría considerar esta interacción como un dialogo?

Don Norman propuso un "modelo de golfo" de interacción. Un "abismo de ejecución" y un "abismo de evaluación" separan a un usuario y un sistema físico. El usuario convierte la intención en acción a través de un dispositivo de entrada conectado al sistema físico. El sistema físico presenta señales, que el usuario interpreta y evalúa, presumiblemente en relación con la intención (Figura 3.6) (Norman, 2013).

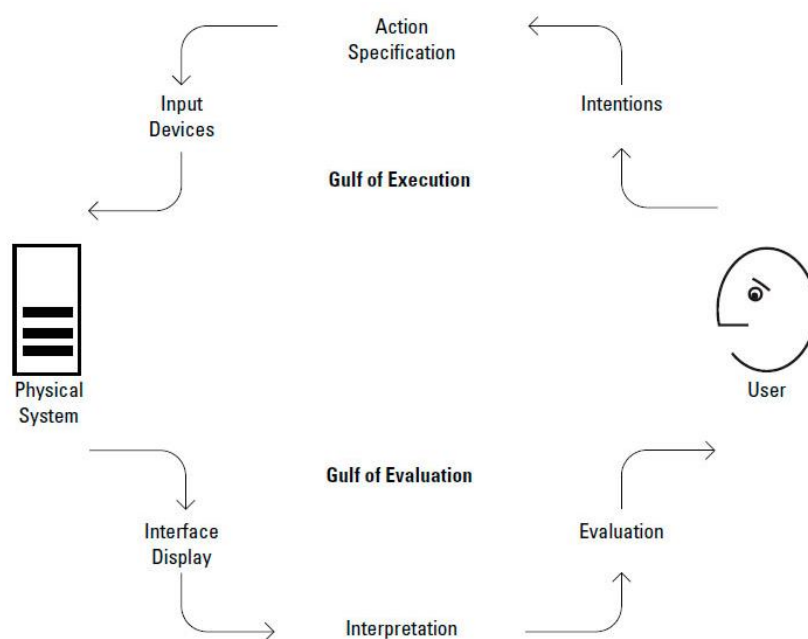


Figura 3.6. Golfos de ejecución y de evaluación en la interacción, fuente: Dubberly (2009, pp. 2).

“La brecha en la ejecución se produce cuando el usuario no es capaz de relacionar qué pretende lograr y cómo llevar a cabo la acción con las opciones que ofrece el sistema. La brecha en la evaluación, en cambio, se produce cuando el usuario no es capaz de interpretar la respuesta del sistema ante la acción o cuando esta respuesta no se corresponde con lo que se esperaba” (Hassan-Montero, 2015).

3.1) El diseño de la interacción

El diseño de interacción (IxD) aborda el diseño de productos y servicios interactivos en los que el enfoque del diseñador va más allá del elemento en desarrollo, para incluir la forma en que los usuarios interactuarán con él. Por lo tanto, un estudio minucioso de las necesidades, limitaciones y contextos de los usuarios, etc., permite a los diseñadores personalizar los resultados para satisfacer demandas precisas. (IDF, 2019).

“En 1990, Bill Moggridge, director de la firma de diseño IDEO, se dio cuenta de que durante algún tiempo él y algunos de sus colegas habían estado creando un tipo de diseño muy diferente. No era exactamente diseño del producto, pero definitivamente estaban diseñando productos. Tampoco era diseño de comunicación, aunque también utilizaron algunas de las herramientas de esa disciplina. Tampoco era ciencia de la computación, aunque gran parte tenía que ver con computadoras y software. No, esto era algo diferente. Se basó en todas esas disciplinas, pero era otra cosa, y tenía que ver con conectar a las personas a través de los productos que usaban. Moggridge llamó a esta nueva práctica diseño de interacción” (Saffer, 2010).

El IxD es una disciplina reciente y se relaciona con otras como: la arquitectura de la información (IA), diseño industrial (ID), diseño visual (o gráfico), diseño de experiencia del usuario y factores humanos. (Figura 3.7).

Esta disciplina está estrechamente vinculada con el campo de la Interacción Persona Ordenador (IPO) también conocido por sus siglas en inglés como: (HCI, Human Computer Interaction o CHI, Computer Human Interaction). La ACM, Association for Computer Machinery, tiene un grupo especial de trabajo en temas de IPO denominado SIGCHI, el cual propuso la siguiente definición de Interacción Persona-Ordenador:

“La IPO es la disciplina relacionada con el diseño, evaluación e implementación de sistemas informáticos interactivos para el uso de seres humanos, y con el estudio de los fenómenos más importantes con los que está relacionado.” (Hewett, et al., 1992).

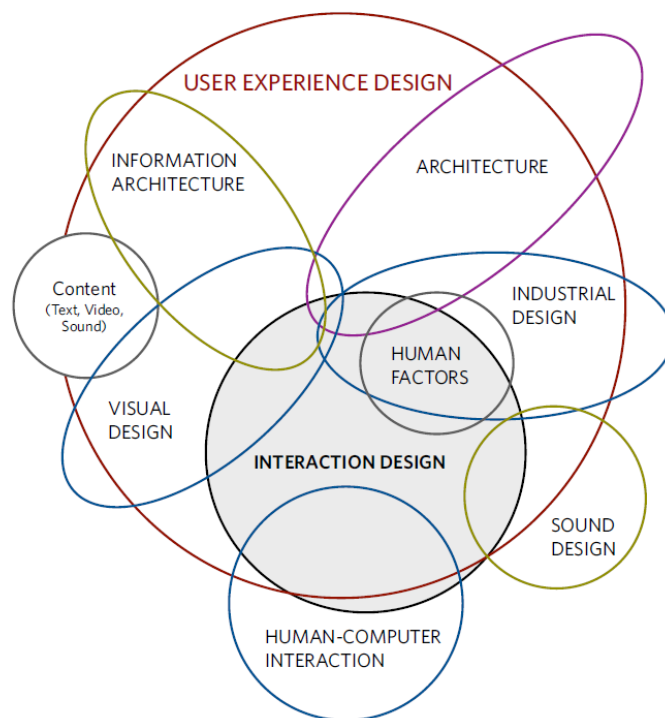


Figura 3.7. Relación del IxD con otras disciplinas, fuente: Saffer (2010, pp. 36).

La IPO estudia el intercambio de información entre las personas y los ordenadores a través de una interfaz. Su objetivo es que este intercambio se realice de forma eficiente: minimice los errores, disminuya la frustración, incremente la satisfacción y haga más productiva la relación entre las personas y los ordenadores.

Si existe un concepto central en la IPO, este es sin duda el de interacción. La interacción incluye la acción del usuario sobre el ordenador y el efecto perceptible que se obtiene como respuesta. Esta interacción tiene lugar sobre la interfaz de usuario, entendida como el conjunto de dispositivos hardware (de entrada y salida) y el software que posibilitan el intercambio de mensajes o instrucciones entre el usuario y el ordenador. (Hassan-Montero, 2015).

Los actuales usuarios de ordenadores están íntimamente familiarizados con un conjunto específico de componentes de interfaz de usuario, incluyendo dispositivos de entrada como ratones y pantallas táctiles, dispositivos de salida como pantallas de ordenadores, tabletas y teléfonos móviles, técnicas de interacción como arrastrar y soltar, hacer zoom, elementos de interfaz como menús desplegados y metáforas de escritorio: Ventanas, Iconos, Menús, Punteros (WIMP) (van Dam, 1997).

Sin embargo, estos componentes de interfaz frecuentemente son inapropiados para los entornos informáticos no tradicionales y aplicaciones actualmente en desarrollo. Por ejemplo, un usuario de RV que esté utilizando un visor de manera completamente inmersiva, no podrá ver el mundo físico, haciendo impráctico el uso de un teclado. Una aplicación de RV puede permitir al usuario colocar un objeto en cualquier parte del espacio 3D, con una determinada orientación, una tarea para la cual un ratón 2D es inadecuado. Por lo tanto, estos sistemas no tradicionales necesitan un nuevo conjunto de componentes de interfaz: nuevos dispositivos, nuevas técnicas, nuevas metáforas. Algunos de estos nuevos componentes pueden ser simples refinamientos de los ya existentes; otros deben ser diseñados desde cero. Debido a que muchos de estos entornos no tradicionales funcionan en espacios reales y / o virtuales 3D; a este tipo de interfaces se las conoce como: interfaces de usuario 3D (3DUI). (LaViola, et al., 2017)

Según Doug A. Bowman, Profesor de Ciencias de la Computación y director del Centro de Interacción Humano-Ordenador en Virginia Tech:

“En la actualidad las interfaces que involucran la interacción física en el espacio 3D están surgiendo en muchas partes. En lugar de presionar botones o usar Joysticks, los jugadores están balanceando sus brazos, saltando arriba o abajo, o inclinando todo su cuerpo para jugar en mundos virtuales 3D. En lugar de usar un control remoto, las personas están haciendo gestos en el aire para controlar los componentes de sus “home cinema”. En lugar de buscar restaurantes en un mapa 2D, los usuarios de teléfonos móviles miran escenas aumentadas del mundo real a través de las cámaras de sus teléfonos. Toda esta interacción 3D es ciertamente genial, ¿pero necesariamente hace que los interfaces sean más "naturales" o utilizables? ¿Cómo debemos diseñar la interacción 3D para garantizar una experiencia de usuario de calidad? Las interfaces de usuario tridimensionales (UI3D) son en gran medida un campo abierto de investigación; hay mucho que no se sabe todavía” (Bowman, 2004).

Como es de esperar, las UI3D que reproducen una acción que las personas realizan en el mundo real pueden ser exitosas. Balancear los brazos para hacer que un personaje balancee un palo de golf virtual es divertido y atractivo que no requiere experiencia

especial. Pero la interacción 3D natural también tiene sus limitaciones. Puede ser difícil reproducir exactamente la acción que las personas usan en el mundo real, lo que puede resultar en malentendidos. Un golfista experimentado puede aplicar un ligero movimiento de las muñecas en el momento del impacto para que la pelota se arrastre de derecha a izquierda, pero es poco probable que el diseñador de interacción incluya esto en el sistema.

Otra limitación de la interacción 3D natural es que el usuario está restringido a las cosas que puede hacer en el mundo real. Esto lleva a una segunda pauta, y es que la interacción 3D puede permitir a los usuarios realizar muchas tareas de forma más rápida y efectiva, después de todo es un mundo virtual, entonces, ¿por qué restringirse solo a las habilidades del mundo real? Las técnicas de interacción se pueden utilizar para mejorar las habilidades físicas (por ejemplo, una persona puede levantar un edificio de 10 pisos y colocarlo en otro lugar de una ciudad virtual), las habilidades de percepción (por ejemplo, se puede dar al usuario "visión de rayos X", por lo que puede ver lo que está al otro lado de la pared) e incluso las capacidades cognitivas (por ejemplo, el sistema puede proporcionar instrucciones a los usuarios para ayudarlos a navegar a través de un complicado mundo 3D) (Hartson, 2012).

Es necesario aclarar que sistemas interactivos que muestren gráficos 3D no necesariamente implican interacción 3D, por ejemplo, si un usuario está usando un ordenador para navegar virtualmente por un edificio y cambia de escena usando un menú tradicional, no se está realizando ninguna interacción 3D. Por otro lado, la interacción 3D no necesariamente significa que vayan a ser utilizados dispositivos de entrada 3D, en el ejemplo anterior si el usuario hace clic en un objetivo en la pantalla para navegar a hacia un objeto u otra escena, entonces la entrada del ratón 2D ha sido directamente trasladada a una locación virtual 3D, esto si se puede considerar interacción 3D (LaViola, et al., 2017).

Algunos autores, como el ya citado (Saffer, 2010), prefieren hablar de "diseño para la interacción", ya que la interacción es un fenómeno que ocurre entre personas y productos y que no se diseña, sino para la que se diseña.

Según la IDF (2019), el trabajo de los diseñadores en IxD involucra cinco dimensiones: palabras (1D), representaciones visuales (2D), objetos físicos / espacio (3D), tiempo (4D) y comportamiento (5D).

Las cinco dimensiones de IxD fueron definidas por primera vez por un profesor del Royal College of Art de Londres, Gillian Crampton Smith, y un diseñador de interacción sénior, Kevin Silver. Las dimensiones representan los aspectos que un diseñador de interacción considera al momento de diseñar las interacciones.

- Las palabras (1D) abarcan texto, como etiquetas de botones, que ayudan a transmitir la cantidad correcta de información a los usuarios.
- Las representaciones visuales (2D) son elementos gráficos como imágenes, tipografía e íconos que ayudan en la interacción del usuario.
- Los objetos físicos / espacio (3D) implican el medio a través del cual los usuarios interactúan con el producto o servicio, por ejemplo, un ordenador portátil con un mouse o un teléfono móvil con los dedos.
- El tiempo (4D) se relaciona con los medios que cambian con el tiempo, como las animaciones, los videos y los sonidos.
- El comportamiento (5D) se refiere a cómo las cuatro dimensiones anteriores definen las interacciones que ofrece un producto, por ejemplo, cómo los usuarios pueden realizar acciones en un sitio web o cómo los usuarios pueden operar un automóvil. El comportamiento también se refiere a cómo el producto reacciona a las entradas de los usuarios y proporciona comentarios (IDF, 2019).

La interacción entre humanos se realiza a través de muchos aspectos diferentes, incluida la expresión del lenguaje, los movimientos corporales y las interacciones emocionales. La nueva generación de interacción humano-ordenador debe tener muchas características, como la centrada en el ser humano, multimodal e inteligente. Por lo tanto, es necesario proponer un nuevo paradigma de interfaz, establecer un nuevo interfaz de usuario y adopte un nuevo método de interacción.

La Asociación de Interacción Persona-Ordenador (AIPO). Sugiere que para poder diseñar interfaces efectivos, además del aspecto informático, hace falta tener en cuenta otras disciplinas (Figura 3.8).

“Necesitamos trabajar los aspectos psicológicos del usuario, la ergonomía del equipamiento, los aspectos sociales, temas de diseño, etc. Como vemos, hemos de tener en cuenta muchas disciplinas para comprender toda la problemática que supone el desarrollo de interfaces. Esto supone que, a menudo, tengamos que pensar en un equipo interdisciplinario para el desarrollo de sistemas interactivos, cuando el problema a tratar es de la suficiente envergadura. En otros casos, no obstante, cuando el equipo de trabajo sea reducido, las mismas personas deberán jugar los diferentes papeles y tratar de hacerlo bien por sí mismos.” (Lorés, et al., 2002).



Figura 3.8. Disciplinas que contribuyen al diseño de interfaces, fuente: Lorés, et al. (2002, pp. 12).

En la figura anterior se presenta un esquema en que aparecen las principales disciplinas que pueden contribuir a los diferentes aspectos en el diseño de interfaces.

El diseño de interacción se enfoca en crear interfaces atractivas con comportamientos bien pensados. Comprender cómo los usuarios y la tecnología se comunican entre sí es fundamental para este campo. Con esta comprensión, se puede anticipar cómo alguien podría interactuar con el sistema, solucionar problemas temprano e inventar nuevas formas de hacer las cosas (usability.gov, 2019).

3.2) El diseño centrado en el usuario

Como se expuso anteriormente el UXD está estrechamente relacionado con el Diseño Centrado en el Usuario DCU o UCD (User Centered Design). La norma ISO 9241-210 enumera seis principios que deben considerarse en el desarrollo de un proyecto, cuando el objetivo es diseñar un sistema centrado en el usuario y sus necesidades, pero también útil y fácil de usar:

- El proyecto debe basarse en la comprensión explícita de los usuarios, sus tareas y entornos. El diseño debe tener en cuenta los aspectos involucrados en el proyecto, directa o indirectamente. El contexto de uso es crucial para el establecimiento de los requisitos del sistema. Una interfaz para ser usada en el tráfico, por ejemplo, debe ser muy diferente a una para ser usada para programar una actividad social, incluso si el usuario es la misma persona;
- Los usuarios deben participar en todo el proceso de desarrollo del proyecto; la participación del usuario es una valiosa fuente de conocimiento sobre el contexto de uso y debe usarse para explorar soluciones. La naturaleza y frecuencia del compromiso dependerá del tipo de proyecto en cuestión;
- El proyecto debe ser conducido y perfeccionado mediante evaluaciones enfocadas en el usuario, lo que minimiza el riesgo de que el sistema no cumpla con los requisitos que satisfacen las necesidades y deseos de los usuarios o de los demás involucrados en el proyecto. Esta evaluación progresiva identifica puntos importantes para la aceptación efectiva del producto;
- El proceso de diseño debe ser iterativo, la iteración es la revisión y refinamiento de las especificaciones del diseño, a partir de la adquisición de nueva información, buscando minimizar los riesgos de desarrollar un sistema que no alcanza los requisitos y las expectativas del usuario;
- El diseño debe abordar toda la experiencia del usuario; "La experiencia del usuario es el resultado de la presentación, funcionalidad, rendimiento del sistema, comportamiento de interacción y capacidades de asistencia de un sistema interactivo, tanto en términos de hardware como de software. La experiencia del usuario también es consecuencia de la experiencia previa del usuario como así como sus actitudes, habilidades, hábitos y personalidad";

- El equipo del proyecto debe incluir habilidades y perspectivas multidisciplinarias. Los miembros del equipo deben provenir de diferentes áreas lo suficiente variadas como para compartir habilidades, experiencias y puntos de vista beneficiando a los proyectos con esta diversidad (ISO, 2019).

El enfoque de diseño centrado en el usuario se basa en el conocimiento de la ergonomía y la usabilidad para encontrar las necesidades del usuario. Es un enfoque orientado a proyectos para el desarrollo de sistemas interactivos. Los estándares técnicos del diseño centrado en el usuario están determinados por ANSI-ISO, pero más específicamente por la ISO. La norma ISO 9241-210 está destinada a aumentar la aceptación y la productividad de los sistemas interactivos, reduce los errores y las horas de soporte y capacitación, además de proporcionar la mejor experiencia de usuario posible. Aborda el desarrollo de sistemas interactivos centrados en las necesidades e intereses de los usuarios, con la aplicación de criterios ergonómicos y conocimientos de técnicas de usabilidad. Este enfoque aumenta la efectividad, mejora el bienestar humano, la accesibilidad y la sostenibilidad y tiene en cuenta los diferentes efectos que estos sistemas interactivos pueden tener sobre la salud, la seguridad y el rendimiento del usuario. ISO define la experiencia del usuario como "percepciones y respuestas resultantes del uso o uso anticipado de un producto, sistema o servicio". Entre otros sentimientos, la experiencia del usuario incluye afectos, emociones, creencias y expectativas que ocurren antes, durante y después uso del producto, y está directa y estrechamente relacionado con la experiencia del usuario, cuando se interpreta desde la perspectiva de los objetivos del usuario (Chammas et al., 2015).

Con el desarrollo de la tecnología y la mejora de la calidad de vida de las personas, los diseños personalizados que enfatizan la diversidad y la realización personal son cada vez más frecuentes. Como resultado, los diseñadores deben centrarse más en las necesidades del usuario. Tradicionalmente, la mayoría de los diseñadores solo se enfocan en satisfacer necesidades funcionales y a menudo ignoran las necesidades emocionales y psicológicas de los usuarios.

3.3) Usabilidad y experiencia de usuario.

Según Petrie y Bevan (2009, p.2). Los desarrolladores de software trabajan para crear sistemas informáticos que sean simples y fáciles de usar para las personas. Términos como “amigable” y “fácil de usar” a menudo indican estas características, pero en general el término técnico para esto es usabilidad. La norma ISO 9241 sobre ergonomía de sistemas interactivos (Parte 11, 1998) define la usabilidad como:

“La medida en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico”.

La efectividad se define como la precisión e integridad con que los usuarios logran metas; la eficiencia se define como los recursos empleados en relación con la precisión e integridad con la que los usuarios logran esos objetivos; y la satisfacción se define como "liberarse de las molestias y tener actitudes positivas hacia el uso del producto". Aunque no son componentes de la definición ISO, muchos profesionales durante mucho tiempo han considerado los siguientes aspectos como parte de la usabilidad:

flexibilidad: la medida en que el sistema puede acomodar los cambios deseados por el usuario más allá de los primeros especificados; *aprendibilidad*: el tiempo y el esfuerzo necesarios para alcanzar un nivel específico de rendimiento de uso con el sistema (también conocido como facilidad de aprendizaje); *memorabilidad*: el tiempo y el esfuerzo necesarios para volver a un nivel de rendimiento de uso específico después de un período específico fuera del sistema; y *seguridad*: aspectos del sistema relacionados con la protección del usuario contra condiciones peligrosas y situaciones indeseables” (Petrie y Bevan, 2009).

La norma ISO 25010 (2011) se refiere a esta visión amplia de usabilidad como “calidad en uso” y la define como el grado en que un producto o sistema puede ser utilizado por usuarios específicos para satisfacer sus necesidades y lograr objetivos específicos con efectividad, eficiencia, libertad de riesgos y satisfacción en contextos específicos de uso.

“Esta definición se basa en el concepto de calidad en el uso (*Quality in Use*), y se refiere a cómo el usuario realiza tareas concretas en escenarios específicos de manera efectiva (Bevan 1995). Para este autor la calidad de uso, medida en términos de eficiencia, eficacia, y satisfacción, no viene determinada tan solo por el producto sino que también por el contexto en el que se usa, (tipo de usuarios, las tareas que realizan, el entorno físico). Así la usabilidad entendida como la calidad en el uso de un producto es el resultado de la interacción entre un usuario y un producto mientras se está llevando a cabo una tarea en un entorno técnico, físico, social y organizacional concreto” (Sánchez, 2013).

La usabilidad no depende sólo del producto si no también del usuario. Por ello un producto no es en ningún caso intrínsecamente usable, sólo tendrá la capacidad de ser usado en un contexto particular y por usuarios particulares (Figura 3.9). La usabilidad no puede ser valorada estudiando un producto de manera aislada (Bevan, 1995).

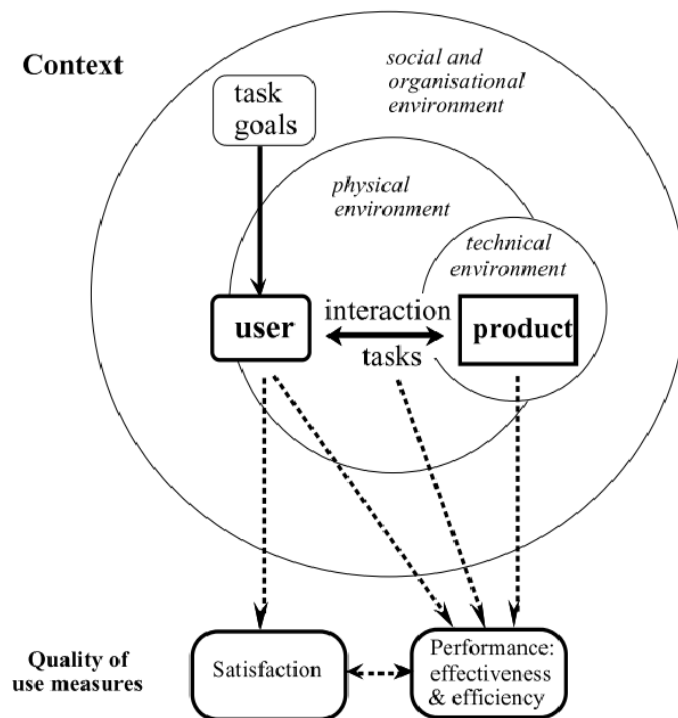


Figura 3.9. Medidas de calidad de uso determinadas por el contexto, fuente: Bevan, 1995.

Hassan-Montero (2015, p.9), afirma que “la usabilidad es un atributo de calidad de un producto que se refiere sencillamente a su facilidad de uso. No se trata de un atributo universal, ya que un producto será usable si lo es para su audiencia específica y para el

propósito específico con el que fue diseñado”. Según este mismo autor la usabilidad tiene dos dimensiones, la dimensión objetiva o inherente, y la dimensión subjetiva o aparente.

La dimensión objetiva es la que se puede medir mediante la observación, y que podemos desgranar en los siguientes atributos:

- **“Facilidad de aprendizaje:** ¿Cómo de fácil resulta para los usuarios llevar a cabo tareas básicas la primera vez que se enfrentan al diseño?
- **Eficiencia:** Una vez que los usuarios han aprendido el funcionamiento básico del diseño, ¿cuánto tardan en la realización de tareas?
- **Cualidad de ser recordado:** Cuando los usuarios vuelven a usar el diseño después de un periodo sin hacerlo, ¿cuánto tardan en volver a adquirir el conocimiento necesario para usarlo eficientemente?
- **Eficacia:** Durante la realización de una tarea, ¿cuántos errores comete el usuario?, ¿cómo de graves son las consecuencias de esos errores?, ¿cómo de rápido puede el usuario deshacer las consecuencias de sus propios errores?”

La dimensión subjetiva, en cambio, se basa en la percepción del usuario:

- **“Satisfacción:** ¿Cómo de agradable y sencillo le ha parecido al usuario la realización de las tareas?”

“Lo interesante de esta doble dimensión es que en ocasiones un producto puede ser subjetivamente usable, pero no serlo objetivamente (y viceversa), el atractivo visual de un producto hace que el usuario lo perciba como más fácil de usar, aun cuando no lo sea”

La usabilidad es el grado en el que el usuario puede explotar o aprovechar la utilidad de un producto, al tiempo que un producto será usable en la medida en que el beneficio de usarlo “utilidad” justifique el esfuerzo necesario (Hassan-Montero, 2015).

El ya antes citado Bevan (2008) sugiere que la definición de usabilidad puede extenderse para incorporar la UX al interpretar que la “satisfacción” incluye los siguientes conceptos:

- **“Agradable:** la medida en que el usuario está satisfecho con el logro percibido de los objetivos pragmáticos, incluidos los resultados aceptables y las consecuencias del uso;
- **Placer:** el grado en que el usuario está satisfecho con el logro percibido de los objetivos hedónicos de estimulación, identificación y evocación (Hassenzahl 2003) y las respuestas emocionales asociadas, por ejemplo, la categoría visceral de Norman (2004);
- **Comodidad:** la medida en que el usuario está satisfecho con la comodidad física;
- **Confianza:** el grado en que el usuario está satisfecho de que el producto se comportará como se esperaba.”

Algunos investigadores han enfatizado diferentes aspectos de la UX: estos no son necesariamente contradictorios entre sí, pero exploran diferentes perspectivas de este concepto. Por ejemplo, Hassenzahl y Tractinsky (2006) delinear tres áreas en las que UX va más allá de la usabilidad:

- *“Holístico:* como se discutió anteriormente, la usabilidad se enfoca en el desempeño y la satisfacción con las tareas de los usuarios y sus logros en contextos de uso definidos; UX toma una visión holística, con el objetivo de lograr un equilibrio entre los aspectos orientados a tareas y otros no orientados a tareas (a menudo llamados aspectos hedónicos) relacionados al uso y posesión del sistema electrónico, como belleza, desafío, estimulación y autoexpresión;
- *Subjetivo:* la usabilidad ha enfatizado las medidas objetivas de sus componentes, como el porcentaje de tareas logradas para la efectividad, los tiempos de finalización de tareas y las tasas de error para la eficiencia; UX está más preocupado por las reacciones subjetivas de los usuarios a sistemas electrónicos, sus percepciones acerca de los propios sistemas electrónicos y su interacción con ellos;

- *Positivo*: la usabilidad a menudo se ha centrado en la eliminación de barreras o problemas en los sistemas electrónicos como metodología para mejorarlos; UX está más preocupado por los aspectos positivos del uso de los sistemas electrónicos y cómo maximizarlos, ya sea que esos aspectos positivos sean alegría, felicidad o compromiso.

Dillon (2002), aunque comparte la opinión de que se necesita un paso más allá de la usabilidad en el diseño y la evaluación de sistemas electrónicos, sugiere que también se requiere hacer énfasis en tres cuestiones clave de la interacción de los usuarios con estos sistemas:

- *Proceso*: lo que hace el usuario, por ejemplo, navegar a través de un sitio web, uso de funciones particulares, ayuda, etc. Esto permite el desarrollo de una comprensión de los movimientos, la atención y las dificultades de los usuarios a través de un sistema electrónico;
- *Resultados*: lo que el usuario logra, por ejemplo, lo que constituye el objetivo y el fin de Interacción. Esto permite comprender lo que significa para el usuario sentir realización con el sistema electrónico;
- *Afecto*: lo que siente el usuario; esto incluye el concepto de satisfacción de la definición de usabilidad, pero va más allá de eso para incluir todas las reacciones emocionales de los usuarios, que pueden ser potenciadas, molestas, enriquecidas o seguras. Esto permite el desarrollo de una comprensión de la interacción emocional de los usuarios con los sistemas electrónicos y lo que significa la interacción para los usuarios” (Petrie y Bevan, 2009, p.4).

Patrick W. Jordan es un experto de renombre mundial en el área de psicología empresarial, es asesor estratégico de muchas de las principales empresas mundiales y del Gobierno del Reino Unido, pasó varios años estudiando cómo la usabilidad podía ayudar a mejorar el diseño. Con el tiempo, llegó a la conclusión de que el enfoque tradicional de la usabilidad es “deshumanizador”. La usabilidad busca adaptar los objetos y los sistemas a los usuarios. Sin embargo, desde el principio, sólo ha tenido en cuenta los aspectos cognitivos, dejando de lado los emocionales (Jordan, 2002).

Según (Mazmela et al., 2018) en contraste con una visión instrumental orientada a tareas, la investigación de la UX se centra en las cualidades hedónicas del producto y son varios los autores que hablan de la relevancia de los factores de diseño para generar interacciones y emociones satisfactorias. Jordan (2002) y Hassenzahl (2003) postulan que, cumpliendo las necesidades psicológicas de los usuarios, la experiencia generada al interactuar con los sistemas digitales será más satisfactoria.

“Para lograr el éxito de los sistemas digitales y generar respuestas emocionales satisfactorias, se deben considerar aspectos cognitivos y afectivos, además de los relacionados con la usabilidad, en los procesos de diseño. Por lo tanto, además de sus características funcionales, los sistemas interactivos deben transmitir sentimientos a través de las características de diseño de las interfaces. Para ello, es importante comprender a) los procesos emocionales de los usuarios y b) cómo despertar una emoción a través de una interfaz” (Mazmela et al., 2018).

En resumen y teniendo en cuenta lo antes expuesto, se puede observar que la satisfacción es un concepto importante de la definición de usabilidad y está estrechamente relacionada con la UX. De acuerdo con su definición, la usabilidad es un atributo de calidad del interfaz, que se centra en la eficacia, la eficiencia y la satisfacción, que son métricas que sirven para evaluarla, cubre si el sistema es fácil de aprender, eficiente de usar, agradable, etc. Sin embargo y desde un punto de vista holístico la UX va más allá de la satisfacción y extiende el concepto de usabilidad, tiene como objetivo equilibrar los aspectos cognitivos (dimensión objetiva) y emocionales (dimensión subjetiva) del sistema, maximiza los aspectos hedónicos y se enfoca en los sentimientos y emociones de los usuarios.

Los productos además de ser atractivos y funcionales deben tener cualidades hedónicas, este último concepto se basa en la noción de que el aumento del placer y la disminución del dolor llevan a la felicidad. Como consecuencia, el rol de los diseñadores ha ganado complejidad mucho más allá de dar forma y funcionalidad a los productos y servicios.

3.4) Diseño emocional

La evolución de los campos relacionados con la UX tiene sus inicios en los años 1960, (Bongard-Blanchy y Bouchard, 2014). Los investigadores en psicología cognitiva fueron los primeros en observar la percepción humana de los objetos (Gibson, 1986). Con la llegada de los ordenadores personales, el campo de la interacción humano-ordenador IPO surgió como un medio para mejorar la usabilidad de las interfaces gráficas de usuario (Forlizzi y Ford, 2000). En el campo del diseño de producto, el estudio de los factores humanos cobró importancia con el mismo objetivo: optimizar la usabilidad (Norman, 1988; Green y Jordan 1999). Los investigadores de "Kansei Engineering" (Tomico et al., 2008) en Asia fueron los primeros en anticipar las emociones, las sensaciones y la semántica transmitidas por el diseño de un producto. En el mundo occidental, el comienzo del nuevo siglo vio el inicio de la investigación en "Diseño emocional", el estudio del valor emocional de los productos y servicios (Desmet, 2002 y Norman, 2004). (Figura 3.10).

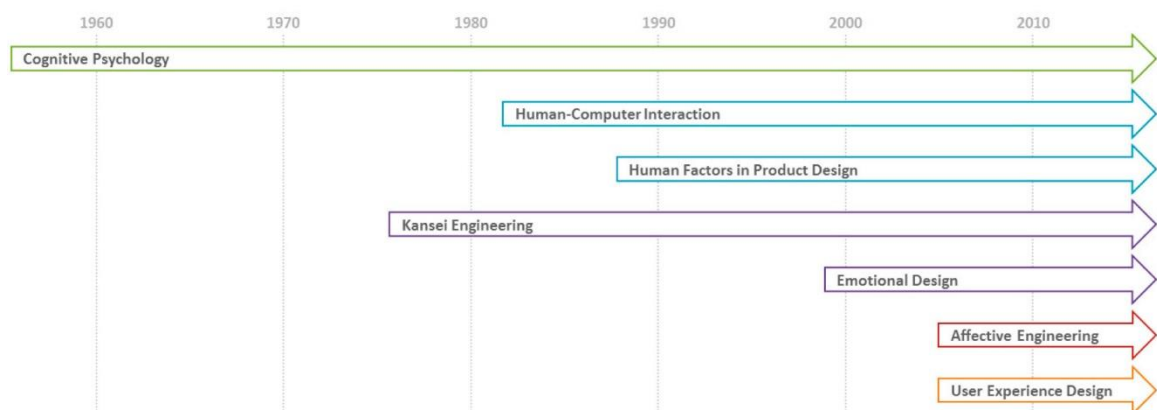


Figura 3.10. Evolución de los campos relacionados con la UX, fuente: Bongard y Bouchard, 2014.

Comprender los mecanismos cognitivos y afectivos de la percepción humana es importante para el diseño. Varios componentes cognitivos y afectivos son abordados intencionalmente o no por un producto o servicio. Cuanto mejor se comprenda estos mecanismos, más conscientemente se pueden diseñar productos o servicios para lograr una respuesta cognitiva y afectiva deseada. Los procesos cognitivos vinculan la información de los estímulos externos con el cerebro (los conocimientos y recuerdos del usuario) para llegar a una interpretación de los estímulos en función de sus cualidades semánticas y estéticas (Hassenzahl, 2003).

Donald A. Norman, en su libro titulado “El diseño emocional: Porque nos gustan (o no) los objetos cotidianos” (Norman, 2005, pp.21), introduce el concepto de que existen tres niveles diferentes de procesamiento cognitivo y emocional, estas afirmaciones se basan en el resultado de sus estudios acerca de la emoción, afirma que los atributos humanos resultan de estos tres niveles: la capa automática, llamada “nivel visceral” es la más básica de todas, la capa que contiene los procesos cerebrales que controlan el comportamiento cotidiano, conocida como “nivel conductual” y la capa contemplativa del cerebro, o el “nivel reflexivo” (Figura 3.12).



Figura 3.12. Niveles de procesamiento cognitivo y emocional, fuente: IDF, 2019.

Estos niveles reflejan los orígenes biológicos del cerebro, comenzando con organismos unicelulares primitivos y evolucionando lentamente hacia animales más complejos. Para los animales, la vida es un conjunto continuo de amenazas y oportunidades, y un animal debe aprender a responder adecuadamente a cada uno. Los circuitos cerebrales básicos, son realmente mecanismos de respuesta: analizar una situación y responder, este sistema está estrechamente acoplado a los músculos del animal, si algo es malo o peligroso, los músculos se tensan en preparación para correr, atacar o paralizarse. El nivel visceral es rápido, hace juicios rápidos de lo que es bueno o malo, seguro o peligroso, envía señales apropiadas a los músculos y alerta al resto del cerebro, este es el comienzo del procesamiento afectivo, en cambio el nivel conductual involucra la mayoría de los comportamientos humanos, el nivel más alto es el del pensamiento reflexivo, vigila, reflexiona y trata de sesgar el nivel conductual. (Norman, 2005).

Según este mismo autor el diseño de producto requiere de un estilo de diseño diferente para cada nivel de procesamiento, de acuerdo con las reacciones emocionales que

producen los productos en los usuarios y a que su vez se pueden interpretar como tres niveles de diseño diferentes:

Diseño visceral. Se refiere a las primeras impresiones que el usuario tiene del producto. La apariencia externa es lo más importante, busca generar una sensación de deseo desde un punto de vista irracional. Tiene que ver con el impacto emocional inmediato, el producto tiene que ser atractivo y verse bien, muchos productos se compran solo por la apariencia.

Diseño conductual. Tiene que ver con el uso, la apariencia no importa mucho, se refiere a la parte más funcional, tiene por objetivo optimizar la efectividad y la calidad de la experiencia de uso del producto, lo que importa es el rendimiento. Los cuatro componentes de un buen diseño conductual son: función, comprensibilidad, usabilidad y sensación física.

Diseño reflexivo. Se trata de mensajes, de cultura y del significado de un producto o su uso. Por un lado, se trata del significado de las cosas, los recuerdos personales que el producto evoca. Por otro lado se trata de la imagen que la persona tiene de sí misma, de aceptación social y el mensaje que un producto envía a otras personas.

Norman además argumenta que existe una correlación entre estética y funcionalidad, el usuario ante un diseño atractivo lo prejuzga automáticamente como más fácil de usar. La estética además evoca emociones positivas, y es la cualidad del diseño que de forma más inmediata impacta en el usuario. Los productos además de cumplir sus funciones prácticas tienden a provocar una respuesta emotiva de las personas, a través de la interacción, generando así una experiencia placentera e íntima y creando una relación que va más allá de la simple utilidad de los objetos. *“Las cosas atractivas hacen que las personas nos sintamos mejor, lo que nos lleva a pensar de forma más creativa. ¿Cómo se traduce eso en mejor usabilidad? Muy simple, haciendo que las personas puedan encontrar soluciones a sus problemas más fácilmente”* (Norman, 2005 y Hassan-Montero, 2015).

El ya antes citado Jordan (2000, p.11), describe el “placer” como el máximo nivel de calidad de la UX. Propone un modelo dividido en cuatro partes, las cuales incluyen el aspecto físico, social, psicológico e ideológico de las personas:

Fisio-placer. Tiene que ver con el cuerpo y los órganos sensoriales, está relacionado con el placer obtenido a partir del tacto, el olfato y el gusto. Sus características abarcan las ventajas y desventajas especiales de cada persona, las cualidades físicas, el cuerpo externo, su personalización, las dependencias físicas y la reacción al ambiente físico.

Socio-placer. Es aquel que es producido por la interacción persona-producto y que media en la relación con otras personas. Las características del socio-placer abarcan las características sociológicas del individuo, su estatus, la autoimagen social, las relaciones y etiquetas sociales, los rasgos de personalidad social y estilo de vida.

Psico-placer. Relacionado directamente con las reacciones de tipo cognitivo y emocional en la interacción persona-producto. Dentro de él las características se asocian a los talentos y dificultades especiales del individuo, lo que lo provoca o excita- psicológicamente, sus rasgos de personalidad, su grado de confianza en sí mismo, así como las habilidades y conocimientos aprendidos.

Ideo-placer. Éste pertenece a los valores de las personas. En un producto esto se puede ver reflejado en la estética y el valor que éste encarna. Las características para observar el ideoplacer de las personas, se pueden clasificar en: ideologías personales, creencias religiosas, ideología social, valores estéticos y aspiraciones.

Jordan plantea el diseño de productos desde una visión holística que va más allá de la usabilidad, su intención es no “deshumanizar” al individuo y grupos de individuos tratándolos como simples usuarios, el enfoque funcionalista, deja de lado factores que son propiamente del ser humano, tales como la esperanza, el miedo, los sueños, las aspiraciones, los principios y gustos. El producto debe ser diseñado para provocar una “experiencia” al interactuar con él (Gatica, 2015).

Pieter Desmet en el año 2003 propuso un modelo compuesto de cinco categorías que abarcan las respuestas emocionales que los productos evocan en las personas:

Emociones instrumentales. Se refieren a la percepción del usuario al satisfacer metas que el producto debe cumplir. Un producto que sirve para alcanzar metas será valorado en relación a sus objetivos y provocará satisfacción cuando sirve y frustración o decepción cuando no sirve para alcanzar dichas metas.

Emociones estéticas. Son aquellas que determinan el potencial de agrado del producto por parte de las personas. Los productos pueden ser valorados a partir del grado de atracción que ejercen sobre las personas. Cuando un producto gusta provoca atracción, cuando desagrada provoca disgusto.

Emociones sociales. Tienen que ver con la evaluación de un producto en relación a lo que las demás personas observan y piensan tras su uso. Un ejemplo de esto sería tener algo que la gente desea o que confiere admiración y status al usuario del objeto.

Emociones que evocan sorpresa. Tratan con la percepción de lo que es nuevo, tienen que ver con las sorpresas que puede dar un producto, estas pueden ser agradables o desagradables. El objeto que sorprende será agradable si afecta positivamente alguna de las preocupaciones del usuario.

Emociones de Interés. Comprenden emociones como la fascinación, el aburrimiento y la inspiración. Los productos que no representen un desafío provocarán aburrimiento. Los productos que evocan emociones de interés hacen reír, estimulan a una acción o pensamiento creativo y son mejor valorados.

El diseño impulsado por la emoción no debe considerarse simplemente como una cuestión de estilo o apariencia. Diseñar para la emoción requiere una comprensión profunda de los múltiples significados emocionales que pueden ser interpretados por los usuarios previstos. Este autor manifiesta que el modelo de Jordan (2000) enfocado en el "placer de uso" es limitado e ignora la riqueza de emociones agradables y desagradables que pueden experimentarse durante el uso del producto. (Desmet, 2003).

“La emoción es parte de la naturaleza humana y la mayor parte de nuestro comportamiento, la motivación y el pensamiento se enriquecen influenciados por las emociones. El mundo que nos rodea, y todo en él, tiene una influencia constante en nuestras emociones. Un producto o el uso de un objeto, pueden provocar la decepción, atracción, vergüenza, orgullo, asco, desprecio, admiración, satisfacción, miedo, ira y cualquier otra emoción que una persona puede experimentar en respuesta a eventos, personas o acciones de las personas. Ser humano es ser emocional, e ignorando el lado emocional de la experiencia con el producto sería como negar que estos productos están diseñados, comprados y utilizados por los seres humanos” (Desmet, 2019).

Este trabajo de investigación se enfoca en el diseño de experiencias que permitan despertar emociones positivas en los usuarios y como a través del diseño de la UX se puede incrementar el grado de felicidad, las respuestas emocionales se dan como resultado de la interacción con el producto.

4) Gestión del patrimonio cultural

En el capítulo de introducción de esta tesis se exponen los conceptos más relevantes acerca del patrimonio cultural y más concretamente del patrimonio arqueológico, como se ha expuesto, los lugares o sitios arqueológicos pertenecen a la clasificación del patrimonio cultural-natural, estos sitios y los objetos encontrados en ellos, forman en conjunto el patrimonio arqueológico.

“El patrimonio cultural es el conjunto de bienes, materiales e inmateriales, que son identificados por una sociedad concreta como portadores de valores culturales propios de la comunidad. Son bienes tangibles e intangibles que tienen un alto contenido simbólico, lo que les hace merecedores de una especial protección no sólo relacionada con su conservación sino también con el uso que se pueda hacer de ellos” (Velasco, 2009).

El patrimonio es un legado, y sólo tiene valor en la medida en que es reconocido y tiene significado en la vida de un individuo, grupo o comunidad. “La gestión del patrimonio cultural se vierte en un proceso participativo construido en la cotidianeidad y de forma conjunta y abierta, a través de la interacción de diferentes actores que cooperan entre sí para disfrutar de ese patrimonio, y asegurar al mismo tiempo su transmisión a las generaciones futuras y su viabilidad en el tiempo” (Monsalve, 2011).

Bernárdez (2003) define a la gestión cultural como: “La administración de los recursos de una organización cultural con el objetivo de ofrecer un producto o servicio que llegue al mayor número de públicos o consumidores, procurándoles la máxima satisfacción”.

Los sitios arqueológicos son bienes culturales que deben ser administrados y gestionados de manera consciente, tanto desde la perspectiva de su protección y conservación como de su explotación, siempre tomando en cuenta que son únicos y no renovables. La gestión de los bienes culturales tiene como objetivo, el mismo que cualquier empresa pública o privada y es el de buscar un beneficio económico, que en el caso concreto de la gestión cultural debe contribuir a su propia conservación y se debe realizar con criterios de sostenibilidad y no de sobreexplotación.

Según Monsalve (2011) “El primer paso en la gestión del patrimonio es su identificación a través del registro, la catalogación y la construcción de inventarios, ya que es imposible poner en valor, difundir y sensibilizar sobre lo que no se conoce. Una vez identificadas aquellas expresiones tangibles e intangibles del patrimonio, que se pretenden salvaguardar por su valor cultural, social o económico, entonces es posible empezar a pensar cómo gestionarlas para lograr su salvaguarda y viabilidad”.

Algunos aspectos relevantes para la gestión del patrimonio en cuanto a su existencia, origen, procedimiento y salvaguarda se pueden observar en la siguiente tabla:

Características	Patrimonio material	Patrimonio inmaterial
Existencia	Puede sobrevivir a sus creadores aun tiempo después de la muerte de quien lo construyó o lo mandó a elaborar.	Su destino está intrínsecamente ligado a sus creadores, depende de la transmisión que realiza una generación a otra. No puede dissociarse del todo del patrimonio material. Es relativamente frágil al ser transmitido, en la mayoría de los casos, de forma oral.
Origen	Puede definirse su autenticidad en el diseño, la mano de obra, el material, la constitución y el entorno físico.	No es posible establecer un criterio de autenticidad, porque su existencia reside en su naturaleza dinámica y en la recreación constante de parte de sus portadores.
Procedimiento	Al ser su condición más tangible (centros históricos, edificios, monumentos, entre otros), es posible definir de forma más práctica su intervención.	Requiere una metodología diferenciada a la utilizada para el tratamiento del patrimonio cultural material, porque se compone de <i>procesos y prácticas</i> . Los ámbitos en los cuales puede expresarse no constituyen límites claramente definidos. No es posible establecer acciones de salvaguarda al margen de sus portadores. Hace hincapié en la transmisión de conocimientos, más que en la conservación de obras materiales.
Salvaguarda	Su salvaguarda supone acciones de: identificación, protección, conservación, rehabilitación y transmisión a las generaciones futuras.	Su salvaguarda supone acciones de: identificación, documentación, investigación, preservación, protección, promoción, valorización, transmisión “básicamente a través de la enseñanza formal y no formal” y revitalización en los diferentes aspectos en que se pueda manifestar.

Tabla 4.1 Aspectos relevantes en la gestión del patrimonio cultural material e inmaterial, fuente: Lorena Monsalve (2011, p. 40).

María Victoria García, profesora del Departamento de Historia del Arte de la UNED, resalta la importancia de concienciar del valor intrínseco de los bienes que se administran, de su pertenencia al pasado y de su carga documental. Además los bienes culturales deben ser accesibles para las personas, no pueden permanecer escondidos, se han de mostrar y comunicar de forma rigurosa pero accesible, la gestión se debe realizar manteniendo el equilibrio entre protección y accesibilidad.

Para llevar a cabo los proyectos de gestión se debe tener en cuenta algunos aspectos importantes, tanto para su programación como para su ejecución:

- Lo primero y principal es definir los objetivos del proyecto y establecer un plan de gestión que supone decidir sobre varios puntos imprescindibles para su desarrollo, priorizar los objetivos, especialización, distribución y hacer responsables de las tareas.
- Lo importante en el plan de gestión es el control de dos parámetros: el tiempo y el presupuesto, si no se cumplen los tiempos ni los presupuestos se encarecen los programas y se llega a un mal resultado.
- Otro aspecto importante es la necesidad de implicar a la mayor parte de los protagonistas, formar un equipo cohesionado que asuma como propio el proyecto.

El gestor de bienes culturales es la persona responsable del proyecto, de su planificación y desarrollo, del control de todos los aspectos del presupuesto, del personal, del cumplimiento de los tiempos establecidos. El objetivo del gestor es organizar y usar unos recursos para extraer un beneficio que contribuya a la propia conservación del bien.

Sobre la rentabilidad lo más importante es señalar que el patrimonio cultural como recurso tiene un límite porque los bienes no son renovables, un yacimiento arqueológico si se ha excavado, ha quedado invalidado para descubrir aspectos de la vida cotidiana. Es necesario concientizar a la población del valor de los bienes, la educación y el respeto son fundamentales, porque se es consciente del disfrute que proporcionan pero no se es consciente del gasto que supone su mantenimiento y difusión (García, 2014).

Hernández (2009) interpreta la gestión cultural “Como la organización del trabajo plasmado en un proyecto dentro de los tiempos previstos, los objetivos, las metas y los costos calculados en la planificación estratégica, en la cual están involucrados todos los recursos de la organización cultural”.

Según el mencionado autor, la gestión cultural se instrumentaliza mediante proyectos específicos, los cuales para su ejecución deben tomar en cuenta algunos parámetros, entre ellos:

- “Gestión de la calidad, lo que significa asegurar la calidad del proyecto y verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos;
- Gestión de las personas, que tiene que ver con considerar a las personas que van a intervenir en el proyecto. Normalmente no se acostumbra a planificar los talentos; sin embargo, es fundamental, pues es clave en cualquier proyecto;
- Gestión de las comunicaciones, lo que significa diseñar, implementar y controlar adecuadamente la información relativa al proyecto. La pésima comunicación puede significar la muerte prematura de un proyecto;
- Gestión del riesgo, lo que supone estar atento a las posibles amenazas para minimizarlas, y estar expectante a posibles soluciones para potenciarlas y rectificar adecuadamente el curso del proyecto;
- Gestión de las compras, que es garantizar la logística y su correcta gestión. Es decir, proveerse de los recursos necesarios para que el proyecto sea posible;
- Gestión de los conflictos, que implica desarrollar mecanismos para conocer el origen de los conflictos, manejarlos y resolverlos de manera que se constituyan en momentos de aprendizaje para la mejor implementación del proyecto”.

Los contextos institucionales y sociales determinan también las nociones de gestión cultural y de su operatividad (Saltos, 2019).

4.1) Modelos de gestión

Las características que priman en la gestión cultural son dos: la conservación o protección del bien y la exigida por la gestión para generar un beneficio, los bienes culturales procuran beneficio cultural y beneficio económico. Desde la antigüedad los bienes culturales han sido objeto de aprecio, han despertado la curiosidad y reclamado su conservación, pero estas tareas recaían en sus poseedores, que en gran medida eran las monarquías, la iglesia y los coleccionistas particulares.

En la segunda mitad del siglo veinte se asiste a un gran entusiasmo por lo bienes culturales que responde a los deseos de la nueva sociedad del bienestar, se convierten en recursos transmisores de cultura, se tienen que gestionar para presentar correctamente y conseguir el aprovechamiento cultural y el beneficio económico necesario para la conservación del bien y para la sociedad.

Hay distintos modelos de gestión en relación con el tipo y objetivo de la organización, existen organizaciones dependientes de la administración pública como los gobiernos locales, las universidades y las empresas públicas. Otro tipo de administración es la que acoge una determinada organización tutelar institucional por medio de un patronato, junta o consejo. Por último están los tipos de modelos de organización independiente no lucrativas y las empresas privadas unipersonales o constituidas en sociedad.

Lo que es importante destacar es que el estado es el principal cliente tomando en cuenta que la cultura es un valor en alza en el denominado estado del bienestar, pero ahora que la perspectiva está cambiando se hace necesario mayor eficacia en la gestión de lo público y mayor protagonismo de la iniciativa privada para que el patrimonio cultural siga cumpliendo su cometido en una sociedad democrática moderna, cometido que exige servir a la memoria colectiva, contribuye a la educación de todos y proporcionar recursos a la industria cultural, este enfoque es asumido y difundido por la comunidad europea e internacional y en diferentes documentos ponen de relieve la importancia de las actividades culturales para la sociedad y su potencial para la creación de empleo (García, 2014).

El sitio arqueológico caso de estudio de esta tesis se encuentra ubicado en el norte de Ecuador, por esta razón y para esta investigación, se siguen las directrices del organismo encargado de la gestión del patrimonio del país, que es el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). En este mismo contexto y siguiendo con Saltos (2019, p.181). Los modelos y tipos de gestión cultural más frecuentes son: pública, comunitaria y privada, la combinación de las anteriores da como resultado modelos mixtos.

“Gestión cultural pública: la gestión pública es la responsabilidad cultural que el estado asume bajo marcos conceptuales, políticos y jurídicos, que operativiza mediante políticas, planes, programas y proyectos, que ejecuta el aparato burocrático. Es la gestión que ejercen los estados y sus gobiernos, relacionada con las tareas de regularización, institucionalización, participación y, sobre todo, de garantía del cumplimiento de los derechos culturales.

Gestión cultural comunitaria: la gestión comunitaria está compuesta por una serie de factores y es el resultado del proceso de participación de un colectivo en todas las fases del proyecto. Uno de los ejes centrales de la gestión comunitaria es el empoderamiento, esto es, que las comunidades, sean capaces de administrar y operar sus propios recursos culturales, con criterios de eficiencia, eficacia, calidad, equidad social y de género. Las comunidades toman todas las decisiones relacionadas con el proyecto, tienen el control de los recursos: técnicos, financieros, humanos.

Gestión cultural privada: a través de la historia y desde su apareamiento, una de las funciones de la empresa privada ha sido el financiamiento y promoción de proyectos culturales. Inicialmente, esta práctica estuvo vinculada al ejercicio del poder, pero poco a poco fue convirtiéndose en una función más de la iniciativa privada. En la actualidad, el papel de la empresa privada se vincula con otras alternativas de financiamiento que, consciente de la necesidad de las organizaciones culturales de difundir y comercializar sus productos, bienes y servicios, aporta con recursos y dinero a la actividad cultural”.

4.2) El turismo arqueológico

Resulta importante reflexionar sobre la relación que existe entre los bienes patrimoniales y el turismo, esta relación puede resultar conflictiva, pero es inevitable. Desde diferentes perspectivas se insiste en la necesidad de dotar de nuevos usos sociales a los bienes culturales y uno de los más importantes es el turismo. El turismo puede ser un fenómeno beneficioso para el patrimonio cultural, como generador de recursos que ayuden a su puesta en valor, o un grave problema para el mismo, si no se administran los bienes con responsabilidad y siempre primando su protección y conservación (Velasco, 2009).

Desde los comienzos del estudio de la arqueología en el siglo XVIII, la relación entre esta disciplina y el turismo ha sido distante, debido a la mentalidad de los arqueólogos y de las connotaciones eminentemente destructivas del desarrollo turístico espontáneo. Para muchos arqueólogos la industria turística representa otro sector más que podría apropiarse y manipular su trabajo, por otra parte la industria turística a menudo considera a los arqueólogos como un elemento propenso a interferir y complicar los planes de promoción turística de los destinos (Walker y Carr, 2013, p.20).

Algunos arqueólogos siguen instaurados en un sistema de valores jerárquico que considera la investigación, la excavación, los nuevos descubrimientos y la publicación el culmen de sus objetivos. Cualquier cosa diferente a estos pasa automáticamente a ser secundaria. La principal preocupación de los arqueólogos ha sido la preservación más que la interpretación al público del legado arqueológico. “Para aquellos comprometidos con la preservación como principal prioridad, el turismo patrimonial es una amenaza” (Herbert, 1997).

En la actualidad cuando se habla de turismo cultural se hace referencia a los intereses concretos que determinados turistas tienen al visitar ciertos lugares. Se incluye dentro del turismo alternativo, en el que se ofrecen otras posibilidades al margen del descanso en un lugar atractivo con buen clima. “El turismo cultural está definido por La Organización Mundial del Trabajo como la posibilidad que las personas tienen de adentrarse en la historia natural, el patrimonio humano y cultural, las artes y la filosofía, y las instituciones de otros países o regiones” (Pastor, 2003).

Para Moreno y Sariego (2017, p.165), un error frecuente de los responsables de los destinos turísticos es el de equiparar automáticamente los recursos arqueológicos con los recursos turísticos de un destino. Si bien es cierto que los recursos arqueológicos son la materia prima necesaria para contar con recursos o atractivos turísticos de naturaleza arqueológica, en la mayoría de las ocasiones el atractivo de los recursos arqueológicos no es lo suficientemente llamativo para configurar un recurso turístico. El interés científico, el grado de conservación y preservación, su localización y la capacidad de generar una gestión específica que articule una oferta de servicios en torno al recurso, son determinantes para considerar un recurso arqueológico como recurso turístico. Por tanto, existe una gran diferencia entre recurso arqueológico y recurso turístico arqueológico y no pueden nunca considerarse como sinónimos.

Un yacimiento arqueológico no puede convertirse en recurso turístico si no ha sido objeto de una intervención que garantice su conservación y de un acondicionamiento que permita la comprensión por parte del visitante. Además de los yacimientos, hay otro tipo de recursos que pueden plantear una oferta de turismo arqueológico, a continuación, se expone un listado de los recursos que se pueden considerar recursos turísticos arqueológicos:

- “Los yacimientos y conjuntos arqueológicos que cuenten con una gestión turística específica que garantice su preservación, conservación, puesta en valor y ofrezcan unos servicios básicos a los usuarios.
- Los museos y centros de interpretación que tengan una temática relacionada con la arqueología.
- Las aulas arqueológicas asociadas a yacimientos, museos o centros de interpretación.
- Las rutas arqueológicas estructuradas bajo un eje temático relacionado con la arqueología
- Los eventos y festivales relacionados con la arqueología ya sean realizados en espacios monumentales o en espacios anexos.
- Participación en trabajos de investigación” (campos de trabajo de estudiantes y/o aficionados, campañas de excavación de verano, etc.).

Otra categorización importante para este trabajo de tesis es la propuesta por Ruiz (1998, p.23), quien sostiene que en las ofertas de presentación de sitios arqueológicos y parques de arqueología se puede trazar una escala de graduación: de lo más auténtico y científico a lo más artificial y postizo, de lo más aburrido a lo más entretenido y finalmente, de lo más difícil de visualizar a lo más fácil de ver:

- Sitio arqueológico presentado con mínima conservación e información.
- Parque arqueológico o de sitio.
- Sitio arqueológico reconstruido casi integral y debidamente presentado.
- Parque de arqueología con estructuras reconstruidas inspiradas directamente en el caso de un yacimiento y con paisaje de época restituido.
- Parque de arqueología artificial, con estructuras ideales y paisaje actual.

Un aspecto importante a tener en cuenta es lo que el citado autor denomina mínimo innegociable, o lo que es lo mismo, el rigor y la veracidad de los datos arqueológicos evitando el efecto “decorado cinematográfico” ya que tras los decorados de cine no hay nada, pero detrás de las restituciones arqueológicas esta toda la historia del sitio y como se ha comentado anteriormente no puede quedar oculto al visitante, es decir debe primar el rigor científico sobre la espectacularidad. Por esta razón es esencial la participación de arqueólogos e historiadores en la creación de estos recursos turísticos, porque solo partiendo de una información histórica bien documentada se puede recrear científicamente el pasado.

La demanda productos turísticos arqueológicos está creciendo constantemente desde hace varias décadas a nivel internacional. El turismo arqueológico se ha extendido desde los años setenta en muchas ocasiones a áreas antes raramente visitadas y es parte de los cambios económicos y sociales que este está provocando, sobre todo en los casos en los que los yacimientos se integran en la lista de Patrimonio Mundial (Diaz-Andreu, 2014, p.25). Según Su y Lin (2014, p.57), el hecho de que un país posea un sitio declarado Patrimonio Mundial incrementa la llegada de turistas internacionales anuales en una media de 382.637, lo que da una idea de la importancia de contar con recursos turísticos con dicha categorización para la industria turística de cualquier país (Moreno y Sariego, 2017, p.168).

En la figura (4.1) se muestra las estadísticas del número de visitantes a trece recursos turísticos arqueológicos de nueve países diferentes. Se puede observar que se ha producido un aumento más o menos significativo en el número de visitantes. Las diferencias entre unos y otros responden principalmente al ciclo de vida de los destinos en los que se enmarcan (Butler, 1980). En los recursos turísticos arqueológicos localizados en destinos recientes es mucho más significativo presentando un promedio de aumento anual en la llegada de visitantes del 20,6% en el Valle de los Reyes, del 17,8% en Angkor, del 17,2% en Petra o del 11,4% en Machu Picchu. Los destinos maduros en los que se enmarcan recursos turísticos arqueológicos más consagrados han registrado aumentos medios anuales más moderados como el 5% en Stonehenge, el 3,9% en Herculano, el 3,1% del Acrópolis o el 2,4% en Pompeya.

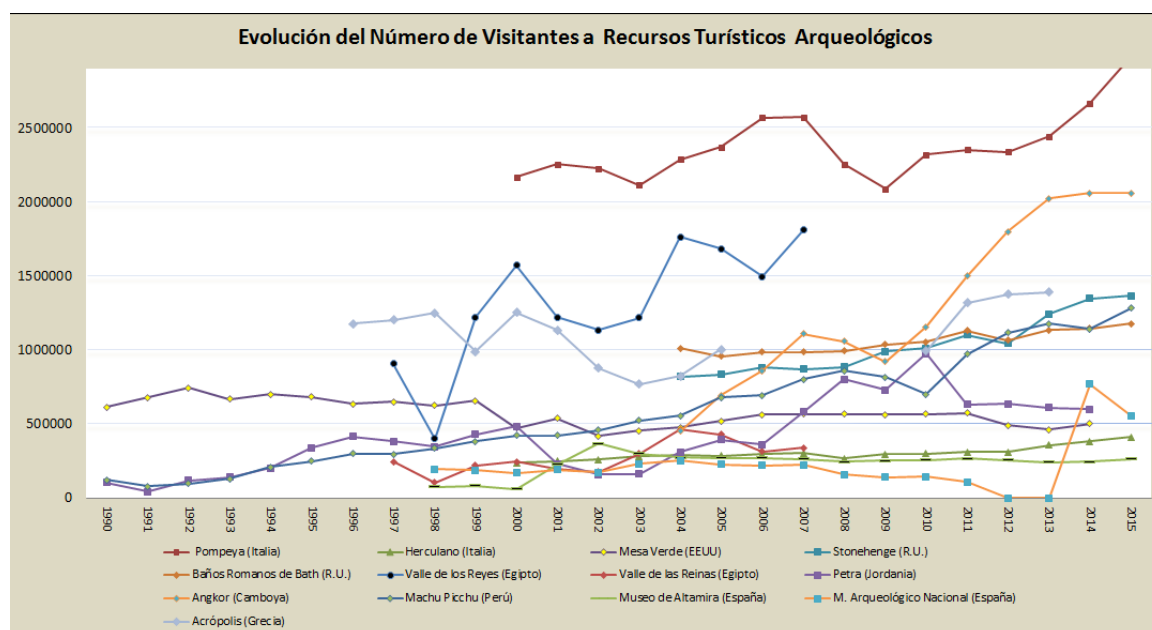


Figura 4.1. Evolución del número de visitantes a sitios arqueológicos, fuente: Moreno y Sariego, 2017.

Según Mark Lynott, (1997, p.593) La ciencia arqueológica tiene como obligación no solo la investigación, el estudio, la conservación y el establecimiento de hipótesis científicas, sino también la difusión a la sociedad de sus resultados, es ahí donde el turismo puede jugar un papel fundamental como herramienta educativa para todos los visitantes. En algunos códigos de ética profesional de los arqueólogos figura, expresamente, como principio obligatorio la educación pública y la divulgación y para ello resulta crucial mejorar la conservación, protección y la interpretación del registro arqueológico.

4.3) Usuarios del turismo arqueológico

Los usuarios son los protagonistas de esta investigación, se entiende como usuarios a las personas que visitan los sitios arqueológicos. Como se ha expuesto anteriormente, el turismo arqueológico está estrechamente relacionado con el turismo cultural, por lo que los visitantes de sitios arqueológicos se pueden identificar de manera general cómo usuarios del turismo cultural.

Según Pastor (2003) “Los turistas culturales disfrutan al mismo tiempo que satisfacen su curiosidad, sensibilidad, o afán de conocimiento. Se pueden diferenciar tres tipos de turistas culturales:

1. Los “especialistas”, que son los que viajan sistemáticamente y de forma regular. Suele darse una relación entre sus actividades profesionales y las prácticas turísticas que realizan. Representan entre el 10 y el 15% de los visitantes;
2. Los turistas “muy motivados”, aunque haya otras causas para su viaje turístico, la principal es la cultural. Constituyen entre el 30 y el 40% de los visitantes;
3. Los turistas “ocasionales”, grupo en el que se incluyen todos aquellos turistas que, mientras realizan sus vacaciones, desarrollan actividades culturales de forma irregular, para lo que se desplazan un máximo de unos 50 km. Llegan a ser entre el 45 y el 60% de los visitantes”.

Los turistas clasificados como “especialistas” o “muy motivados” se suelen informar y documentar antes de realizar la visita, por lo que son capaces de entender la información de estos lugares sin mayor esfuerzo, son capaces de comprender el valor estético e histórico de ese patrimonio y su sensibilidad hacia él favorece una actitud de respeto.

Como se puede observar, la mayor parte de los visitantes pertenecen al tercer grupo de la clasificación: aquellos que acuden, de forma "ocasional", a los sitios de interés cultural simplemente como alternativa a unas vacaciones planificadas con otros fines. Estos individuos tienen escasa o nula información sobre los lugares, están poco interesados en disfrutarlos y suelen pasar por ellos de manera apresurada. Su visita es para disfrutar de

unas vacaciones agradables y diferentes. Por tanto, si el interés por el patrimonio no existe, poco podrán preocuparse por su significado, su valor y, desde luego, no lo harán digno de su respeto.

Lo que se pretende con este trabajo de investigación es mejorar la experiencia de los usuarios durante la visita, para que resulte más entretenida, facilitando la interpretación del sitio arqueológico mediante el uso de las tecnologías de RM.

Es de vital importancia para la puesta en valor del patrimonio arqueológico, que los usuarios lo puedan comprender e interpretar correctamente. Según Morales (2001, p. 31) algunos de los objetivos que persigue la interpretación son:

- “a. A partir de la interpretación los visitantes podrán desarrollar una profunda conciencia, apreciación y entendimiento del lugar que visitan;
- b. Los fines de gestión se cumplirán a través de dos vías: Por una parte alentando al visitante a que trate de forma adecuada el recurso, haciendo que tome conciencia de que está en un lugar especial y, por tanto, debe tener un comportamiento especial; en segundo lugar utilizando la interpretación para minimizar los posibles daños del impacto humano, por ejemplo, desviando la atención en zonas frágiles, concentrando a los visitantes en zonas de uso intensivo, etc.;
- c. Promover y facilitar la comprensión pública, transmitiendo una serie de mensajes que se correspondan con las finalidades que se desean lograr;
- d. Acentuar la comprensión y valoración del patrimonio, conduciendo hacia un respeto y conciencia de la necesidad de su conservación;
- e. Incrementar el disfrute del visitante, entendiendo que una comprensión sobre el lugar aumenta el placer producido por la visita”.

4.4) Actores del patrimonio arqueológico

Se puede entender el patrimonio como un sistema que pone en relación tres elementos: el subsistema de bienes del patrimonio cultural, el subsistema de actores y el subsistema de las actividades del patrimonio. Los bienes de patrimonio cultural forman parte de este sistema en el que también están representados diferentes actores, con diversos intereses, que a su vez realizan actividades vinculadas con la gestión de patrimonio cultural, interesa conocer las múltiples relaciones que pueden darse entre todas las piezas que componen dicho sistema (Figura 4.2).

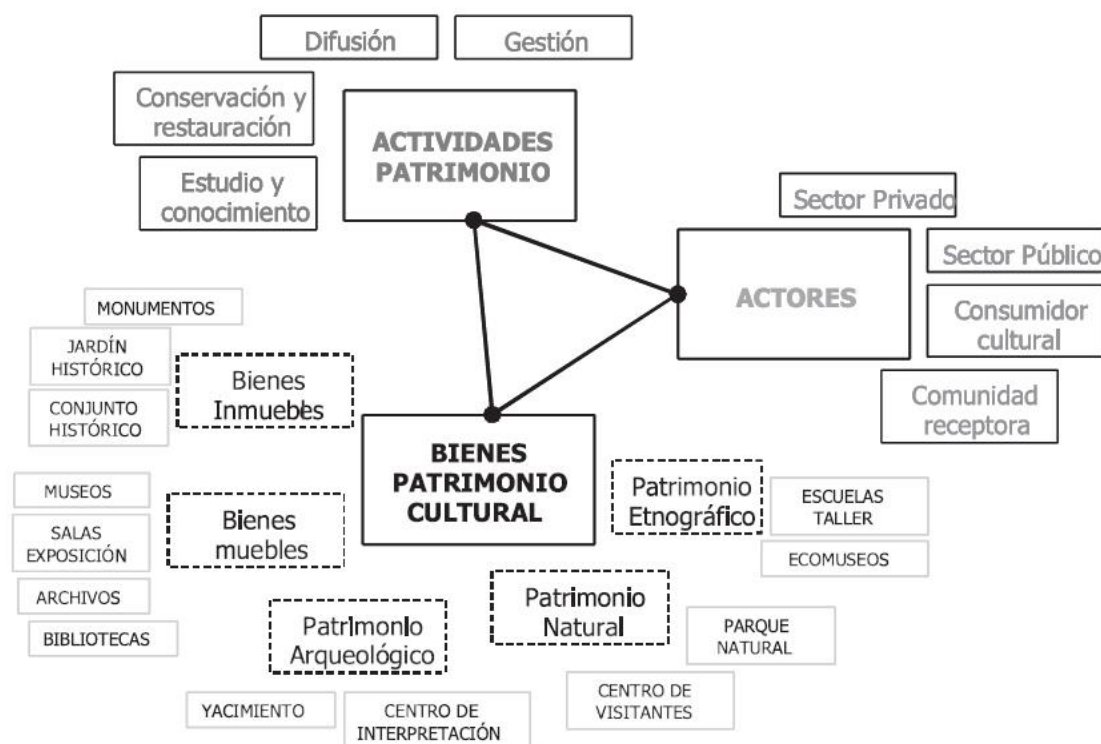


Figura 4.2. Actores del patrimonio arqueológico, fuente: Velasco, 2009.

La gestión de un destino arqueológico implica que los actores públicos y privados, relacionados con cualquiera de los subsectores básicos: alojamiento y manutención, intermediación, transporte o actividades complementarias, trabajen de modo coordinado para la construcción de diferentes productos turísticos. En este proceso todos los actores implicados utilizan bienes materiales e inmateriales de naturaleza tanto pública, como privada (Velasco, 2009).

Según la definición de Sautter y Leisen (1999, p. 313), un actor "es cualquier grupo o individuo que pueda afectar o se vea afectado por el logro de los objetivos de la organización". Dentro del campo de la investigación y el desarrollo, se ha demostrado que la participación de múltiples actores aumenta el valor y mejora la eficacia de la implementación de nuevas innovaciones.

El enfoque de investigación basada en actores o partes interesadas fue desarrollado originalmente por Freeman (1984), quien sugiere que los actores de una organización pueden clasificarse en internos y externos, este enfoque aplicado al caso de estudio queda de la siguiente manera:

Internos: empleados de administración y mantenimiento, guías del parque, el director y los organismos de gobierno involucrados.

Externos: los consumidores culturales, la comunidad receptora y el mercado de desarrollo de aplicaciones de RM.

Para este trabajo de investigación aparte de los usuarios del turismo arqueológico se han tenido en cuenta los siguientes actores:

Los guías, los directores del parque, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) y el Gobierno Provincial de Pichincha.

Para facilitar la introducción, aceptación y uso de nuevas tecnologías, es esencial involucrar a las partes interesadas, esto asegura que todos los actores sean parte del proceso de cocreación. El uso de un enfoque de actores para la implementación de tecnologías innovadoras ayuda a superar las barreras del conocimiento, ya que se tiene en cuenta una amplia gama de opiniones durante el desarrollo del proyecto.

En el contexto del turismo, se ha demostrado que la inclusión del punto de vista de los actores es esencial para asegurar un correcto desarrollo de experiencias creativas a través de las nuevas tecnologías. Por lo tanto, es esencial incorporar la visión de todas las partes involucradas para explorar el valor percibido de las tecnologías de RM dentro del contexto de los sitios arqueológicos (Dieck y Jung, 2017).

4.5) Interpretación y difusión del patrimonio

La Interpretación del Patrimonio (IP) tiene su origen en los parques naturales de Estados Unidos, hasta mediados de los años ochenta del siglo pasado se le llamó interpretación ambiental porque explicaba los fenómenos naturales que sucedían en esos lugares. Debido a que la interpretación es un conjunto de técnicas de comunicación que sirve para explicar un producto del hombre o de la naturaleza, el adjetivo ambiental quedó limitado, ya que existen profesionales que las aplican en otros contextos (sitios arqueológicos, museos, cascos urbanos o históricos). Así fue como al buscarle un término más inclusivo se llegó al concepto de heritage que incluye el “natural heritage” y el “cultural heritage” y que se traduce como patrimonio. Desde entonces tiene más amplitud hablar de interpretación del patrimonio que de interpretación ambiental (Bazán, 2014).

Según Morales et al. (2009, p.5) “A lo largo de décadas han ido surgiendo varias definiciones referentes al trabajo que realizan los técnicos en interpretación, guías intérpretes y diseñadores de productos interpretativos en general. Los intentos por definir a la disciplina continúan desarrollándose, y el concepto de interpretación sigue evolucionando, a la luz de la investigación y de la práctica”. En la actualidad la mayoría de las definiciones coinciden en expresar que la interpretación ayuda a los visitantes a relacionarse con el recurso de un lugar y al mismo tiempo, busca que sus experiencias sean personalmente relevantes y significativas”.

La Asociación para la Interpretación del Patrimonio (AIP) propone la siguiente definición:

"La interpretación del patrimonio es el ‘arte’ de revelar in situ el significado del legado natural o cultural, al público que visita esos lugares en su tiempo libre" (AIP, 2021).

En esta definición se enfatiza que es una actividad destinada al público general, al visitante “no cautivo” de lugares de importancia patrimonial, que se encuentra en su tiempo de ocio, de vacaciones o con días libres, y que, por lo tanto, no está obligado a prestar atención, y es libre para decidir si participa o no en los programas interpretativos.

El concepto de “cautividad” y “no-cautividad” se refiere al hecho de sentirse o no obligado a prestar atención (Ham, 2005). Este nivel de atención es variable según sean las circunstancias, y resulta notoriamente alto en el caso de los estudiantes de la enseñanza formal que se sienten obligados por motivaciones externas. Sin embargo, en individuos que disfrutan de su tiempo libre este nivel de atención normalmente es bastante bajo, puesto que no hay ninguna obligación para poner atención, salvo que sea por una motivación interna.

Hay que realizar un esfuerzo por atraer la atención del visitante que no tiene por qué estar interesado en aquello que se le cuenta, los mensajes interpretativos tienen que ser fáciles de comprender, o relativamente fáciles de procesar por la mente de los sujetos, la interpretación ha de ser entretenida y agradable, por la razón antes expuesta: no existe ninguna obligación para prestar atención.

La interpretación del patrimonio, es un conjunto de métodos y técnicas de comunicación que se utilizan para revelar el significado de un lugar que es visitado por el público. El objetivo de esta acción es conseguir que, con el entendimiento de los significados por parte del público, éste adopte una actitud de respeto y aprecio por el lugar que visita. Los programas y servicios “interpretativos” deben ser amenos, breves y claros, además de directos en el lenguaje.

Según Ham (1992) “La interpretación es un enfoque de comunicación. Difiere de otras formas de transmisión de información en que es amena, relevante, organizada y tiene un tema. La interpretación implica la traducción del lenguaje técnico de las ciencias a términos e ideas que la gente que no es especialista los pueda comprender fácilmente”.

La interpretación es un proceso, ya que consta de varias etapas y es comunicación estratégica porque persigue unos propósitos muy concretos, por una parte, para lograr un mayor aprecio y disfrute por parte de los visitantes, y por otra, la conservación del patrimonio merced a las actitudes de esos mismos visitantes. Un aspecto fundamental de la estrategia consiste en saber ¿quiénes son los visitantes?, ¿cómo varían?, ¿qué traen en sus experiencias vitales?, y ¿cuáles son sus intereses y preferencias?, para ajustar y realizar estratégicamente la intervención (Morales, 2008).

Para llevar a cabo un proyecto de interpretación, se debe realizar un plan interpretativo, este documento garantiza que los contenidos sean comprendidos y asimilados de forma eficaz por los visitantes, para abarcar todo el proceso de elaboración del mencionado plan, es importante reparar en varias instancias durante la confección del mismo.

Momentos	Desarrollo
Planificación.	Determinación de necesidades, servicios, recursos disponibles, público destinatario.
Diseño.	Determinación de objetivos generales y específicos. Resultados esperados.
Fabricación/instalación.	Selección de los medios para la trasmisión de los mensajes.
Intervención/desarrollo de los servicios interpretativos.	Análisis de los servicios interpretativos.
Evaluación.	Análisis de los objetivos formulados al principio.

Tabla 4.2. Etapas de un plan interpretativo según la AIP, fuente: Bazán (2014).

Tilden (2006) fue un escritor estadounidense considerado como el fundador de esta actividad, en su libro: “La Interpretación de nuestro Patrimonio”, expone los principios básicos de la interpretación:

- “Cualquier interpretación que de alguna forma no relacione lo que se muestra o describe con algo que se halle en la personalidad o en la experiencia del visitante, será estéril.
- La información, tal cual, no es interpretación. La interpretación es revelación basada en información, aunque son cosas completamente diferentes. Sin embargo, toda interpretación incluye información.
- La interpretación es un arte, que combina otras muchas artes, sin importar que los materiales que se presentan sean científicos, históricos o arquitectónicos. Cualquier arte se puede enseñar en cierta forma.
- El objetivo principal de la interpretación no es la instrucción, sino la provocación.
- La interpretación debe intentar presentar un todo en lugar de una parte, y debe estar dirigida al ser humano en su conjunto, no a un aspecto concreto.
- La interpretación dirigida a niños no debe ser una dilución de la presentación a las personas adultas, sino que debe seguir un enfoque básicamente diferente. Para obtener el máximo provecho, necesitará un programa específico”.

En este apartado se pone en relación el turismo arqueológico con el uso de las tecnologías de RM y la experiencia de usuario resultante, temas detallados en los capítulos dos y tres de esta tesis. Lo que se busca es provocar emociones positivas en los visitantes mediante el uso de las tecnologías de RM para mejorar la experiencia durante la visita y facilitar la interpretación de los sitios arqueológicos.

Según Han, et al. (2019) las emociones son necesarias para mejorar el proceso de aprendizaje durante la experiencia, éstas se deben conocer bien para evitar que puedan influir de forma negativa en la experiencia general del visitante. La experimentación activa se desencadena por el grado de compromiso del visitante con el producto turístico. Cuanto mayor sea la participación de los visitantes, mayor será el impacto en el experiencia de aprendizaje con RM (Figura 4.3).

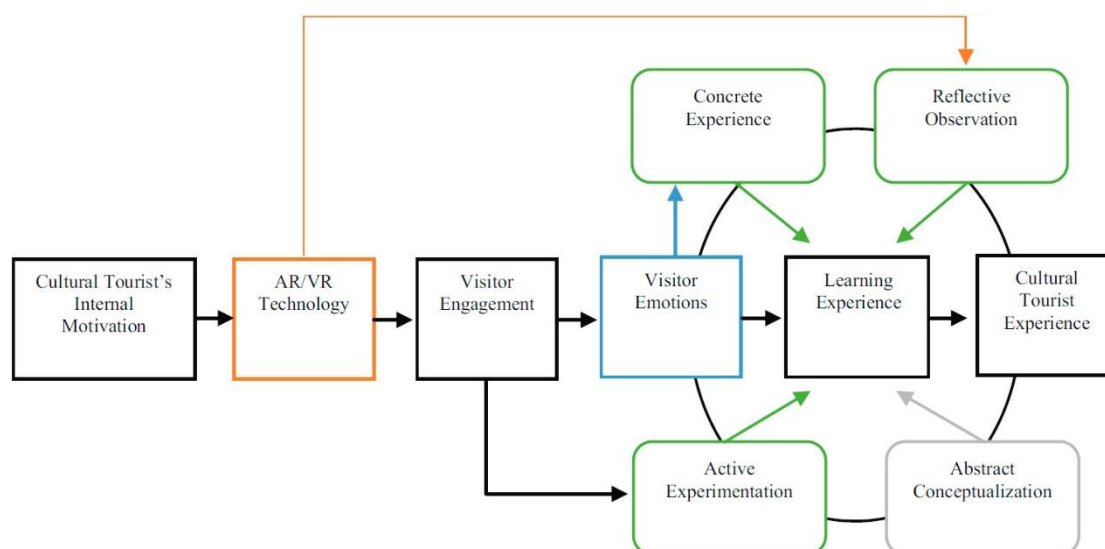


Figura 4.3. Marco conceptual del impacto de la RA / RV en la experiencia de aprendizaje en los visitantes del turismo cultural, fuente: Han, et al., 2019.

Los citados autores exponen los factores que afectan a la experiencia en el ámbito cultural y el contexto turístico, analizando el impacto de la tecnologías que conforman la RM (RA y RV) y el resultado de la experiencia en el contexto del turismo cultural. Son cinco factores a tener en cuenta: (1) la importancia del diseño centrado en el visitante; (2) el objetivo de la implementación de tecnología; (3) problemas tecnológicos con la implementación RA / RV; (4) efectos de RA / RV en la experiencia del visitante; (5) metodologías de evaluación de la experiencia.

La RM es una industria que se promociona a sí misma como creadora de "experiencias", un pequeño error en una aplicación puede tener un efecto negativo en los visitantes. Para entender cómo y dónde la RM influirá en la experiencia del turista, se deben comprender las motivaciones del viaje y determinar el valor que las tecnologías de RM pueden aportar durante el recorrido, con el fin de crear aplicaciones significativas que mejoren la experiencia turística cultural, por lo que la información contextual juega un papel clave en la definición y diseño del valor agregado de las aplicaciones de RM.

“Para implementar las tecnologías de RA / RV de manera significativa en el contexto del turismo cultural es vital comprender el beneficio que estas pueden proporcionar al usuario final. Es necesario desarrollar aplicaciones potenciales para ayudar a los visitantes y no deben hacerse sin tomar en cuenta la experiencia. La necesidad de comprender cómo las emociones afectan a la experiencia de aprendizaje y la experiencia turística resultante en el contexto del turismo cultural a menudo se pasa por alto, a pesar de ser un elemento crucial en el proceso de aprendizaje” (Han, et al., 2019).

Al presentar el producto turístico, se debe considerar cómo este producto crea significado para el visitante, cómo se conecta con sus valores y le permite crear su propia versión de la experiencia. Aquí es donde el diseño centrado en el visitante es importante y en particular la empatía con el usuario, tener un nivel profundo de comprensión permite a los diseñadores de RM crear capas emocionalmente atractivas para mejorar la experiencia en los sitios de turismo cultural (Kouprie y Visser, 2009).

Los estudios en turismo generalmente se centran en cómo mejorar la experiencia del visitante, sin embargo se debe tener en cuenta que la experiencia no se limita a las actividades y participación en el sitio arqueológico, sino que tiene un alcance más amplio antes y después, eso puede influir en la percepción general y en los recuerdos de los visitantes.

Dar a conocer los hallazgos arqueológicos al gran público es la etapa más significativa en el proceso de gestión del patrimonio, es importante facilitar a los usuarios el acceso a los bienes culturales. La difusión y la promoción son dos actividades de la gestión estrechamente relacionadas entre sí, la principal diferencia entre las dos, radica en que

la primera está asociada a educar y dar a conocer un legado, mientras que la segunda tiene un importante componente de marketing y pretende obtener recursos económicos para invertirlos en el propio bien.

En la actualidad Internet y las redes sociales juegan un papel importante en la difusión y promoción del patrimonio cultural, un ejemplo es la plataforma “Legado Griego” antes llamada “Mediterráneo antiguo”, fundada en 2006 con el objetivo de “aprovechar la potencialidad de alcance de las redes sociales para realizar una labor de alta divulgación que permita proporcionar una visión profesional de la historia y la arqueología a todos los sectores de la sociedad interesados en estas disciplinas. Se publican entrevistas con personajes relevantes del sector, reportajes, artículos e información sobre la actividad académica y profesional” (Agudo, 2020).

Otra iniciativa que cabe la pena destacar es el proyecto “Arqueología y Patrimonio Virtual” (PAR) un emprendimiento que tiene una importante labor de difusión y promoción del patrimonio arqueológico en internet a través de su blog y redes sociales, además brinda asesoramiento y formación en tecnologías de virtualización del patrimonio, según sus responsables busca ofrecer soluciones eficaces, didácticas y elegantes en proyectos de representación del pasado cultural, siempre en concordancia con el objetivo concreto de cada proyecto (Aparicio, 2020).

Existen empresas privadas que brindan servicios de interpretación de sitios arqueológicos y de esta manera realizan una labor de promoción, como es el caso de “Lithodomos” creada en 2016 con la misión de dar vida al mundo antiguo y mostrárselo al gran público, está conformada por arqueólogos, artistas y desarrolladores de software que trabajan para brindar a sus clientes experiencias de RA y RV, educativas, entretenidas, atractivas e inspiradoras. Su contenido se distribuye globalmente en todas las principales plataformas de RV, incluidas App Store, Google Play, Oculus y Viveport. Sus clientes incluyen operadores turísticos, museos e instituciones educativas de todo el mundo, que abarcan Europa, Asia, América y Australia (Lithodomos, 2021).

5) Metodología

Este trabajo de tesis se realiza con un enfoque mixto de investigación, se utilizan los métodos cuantitativo y cualitativo de forma conjunta, del método cuantitativo se toman modelos estándar para evaluar la usabilidad y la aceptación tecnológica y del método cualitativo: la observación, el análisis documental, el trabajo de campo y las entrevistas.

Por una parte el método cuantitativo es objetivo y gira en torno a números y datos lógicos, consiste en medir conjuntos de variables o cantidades y su relación entre sí, aporta información obtenida mediante la utilización de modelos estándar, formularios y encuestas. Por otra parte el método cualitativo es subjetivo y trata de comprender las cualidades de un ámbito específico de indagación, aporta información obtenida mediante entrevistas, análisis de material escrito y principalmente la observación de los participantes para entender o explicar un comportamiento (Visocky, 2018).

Los métodos de investigación mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta. “La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la Investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales” (Hernández y Mendoza, 2008).

La metodología utilizada en este trabajo de tesis consta de dos partes:

- La primera recoge un estudio de viabilidad realizado como aproximación al caso de estudio, en donde se hizo uso de las tecnologías involucradas en esta investigación y además sirvió para diseñar y poner a prueba los instrumentos de recolección de datos.
- La segunda parte es la aplicación de la teoría expuesta y los resultados del estudio de viabilidad al caso de estudio, con el fin de diseñar y obtener el producto interpretativo que consiste en una aplicación de RM y un visor, además se utiliza como método de apoyo el diseño de la experiencia de usuario UXD.

Los modelos descritos en el capítulo tres de esta tesis, comparten similitudes en las etapas del diseño de productos, comienzan por analizar los problemas y necesidades de los usuarios, para luego pasar a una fase de diseño y prototipado, a continuación, se realiza la experimentación, en esta etapa se analiza la interacción entre los usuarios y los prototipos, por último, se plantea una fase de evaluación o validación de los resultados, los cuales se incorporan al proceso iterativo. Tomando en cuenta estos antecedentes, y para este trabajo de investigación se propone un modelo que resume los expuestos en el capítulo tres y en correspondencia con el método científico, el cual está compuesto de tres partes que se suceden de forma secuencial e iterativa:

- **Conceptualización:** la primera comienza por conocer el contexto y los problemas de los usuarios, así como empatizar con ellos, en esta etapa del proceso se plantean los objetivos e hipótesis para la solución.
- **Experimentación:** la segunda se enfoca en el diseño de las soluciones y la experimentación con prototipos, tiene como finalidad analizar la interacción entre los usuarios y los productos en el contexto de uso.
- **Evaluación:** La tercera se relaciona con la evaluación de los resultados de la experimentación, una vez analizados los datos obtenidos se repite el proceso hasta encontrar la solución óptima para los usuarios, proporcionando de esta manera un modelo incremental de innovación continua (Figura 5.1).

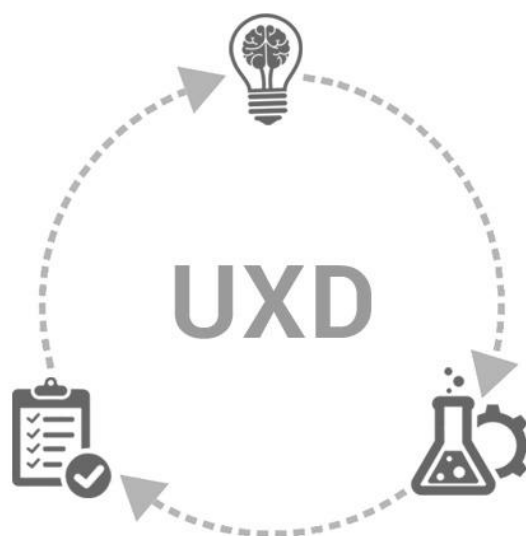


Figura 5.1. Proceso iterativo del diseño de la UX, fuente: elaboración propia.

A partir de la experiencia del autor de esta tesis, como profesor de la asignatura de Historia de la Arquitectura en la Universidad Tecnológica Indoamérica en Ecuador y luego de realizar varias giras de observación y visitas de campo conjuntamente con los estudiantes a los siguientes sitios arqueológicos: Pumapungo (Azúay – Ecuador). Ingapirca (Cañar – Ecuador). Cochasquí (Pichincha – Ecuador), se pudo determinar que los problemas que afectan frecuentemente a los visitantes de sitios arqueológicos son:

- Los visitantes en general no interpretan de una manera adecuada como estaban construidas las edificaciones y como era la vida cotidiana en el pasado.
- Los usuarios no encuentran entretenida la información disponible en los sitios arqueológicos.

En base a esta problemática se plantea la siguiente hipótesis:

El uso de un sistema de RM mejora significativamente la experiencia de los visitantes de sitios arqueológicos y facilita su interpretación, aportando en consecuencia a la puesta en valor del patrimonio.

Como objetivo general se plantea el siguiente:

- Poner en valor el patrimonio arqueológico mediante el uso de un sistema de RM.

Y como objetivos específicos los siguientes:

- Mejorar la experiencia de los visitantes de los sitios arqueológicos, mediante el uso de tecnologías de RM.
- Facilitar a los visitantes de sitios arqueológicos el entendimiento de cómo estaban construidas las edificaciones y de cómo era la vida cotidiana en esos lugares.
- Plantear una metodología para el diseño y evaluación de la experiencia de usuario en museos al aire libre.
- Potenciar el turismo cultural mejorando la interpretación en sitios arqueológicos.
- Democratizar el acceso a la información de los sitios arqueológicos mediante las tecnologías de RM.

5.2) Estudio de viabilidad

Para hacer una primera aproximación al tema de estudio se aprovechó un taller que se realizó en el sitio arqueológico de Ampurias, ubicado sobre el golfo de Rosas en Girona, y que es uno de los yacimientos arqueológicos más importantes de España. Este evento fue organizado por la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), y se realizó en el mes de abril de 2018. Estuvo a cargo de expertos arqueólogos, ingenieros y arquitectos, entre ellos Lluís Gimenez e Isidro Navarro, organizadores del taller, y en el cual se impartieron explicaciones sobre el uso de las tecnologías para la puesta en valor de sitios arqueológicos.

En este taller se desarrolló un prototipo de RV compuesto de dos partes, la primera parte consistió en una imagen esférica de 360°, que fue visualizada con la aplicación TurnMe Panorama (Spoutnik, 2020) instalada en un teléfono móvil con sistema operativo Android, utilizando unas gafas de RV tipo Cardboard.

Para conseguir la imagen, primero se obtuvo un modelo 3D de la ruinas del sitio, utilizando fotogrametría, se tomaron una serie de fotografías con una cámara GoPro montada en un Dron, las que luego se procesaron con una versión de prueba del programa AgisoftPhotoScan (Agisoft, 2018) el modelo obtenido se fusionó con el modelo 3D de la edificación previamente modelada en Sketchup (2018), así mismo utilizando una versión de prueba del programa Twinmotion (2018), el cual sirve para hacer representaciones gráficas 3D (Figura 5.2), luego de hacer el montaje de los dos modelos 3D se procedió a exportar la imagen esférica de 360° (Figura 5.3).



Figura 5.2. izquierda: el dron utilizado y el ordenador procesando las fotografías, derecha: montaje del modelo fotogramétrico y el modelo 3D de la edificación (ágora y estoa), fuente: elaboración propia.



Figura 5.3. Imagen equirectangular esférica 360°, fuente: elaboración propia.

La segunda parte del prototipo consiste en el propio modelo 3D creado con Twinmotion y que sirvió para explorar de forma virtual la edificación y el entorno en primera persona, utilizando unas gafas de HTC VIVE (Figura 5.4).



Figura 5.4. Experiencia virtual con gafas de RV, fuente: labs4Reality.

Una vez realizada la interacción con el sistema, se procedió a encuestar a los asistentes al taller, que en la mayoría eran estudiantes universitarios y que conformaron una muestra de 21 usuarios, estos aunque se pueden considerar cautivos (Morales et al., 2009) también corresponden a la categoría de usuarios especialistas (Pastor, 2003).

Para la recolección de los datos se diseñó una encuesta compuesta de dos partes. La primera está formada por la Escala de Usabilidad para Sistemas, conocido por sus siglas en inglés como (SUS), que es una herramienta metodológica que sirve para medir la usabilidad (Figura 5.5) y que consiste en un listado de 10 ítems que se evalúan con una escala Likert de cinco opciones de respuesta (Brooke, 1996).

Instrucciones: Para cada uno de los siguientes heurísticos, marca con una cruz aquella opción que describe mejor tu reacción al producto

		Muy en desacuerdo				Totamente de acuerdo
1.	Creo que me gustaría utilizar este producto frecuentemente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Encuentro este producto innecesariamente complejo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Pensaba que el producto era fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Creo que necesitaría soporte técnico para hacer uso de este producto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Encuentro que las diversas funciones del producto estaban bastante bien integradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	He encontrado demasiadas inconsistencias en este producto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Creo que la mayoría de la gente aprendería a hacer uso del producto rápidamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.	He encontrado el producto bastante incómodo de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.	Me he sentido muy seguro haciendo uso del producto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Necesitaría aprender un montón de cosas antes de poder manejar el producto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 5.5. Ejemplo del modelo de Sistema de Escala de Usabilidad, fuente: Broke, 1996.

SUS se ha convertido en un estándar de la industria, con referencias en más de 1300 artículos y publicaciones. Los beneficios señalados de usar SUS son: es una escala muy fácil de administrar a los participantes, se puede utilizar en muestras pequeñas con resultados fiables, es válido ya que puede diferenciar eficazmente entre sistemas utilizables e inutilizables (usability.gov, 2019).

En la segunda parte de la encuesta se utilizó el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) que sirve para medir la aceptación del sistema. El propósito del TAM es explicar las causas de la aceptación de la tecnología por parte de los usuarios. Propone que las percepciones de un individuo en la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida de un sistema de información, sean concluyentes para determinar su intención para usar dicho sistema y de esta manera garantizar su viabilidad (Cabero, et al., 2016).

El Modelo TAM es una adaptación de la Teoría de la Acción Razonada y uno de los modelos más utilizados para predecir la adopción y uso de Tecnologías de la Información por parte de los usuarios, se considera un modelo ampliamente aplicable, bien establecido y robusto (Mazmela et al., 2018).

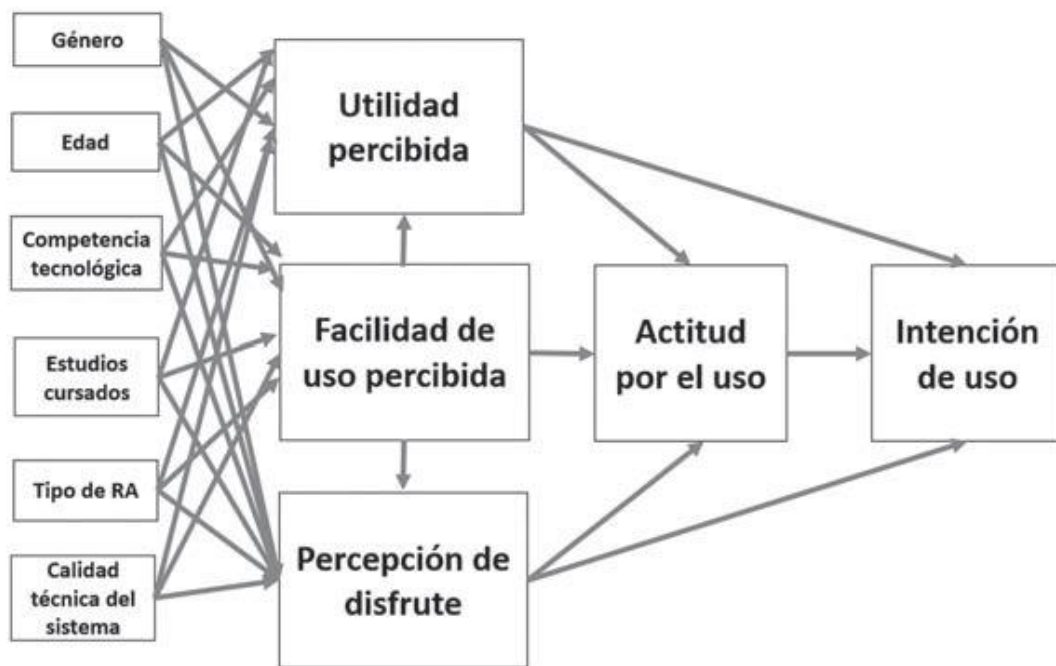


Figura 5.6. Modelo TAM modificado a partir del original, fuente: Cabero, et al 2016.

A partir de la formulación original del modelo TAM (Davis, 1989), éste se ha ido modificando en los últimos años y adaptando a las necesidades de los investigadores. Para este estudio se tomó como base el modelo propuesto por Cabero y que incorpora la percepción del disfrute (Figura 5.6). Los ítems de la encuesta fueron hechos en base a un estudio previo hecho con la herramienta el “Lienzo de la Propuesta de Valor” (Osterwalder y Pigneur, 2014) (Anexo A). Los formularios utilizados para las encuestas se pueden consultar en el (Anexo B).

Luego de procesar las encuestas se obtuvieron los siguientes resultados:

De la aplicación del método SUS se obtuvo un valor indicador de 77,28 puntos de un total de 100 que tiene como máximo esta escala, este valor no se expresa en porcentaje y refleja un grado bastante aceptable de usabilidad. En lo que se refiere al método TAM se obtuvieron buenos resultados, sobre todo el correspondiente a la percepción del disfrute del sistema, lo que refleja que el uso del sistema fue una buena experiencia para los usuarios (Figura 5.7).

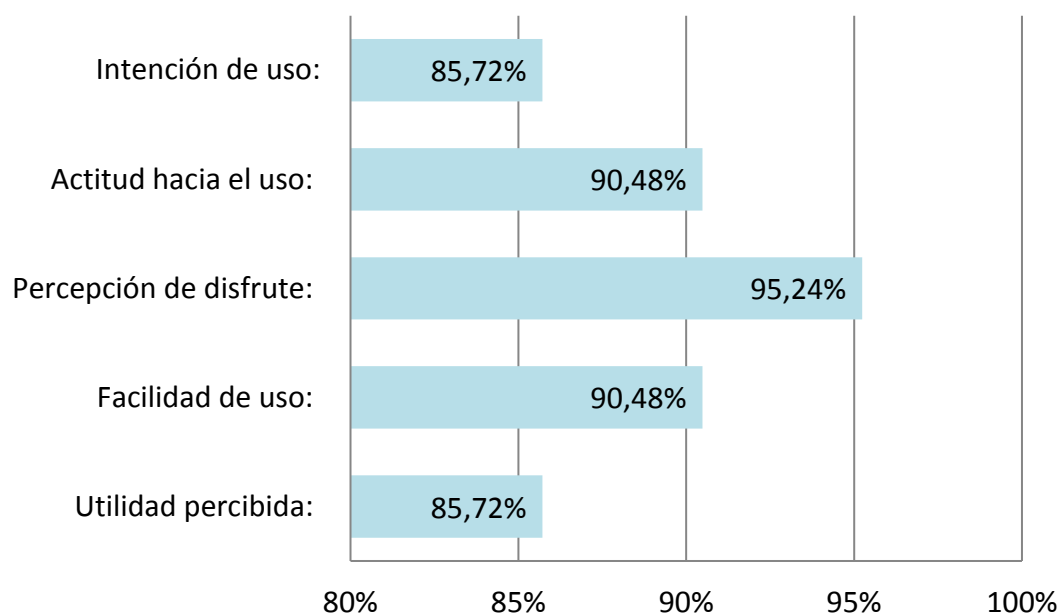


Figura 5.7. Resultados de la aplicación del modelo TAM, fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos utilizando los dos métodos SUS y TAM, se puede concluir que el sistema tiene un buen grado de usabilidad, un porcentaje bastante alto de percepción de disfrute y una buena aceptación tecnológica, por esta razón se puede concluir que las tecnologías empleadas en este estudio de viabilidad son un buen recurso para facilitar la interpretación de los sitios arqueológicos de una manera entretenida.

Este estudio sirvió de base para escribir un artículo de investigación, que fue publicado en la Biblioteca Digital de la ACM (Association for Computing Machinery) con el ISBN 978-1-4503-6491-1/18/09, y presentado en el Congreso Interacción 2018, que se realizó del 12-14 de septiembre en Palma de Mallorca – España.

5.3) Caso de estudio

El Parque Arqueológico de Cochasquí (PAC) está ubicado en el norte de la sierra de Ecuador en la provincia de Pichincha, a 3100 m sobre el nivel del mar, en la Latitud Norte de 0° 3' 35", una longitud geográfica de 78° 18' 23" (Figura 5.8). Cuenta con 15 pirámides truncas 9 de ellas con rampas de acceso, 21 montículos funerarios, un museo de sitio, 83,9 hectáreas de área arqueológica preservada y conserva una serie de estudios históricos, arqueológicos, antropológicos, etnográficos y arquitectónicos, que representan la importancia de la cultura Caranqui. Una desarrollada organización social, tecnológica y científica, pre-inca, que habitó una vasta región desde la costa hasta la amazonía y desde el norte de Ecuador, hasta la región sur de Colombia desde el año 950 a.C. al 1550 d.C. (Ministerio de Turismo del Ecuador, 2021).

“El misterio sobre la funcionalidad que envuelve a las pirámides, llevó a varios investigadores a lanzar varias hipótesis a lo largo del siglo pasado como Max Uhle (1933), Udo Oberem (1963) y Valentín Yurevich (1984), el cual establece un posible significado astronómico al sitio de Cochasquí, pudiendo haber tenido la función de un observatorio astronómico. El investigador Luciano Andrade Marín, años atrás coincide con Yurevich y ambos atribuyen a los antiguos aborígenes conocimientos astronómicos” (Carrascosa y Medina, 2010).



Figura 5.8. Foto del Parque Arqueológico Cochasquí, fuente: Walker y Willis (2018).

En la siguiente imagen (Figura 5.9) se muestra el mapa del sitio con las curvas de nivel y la ubicación de las pirámides, las cuales en principio fueron identificadas mediante letras mayúsculas de la A hasta la P, y los montículos funerarios de planta circular con letras minúsculas de la a hasta la i, posteriormente se cambió la nomenclatura de letras por números. Durante las excavaciones se encontraron vestigios de una zona habitada cerca de la base de la pirámide N.º 3.

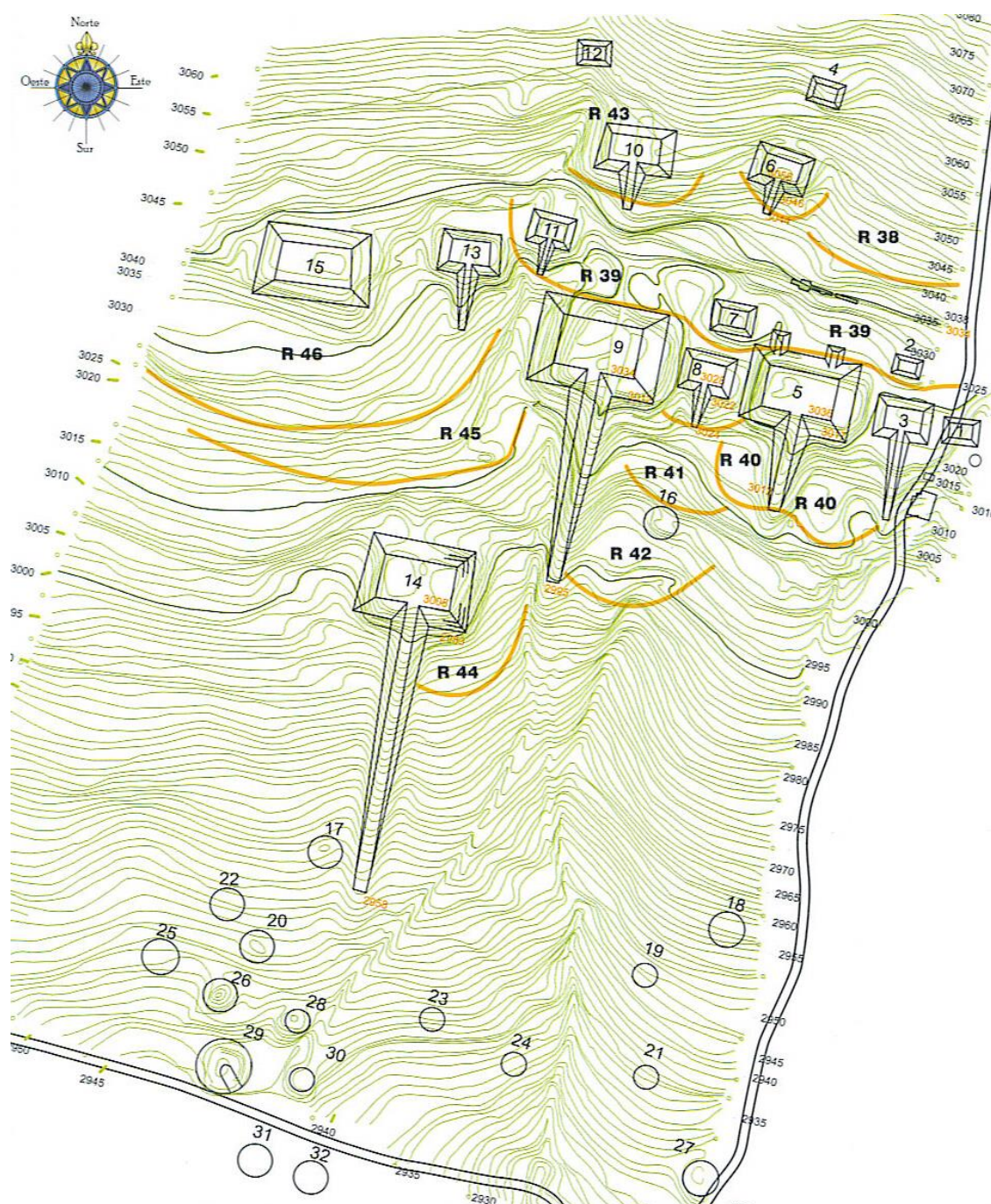


Figura 5.9. Plano topográfico de Cochasquí, fuente: Lenin Ortiz (2009).

A continuación se muestran algunas fotos correspondientes a las viviendas y objetos encontrados en el sitio arqueológico durante las excavaciones, incluyendo una osamenta cuyo hallazgo se realizó en uno de los montículos funerarios (Figura 5.10).

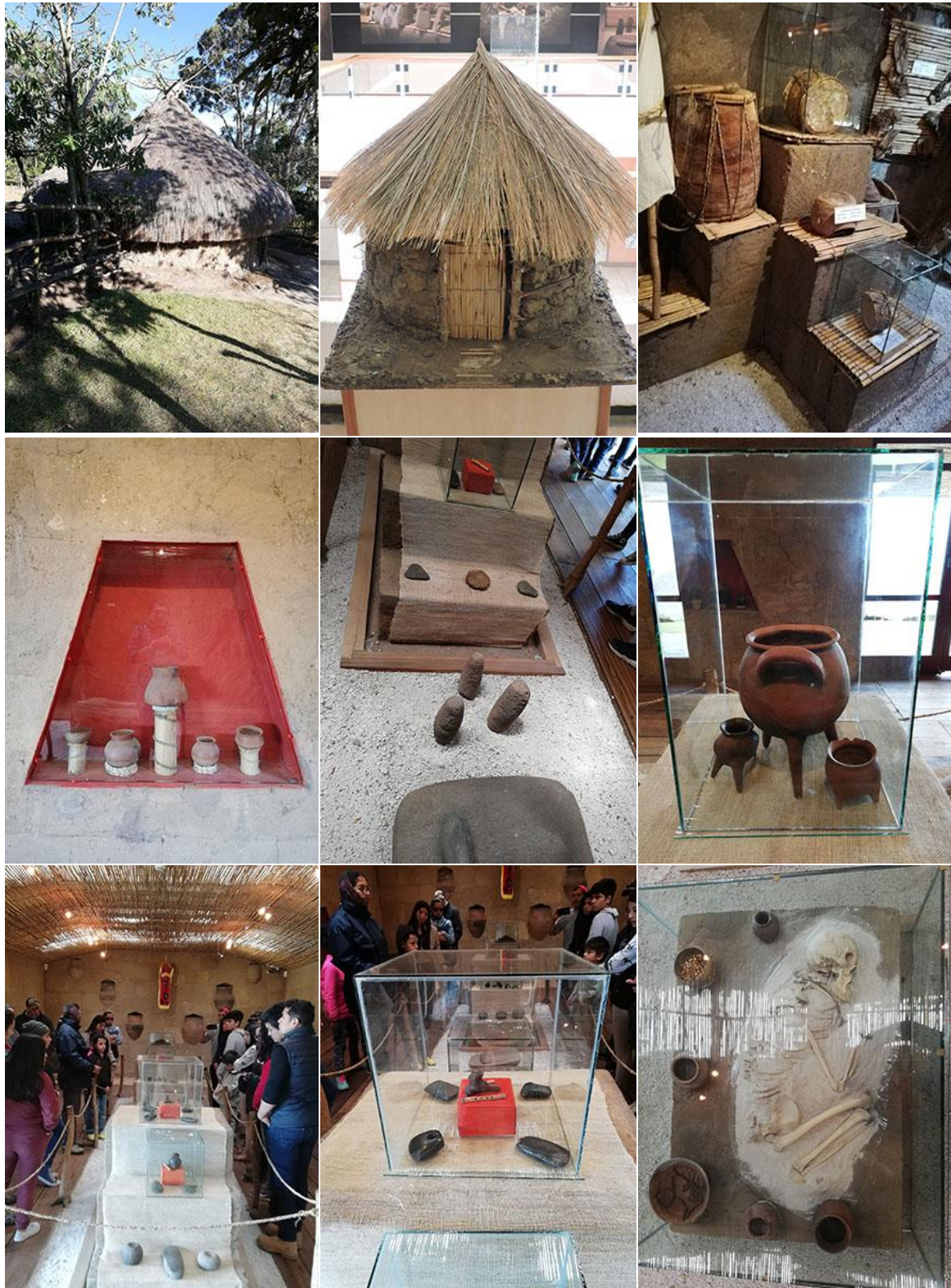


Figura 5.10. Fotos de una vivienda y objetos encontrados en Cochasquí, fuente: elaboración propia.

Entre los hallazgos más importantes hechos por Uhle y Oberem durante las excavaciones se encuentran dos plataformas circulares de barro cocido encontradas en la parte superior de la pirámide N.º 13 (Figura 5.11), las cuales, según sus hipótesis, formarían el suelo de supuestas viviendas y los canales y conos encontrados en ese lugar servirán como fogones para cocer los alimentos, posteriormente en el año 1989 Wolfgang Wurster, encargado de la excavación de las pirámides realiza en base a esas hipótesis una reconstrucción del sitio (Figura 5.12).

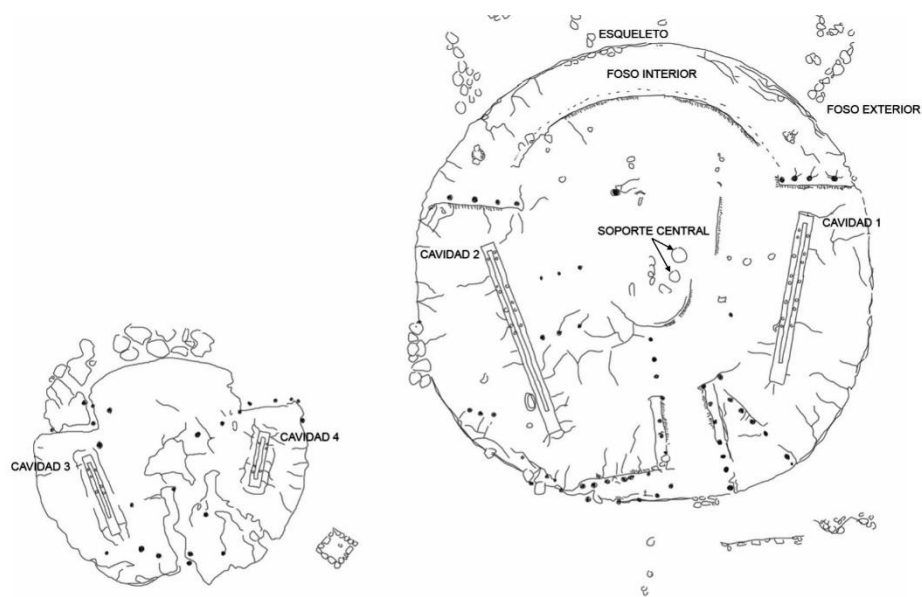


Figura 5.11. Representación de las plataformas de barro cocido, fuente: Medina (2011, p.21).

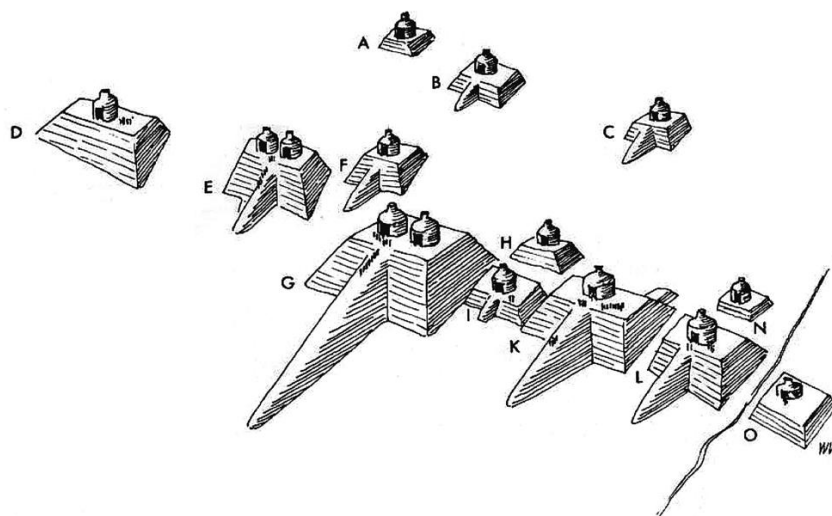


Figura 5.12. Reconstrucción hipotética de Cochasquí, fuente: Ugalde (2015, p.44).

Por otra parte los antes citados Andrade y Yurevich sostienen que las plataformas y los elementos encontrados en ellas, tienen un uso astronómico para observar el movimiento del sol y la luna, de esta manera podían conocer los solsticios y equinoccios y determinar las fechas de siembra y cosecha de sus cultivos (Figura 5.13).

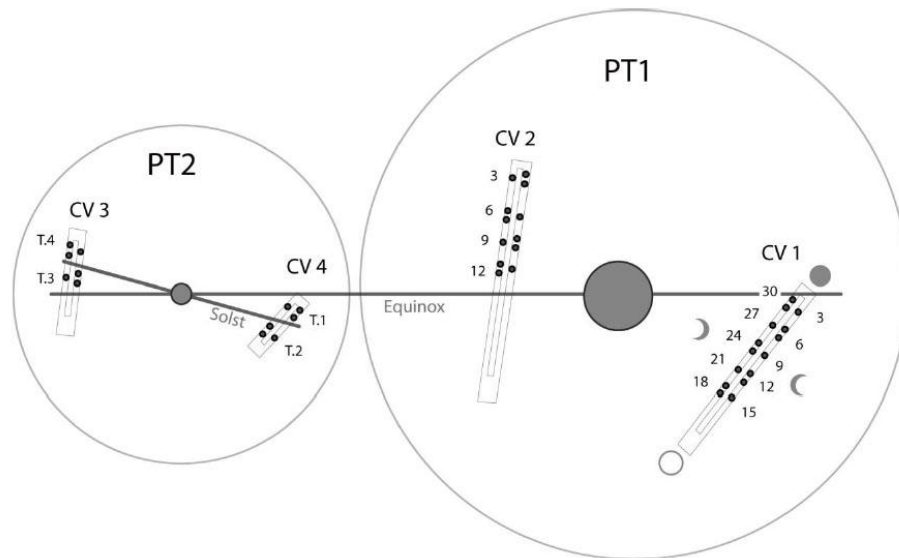


Figura 5.13. El sistema calendárico ritual de las pirámides de Cochasquí, fuente: Holguín (2009).

Yurevich sostiene que se los Caranquis usaron la arqueo-astronomía para construir las pirámides, indica que es más fácil observar las salidas de los astros, con el uso de una línea plana de un horizonte artificial, que en este caso fue formada por la parte superior de la misma pirámide, así fue posible observar la salida de la estrella Benetnash o Alkaid, que está en el extremo de la cola de la constelación Osa Mayor (Figura 5.14) (PAC, 2012).



Figura 5.14. Supuesto uso astronómico de las pirámides según Yurevich, fuente: PAC (2012).

Otro hallazgo importante es el encontrado en la pirámide N.º 9, que es la más grande, alcanza los 30m de altura y tiene una rampa de 200m de largo, en la actualidad está atravesada por un enorme corte hecho por los dueños de una antigua hacienda en 1912 y que fue aprovechado durante las excavaciones arqueológicas de Uhle en 1933 y arqueólogos de la Universidad de Bonn en 1963 (Figura 5.15), en esta pirámide se encontraron cerca de 600 cráneos humanos enterrados juntos, cuyo origen pueden ser las bajas del ejército Inca durante los 15 años que estuvieron en contienda (PAC, 2012).



Figura 5.15. Cráneos encontrados en la pirámide N.º 9 por Max Uhle, fuente: PAC (2012).

Además de las pirámides están los montículos funerarios o tolas, donde probablemente se enterraba a la élite de la comunidad, estos constan de un pozo funerario y varias capas de tierra y arena superpuestas que lo cubren, tienen planta circular y forma de media esfera. El pozo, ubicado en el centro del montículo tenía una profundidad de más de dos metros por debajo de la superficie de aquel entonces (ETI, 2012).

Según Ugalde (2015) no se deberían efectuar más excavaciones en las pirámides hasta que se haya encontrado un método definitivo y probado para la conservación de la cangahua (material de las piedras usadas en su construcción). Tanto las investigaciones de Uhle como las de Oberem y sus colegas, se han ocupado de las pirámides y gracias a ellas, se tiene una idea bastante clara acerca de las técnicas y materiales de construcción, así como de las etapas constructivas de las pirámides, también se cuenta con buenos elementos para determinar su función.

5.4) Reconstrucción virtual del sitio

En la actualidad la hipótesis planteada por Luciano Andrade Marín y Valentín Yurevich de que las pirámides tuvieron un uso astronómico es la más aceptada, ya que está comprobado el funcionamiento de los calendarios solar y lunar y por esta razón no pudieron estar cubiertas las plataformas por ninguna edificación, también tenían un uso ritual ya que se celebraban festividades durante los solsticios y los equinoccios.

Para la reconstrucción virtual del sitio se tomó como referencia el plano topográfico de curvas de nivel, fotografías aéreas e información obtenida mediante Google Earth (Google, 2018) (Figura. 5.16), estos datos junto con las dimensiones de las pirámides y de los bloques de piedra que las conforman, facilitaron la reconstrucción virtual del sitio. No se realizó un levantamiento fotogramétrico, debido a que las pirámides están enterradas bajo una gruesa capa de tierra como consecuencia del paso del tiempo y la acción del hombre, tomando en cuenta además que a principios del siglo pasado fueron tierras de cultivo y lo que se pretende es mostrar las pirámides descubiertas.



Figura 5.16. Izquierda: plano del sitio realizado por Oberem, derecha: montaje usando una fotografía aérea, el anterior plano y Google Earth, fuente: elaboración propia.

Para obtener el modelo virtual se procedió a generar el terreno directamente con el software de modelado 3D en base a las curvas de nivel, para luego ubicar las pirámides reconstruidas usando el mapa y las fotografías aéreas.

Para determinar la forma de las pirámides se usó como referencia una fotografía del sitio de las excavaciones hechas en la pirámide N.º 13 (Figura. 5.17), actualmente visibles al público durante el recorrido, donde se puede apreciar el sistema constructivo de las mismas, que consiste en hileras de bloques de cangahua tallada (toba volcánica) alternadas con plataformas de chocoto apisonado (barro mezclado con paja).

Este sistema constructivo es antisísmico, los bloques de cangahua hacen de refuerzo a manera de muros de contención que rodean el cuerpo de la pirámide cuyo interior es macizo, a excepción de la pirámide N.º 9 donde hay evidencia de una recámara interior en forma de corredor de unos 15m de ancho y 7m de altura registrada durante las excavaciones hechas por Max Uhle en 1933.



Figura 5.17. Fotografía de las gradas de la pirámide N.º 13, fuente: elaboración propia.

Como se puede observar cada grada está formada por una hilera de bloques de cangahua a la que se suma una plataforma de chocoto, el tamaño aproximado de los bloques es de 0.65 m de ancho por 0.75 m de alto, la altura de la plataforma de chocoto es también de aproximadamente 0.75 m de alto, si juntamos la altura de la hilera de bloques más la altura de la plataforma, cada grada mide aproximadamente 1,50 m de altura, la parte horizontal de la grada (Huella) mide también esa distancia. Las rampas no tenían gradas, están formadas por piedras y barro.

Para reconstruir virtualmente las pirámides se tomaron datos adicionales proporcionados por el PAC, que consisten en una tabla con las dimensiones básicas como el largo y ancho de sus bases en metros, sin embargo no se conocían las alturas, la única altura que se conocía es la de la pirámide N.º 9 que es de 30 m, por lo que estaría compuesta de 20 gradas de 1,5 m de alto. Tomando en cuenta la proporción que existe entre las diferentes bases de las pirámides en comparación con la de la N.º 9 se hizo un cálculo aproximado de la altura de las demás con gradas de 1,5 m (Tabla 5.1).

PIRAMIDE	BASE MAYOR	BASE MENOR	N.º GRADAS	ALTURA	RAMPA	R. POSTERIOR
1	38x30	23x15	6	9		
2	40x30	22x12	6	9		
3	80x63	52x35	8	12	72	
4	36x28	20x12	6	9		
5	121x90	71x35	16	24	114	35
6	62x54	34x25	8	12	35	
7	46x43	25x12	6	9		
8	60x44	38x22	8	12	30	
9	152x138	77x58	20	30	187	
10	74x60	42x28	10	15	45	
11	67x54	35x23	6	9	30	
12	43x34	20x13	6	9		
13	84x65	50x30	8	12	52	
14	116x97	70x50	16	24	278	
15	98x73	61x36	14	22		

Tabla 5.1. Tabla de dimensiones de las pirámides, fuente: elaboración propia.

Un aporte de esta tesis al sitio arqueológico es la tabla con las alturas de las pirámides y la cantidad de gradas que las componen, algo que no se ha hecho hasta el momento, las reconstrucciones realizadas (ilustraciones y maquetas) tienen imprecisiones en su representación ya que presentan escalones demasiado altos en relación a la altura de las pirámides.

5.5) Trabajo de campo y prototipado

Antes de empezar con el diseño del prototipo de la aplicación de RM se realizaron varias visitas al sitio arqueológico con el fin de observar más de cerca a los visitantes y empatizar con ellos, además de conocer con mayor detalle el funcionamiento del sitio y de esta manera poder diseñar un sistema adecuado al contexto y a las necesidades de los visitantes.

Las visitas se realizaron siguiendo el recorrido que se muestra en la (Tabla 5.2), siempre se realiza por el mismo sendero y con la compañía de un guía, no se pueden realizar visitas de manera independiente, lo que condiciona el diseño del sistema, hay ocho puntos de parada durante el recorrido en donde el guía da las explicaciones.

En la primera visita se utilizó la observación participante natural (Hernández y Mendoza, 2008, p.390), con el fin de analizar el comportamiento de los visitantes y empatizar con ellos, se realizó el recorrido de la visita de forma conjunta.

En la segunda visita se realizó el recorrido con un guía del parque, para tomar varias fotos panorámicas del lugar. Luego de la vista se realizó un primer prototipo de la reconstrucción de las pirámides consistente en una imagen equirectangular, tomando como centro el punto número tres del recorrido, el mismo que se sometió a consideración del director del parque (Figura. 5.18).



Figura 5.18. Primer prototipo ambientado en la actualidad, simula como se verían las pirámides si se les quitara la tierra y sin la pátina, fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra el recorrido y los puntos de parada que deben hacer los turistas durante la visita guiada.


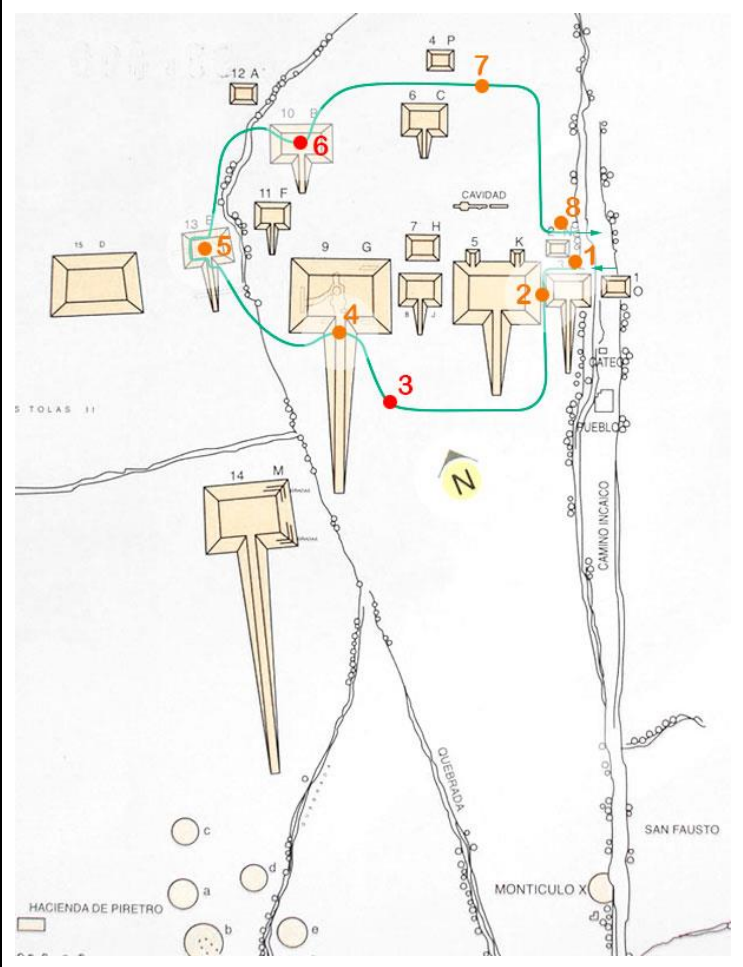








	1. Recepción, introducción a la historia del sitio.	
	2. Excavación para determinar la base de la pirámide N.º 5.	
	3. Maqueta explicativa del parque.	
	4. Paso por la rampa destruida de la pirámide N.º 9.	
	5. Calendario lunar y solar en la pirámide N.º 13.	
	6. Vista panorámica de 270 grados en la pirámide N.º 10.	
	7. Recreación de viviendas de los antiguos pobladores.	
	8. Museo cubierto con piezas arqueológicas.	
<p>Los puntos 3 y 6 muestran los lugares en donde se realizó la experimentación. La distancia del recorrido es de 1,5 Km, el tiempo de duración es de 2 Horas a una altura de 3100 msnm.</p>		
		
<p style="text-align: center;">Vista general del Parque</p>		

Tabla 5.2. Mapa con el recorrido de la visita guiada y los puntos de parada, fuente: elaboración propia.

Posteriormente se realizaron los cambios sugeridos, se cambió la vegetación por nogales, árboles típicos del lugar, se añadió la pátina o envejecimiento de la piedra, obteniendo un segundo prototipo compuesto de dos imágenes equirectangulares correspondientes a los puntos tres y seis del recorrido (Figuras 5.19 y 5.20).



Figura 5.19. Vista general de 360° desde el punto tres del recorrido, fuente: elaboración propia.



Figura 5.20. Vista desde la plataforma de la pirámide N.º 10, fuente: elaboración propia.

Estas imágenes se realizaron en 3dMax 2016 (Autodesk, 2018) y están renderizadas con Mental Ray, utilizando la herramienta “panorama exporter”, el montaje fotográfico con el fondo se realizó con Photoshop (Adobe, 2018). La cámara 3D está orientada en dirección norte sur, de esta manera cuando se mira hacia al norte o hacia el sur con las gafas, la visualización coincide con la ubicación de las pirámides en ese mismo lugar.

5.6) Diseño del instrumento de recolección de datos

El objetivo de esta experimentación es medir el grado de aceptación del sistema por parte de los usuarios y la utilidad de este recurso para facilitar la interpretación del sitio arqueológico, así como el nivel de disfrute percibido, indicadores necesarios para obtener una buena UX. Para recoger los datos se utilizó el modelo (TAM) ya que además de medir la aceptación tecnológica mide la usabilidad y la UX del sistema (Tabla 5.3). Se elaboró una encuesta similar a la utilizada en el Workshop de Ampurias en el año 2018, pero esta vez más resumida, con la finalidad de recoger datos de manera rápida y con mayor comodidad para los visitantes, teniendo en cuenta que su aplicación se haría al aire libre y posiblemente en condiciones climáticas adversas.

Variables externas	Datos Básicos del Usuario (DB)	Género
		Edad
		Nivel de estudios cursados
	Competencia Tecnológica (CT)	Nivel de habilidad en el uso de aplicaciones móviles e internet.
	Calidad del sistema (CS)	Este sistema de visualización me ha parecido atractivo.
Componentes del modelo	Utilidad Percibida (UP)	El uso de este sistema me ayudo a entender mejor el sitio arqueológico.
	Facilidad de Uso (FU)	Este sistema de visualización me ha resultado difícil de usar. (inversa)
	Disfrute Percibido (DP)	Disfrute visualizando como era el sitio arqueológico en el pasado.
	Actitud hacia el Uso (AU)	El uso de este sistema me ha parecido aburrido. (inversa)
	Intención de Uso (IU)	Me gustaría usar este sistema para aprender más sobre arqueología.
Relación conceptual del modelo TAM con la USABILIDAD		
Métricas básicas para evaluar la usabilidad		Componentes del modelo TAM
Eficacia: nivel de precisión y completitud con la que los usuarios alcanzan los objetivos especificados.		Utilidad Percibida: grado de percepción de que la tecnología es útil para un fin específico.
Eficiencia: esfuerzo y tiempo empleado en la realización de las tareas hasta cumplir el objetivo.		Facilidad de Uso: nivel real del esfuerzo utilizado para completar tareas concretas.
Satisfacción: comodidad y actitudes positivas respecto al uso del producto.		Disfrute Percibido: grado de percepción de que el uso de la tecnología es agradable.

Tabla 5.3. Diseño del instrumento para el análisis del TAM, fuente: elaboración propia.

5.7) Experimentación y evaluación.

La experimentación se hizo en la tercera visita al sitio, el recorrido se realizó conjuntamente con los demás visitantes, una vez ubicados en el punto tres, y luego de la explicación del guía, se procedió a la visualización de las imágenes por parte de los turistas usando gafas de RV, de igual manera se realizó en la plataforma de la pirámide N.º 10 que corresponde al punto seis del recorrido (Figura 5.21), luego de la experiencia se realizó la respectiva encuesta (Anexo C).



Figura 5.21. Fotos de la experimentación y recogida de datos, fuente: elaboración propia.

La población para este caso de estudio corresponde al número de visitantes al sitio arqueológico (Anexo D). La experimentación se realizó con una muestra por conveniencia (Milton y Rodgers, 2013) que resultó de 50 visitantes de diferentes edades, de la observación de los mismos durante la experiencia y luego de analizar los datos recogidos (Figura 5.22), se puede concluir que el sistema tiene una muy buena aceptación lo que es un indicio de su viabilidad, los usuarios se sintieron sorprendidos y fascinados y se puede decir que fue un éxito, tomando en cuenta que solamente se visualizaron las imágenes equirectangulares. Además se pudo comprobar, como era de esperarse, que los usuarios más jóvenes poseen mayores competencias tecnológicas en el uso de internet y aplicaciones móviles, además durante la experimentación manifestaron que se debería añadir mayor interactividad.

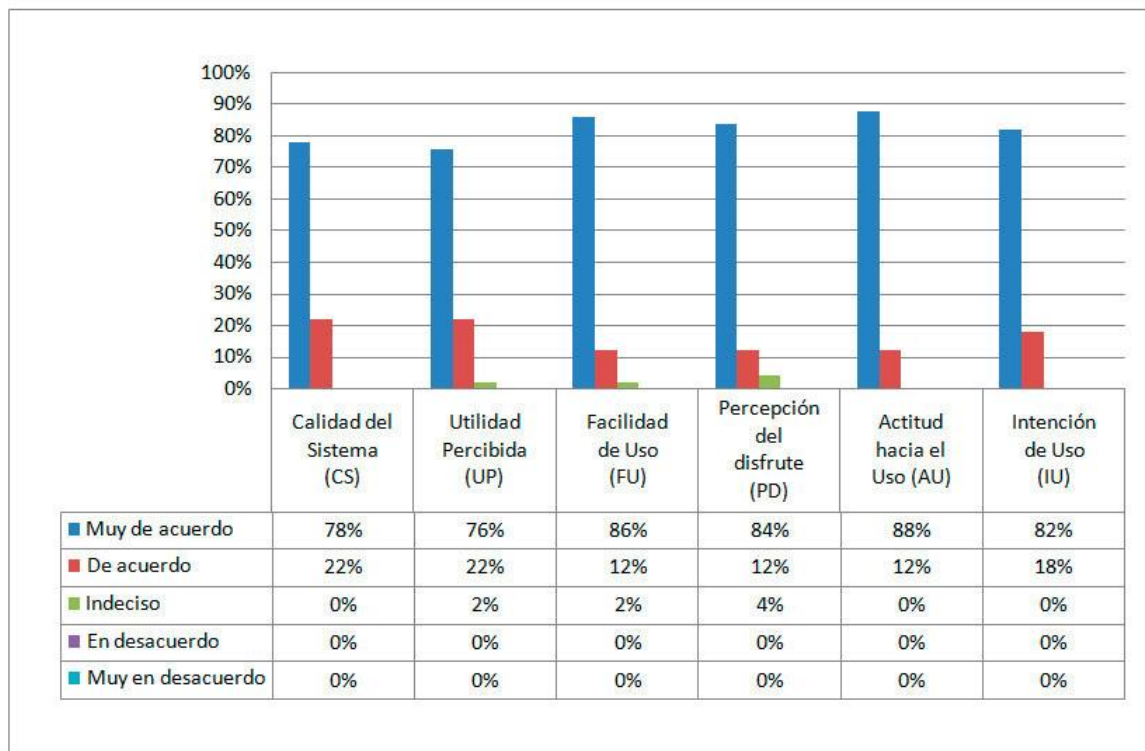


Figura 5.22. Resultados de las encuestas, fuente: elaboración propia.

Una observación importante a tener en cuenta es que algunos usuarios jóvenes preguntaron: ¿cómo se pusieron las pirámides en el lugar correcto?, pensaron que las pirámides estaban colocadas con RA, es decir creyeron que la fotografía que estaban visualizando en RV era el entorno real del parque, esto gracias a que las condiciones climatológicas en el momento de la experimentación coincidieron con las del día y hora de cuando se tomaron las fotografías para el montaje de la imagen equirectangular.

Algunos visitantes luego de la experiencia manifestaron: “esto es lo que hemos venido a ver”, se deduce que es porque esperaban encontrar las pirámides desenterradas, esta visualización de RV les permitió apreciar las pirámides al descubierto, cabe recalcar que algunos de estos mismos usuarios manifestaron tener experiencias como turistas en sitios arqueológicos como Chichén Itzá en México.

Como aplicación del sistema de RM al caso de estudio se plantea el desarrollo de un producto interpretativo con el nombre de “Cochasquí Virtual” que consiste en una aplicación interactiva de RM y un visor, el producto serviría de apoyo a las visitas guiadas, que es una de las condicionantes del funcionamiento del parque. El enfoque para el diseño es evocar un viaje en el tiempo al mostrar cómo era el sitio arqueológico en el pasado, se deben incorporar escenas de la vida cotidiana de los antiguos pobladores del lugar, para hacer más atractiva la experiencia y facilitar aún más el entendimiento y la comprensión del sitio arqueológico.

Como parte de la metodología también se realizaron varias entrevistas no estructuradas (Bernal, 2013 p.226) a los directores y guías del PAC, expertos en la historia del sitio, de estas entrevistas se obtuvieron datos adicionales acerca de las costumbres de los Caranquis y detalles como la forma y los colores de su vestimenta (Figura 5.22).



Figura 5.23. Entrevista a los actores del PAC, fuente: elaboración propia.

6) Resultados

Los resultados obtenidos luego de las etapas de experimentación y evaluación se han incorporado nuevamente al proceso iterativo de diseño, mejorando la solución de la problemática en cada ciclo de iteración. Es un proceso de co-creación juntamente con los visitantes y los actores del sitio arqueológico, ya que las soluciones planteadas se basan en sus opiniones y experiencias.

Como resultado de las etapas anteriores, se obtuvo un producto interpretativo, que consiste en una aplicación interactiva de RM y un visor. En esta etapa se incorporó además de las escenas de RV la posibilidad de visualizar contenido mediante el uso de la RA en algunos puntos del recorrido, así como dentro del museo, en concordancia con el concepto de RM expuesto en la introducción de esta tesis, que en resumen es el uso conjunto de la RA y la RV en una misma aplicación, para su creación se utilizó el software para desarrollo de videojuegos Unity, con el objetivo de añadir mayor interactividad y trabajar con la RA y la RV de forma conjunta (Unity, 2019).

De igual manera que en el prototipo anterior es posible visualizar las dos escenas en el punto tres y seis del recorrido, en el futuro se pueden incorporar más escenas a la aplicación, pero a su vez es necesario modificar la vista guiada para dar más tiempo a los turistas en otros puntos del recorrido para que puedan visualizarlas con comodidad.

Para el producto se incorporaron a la reconstrucción virtual de las pirámides personajes 3D animados: llamas y personas, con estos personajes se han recreado las escenas de la vida cotidiana, las llamas sirven de nexos entre el presente y el pasado, esto sucede debido a que en la actualidad los turistas pueden interactuar con estos animales durante el recorrido, los cuales pastoreaban esos mismos lugares en el pasado y están presentes en las escenas de RV.

La aplicación está pensada para que los usuarios la descarguen en su teléfono y puedan ver las imágenes usando un visor proporcionado por el PAC, por esta razón se han optimizado los gráficos para que la aplicación se ejecute con mayor rapidez, como resultado las escenas no son completamente realistas.

Para la recreación de los personajes se tomaron como referencia los dibujos hechos por Felipe Guamán Poma de Ayala entre el año 1567 y 1615 (Figura 6.1), un cronista de indias que retrato muchas de las escenas cotidianas de los antiguos pobladores de los andes, principalmente de los incas (Guamán, 1615).



Figura 6.1. Dibujos de los antiguos pobladores de los andes, fuente: Guamán (1615).

Tomando en cuenta que los Caranquis habitaron Cochashquí entre el año 950 a.C. al 1550 d.C. la apariencia de los mismos sería similar a la de los mencionados dibujos.

Como se puede observar los personajes visten túnicas y llevan en la cabeza una cinta para atar el pelo, los miembros de las clases altas vestirían sus túnicas con remates decorados en las faldas, las mangas y el cuello, algo que se puede observar en el primer dibujo de la imagen anterior, que ilustra una reunión de jefes de las diversas comunidades que formaban parte del imperio inca, al cual Cochasquí perteneció en su último periodo, también en el dibujo del centro se puede observar la forma y uso que tenían las herramientas para trabajar la tierra, todos estos elementos se han incorporado en las escenas así como también algunos utensilios de cerámica que reposan en el museo del PAC (Figura 6.2).



Figura 6.2. Recreación de algunos de los personajes, fuente: elaboración propia.

La aplicación está compuesta de dos partes, la primera corresponde a las escenas de RV y la segunda a las de RA, como se ha comentado las escenas de RV son de momento las de los puntos tres y seis del recorrido.

ESCENA 1 RV: en el punto tres se aprovechó la existencia de un montículo funerario cercano para complementar la escena con una recreación de un entierro, los personajes tienen animación y cavan un pozo usando las herramientas de la figura 6.2, mientras que los de la vasija grande sirven “chicha” (tipo de cerveza tradicional andina), también se puede visualizar un pastor con un grupo de llamas (Figuras 6.3 y 6.4).



Figura 6.3. Capturas de pantalla de la escena 1 en Unity, fuente: elaboración propia.

Tres de los montículos excavados, tienen una estructura interna idéntica, presentaron un pozo con una cámara central, el primero contenía un enterramiento acompañado por siete cráneos humanos y ofrendas, el segundo sin restos humanos ni ofrendas, y el tercero una gran cantidad de ofrendas pero ningún resto óseo (Ugalde, 2015).

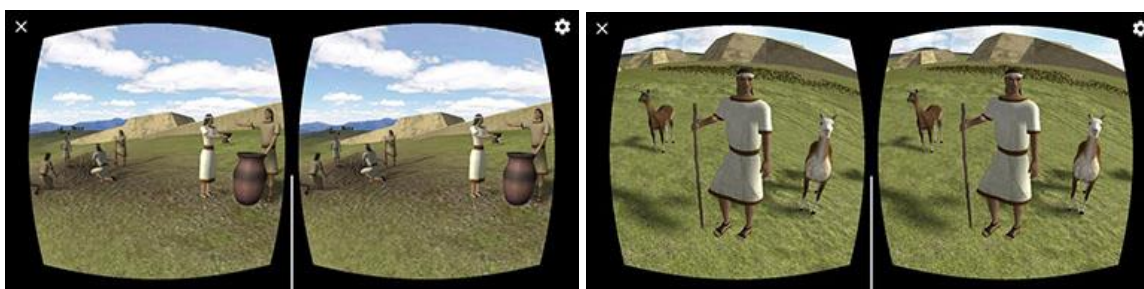


Figura 6.4. Capturas de pantalla de la escena 1 RV en el teléfono, fuente: elaboración propia.

ESCENA 2 RV: tiene lugar en la pirámide N.º 10, en el equinoccio de primavera, los Caranqui celebraban el inicio del nuevo año andino, la fiesta del fuego nuevo el “Mushuk Nina”, el momento en que el sol al medio día está justo sobre la línea equinoccial y no proyecta sombra. Se ha recreado haciendo las ofrendas a la princesa Quilago (Figuras 6.5 y 6.6), una matriarca que gobernó Cochasquí en aquellas épocas (ETI, 2012).



Figura 6.5. Capturas de pantalla de la escena 2 en Unity, fuente: elaboración propia.

Sobre esta pirámide la vista es amplia de alrededor de 270 grados, se pueden apreciar varios nevados y valles, es un sitio privilegiado ya que se puede dominar visualmente gran cantidad de terreno, lo que sirvió a los Caranquis para retrasar el avance del ejercito Inca durante 16 años antes de ser conquistados.

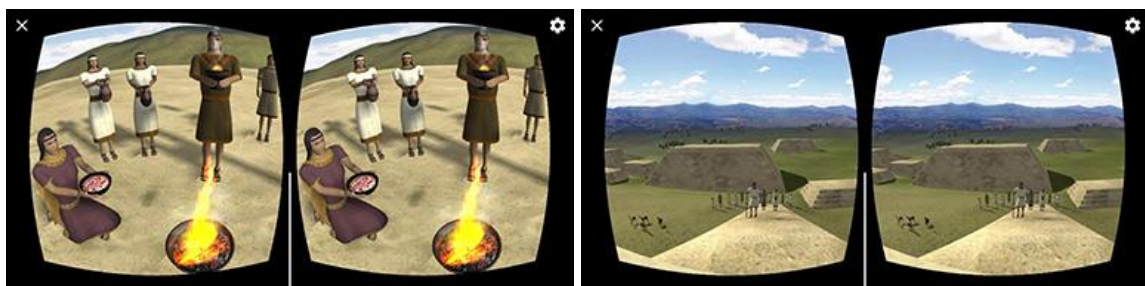


Figura 6.6. Capturas de pantalla de la escena 2 RV en el teléfono, fuente: elaboración propia.

ESCENA 1 RA: para las escenas de RA se utilizó el SDK de Vuforia como complemento en Unity (Vuforia, 2021), como se ha expuesto en el capítulo dos existen varias maneras de activar la RA, para esta aplicación se ha optado por utilizar marcadores de código QR (Figura 6.7) ya que son elementos interactivos reconocibles por la mayoría de usuarios. En el centro del marcador se encuentra una parte del logo del PAC, que representa una vasija de tres patas utilizada por los Caranquis para cocer los alimentos.



Figura 6.7. Código QR, creado con qrcode-monkey.com, 2021, fuente: elaboración propia.

El código QR podría ir impreso en las entradas al parque y tendría una doble función, primero para descargar la aplicación en el teléfono y una vez instalada poder visualizar escenas sencillas de RA usando el mismo código (Figura 6.8).



Figura 6.8. Escena de RA usando un marcador de código QR, fuente: elaboración propia.

ESCENA 2 RA: los marcadores estarían colocados en lugares de interés durante el recorrido, así como en el museo, con el objetivo de ampliar la información de estos lugares y también de los objetos encontrados. Como ejemplo se muestra una escena de RA que podría implementarse con facilidad en la pirámide N.º 9 (Figura 6.9).



Figura 6.9. Escena de RA en la pirámide N.º 9, fuente: elaboración propia.

El código QR estaría colocado en un lugar visible del recorrido, en este caso los visitantes deben atravesar de manera obligada la rampa de la pirámide, la cual se encuentra destruida y se considera un buen lugar para mostrar la escena de RA correspondiente al hallazgo de los cráneos hecho por Max Hule en 1933.

Cuando los visitantes escaneen el código con la cámara del teléfono, en la pantalla del mismo aparece la escena de RA de la figura anterior, si lo desean y el tiempo lo permite pueden entrar a un ambiente inmersivo de RV, interactuando con el botón de “VER MÁS”, al estilo del “Magic Book” expuesto en la introducción de esta tesis, para las escenas de RV es imprescindible el uso de gafas.

Se debe tomar en cuenta que la luz solar influye en la visualización de las escenas, en un día soleado casi no se pueden apreciar los contenidos de RA en la pantalla del teléfono, por lo que resulta útil el uso de gafas, sin embargo las de RV son estereoscópicas, por lo que las escenas de RA deben también tener esta característica (Vuforia, 2019), en este caso se pasaría de la RA a la RV activando el botón de la aplicación con los ojos.

Para identificar el proyecto “Cochasquí Virtual” se ha diseñado un logotipo que resulta de la fusión de una pirámide vista desde arriba con una brújula, se tomó como referencia la pirámide N.º 13 que está orientada en dirección norte sur, la brújula se interpreta como exploración aventura y viajes. Este símbolo además representa el centro del mundo ya que Cochasquí es el punto más alto por donde pasa la línea equinoccial y también se ha usado como icono de la aplicación en el teléfono.



Figura 6.10. Logotipo del proyecto Cochasquí Virtual, fuente: elaboración propia.

Una vez que el usuario instala y ejecuta la aplicación aparece la pantalla de inicio con el menú correspondiente y el logo del proyecto, la cámara de la escena gira automáticamente para que el usuario pueda observar una vista panorámica de 360°. De esta manera se puede hacer una idea general del sitio arqueológico (Figura 6.11).

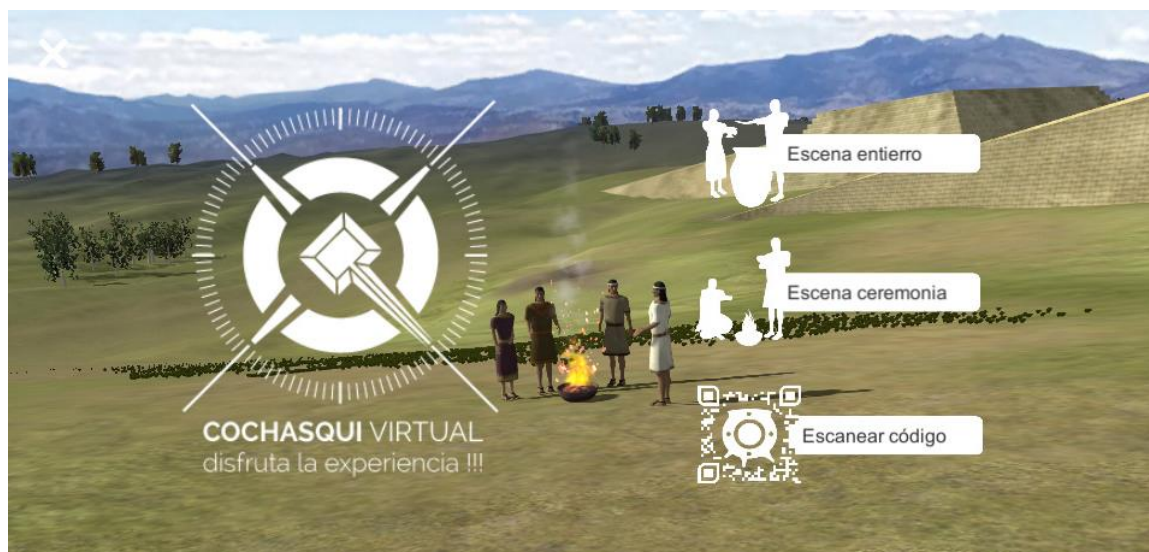


Figura 6.11. Pantalla de inicio de la aplicación, fuente: elaboración propia.

La interfaz de la aplicación tiene un menú compuesto de tres botones, dos de los cuales llevan a las escenas de RV que se han nombrado como “Escena entierro” y “Escena ceremonia” el tercer botón permite escanear los códigos QR que llevan a las escenas de RA, también está el botón de cerrar “X” que oculta la aplicación (Figura 6.12).

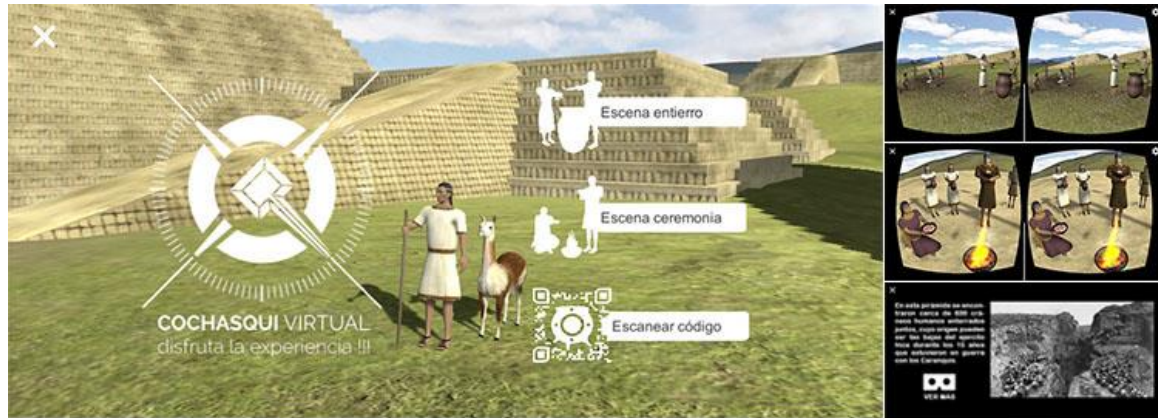


Figura 6.12. Esquema de funcionamiento de la aplicación, fuente: elaboración propia.

Para entender el funcionamiento de la aplicación es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) Los usuarios deben descargar e instalar la aplicación en su teléfono.
- 2) La aplicación se usará durante la visita guiada, hay dos escenas que se podrán visualizar en dos puntos específicos del recorrido usando gafas de RV.
- 3) Una vez visualizadas las escenas el usuario podrá sacar el teléfono de las gafas, al presionar el botón de cerrar la aplicación pasará a un segundo plano, esto es para que pueda disponer del teléfono para tomar fotos u otros usos.
- 4) Cada vez que el usuario quiera visualizar las escenas de RA o RV deberá presionar sobre la aplicación que está en segundo plano o sobre el icono mismo de la aplicación, de esta manera se vuelve siempre al menú principal.
- 5) Para visualizar las escenas se entregará al usuario unas gafas tipo cardboard.

En resumen la aplicación está hecha para que los usuarios la instalen en el teléfono, luego coloquen el teléfono en las gafas, visualicen las escenas de RV en los puntos indicados del recorrido y posteriormente puedan extraerlo para otros usos.

Para las escenas de RV, el PAC puede poner a disposición de los usuarios unas gafas a las que se las pueda introducir el teléfono, según lo expuesto en el capítulo dos, éstas se entregarían en calidad de préstamo y serían devueltas al final de la visita (Figura 6.13).



Figura 6.13. Gafas RV de tipo Cardboard, fuente: shinecon.com/vr-glasses

Para este trabajo se propone el diseño de unas gafas económicas que se pueden vender a los turistas, o estar incluidas en el precio de la entrada y servirían como recuerdo luego de la visita, aumentando el grado de satisfacción de acuerdo al estudio previo realizado y que se puede consultar en el Anexo A.

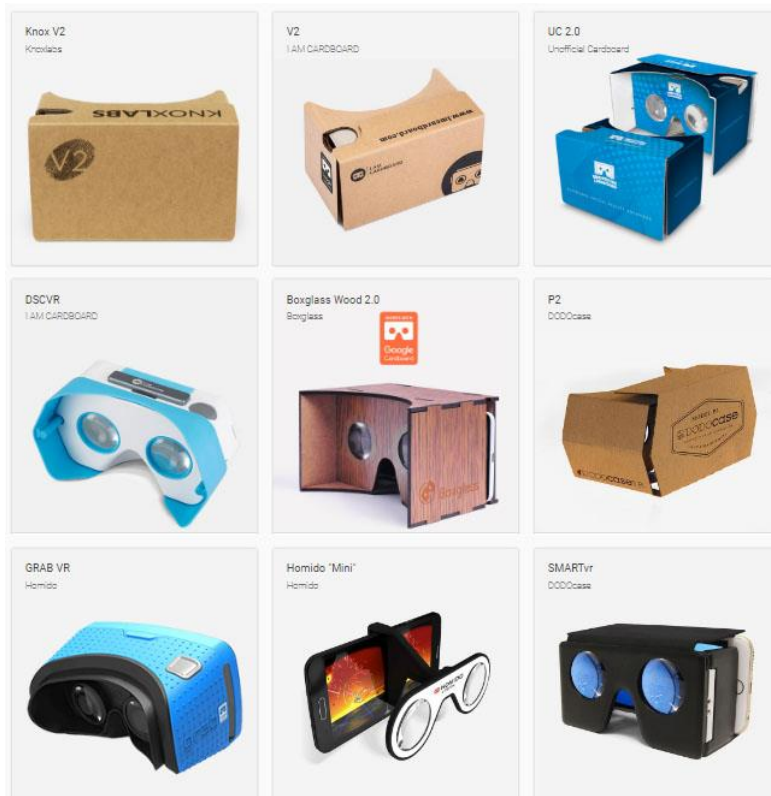


Figura 6.14. Modelos de gafas RV de tipo cardboard, fuente: arvr.google.com/cardboard

Como se puede apreciar en la figura anterior, hay muchos de modelos de gafas disponibles en el mercado, para el diseño propuesto en este trabajo se tomaron algunas de las características de estos modelos. Por una parte se ha buscado que las gafas sean lo más versátiles posible, se puedan entregar dobladas y ser armadas fácilmente, por otra parte se ha buscado que sean atractivas con apariencia piramidal y sirvan como recuerdo “souvenirs”.

Los factores más importantes a tomar en cuenta para una correcta visualización de las escenas son: la distancia focal, la distancia inter-pupilar y el tamaño de las lentes. En lo que respecta al sistema óptico se ha optado por tomar las características de la versión Cardboard 1.0 de las gafas de Google, que tienen una distancia focal de 45mm, la inter-pupilar de 63mm y las lentes un diámetro de 25mm (Figura 6.15). El objetivo fue lograr un tamaño de gafas de dimensiones reducidas. Las lentes se pueden conseguir con facilidad en el mercado y se pueden comprar al por mayor para que las gafas resulten más económicas.

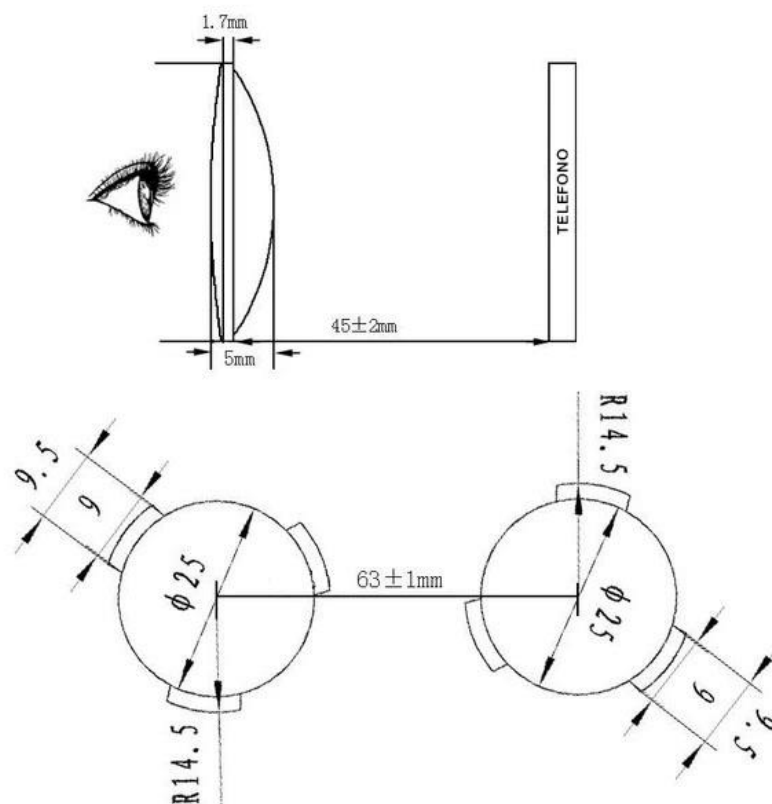


Figura 6.15. Medidas básicas para el diseño de las gafas, fuente: elaboración propia

Tomando en cuenta estas consideraciones se realizaron varios prototipos del visor hasta conseguir el tamaño ideal con una correcta funcionalidad (Figura 6.16).



Figura 6.16. Prototipos de las gafas, fuente: elaboración propia

Luego de realizar las pruebas correspondientes, se elaboró un prototipo de alta fidelidad, fabricado en cartón y recubierto con papel adhesivo que lleva impreso las gradas de las pirámides (Figura 6.17).



Figura 6.17. Gafas diseñadas de RV, fuente: elaboración propia

En la parte frontal de las gafas, se pueden imprimir diferentes escenas de la vida cotidiana del pasado, algo importante a tener en cuenta es que el tamaño de los teléfonos es variable, para el diseño se han tomado como referencia las dimensiones de la parte frontal de las gafas Cardboard de Google V2 para garantizar que quepan la mayor cantidad de modelos, la ranura frontal se ha ampliado para dar cabida a los diferentes tamaños de las cámaras (Figura 6.18).



Figura 6.18. Fotografía frontal del visor, fuente: elaboración propia

Un factor a tomar en cuenta es que las gafas no se pueden regular para que se adapten a las diferentes condiciones visuales y medidas antropométricas de los usuarios, tal como sucede en otro tipo de gafas con mayores prestaciones, se debe considerar que la visualización también depende de la calidad de las gafas, además no disponen de viseras alrededor por lo que la experiencia es un menos inmersiva.

La ventaja es que son una solución rápida “low cost” que más adelante se puede mejorar con el uso de mejores equipos, otra ventaja es que las gafas al ser de uso personal son más seguras para el usuario, por motivos de higiene derivados de la pandemia de COVID 19 (OMS, 2021) se aconseja no compartir objetos sobre todo con personas desconocidas que es lo que sucedería en el caso que los visitantes del PAC compartieran otro tipo de gafas.

En la siguiente imagen se puede apreciar el visor desplegado (Figura 6.19), se considera conveniente entregarlo en las instalaciones del parque a los usuarios ya armado, existiendo también la posibilidad de ser adquirido doblado y dentro de un sobre, las lentes vendrían ya montadas en el visor, unidas mediante pegamento.



Figura 6.19. Visor desplegado, fuente: elaboración propia

Una vez diseñado el producto interpretativo se sometió a prueba con los actores del PAC (Figura 6.20), los mismos que luego de la experiencia estuvieron fascinados con la visualización de las escenas, expresaron su satisfacción y aportaron nueva información útil para mejorar el producto.



Figura 6.20. Pruebas del producto con los actores del PAC, fuente: elaboración propia

Como ya se ha comentado anteriormente, debido a la crisis sanitaria del COVID 2019 no se pudieron realizar más pruebas con visitantes del parque, ya que la visualización depende de las gafas y estas no se pueden compartir, se espera que el visor propuesto se pueda producir masivamente para solventar esta situación mientras dure la pandemia.

Se realizaron pruebas con algunos usuarios a conveniencia, utilizando un teléfono Huawei P20 Lite (Huawei, 2018), además la aplicación se instaló en otros teléfonos pudiéndose observar que en los de menores prestaciones se ralentiza y se produce un retardo en la visualización de las escenas, lo que puede provocar molestias a los usuarios. En los teléfonos sin giroscopio no se pueden visualizar las escenas de RV, por lo que la aplicación no se puede utilizar en este tipo de dispositivos. Tomando en cuenta estas consideraciones debe optimizarse antes de su publicación en Google Play (Google Play, 2022) y la App Store (Apple, 2022) para que los visitantes la puedan descargar e instalar en el teléfono, sería conveniente en una etapa posterior poner a disposición de los usuarios teléfonos inteligentes propios del PAC.

6.2) Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos en el Estudio de Viabilidad (Ampurias) y en el Caso de Estudio (Cochasquí), se puede concluir que el uso de un sistema de RV en el primero y de RM en el segundo son recursos efectivos para mejorar la interpretación de sitios arqueológicos. Los datos se obtuvieron luego de evaluar los siguientes parámetros: Calidad del Sistema (CS), Utilidad Percibida (UP), Facilidad de Uso (FU), Percepción del Disfrute (PD), Actitud hacia el Uso (AU) e Intención de Uso (IU).

En el caso de Ampurias se utilizaron como métodos de evaluación los modelos SUS y TAM de forma individual, en el caso de Cochasquí se fusionaron los componentes del modelo SUS con sus similares del TAM para obtener un solo modelo (Tabla 5.3), con el objetivo de simplificar las encuestas, debido a que tendrían que realizarse al aire libre en posibles condiciones climáticas adversas.

Por una parte con el método cuantitativo se pudo comprobar que el uso del sistema de RM incrementa significativamente la experiencia de los visitantes, despertando emociones positivas en los mismos, tomando en cuenta que la Percepción del Disfrute (PD) en el caso Ampurias fue del 95,24% (Figura 5.7) y en el caso de Cochasquí del 84% (Figura 5.22). La diferencia entre los porcentajes se atribuye a que en el primer caso la experimentación se llevó a cabo con usuarios cautivos en un entorno controlado y en el segundo caso con visitantes del sitio arqueológico en un entorno al aire libre.

En lo que se refiere a la mejora en la interpretación, los resultados obtenidos de medir la Utilidad Percibida (UP) en el caso de Ampurias es de 85,72% y en el caso de Cochasquí de 76% porcentajes que dan cuenta de que el sistema es un recurso efectivo para facilitar la interpretación de los sitios arqueológicos, aportando a la puesta en valor del patrimonio.

A través de la experimentación se ha podido comprobar que el uso de un sistema de RM mejora notablemente la experiencia de usuario y es un recurso útil para facilitar el entendimiento de cómo estaban construidas las edificaciones y de cómo era la vida cotidiana en el pasado. Cumpliendo de esta manera con los objetivos propuestos y comprobando la hipótesis planteada.

Por otra parte desde el enfoque cualitativo se pudo observar que los usuarios se sintieron sorprendidos y fascinados durante la experiencia (Figura 5.21), una de las guías del parque entrevistadas exclamó “¡Wow!” como expresión de sorpresa (Figura 6.20). Está comprobado que mejorando la experiencia del visitante también se mejora la interpretación, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo cuatro de esta tesis en lo que se refiere a la interpretación del patrimonio.

En este trabajo se ha diseñado un sistema de RM, cuya aplicación al caso de estudio ha dado como resultado un producto interpretativo capaz de provocar emociones positivas en los visitantes mediante el uso de las tecnologías de RM. La metodología utilizada para diseñarlo se plantea como un proceso iterativo de mejora continua, por lo que en el futuro se pueden incorporar más escenas de RM a la aplicación interactiva, para lo cual es necesario modificar las visitas guiadas para que los usuarios tengan tiempo para la visualización, es importante ampliar la base de datos de códigos QR, para acceder a más visualizaciones de AR, sobre todo dentro del museo de sitio donde es necesario ampliar la información de las piezas.

Como se ha expuesto en el capítulo dos referente a la tecnología, la experiencia de usuario con tecnologías de RM depende principalmente de la calidad de los gráficos 3D y de la potencia de los dispositivos de visualización, por lo que estas características se deben también ir mejorando, en una etapa posterior el PAC podría poner a disposición de los usuarios en calidad de préstamo y bajo el control de un guía, teléfonos inteligentes con buenas prestaciones tecnológicas. Se recomienda instalar un punto de información del proyecto “Cochasquí Virtual” en el vestíbulo del PAC con conexión a internet, para que los usuarios puedan descargar la aplicación e instalarla en el teléfono con la ayuda de un guía del parque o persona encargada.

En general los resultados obtenidos del uso del modelo TAM dan cuenta que el sistema tiene una buena aceptación tecnológica, lo que es buen indicio para su viabilidad, se espera que los actores del PAC hagan los trámites necesarios para su adopción e implantación en el sitio arqueológico, existiendo también la posibilidad de desarrollar el proyecto como un emprendimiento privado en colaboración con el PAC.

7) Bibliografía

En esta tesis se ha usado el estilo Harvard de citaciones, en base a la Guía para el estilo Harvard de referencias de la “Anglia Ruskin University” (ARU, 2017). Esta guía proporciona información detallada sobre cómo elaborar referencias en una gran variedad de circunstancias, a continuación el listado:

ACMSIGGRAPH, 2018. *VR@50: Celebrating Ivan Sutherland's 1968 Head-Mounted 3D Display System*. [video online] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=LZCx0yH9gLM>> [Accedido 30 noviembre 2020].

Adobe, 2018. *Photoshop versión de prueba*. [Página web], Disponible en: <<https://www.adobe.com/la/products/photoshop.html>> [Accedido 12 de enero de 2018].

Agisoft, 2018. AgisoftPhotoScan ahora Metashape. *Programa para procesar fotografías y obtener un modelo 3D* [Página web]. Disponible en: <<https://www.agisoft.com/>> [Accedido 15 de enero de 2018].

Agudo, M., 2020. *Legado Griego y Mediterráneo Antiguo*. [Página web], Disponible en: <<https://mediterraneoantiguo.com/acerca-de/>> [Accedido 01 de noviembre de 2021].

AIP, 2021. *Asociación para la Interpretación del Patrimonio*. [Página web], Disponible en: <<https://interpretaciondelpatrimonio.com/interpretacion/>> [Accedido 04 de noviembre de 2021].

Allen, P., Feiner, S., Troccoli, A., Benko, H., Ishak, E., Smith, E., 2004. Seeing into the Past: Creating a 3D Modeling Pipeline for Archaeological Visualization, *Conference: 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT 2004)*. IEEE Computer Society, USA, 6-9 de septiembre 2004, Thessaloniki, Greece. <https://doi.org/10.1109/TDPVT.2004.1335391>

Aparicio, P., 2020. *Arqueología y Patrimonio Virtual*. [Página web], Disponible en: <<https://parpatrimonio.com/>> [Accedido 02 de noviembre de 2021].

Apple, 2020. *iPad Pro, Escáner LiDAR*. [Página web], Disponible en: <<https://www.apple.com/la/ipad-pro/>> [Accedido 30 noviembre 2020].

Apple, 2022. *App Store*. [Página web], Disponible en: <<https://www.apple.com/la/app-store/>> [Accedido 11 enero 2022].

Arpost, 2020. *What is Mixed Reality?* [Página web], Disponible en: <<https://arpost.co/2018/06/27/what-is-mixed-reality>> [Accedido 13 de octubre de 2020].

ArtoolkitX, 2020. *We are open-source, multi-platform augmented reality*. [Página web], Disponible en: <<http://www.artoolkitx.org>> [Accedido 30 noviembre 2020].

- ARU, 2017. *Guide to Harvard style of Referencing* [Página web], Disponible en: <<http://library.aru.ac.uk/referencing/harvard.htm>> [Accedido 13 de octubre de 2021].
- ASUS, 2017. *Asus Zenfone AR* [Página web], Disponible en: <<http://www.headsem.com/asus-zenfone-ar>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Aukstakalnis, S., 2017. *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR (Usability)*, New Jersey: Pearson Education.
- Autodesk, 2018. *3DMax versión estudiantil*. [Página web], Disponible en: <<https://www.autodesk.com/education/edu-software/overview?sorting=featured&filters=individual>> [Accedido 15 de noviembre de 2018].
- Azuma, R., 1997. A Survey of Augmented Reality. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, [Revista electrónica] 6(4), pp. 355-85. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Barberrousse, P., 2008. *Fundamentos teóricos del pensamiento complejo de Edgar Morin*, [Revista electrónica] CIDE-Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. *Revista Educare*, 12 (2), pp.95-113. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194114586009.pdf>
- Bazán, H., 2005. La Interpretación del Patrimonio como estrategia para la educación y socialización del patrimonio en el medio rural. *sOpA'13 I Congreso Internacional sobre Educación y Socialización del Patrimonio en el Medio Rural*. Cáceres, España, 18-21 septiembre 2013. Valladolid: Tejuelo.
- Benko, H., Ishak, E., Feiner, S., 2004. Collab Mixed Reality Visualization of an Archaeological Excavation, *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'04)*. IEEE Computer Society, USA, 5 de noviembre 2004. Arlington, VA, USA. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2004.23>
- Bernal, C., 2006. *Metodología de la investigación, para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Bernárdez, J., 2003. *La profesión de la gestión cultural: definiciones y retos*. Repositorio del Observatorio Latinoamericano de Gestión Cultural [Revista electrónica], Disponible en: <<http://observatoriocultural.udgvirtual.udg.mx/repositorio/handle/123456789/348>> [Accedido 24 de enero de 2021].
- Bevan, N., 1995. Usability is Quality of Use. *Advances in Human Factors/Ergonomics* [Revista electrónica] 20(1), pp. 349-354. [https://doi.org/10.1016/S0921-2647\(06\)80241-8](https://doi.org/10.1016/S0921-2647(06)80241-8)
- Billinghurst, M., Kato, H., Poupyrev, I., 2001. The MagicBook: a transitional AR interface. *Computers & Graphics*, [Revista electrónica] 25(5), pp. 745-753. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(01\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(01)00117-0)

Bongard-Blanchy, K., Bouchard C., 2014. *Dimensions of User Experience - from the Product Design Perspective*. Journal d'Interaction Personne-Système (JIPS), AFIHM, 2014, [Revista electrónica] 3 (1), Disponible en: <https://jips.episciences.org/1319> [Accedido 24 de enero de 2019].

Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J., Poupyrev, I., 2004. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. CA, Addison Wesley.

Bown, J., White, E., Boopalan, A., 2017. *Boundaries of Self and Reality Online Chapter 12 - Looking for the Ultimate Display: A Brief History of Virtual Reality*. [Libro-electrónico] Academic Press. Disponible en: Science Direct <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804157-4.00012-8>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Briceño, J., Cañizales, B., Ribas, Y., Lobo, H., Moreno, E., Velásquez, I., Ruzza, I., 2010. *La holística y su articulación con la generación de teorías*, [Revista electrónica] Revista Venezolana de Educación, 48 (2), pp. 73-83. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3656341>

Brooke, J., 1996. *SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale, Usability Evaluation in Industry*. Londres: CRC Press.

Cabero, J., Barroso, J., Llorente, M., 2016. *Technology acceptance model & realidad aumentada: estudio en desarrollo*, [Revista electrónica] Universidad de Sevilla. Revista lasallista de investigación, 13 (2), pp.18-26. <https://doi.org/10.22507/rli.v13n2a2>

Campoverde, R., Ponsa, P., Redondo, E., 2018. Design of virtual experiences for users of archaeological sites. ACM Digital Library [Artículo]. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.656>

Carrascosa, B., Medina, L., 2010. *Pirámides preincaicas de Cochasquí, Ecuador*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Caudell, T., 1992. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes, *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, USA. 7-10 enero 1992. USA: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>

Chammas, A. Quaresma, M. Mont'Alvão, C., 2015. A Closer Look on the User Centred Design. *Procedia Manufacturing* [Revista electrónica] 2(1), pp. 5397-5404. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.656>

Chérigo, C., Rodríguez, H., 2017. Evaluación de algoritmos de fusión de datos para estimación de la orientación de vehículos aéreos no tripulados. *Revistas académicas UTP, Revista I+D Tecnológico* [Revista electrónica] 13(2). ISSN: 1680-8894

Davis, F., 1989. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly* [Revista electrónica] 13(3), pp. 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>

- Desmet, P., 2003. A Multilayered Model of Product Emotions. *An International Journal for All Aspects of Design* [Revista electrónica] 6(2), pp. 4-13.
<https://doi.org/10.2752/146069203789355480>
- Desmet, P., 2019. *Delft University of Technology / IDStudioLab. Design & Emotion*. [Página web], Disponible en: < <https://studiolab.ide.tudelft.nl/studiolab/desmet/> > [Accedido 31 de diciembre de 2019].
- Díaz-Andreu, M., 2014. Turismo y Arqueología. Una mirada histórica a una relación silenciada. *Anales de Antropología* [Revista electrónica] 48(2), pp. 9-39.
[https://doi.org/10.1016/S0185-1225\(14\)70242-5](https://doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70242-5)
- Dieck, M., Jung, T., 2017. Value of augmented reality at cultural heritage sites: A stakeholder approach. *Journal of Destination Marketing & Management* [Revista electrónica] 6(2), pp. 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2017.03.002>.
- Dillon, A., 2002. Beyond usability: process, outcome and affect in human-computer interactions. *Canadian Journal of Library and Information Science* [Revista electrónica] 26(4), pp. 57-69. Disponible en: < <http://hdl.handle.net/10150/106391/> > [Accedido 31 de diciembre de 2019].
- Dubberly, H., Pangaro, P., Haque, U., 2009. What is interaction?: are there different types?. *ACM Digital Library* [Artículo]. <https://doi.org/10.1145/1456202.1456220>
- DW Documental., 2018. *Arqueología 2.0 - En busca de huellas con la tecnología*. [Video online] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=fUTvWPTNNGI>> [Accedido 21 Junio 2020].
- DW, 2020b. *Cómo funciona la realidad virtual* [video online] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=Gya9kW1AyHo>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- El Mundo, 2019. *“La Espada de Damocles”, el primer dispositivo de RA* [Página web], Disponible en: <<https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2019/02/19/5c6c173bfc6c8364598b471a.html>> [Accedido 30 noviembre 2020].
- Enciclopedia Británica, 2020. *Virtual reality* [En línea] Londres: Enciclopedia Británica (UK) Disponible en: <<https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- Esteban, J., 2013. “La Carta de Atenas (1931) El primer logro de cooperación internacional en la conservación del patrimonio”. En: RiuNet (Universidad Politécnica de Valencia), *La doctrina de la restauración a través de las cartas internacionales*. Valencia, España, 18,19 y 25 de febrero de 2005. Valencia: RiuNet. Disponible en: <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28161/02.pdf?sequence>>
- ETI, 2012. Ecuador Terra Incógnita, *Parque Arqueológico Cochasquí y sus alrededores*, Guía de Turismo. Quito: Prefectura de Pichincha.
- Europe Direct., 2018. *Patrimonio Cultural Europeo en Castilla y León*. [Libro electrónico] pp.5. Editores: Europe Direct Rural Castilla y León. Disponible en:

- <<http://www.idcnacional.org/wp-content/uploads/2019/01/patrimonio-cultural-europeo-en-castilla-y-leon.pdf>> [Accedido 20 de junio de 2020].
- Forlizzi, J., Ford, S., 2000. *The Building Blocks of Experience: An Early Framework for Interaction Designers*. ACM Digital Library [Revista electrónica], pp.419–423. <http://dx.doi.org/10.1145/347642.347800>
- Fraunhofer, 2020. *Holodeck 4.0 - discover new worlds* [Página web], Disponible en: <<https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/lv/lok/proj/holodeck.html>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- Freeman, R., 1984. *Strategic management: A stakeholder approach*. Boston: Pitman.
- Frías, C., Esclapés, J., Molina, J., 2017. *Visualizar un yacimiento para interpretar el pasado. La guía interactiva de realidad Aumentada del museo al aire libre Villa Romana de L'Albir*. En: II Jornadas de Museos y Colecciones Museográficas Permanentes de la CV, “Nuevas tecnologías aplicadas a la gestión Turística del patrimonio Arqueológico” 3-4 marzo 2017. Alicante España.
- García, M. 2012. *El Patrimonio Cultural. Conceptos Básicos*. [Libro electrónico] p.17, p.41. Editores: Prensas Universitarias de Zaragoza. Disponible en: <<https://cpalsocial.org/documentos/526.pdf>> [Accedido 14 de junio de 2020].
- García, M., 2014. *Gestión del Patrimonio Cultural*. [Video en línea]. Disponible en: <<https://canal.uned.es/video/5a6f3233b1111fb50f8b4b5c>> [Accedido 10 de marzo de 2021].
- Gatica, P., 2015. *Diseño y emoción. La vinculación de dos conceptos como propuesta cultural* [Tesis doctoral]. Universitat de Barcelona, Barcelona, España.
- Gibson, J. J., 1986. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Taylor & F. New York, New York, USA: Psychology Press.
- Google Play, 2022. *Tienda de aplicaciones*. [Página web], Disponible en: <<https://play.google.com/store/apps>> [Accedido 10 enero 2022].
- Google, 2018. *Google Earth* [Página web]. Disponible en: <www.google.com/intl/es/earth/> [Accedido 14 diciembre 2018].
- Google, 2020a. *Augmented Reality, AR in Google Search* [Página web], Disponible en: <<https://arvr.google.com/ar/>> [Accedido 30 noviembre 2020].
- Google, 2020b. *Mr. Cardboard* [Página web], Disponible en: <<https://mrcardboard.eu>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Google, 2020c. *Google Cardboard Product safety information* [Página web], Disponible en: <<https://arvr.google.com/cardboard/product-safety>> [Accedido 14 diciembre 2020].
- Gothelf, J., 2013. *Lean UX Applying Lean Principles to Improve User Experience*, San Francisco, CA. Eric Ries: O'Reilly.

Green, W., Jordan, P. 1999. *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*. London: CRC Press Taylor and Francis Group.

Guamán, F., 1615. *Primer nueva crónica y buen gobierno*. Perú.

Ham, S., 1992. *Environmental interpretation: A practical guide for people with big ideas and small budgets*. Golden, CO: North American Press.

Ham, S., 2005. *Audiencias cautivas y no-cautivas. Un relato de cómo llegué a esa idea y a qué me refiero con esto*. Asociación para la Interpretación del Patrimonio, Boletín de Interpretación [Revista electrónica] (13), pp. 2-4. Disponible en: <<https://boletin.interpretaciondelpatrimonio.com/index.php/boletin/article/view/203>> [Accedido 04 de enero de 2021].

Han D., Weber J., Bastiaansen M., Mitas O., Lub X., 2019. Virtual and Augmented Reality Technologies to Enhance the Visitor Experience in Cultural Tourism. En: tom Dieck M., Jung T. (eds) *Augmented Reality and Virtual Reality*. Progress in IS. Springer, Cham. pp.113-128. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06246-0_9

Hartson, R., Pyla, P., 2012. *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. USA: Elsevier, Inc.

Hassan-Montero, Y., 2015. *Introducción a la Interacción Persona-Computadora. Pioneros y Hacedores*, Buenos Aires: Ediciones Godot.

Hassan-Montero, Y., 2019. *Definición y conceptos / La experiencia de usuario*. [Página web], Disponible en: <<http://www.nosolousabilidad.com/manual/1.htm/>> [Accedido 31 de diciembre de 2019].

Hassenzahl, M., Tractinsky, N., 2006. User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, [Revista electrónica] 25(2), pp. 91-97. <http://dx.doi.org/10.1080/01449290500330331>

Herbert, D., 1995. *Heritage, tourism and society*. Londres: Cornell University.

Hernández, A., 2009. El gestor cultural en formación continua. Hacia una formación en competencias. *VI Encuentro Internacional "Formación en gestión cultural"*. Tulcán. 2009. Quito-Ecuador: Ministerio de Cultura del Ecuador.

Hernández, J., Mendoza, K., 2008. *Metodología de la Investigación: Las rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. México: McGRAW-HILL.

Herrera, R., 2015. Interfaces para humanos: más allá de los teclados y ratones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* [Revista electrónica] 23(2), pp. 162-163 Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v23n2/art01.pdf>. [Accedido 11 de diciembre de 2019].

Hewett, T., Baecker, R., Card, S., Carey, T., Gasen, J., Mantei, M., Perlman, G., Strong, G., Verplank, V., 1992. ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction". ACM SIGCHI [Artículo]. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2594128>.

Holguín, A., 2009. *El sistema calendárico y ritual de las pirámides de Cochasquí*. Historia Próxima y Remota. Quito: Abya-Yala.

HoloLens. Microsoft, 2020. *A new reality for computing. See new ways to work better together with the ultimate mixed reality device*. [Página web], Disponible en: <<https://www.microsoft.com/en-us/hololens/>> [Accedido 11 de junio de 2020].

Holstein, W., Chapanis, A. 2018. *Human-factors engineering* [Página web], Disponible en: <<https://www.britannica.com/topic/human-factors-engineering>> [Accedido 14 diciembre 2020].

HP, 2020. *HP Z Virtual Reality (VR) Backpack PC* [Página web], Disponible en: <<https://store.hp.com/us/en/tech-takes/what-is-virtual-reality-how-does-it-work>> [Accedido 03 diciembre 2020].

Huawei, 2018. *Huawei P20 Lite* [Página web]. Disponible en: <consumer.huawei.com/en/support/phones/p20-lite/> [Accedido 10 de Noviembre de 2021].

ICOMOS, 2004. *Cartas Internacionales sobre la conservación y la restauración*. [Libro electrónico], pp. 41. Consejo Internacional de Monumentos y Sitios. Disponible en: <http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf> [Accedido 14 de junio de 2020].

IDF., 2019. *Interaction Design Foundation. The Definition of Interaction Design*. [Página web], Disponible en: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/interaction-design/>> [Accedido 09 de diciembre de 2019].

Innovation.rocks, 2016. *AR & VR @ Golf GTE Experience Shanghai 2015 – Volkswagen seeMore*. [video online] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=NaWcTQEbqRM>> [Accedido 30 noviembre 2020].

Ishak, 2007. *VITA: Visual Interaction Tool for Archaeology*. [video online] Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=t4vDvbessPs>> [Accedido 20 octubre 2020].

ISO 25010., 2011. *Part 4.1: System and software quality models*. [Página web], Disponible en: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:25010:ed-1:v1:en/>> [Accedido 19 de diciembre de 2019].

ISO 9241-210., 2010. *Part 210: Human-centred design for interactive systems*. [Página web], Disponible en: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en/>> [Accedido 24 de enero de 2019].

ISO 9241-210., 2019. *Part 315: User experience*. [Página web], Disponible en: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:en/>> [Accedido 13 de diciembre de 2019].

Izkara, J. L., 2010. *Realidad aumentada móvil para la conservación del patrimonio*. [Tesis doctoral]. Universidad del País Vasco, Bilbao, España.

- Jordan, P., 2002. *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Khronos, 2020. *UNIFYING REALITY, OpenXR 1.0 is Here!* [Página web], Disponible en: <<https://www.khronos.org/openxr/>> [Accedido 27 de octubre de 2020].
- Kouprie, M., Visser, F., 2009. A framework for empathy in design: Stepping into and out of the user's life. *Journal of Engineering Design*, [Revista electrónica] 20(5), pp. 437-448. DOI: 10.1080/09544820902875033
- LaValle, S., 2017. *Virtual Reality* [Libro-electrónico] Cambridge University Press. Disponible en: <<http://lavalle.pl/vr/>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- LaViola, j., Kruijff, E., McMahan, R. Bowman, D., Poupyrev, I., 2017. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. USA, Addison Wesley. Pearson Education.
- Lithodomos, 2020. *Videos de reconstrucciones virtuales*. [Página web], Disponible en: <<https://www.lithodomosvr.com/videos/>> [Accedido 02 de noviembre de 2021].
- London Charter, 2009. For the computer-based visualisation of cultural heritage. [pdf], Disponible en: <<http://www.londoncharter.org>> [Accedido 21 de junio de 2020].
- López-Menchero, V., Grande, A., 2011. *Hacia una Carta Internacional de Arqueología Virtual. El Borrador SEAV*. [Revista electrónica] Virtual Archaeology Review. 2(4), pp. 71-75. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3873340>
- Lorés, J., Granollers, T., Lana, S., 2002. *Introducción a la interacción persona-ordenador*. [Libro electrónico] Asociación de Interacción Persona-Ordenador (AIPO). Disponible en: <<https://aipo.es/?q=content/libro-aipo>> [Accedido 11 de diciembre de 2019].
- Lynott, M., 1997. Ethical principles and archaeological practice: development of an ethics policy. *American Antiquity* [Revista electrónica] 62(4), pp. 589-599. <https://doi.org/10.2307/281879>
- Magic Leap, 2020. *Magic Leap* [Página web], Disponible en: <<https://www.magicleap.com/en-us>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Manzanilla, L., Barba, L., 2010. *La arqueología. Una visión científica del pasado del hombre*. [Libro electrónico] p.13. Editores: Fondo de Cultura Económica. Disponible en: <<https://www.researchgate.net/publication/266386178>> [Accedido 21 de junio de 2020].
- Martín, A., 2018. *Hacia una Museografía 4.0. Diseño de Experiencias Inmersivas con Dispositivos de Realidad Aumentada* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València, Valencia, España.
- Mazmela, M., Lasa, G., Aranburu, E., Gonzalez, I., Reguera, D., 2018. Modelo TAMUX para la evaluación de HMIs industriales desde la perspectiva del UX y el rendimiento durante la ejecución de tareas. ACM Digital Library [Artículo]. <https://doi.org/10.1145/3233824.3233837>

- Medina, O., 2011. *Estudio sobre la eficiencia de consolidantes organosilícios para la conservación in situ de pavimentos cerámicos realizados a baja cocción*. [Tesis de Maestría]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Microsoft, 2015. *Microsoft HoloLens: A Close Look at the Hardware* [video online] Disponible en: <<https://youtu.be/AaTyeDtht-8>> [Accedido 22 octubre 2020].
- Microsoft, 2018. *Immersive headset hardware details* [Página web], Disponible en: <<https://docs.microsoft.com/es-es/windows/mixed-reality/discover/immersive-headset-hardware-details>> [Accedido 22 de octubre de 2020].
- Microsoft, 2020a. *What is Mixed Reality?* [Página web], Disponible en: <<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>> [Accedido 13 de octubre de 2020].
- Microsoft, 2020b. *¿Cómo funciona el seguimiento interno?* [Página web], Disponible en: <<https://docs.microsoft.com/es-es/windows/mixed-reality/enthusiast-guide/tracking-system>> [Accedido 26 de noviembre de 2020].
- Milgram, P., Kishino, F., 1994. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*. [Revista electrónica] E77-D (12), pp. 1321-1329.
- Milton, A., Rodgers, P., 2013. *Métodos de Investigación para el Diseño de Producto*. Barcelona: BLUME.
- Ministerio de Turismo del Ecuador, 2021. *Parque Arqueológico Cochasquí, la evidencia más importante de la civilización pre-Inca*. [Página web]. Disponible en: <<https://www.turismo.gob.ec/parque-arqueologico-cochasqui-la-evidencia-mas-importante-de-la-civilizacion-pre-inca/>> [Accedido 15 de noviembre de 2021].
- MIRALab., 2004. *Making Of LifePlus*. [Video online] Disponible en: <<https://youtu.be/hfLrCGiwxPI>> [Accedido 25 Junio 2020].
- Monsalve, L., 2011. *Gestión del Patrimonio Cultural y Cooperación Internacional*, Cuadernos de Cooperación para el Desarrollo N°6, Medellín, Colombia. Escuela Latinoamericana de Cooperación y Desarrollo.
- Morales, J., 2001. *Guía práctica para la interpretación del patrimonio: el arte de acercar el legado natural y cultural al público visitante*. Sevilla: Consejería de Cultura.
- Morales, J., 2008. *La interpretación del patrimonio tiene que ver con significados*. [pdf] Centro de documentación virtual sobre gestión patrimonial. Disponible en: <<https://www.ilamdocs.org/documento/2924/>> [Accedido 04 de noviembre de 2021].
- Morales, J., Guerra, F., Serantes, A., 2009. Bases para la Definición de Competencias en Interpretación del Patrimonio - Fundamentos teóricos y metodológicos para definir las Competencias Profesionales de Especialistas en Interpretación del Patrimonio en España. *IV Seminario de Interpretación del Patrimonio Natural y Cultural*. Valsaín, España, 11-13 junio 2009. Segovia: CENEAM.

- Moreno, A., Sariego, I., 2017. Relaciones entre Turismo y Arqueología: el Turismo Arqueológico, una tipología turística propia. *Pasos, revista de turismo y patrimonio cultural* [Revista electrónica] 15(1), pp. 163-180.
<https://doi.org/10.25145/j.pasos.2017.15.010>
- Morin, E., 1993. *El método I*. México: Multiversidad Mundo Real Edgar Morin, una visión integradora, pp. 123-124.
- NASA, 2020. 'Mixed Reality' Technology Brings Mars to Earth [Página web], Disponible en: <<https://www.nasa.gov/feature/jpl/mixed-reality-technology-brings-mars-to-earth>> [Accedido 22 de octubre de 2020].
- Navarro, I., 2020. Realidad Aumentada, Virtual y Mixta en Educación, *IV Foro Docencia Universitaria y Tecnologías Digitales*. Mexico, 11-12 noviembre 2020. Mexico: Universidad Iberoamericana.
- Nielsen, J., 2012. *NN/g Nielsen Norman Group. Introduction to Usability*. [Página web], Disponible en: <<https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>> [Accedido 18 de diciembre de 2018].
- Norman, D., 2005. *El diseño emocional: Porque nos gustan (o no) los objetos cotidianos*. Barcelona: Paidós Iberica.
- Norman, D., 2007. *Cautious Cars and Cantankerous Kitchens: How Machines Take Control*. The Design of Future Things. New York, Basic Books.
- Norman, D., 2013. *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. New York, Basic Books.
- Norman, D., 2016. When You Come to a Fork in the Road, Take It: The Future of Design*. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation* [Revista electrónica] 2(4), pp. 344. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2017.07.003>
- Norman, D., Nielsen. J., 2018. *NN/g Nielsen Norman Group. The Definition of User Experience (UX)*. [Página web], Disponible en: <<https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>> [Accedido 25 de marzo de 2018].
- Oculus, 2020. *Oculus Quest 2* [Página web], Disponible en: <<https://www.oculus.com/>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Oculus, 2020a. *Virtual reality* [Página web], Disponible en: <<https://www.oculus.com/rift-s/>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- Oculus, 2020b. *Cómo funciona el seguimiento de manos* [Página web], Disponible en: <https://support.oculus.com/535510833906841/?locale=es_ES> [Accedido 20 noviembre 2020].
- OMS, 2021. *Enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. [Página web], Disponible en: <<https://www.who.int/es>> [Accedido 15 mayo 2021].
- Ortiz, L., 2009. *Cochasquí: el agua del frente de la mitad*. Quito: Fondo Editorial Letras.

- Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2014. *Diseñando la propuesta de valor*. Barcelona: DEUSTO.
- PAC, 2012. *Archivos del Parque Arqueológico de Cochasquí*. Quito: Prefectura de Pichincha.
- Pao, C., 2018. *Wat is an IMU sensor* [Página web], Disponible en: <<https://www.ceva-dsp.com/ourblog/what-is-an-imu-sensor/>> [Accedido 26 noviembre 2020].
- Papagiannakis, G., Ponder, M., Molet, T., Kshirsagar, S., Cordier, F., Thalmann, N., Thalmann, D., 2002. *LIFEPLUS: Revival of life in ancient Pompeii, Virtual Systems and Multimedia*. [pdf] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/37444098> [Accedido 25 de junio de 2020].
- PAR (Arqueología y Patrimonio virtual), 2017. *Una app para viajar en el tiempo en Galicia*. [Página web], Disponible en: <<https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2017/11/29/una-app-para-viajar-en-el-tiempo-en-galicia>> [Accedido 24 de diciembre de 2020].
- Pastor, M., 2004. El patrimonio cultural como opción turística. *Horizontes Antropológicos* [Revista electrónica] 9(20), pp. 97-115. <https://doi.org/10.1590/S0104-71832003000200006>
- Petrie, H., Bevan, N., 2009. *The Universal Access Handbook, First Edition. The evaluation of accessibility, usability and user Experience*. USA, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Politzer, T., 2018. *Vision Is Our Dominant Sense* [Página web], Disponible en: <<https://www.brainline.org/article/vision-our-dominant-sense>> [Accedido 14 diciembre 2020].
- Portalés, C., 2008. *Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte*. [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València., Valencia, España.
- Qualisys, 2020. *Virtual reality* [Página web], Disponible en: <<https://www.qualisys.com/applications/entertainment/virtual-reality/>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- RAE., 2020. *Diccionario de la lengua española, arqueología*. [Página web] España: Real Academia Española. Disponible en: <<https://dle.rae.es/arqueolog%C3%ADa>> [Accedido 21 de junio de 2020].
- Redondo, E., 2010. Augmented Reality: linking architecture and history. A case study. Gironella Tower, *Jornades de Comunicació Científica 2.0*. Universitat de Girona, mayo 2010.
- Redondo, E., Puig, J., Fonseca, D., Villagrasa, S., Navarro, I., 2014. Augmented and Geo-Located Information in an Architectural Education Framework, *Proceedings, Part II, 6th International Conference, VAMR 2014, Held as Part of HCI International 2014.*, 22-27. Heraklion, Crete, Greece, junio 2014. USA: Randall Shumaker & Stephanie Lackey.

- Redondo, E., Sánchez A., Puig, J., 2011. *Gironella tower in Gerunda, teaching roman architecture, using 3D modeling and augmented reality. A case study*. En: IX International Forum Le Vie dei Mercanti S.A.V.E. Heritage Safeguard of Architectural, Visual, Environmental Heritage, 9-10-11 junio 2011. Aversa, Capri.
- Reilly, P., 1990. *Towards a virtual archaeology*. [Libro electrónico] pp.133-139. Editores: Oxford: British Archaeological Reports, INT Series, 565. Disponible en: <https://proceedings.caaconference.org/files/1990/21_Reilly_CAA_1990.pdf> [Accedido 21 de junio de 2020].
- Rekimoto, J., Ayatsuka, Y., 2000. *CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags, DARE '00: Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments*, Elsinore, Denmark, abril 2000. USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/354666.354667>
- Rey, J., 2017. *Del patrimonio como objeto arquitectónico hacia la patrimonialización del paisaje: Un recorrido por las Cartas y Textos internacionales del Patrimonio Cultural*, [Revista electrónica] Universidad de Sevilla. Estoa, 10 (6), p.36. <https://doi.org/10.18537/est.v006.n010.04>
- Rivero, P., 2011. *La arqueología virtual como fuente de materiales para el aula*. [Revista electrónica] Revista Íber. Didáctica de las Ciencias Sociales, Geografía e Historia. 68, pp. 17-24. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/261062429>
- Ruiz, D., 2011. *Realidad aumentada y Patrimonio Cultural: nuevas perspectivas para el conocimiento y la difusión del objeto cultural* [Revista electrónica] Revistas de la Universidad de Granada, 8. Disponible en: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/3395>
- Ruiz, G., 1998. Fragmentos del pasado: la presentación de sitios arqueológicos y la función social de la arqueología. *Treballs d'Arqueologia* [Revista electrónica] (5), pp. 7-34. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2300033> [Accedido 24 de mayo de 2021].
- Saffer, D., 2010. *Designing for Interaction, Second Edition: Creating Innovative Applications and Devices*. Berkeley CA, New Riders.
- Saltos, F., 2019. *Bases y estrategias de la gestión (de lo) cultural Derechos culturales para el Buen Vivir*. [Libro electrónico] Quito-Ecuador: Ediciones Abya-Yala. Disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19037>> [Accedido 10 de octubre de 2021].
- Samsung, 2020. *Samsung Gear VR* [Página web], Disponible en: <<https://www.samsung.com/es/watches/others/gear-vr-sm-r325nzvaphe-sm-r325nzvcphe>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Sánchez, A., 2013. *Evaluación de la tecnología de realidad aumentada móvil en entornos educativos del ámbito de la arquitectura y la edificación* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica Catalunya, Barcelona, España.

Sautter, E., Leisen, B. 1999. Managing stakeholders: A tourism planning model. *Annals of Tourism Research* [Revista electrónica] 26(2), pp. 312–328.
[https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(98\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(98)00097-8)

ScanPyramids., 2020. *Scan Pyramids Mission*. [Página web] Egipto: HIP.INSTITUTE Heritage Innovation Preservation. Disponible en: <<http://www.scanpyramids.org/>> [Accedido 25 de junio de 2020].

Schloss Thurn, 2020. *Steampunk VR scooter* [Página web], Disponible en: <<https://www.schloss-thurn.de/attraktion/steampunk-vr-scooter/>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Sciencefocus, 2020. *The history of virtual reality* [Página web], Disponible en: <<https://www.sciencefocus.com/future-technology/the-history-of-virtual-reality/>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Sdegno, A., 2014. What about 3D? Modeling, Visualizing, Materializing, *Conference: 2014 ENHSA - What's the Matter? Materiality and Materialism at the Age of Computation*. Barcelona, España, septiembre 2014. UK: Maria Voyatzaki.

Semanticscholar, 2020. *Virtual reality* [Página web], Disponible en: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Advantages%2C-Critics-and-Paradoxes-of-Virtual-to-of-Basso/30c0b630100e238c7784bc116ca7cd23e796d09c>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Sherman, W. y Craig, A., 2019. *Understanding Virtual Reality (Second Edition) Interface, Application, and Design*. [Libro electrónico] Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics. Disponible en: Science Direct
 <<https://www.sciencedirect.com/book/9780128009659/understanding-virtual-reality>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Shin, D., Wang, Z., 2015. The experimentation of matrix for product emotion. *6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015*, [Revista electrónica] 3(2015), pp. 2295 – 2302.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.375>

Sidequestvr, 2020. *Hand Physics Lab* [Página web], Disponible en: <<https://sidequestvr.com/app/750>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Sketchup, 2018. *Software de modelado 3D* [Página web]. Disponible en: <<https://www.sketchup.com/es>> [Accedido 10 de febrero de 2018].

Spoutnik, 2018. *Spoutnik Mobile. TurnMe Panorama APK* [Página web], Disponible en: <<http://www.spoutnik-mobile.com/>> [Accedido 21 de septiembre de 2018].

Steamworks, 2020. *SteamVR™ Tracking* [Página web], Disponible en: <<https://partner.steamgames.com/vrlicensing>> [Accedido 20 noviembre 2020].

- Su, Y., Lin, H., 2014. Analysis of international tourist arrivals worldwide: The role of world heritage sites. *Tourism Management* [Revista electrónica] 40(5), pp. 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.04.005>
- Sutherland, I., 1968. A head-mounted three dimensional display, *AFIPS '68 (Fall, part I): Proceedings of the fall joint computer conference, part I*. Ney York, USA, diciembre 1968. USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>
- Tilden, F., 2006. *La interpretación de nuestro patrimonio*. 1ra ed. Castellano. Pamplona: AIP, CENEAM.
- Timescope, 2020. *TIMESCOPE* [Página web], Disponible en: <<https://timescope.com>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Tomico, O., Mizutani, N., Levy, P., Takahiro, Y., and Cho, Y., 2008. "Kansei Physiological Measurements and Constructivist Psychological Explorations for Approaching User Subjective Experience During and After product Usage." In International Design Conference - Design, 529-536. Dubrovnik.
- Tscholl, M., Lindgren, R., 2016. Designing for Learning Conversations: How Parents Support Children's Science Learning Within an Immersive Simulation: PARENT-CHILD SCIENCE LEARNING CONVERSATIONS. *Science Education*, [Revista electrónica] 100(5). <https://doi.org/10.1002/sce.21228>
- Ugalde, M., 2015. *COCHASQUÍ REVISITADO Historiografía, Investigaciones Recientes y Perspectivas*. Quito: Prefectura de Pichincha.
- UNESCO., 1972. Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. En: París, 17a reunión, *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural*. París, Francia, del 17 de octubre al 21 de noviembre de 1972. Disponible en: <https://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>
- UNESCO., 1989. Conferencia General de la UNESCO. En: París, 25a reunión, *Actas de la Conferencia General*. París, Francia, del 17 de octubre al 16 de noviembre de 1989. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000084696_spa
- UNESCO., 2001. Conferencia General de la UNESCO. En: París, 31a reunión, *Convención sobre la protección del patrimonio cultural subacuático*. París, Francia, del 15 de octubre al 3 de noviembre de 2001. Disponible en: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CLT/UNDERWATER/pdf/Info-Kit_es_Final_01.pdf
- UNESCO., 2006. *Textos básicos de la Convención del Patrimonio Mundial de 1972*. [Libro electrónico] p.10. Editores: UNESCO WHC-2006. Disponible en: <<http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-562-2.pdf>> [Accedido 20 de junio de 2020].
- Unity, 2019. *Create with Unity in three steps* [Página web]. Disponible en: <<https://unity.com/download>> [Accedido 10 de enero de 2020].

- Unity, 2019. *Create with Unity in three steps* [Página web]. Disponible en: <<https://unity.com/download>> [Accedido 10 de enero de 2020].
- usability.gov, 2019. *Improving the User Experience. Interaction Design Basics*. [Página web], Disponible en: <<https://www.usability.gov/what-and-why/interaction-design.html/>> [Accedido 11 de diciembre de 2019].
- Usability.gov, 2020. *System Usability Scale (SUS)*. [Página web], Disponible en: <<https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>> [Accedido 02 de noviembre de 2021].
- van Dam, D., 1997. Post-WIMP user interfaces. *Communications of the ACM* [Revista electrónica] 40(2). [https:// doi>10.1145/253671.253708](https://doi.org/10.1145/253671.253708)
- Vaulot, 2020. *NAUTREVILLE* [Página web], Disponible en: <www.vaulot.com/portfolio/nautreville> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Velasco, M., 2009. GESTIÓN TURÍSTICA DEL PATRIMONIO CULTURAL: ENFOQUES PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE DEL TURISMO CULTURAL. *Cuadernos de Turismo* [Revista electrónica] (23), pp. 237-254. <https://doi.org/10.6018/turismo>
- Visbox, 2020. *CAVE Automatic Virtual Environment* [Página web], Disponible en: <<http://www.visbox.com/products/cave>> [Accedido 03 diciembre 2020].
- Visocky, J., Visocky, K., 2018. *Manual de investigación para diseñadores*. 1ra ed. Castellano. Barcelona: Naturart S.A., BLUME.
- Vlahakis, V., Ioannidis, N., Karigiannis, J., Tsotros, M., Gounaris, M., Stricker, D., Gleue, T., Daehne, P., Almeida, L., 2002. *Archeoguide: An augmented reality guide for archaeologist sites*. [Revista electrónica] *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(5), pp.52–60. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/3208993>
- Vlahakis, V., Pliakas, T., Demiris, A., Ioannidis, N. 2003. *Design and Application of an Augmented Reality System for continuous, context-sensitive guided tours of indoor and outdoor cultural sites and museums*. En: 4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, enero 2003. Brighton: United Kingdom.
- VOLVO, 2020. *Microsoft HoloLens* [Página web], Disponible en: <<https://www.volvocars.com/es/servicios-cliente/conectividad/tecnologia/hololens>> [Accedido 22 de octubre de 2020].
- VRS, 2020a. *Who Coined the Term “Virtual Reality”?* [Página web], Disponible en: <<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/who-coined-the-term.html>> [Accedido 20 noviembre 2020].
- VRS, 2020b. *History Of Virtual Reality* [Página web], Disponible en: <<https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>> [Accedido 20 noviembre 2020].

Vuforia, 2019. *Vuforia AR + Google Cardboard*. [Página web], Disponible en: <<https://developer.vuforia.com/forum/digital-eyewear/vuforia-ar-google-cardboard-black-screen>> [Accedido 10 octubre 2021].

Vuforia, 2020. *Model Targets Supported Objects & CAD Model Best Practices*. [Página web], Disponible en: <<https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Solution/model-targets-supported-objects.html>> [Accedido 30 noviembre 2020].

Vuforia, 2021. *Download Vuforia Engine*. [Página web], Disponible en: <<https://developer.vuforia.com/downloads/SDK>> [Accedido 30 enero 2021].

W3C, 2020. *WebXR Device API* [Página web], Disponible en: <<https://www.w3.org/TR/webxr/>> [Accedido 27 de octubre de 2020].

Walker, C., Carr, N., 2013. *Tourism and Archaeology: Sustainable Meeting Grounds*. [Libro-electrónico] Londres y Nueva York: Left Coast Press, Inc. DOI: <<https://doi.org/10.4324/9781315416618>>

Walker, C., Willis, M., 2018. *The archaeological site of Cochasquí, Pichincha Province, Ecuador*. [Página web], Disponible en: <<http://tuchangemakers.tulane.edu/2018/09/21/digging-into-the-past-and-preparing-for-the-future-student-involvement-at-the-archaeological-site-of-cochasqui/>> [Accedido 21 de septiembre de 2018].

Willis, D, 2014. TALKS & WORKSHOPS / The UX Umbrella. [Página web], Disponible en: <<http://www.dswillis.com/talks/2014/4/the-ux-umbrella/>> [Accedido 12 de diciembre de 2019].

Xinreality, 2017. *Microsoft HoloLens* [Página web], Disponible en: <https://xinreality.com/wiki/Microsoft_HoloLens> [Accedido 22 de octubre de 2020].

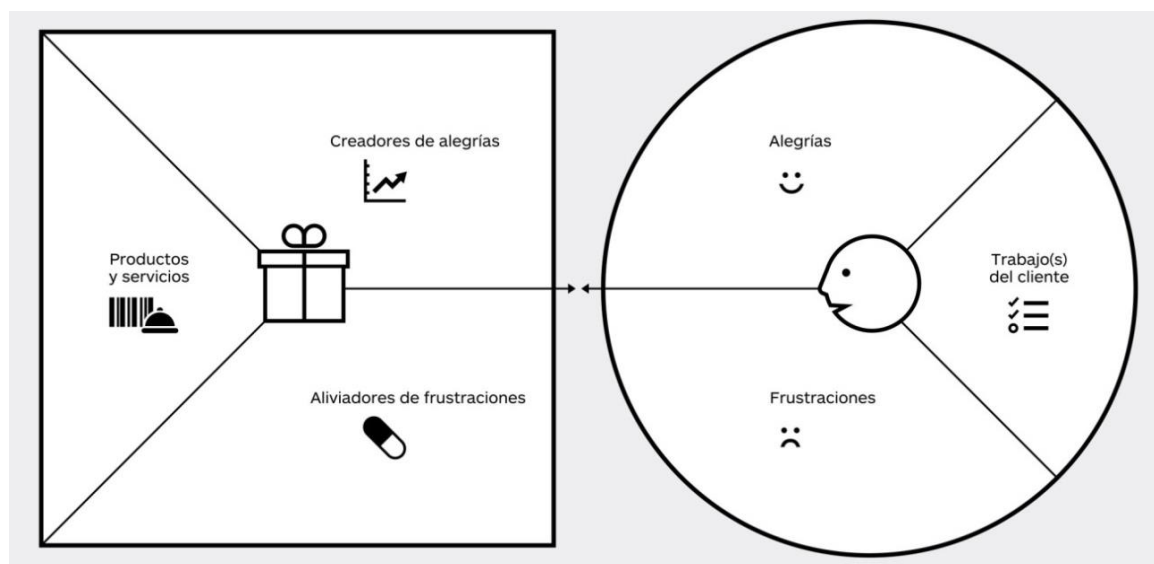
Xinreality, 2020. *Virtual reality* [Página web], Disponible en: <https://xinreality.com/wiki/Virtual_Reality> [Accedido 20 noviembre 2020].

Yang Li, Y., Huang, J., Tian, F., Wang, H., Dai, G., 2019. Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, [Revista electrónica] 1(1), pp. 84-112. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096579619300075>. [Accedido 11 de diciembre de 2019].

8) Anexos

A. El lienzo de la propuesta de valor

Para conocer mejor a los usuarios y entender sus necesidades desde el punto de vista de la promoción y el marketing, se usó “El lienzo de propuesta de valor” que es una herramienta metodológica utilizada en los negocios y que permite definir (o ajustar) una propuesta de valor por medio de la conexión de las necesidades y deseos del usuario con la mejora del servicio, esta herramienta de diseño e innovación se está utilizando para proporcionar valor añadido a productos y servicios, fue diseñada por Alex Osterwalder y consta de dos partes:



El lienzo de la propuesta de valor, fuente: Alexander Osterwalder y Yves Pigneur.

El lado izquierdo del lienzo es **la parte de observar**: aquí se construyen las hipótesis basadas en el usuario, lo que se cree que necesita y desea el usuario.

Actividades y trabajos:

Funcionales: pasear, curiosear, conocer.

Sociales: satisfacción personal, reconocimiento social.

Emocionales: eliminar el estrés, descansar, maravillarse.

Alegrías, resultados o beneficios:

Alegrías necesarias: llegar al sitio arqueológico y poder acceder.

Alegrías esperadas: disponer de un punto de información.

Alegrías deseadas: información sobre el sitio, tener una visita entretenida.

Alegrías inesperadas: experiencia virtual.

Satisfacción después de la visita.

Frustraciones, molestias:

Efectos secundarios: aburrirse, no llevar recuerdos de la visita.

Obstáculos: sitio de difícil acceso, costos elevados, mal tiempo.

Riesgos: no entender el significado del sitio.

El lado derecho es **la parte de diseñar**: aquí se plasman las hipótesis de valor a partir del servicio. Es el servicio que se cree que va a satisfacer las necesidades y deseos del usuario, lo que se intenta conseguir entre otras cosas, es mejorar la experiencia de usuario y el entendimiento de las construcciones del pasado.

Creadores de alegrías:

Recepción cómoda, con suficiente información y conexión a internet.

Recorridos por el sitio con diferentes niveles de información, según el usuario.

Despertar la curiosidad y la fascinación en los visitantes.

Aliviadores de frustraciones:

Hacer entretenida la visita, mostrando la información con recursos multimedia.

Puedan llevarse recuerdos físicos y digitales.

Puedan tener ventajas como descuentos si ayudan a la promoción del sitio.

Presentar la información de acuerdo a la experiencia del usuario.

Una vez hecho el análisis de las necesidades del usuario desde este enfoque se hacen plantean cuestionamientos como baterías de preguntas que posteriormente pueden conformar una encuesta para aplicarla a los visitantes, con el objetivo de corroborar lo expuesto anteriormente y diseñar estrategias para mejorar el servicio.

Frustraciones:

¿Cuándo ha visitado un sitio arqueológico al observar las ruinas y durante la visita se ha sentido aburrido?

Cuando visitó el sitio arqueológico, ¿pudo entender cómo estaban construidas las edificaciones y cómo era la vida cotidiana en el pasado?

Después de la visita, ¿pudo llevarse algún recuerdo, como fotografías o souvenirs?

Alegrías:

Si alguna vez visitó un sitio arqueológico ¿hubo suficiente información sobre el lugar en la recepción?

Cuando visita un sitio arqueológico, ¿se siente sorprendido por la historia del lugar?

¿Cómo se sintió después de visitar el sitio arqueológico?

Aliviadores de frustraciones:

¿Desea que la información en los sitios arqueológicos se presente de manera audiovisual y resulte entretenida?

¿Cuándo ha visitado un destino turístico o sitio arqueológico, comparte las fotografías en las redes sociales?

Después de su visita, ¿le gustaría participar de manera sencilla en la promoción del sitio visitado?

Creadores de alegrías.

Cuando usted visite un sitio arqueológico, ¿le gustaría tener wifi en la recepción y poder acceder a la información de manera audiovisual e interactiva?

Si pudiera acceder a la información en el sitio con una aplicación instalada en su teléfono inteligente, ¿cómo le gustaría que se presentara la información?

¿Qué pensaría si, cuando llegara al sitio arqueológico, le ofrecieran una experiencia virtual que le permitiera viajar al pasado e interactuar con los habitantes del lugar?

B. Modelo de encuestas, antecedentes, modelos SUS y TAM



CUESTIONARIO WORKSHOP III AMPURIAS 2018 (PRIMERA PARTE)

1	¿Cuál es tu género?	<input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer
2	¿Cuál es tu edad? años
3	¿Es la primera vez que asistes a un Workshop de este tipo?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
4	¿Cuál es tu país de nacimiento?
5	¿Qué dispositivos del siguiente listado utilizas habitualmente?	<input type="checkbox"/> Móvil Smartphone <input type="checkbox"/> Tablet <input type="checkbox"/> Portátil Windows <input type="checkbox"/> Portátil MAC <input type="checkbox"/> Ordenador fijo PC <input type="checkbox"/> Ordenador fijo MAC <input type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> Cámara digital <input type="checkbox"/> Reproductor MP3/MP4 <input type="checkbox"/> Consola, video juegos <input type="checkbox"/> Otros, ¿Cuáles?
6	Utilizas el ordenador portátil o fijo para:	<input type="checkbox"/> Estudiar <input type="checkbox"/> Trabajar profesionalmente <input type="checkbox"/> Ocio (música, cine, lectura) <input type="checkbox"/> Comprar por internet <input type="checkbox"/> Redes sociales <input type="checkbox"/> Información general <input type="checkbox"/> Otros usos, ¿Cuáles?.....
7	Utilizas el teléfono móvil para:	<input type="checkbox"/> Estudiar <input type="checkbox"/> Trabajar profesionalmente <input type="checkbox"/> Ocio (música, cine, lectura) <input type="checkbox"/> Comprar por internet <input type="checkbox"/> Redes sociales <input type="checkbox"/> Información general <input type="checkbox"/> Otros usos, ¿Cuáles?.....
8	¿Con que dispositivo te conectas a internet?	<input type="checkbox"/> Portátil <input type="checkbox"/> Ordenador fijo <input type="checkbox"/> Móvil <input type="checkbox"/> Tablet
9	¿Desde dónde te conectas a internet?	<input type="checkbox"/> Desde casa <input type="checkbox"/> Desde la Universidad <input type="checkbox"/> Desde el trabajo <input type="checkbox"/> Desde un locutorio <input type="checkbox"/> Desde una red WIFI pública <input type="checkbox"/> Desde la calle o espacios públicos con datos móviles 3G o 4G


CUESTIONARIO WORKSHOP III AMPURIAS 2018 (PRIMERA PARTE)

10	¿Qué servicios de internet utilizas?	<input type="checkbox"/> Email <input type="checkbox"/> Chat <input type="checkbox"/> Buscador <input type="checkbox"/> Juegos <input type="checkbox"/> Descargas <input type="checkbox"/> Webs de arquitectura <input type="checkbox"/> Blogs <input type="checkbox"/> Noticias generales <input type="checkbox"/> Noticias de deportes <input type="checkbox"/> Redes sociales de trabajo y/o estudio <input type="checkbox"/> Redes sociales de amistad y/o ocio Otros servicios, ¿Cuáles?.....
11	¿En qué aplicaciones o redes sociales tienes cuentas abiertas?	<input type="checkbox"/> Whatsapp <input type="checkbox"/> Facebook <input type="checkbox"/> Twiter <input type="checkbox"/> Dropbox <input type="checkbox"/> Instagram <input type="checkbox"/> Spotify <input type="checkbox"/> Pinterest Otros, ¿Cuáles?.....
13	¿Cuál de las siguientes características tecnológicas tiene tu Smartphone?	<input type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> Giroscopio <input type="checkbox"/> Una cámara frontal <input type="checkbox"/> Una sola cámara posterior <input type="checkbox"/> Doble cámara posterior
14	¿Qué sistema operativo tiene tu Smartphone?	<input type="checkbox"/> iOS <input type="checkbox"/> Android <input type="checkbox"/> Windows
15	¿Sabes que es la Realidad Aumentada (RA)?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
16	¿Sabes que es la Realidad Virtual (RV)?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
17	¿Has utilizado la Realidad Aumentada o la Realidad Virtual con anterioridad?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No Si la respuesta es positiva, ¿de qué manera fue? <input type="checkbox"/> Juego de Smartphone o Tablet <input type="checkbox"/> Atracción en un centro comercial <input type="checkbox"/> Visita a un exposición <input type="checkbox"/> Proyecto profesional <input type="checkbox"/> Evento organizado <input type="checkbox"/> En casa Otros, ¿Cuáles?.....
18	¿Sabes que es la Realidad Mixta (RM)?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No

CUESTIONARIO WORKSHOP III AMPURIAS 2018 (USABILIDAD Y EXPERIENCIA DE USUARIO)

1	Creo que me gustaría utilizar este sistema frecuentemente.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
2	Encuentro este sistema innecesariamente complejo.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
3	Pensaba que el sistema era fácil de usar.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
4	Creo que necesitaría soporte técnico para hacer uso de este sistema.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
5	Encuentro que las diversas funciones del sistema están bien integradas.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
6	He encontrado demasiadas inconsistencias en este sistema.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
7	La mayoría de la gente aprendería a hacer uso del sistema rápidamente.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
8	He encontrado el sistema bastante incómodo de usar.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
9	Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
10	Necesitaría aprender muchas cosas antes de poder manejar el sistema.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
1	El uso de este sistema mejoró mi entendimiento del sitio arqueológico.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
2	El sistema me resulto de utilidad.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
3	Creo que el sistema es fácil de usar.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
4	Mi interacción con el sistema fue clara y comprensible.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
5	Disfruté con el uso de este sistema.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
6	Aprender con un sistema de este tipo es entretenido.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
7	El uso de este sistema hace que el estudio del sitio sea más interesante.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
8	El aprendizaje a través de este sistema me ha parecido aburrido.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
9	Me gustaría utilizar este sistema en el futuro si tuviera la oportunidad.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo
10	Este sistema me permitiría aprender más sobre otros sitios arqueológicos.	Muy en desacuerdo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Totalmente de acuerdo

C. Encuesta realizada a los visitantes

 Encuesta a los visitantes del Sitio Arqueológico de Cochasquí.		Fecha:.....					Nº:	
1	Género	<input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Femenino <input type="checkbox"/> Otro						
2	Edad Años						
3	Estudios cursados	<input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Universidad						
4	Nivel de habilidad en el uso de aplicaciones móviles e internet.	<input type="checkbox"/> Básico <input type="checkbox"/> Usuario <input type="checkbox"/> Avanzado						
5	Este sistema de visualización me ha parecido atractivo.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo
6	El uso de este sistema me ayudo a entender mejor el sitio arqueológico.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo
7	Este sistema de visualización me ha resultado difícil de usar.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo
8	Disfrute visualizando como era el sitio arqueológico en el pasado.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo
9	El uso de este sistema me ha parecido aburrido.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo
10	Me gustaría usar este sistema para aprender más sobre arqueología.	Muy en	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy de
		desacuerdo	1	2	3	4	5	acuerdo

D. Estadísticas de visitantes al Parque Arqueológico Cochasquí

ESTADISTICAS GENERALES AÑO 2017					
VISITANTES					
MES	NACIONALES	EXTRANJEROS	INSTITUCIONES	EVENTOS EQUINOCCIOS Y SOLSTICIOS	TOTAL
ENERO	744	209	607		1560
FEBRERO	1392	140	439		1971
MARZO	600	86	2025	1800	4511
ABRIL	1458	185	2493		4136
MAYO	1798	106	985		2889
JUNIO	933	124	828	1000	2885
JULIO	1659	286	446		2391
AGOSTO	1764	154	586		2504
SEPTIEMBRE	980	87	120		1187
OCTUBRE	1028	139	226		1393
NOVIEMBRE	1294	139	245		1678
DICIEMBRE	577	155	167		899
TOTAL	14227	1810	9167	2800	28004
<p>NOTA: El 25 de Mayo el Parque Arqueológico de Cochasquí fue visitado alrededor de 8000 personas por la entrega del bastón de mando por parte de las comunidades al presidente electo Lenin Moreno.</p>					

E. Autorización para realizar la investigación en el PAC

Nota del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la UPC

El contenido del Apéndice E, que incluye la autorización para realizar la investigación en el Parque Arqueológico de Cochasquí, no se ha comunicado públicamente por motivo de protección de datos.