

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE COMPUTACIÓN

Tema: **“Realidad Aumentada para la preservación digital de piezas arqueológicas en museos”**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Ciencias de la Computación

AUTOR: Mafla Urresta José Alejandro

TUTOR: Ing. Guano Cárdenas Carlitos Alberto, MSc

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Mafla Urresta José Alejandro con el número de cédula 0450077326 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Realidad aumentada para la preservación digital de piezas arqueológicas en museos"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Guano Cárdenas Carlitos Alberto, MSc

TUTOR

Tulcán, julio de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de Computación de la FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

Yo, Mafla Urresta José Alejandro, con cédula de identidad número 0450077326, declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Mafla Urresta José Alejandro

AUTOR

Tulcán, julio de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Mafla Urresta José Alejandro declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Realidad aumentada para la preservación digital de piezas arqueológicas en museos" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Mafla Urresta José Alejandro

AUTOR

Tulcán, julio de 2026

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme salud, fortaleza, sabiduría y la oportunidad de culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

Agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, a la Carrera de Computación y a todos los docentes que, con sus conocimientos, experiencia y dedicación, contribuyeron a mi formación académica y personal durante estos años.

Mi especial reconocimiento al Ing. Carlitos Alberto Guano Cárdenas, MSc., tutor de este Trabajo de Integración Curricular, por su orientación, paciencia, compromiso y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Finalmente, expreso mi profundo agradecimiento a mi familia y amigos, quienes me brindaron su apoyo incondicional, motivación y confianza en cada etapa de este proceso, alentándome a no rendirme y a alcanzar esta meta profesional.

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Integración Curricular, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

A mis padres, por su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional durante toda mi formación académica. Gracias por creer siempre en mí y por enseñarme que el trabajo, la perseverancia y la humildad son el camino para alcanzar los sueños.

A mi familia, por sus palabras de aliento, comprensión y motivación constante, que me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes.

Finalmente, dedico este logro a todas las personas que confiaron en mí y me acompañaron a lo largo de este camino, porque cada una de ellas dejó una huella importante en la culminación de esta etapa profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN	16
I. EL PROBLEMA	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	21
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. Realidad Aumentada.....	24
2.2.1.1. Tipos de Realidad Aumentada.....	25
2.2.1.1.2. Realidad Aumentada Sin Marcadores	26
2.2.1.2. Niveles de Detección en Realidad Aumentada.....	28
2.2.1.3. Realidad Aumentada Aplicada al Patrimonio Cultural	31
2.2.2. Modelado Tridimensional.....	31
2.2.2.1. Fundamentos del Modelado 3D Aplicado al Patrimonio Arqueológico	32
2.2.2.2. Reconstitución Volumétrica a partir de Evidencia Fotográfica Directa.....	32
2.2.2.3. Optimización de Modelos 3D para Realidad Aumentada.....	33
2.2.3. Herramientas de Desarrollo	34

2.2.3.1. Motores de Desarrollo para Realidad Aumentada.....	34
2.2.3.1.1. Unity 3D	34
2.2.3.1.2. Unreal Engine	35
2.2.3.1.3. Godot Engine.....	36
2.2.3.2. SDK de Realidad Aumentada	37
2.2.3.2.1. Vuforia Engine.....	37
2.2.3.2.2. ARCore	38
2.2.3.2.3. Wikitude.....	38
2.2.3.3. Herramientas de Modelado Tridimensional.....	39
2.2.3.3.1. Blender	39
2.2.3.3.2. Autodesk Maya	40
2.2.3.3.3. ZBrush	40
2.2.4. Lenguajes de Programación.....	41
2.2.4.1. Lenguajes de Programación en el Desarrollo de Aplicaciones	42
2.2.4.2. Lenguaje C#.....	42
2.2.5. Preservación Digital.....	43
2.2.5.1. Patrimonio Cultural.....	43
2.2.5.2. Patrimonio Arqueológico.....	43
2.2.5.3. Fases Culturales del Norte Andino Ecuatoriano	44
2.2.5.4. Conservación y Preservación del Patrimonio	44
2.2.5.4.1. Conservación del Patrimonio Cultural.....	45
2.2.5.4.2. Preservación Digital del Patrimonio	46
2.2.5.5. Museos y Tecnología	47
2.2.5.5.1. El Museo como Institución Cultural	47
2.2.5.5.2. Tecnología en Museos	48
III. METODOLOGÍA.....	50
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	50
3.1.1. Enfoque.....	50

3.1.2.1. Investigación de campo	51
3.1.2.2. Investigación exploratoria	51
3.1.2.3. Investigación aplicada	51
3.2. IDEA A DEFENDER	52
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	52
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	54
3.4.1 Métodos.....	54
3.4.1.1. Método inductivo-deductivo	54
3.4.1.2. Método descriptivo.....	54
3.4.1.3 Método bibliográfico-documental	54
3.4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	54
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
3.5.1 Población y Muestra	55
3.5.1.1. Población	55
3.5.1.2. Muestra	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. RESULTADOS	58
4.1.1. Resultados de la Encuesta.....	58
4.1.2. Resultados de la Entrevista	77
4.2. PROPUESTA	81
4.2.1 Resultados del Diagnóstico de las Piezas Arqueológicas.....	81
4.2.2. Resultado de Selección de herramientas y técnicas.....	82
4.2.2.1. Resultado de Tipo de aplicación y modalidad de Realidad Aumentada.....	82
4.2.2.2. Motor de desarrollo y SDK de Realidad Aumentada Unity 3D.....	83
4.2.2.3. Herramienta de modelado tridimensional	83
4.2.2.4. Lenguaje de programación	84
4.2.2.5. Metodología de desarrollo Scrum	84

4.2.3. Modelado Tridimensional de las piezas arqueológicas	84
4.2.4. Desarrollo de la Aplicación de Realidad Aumentada	88
4.2.4.1. Prototipo de la Aplicación	88
4.2.4.2. Fases de Desarrollo con la Metodología Scrum	91
4.2.4.3. Características Técnicas de la Aplicación	102
4.3. DISCUSIÓN	103
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1. CONCLUSIONES.....	106
5.2. RECOMENDACIONES.....	107
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
VII. ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subtipos de Realidad Aumentada Sin Marcadores.....	28
Tabla 2. Niveles de Detección en Sistemas de Realidad Aumentada.	30
Tabla 3. Características de la Reconstitución Volumétrica por Evidencia Fotográfica Directa Aplicada al Proyecto.	33
Tabla 4. Análisis comparativo de motores de desarrollo para realidad aumentada.	36
Tabla 5. Análisis comparativo de SDK de realidad aumentada.....	39
Tabla 6. Análisis comparativo de herramientas de modelado tridimensional.	41
Tabla 7. Características del Lenguaje C# Relevantes para el Desarrollo de la Aplicación.....	42
Tabla 8. Fases Culturales de la Cultura Pasto del Norte Andino Ecuatoriano.....	44
Tabla 9. Definición y operacionalización de las variables.	52
Tabla 10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	54
Tabla 11. Diagnóstico general de la colección del Museo Blas Ángel.	82
Tabla 12. Piezas arqueológicas digitalizadas en el proyecto.....	84
Tabla 13. Proceso de modelado 3D aplicado por tipo de pieza en Blender.....	87
Tabla 14. Funcionamiento de botones.....	90
Tabla 15. Características técnicas de la aplicación de Realidad Aumentada desarrollada.....	102
Tabla 16. Requisitos del Sistema para Desarrollo.	136
Tabla 17. Scripts Principales del Proyecto.	138
Tabla 18. Solución de Problemas Comunes.	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Piezas arqueológicas de la colección del Museo Blas Ángel, Cantón Espejo.	44
Figura 2. Modelo tridimensional de pieza arqueológica generado en Blender.	47
Figura 3. Instalaciones del Museo Blas Ángel, ubicado frente al parque principal de El Ángel, Cantón Espejo, provincia del Carchi.	48
Figura 4. Gráfica de la pregunta 1	58
Figura 5. Gráfica de la pregunta 2	59
Figura 6. Gráfica de la pregunta 3	60
Figura 7. Gráfica de la pregunta 4	61
Figura 8. Gráfica de la pregunta 5	62
Figura 9. Gráfica de la pregunta 6	63
Figura 10. Gráfica de la pregunta 6.1	63
Figura 11. Gráfica de la pregunta 6.2	64
Figura 12. Gráfica de la pregunta 7	64
Figura 13. Gráfica de la pregunta 8	65
Figura 14. Gráfica de la pregunta 9 a 13	66
Figura 15. Gráfica de la pregunta 14	67
Figura 16. Gráfica de la pregunta 15	68
Figura 17. Gráfica de la pregunta 16	69
Figura 18. Gráfica de la pregunta 17	70
Figura 19. Gráfica de la pregunta 18	71
Figura 20. Gráfica de la pregunta 19	72
Figura 21. Gráfica de la pregunta 20	73
Figura 22. Gráfica de la pregunta 21	74
Figura 23. Gráfica de la pregunta 22	75
Figura 24. Gráfica de la pregunta 23	76
Figura 25. Modelado de pieza arqueológica en Blender con el método de reconstitución volumétrica	83
Figura 26. Collage de fotografías en 8 ángulos diferentes de la pieza arqueológica	85
Figura 27. Modelo 3D de pieza arqueológica utilizando la herramienta Spin en Blender	86
Figura 28. Aplicación de texturas a pieza arqueológica en Blender.	87
Figura 29. Comparación entre pieza arqueológica original y modelo 3D obtenido en Blender	87
Figura 30. Diagrama de flujo de navegación de la aplicación.	88
Figura 31. Prototipo de la pantalla de inicio.	89
Figura 32. Prototipo de la pantalla Culturas.	89
Figura 33. Prototipo de pantalla de listado de piezas de la cultura seleccionada. ...	90
Figura 34. Prototipo de pantalla de visualización de la pieza arqueológica seleccionada.	91
Figura 35. Entorno de Unity 3D con Vuforia Engine configurado (Sprint 1)	91
Figura 36. Importación y optimización de los modelos 3D en Unity (Sprint 2)	92

Figura 37. License Key utilizada de Vuforia Developer Portal.....	92
Figura 38. Pantalla de inicio de la aplicación.....	93
Figura 39. Pantalla de instrucciones.	94
Figura 40. Pantalla de selección de culturas.	95
Figura 41. Menú de pieza de cultura seleccionada.....	96
Figura 42. Interfaz de la pantalla de proyección de pieza arqueológica.	97
Figura 43. Código C# de script escuchar/pausar.....	98
Figura 44. Código C# del script rotar.....	99
Figura 45. Código C# del script ScaleControl.....	99
Figura 46. Lógica de funcionamiento del botón Información.	100
Figura 47. Código C# del script TomarFoto.....	101
Figura 48. Código C# de Script MenuManager.	102
Figura 49. Interfaz Principal	125
Figura 50. Interfaz Instrucciones.....	126
Figura 51. Interfaz de selección de Culturas.....	127
Figura 52. Interfaz de selección de piezas arqueológicas.	128
Figura 53. Interfaz de Información de Cultura.	129
Figura 54. Interfaz de detalle de la pieza seleccionada.	130
Figura 55. Interfaz central de interacción inmersiva.....	131
Figura 56. Código QR para descargar la aplicación	133
Figura 57. Estructura del proyecto.	137
Figura 58. Jerarquía de la escena EscenaBotijuelac.....	138
Figura 59. Flujo de usuario.....	139
Figura 60. Ventana Build Settings.....	140

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.	113
Anexo 2. Solicitud para realizar el proyecto.....	115
Anexo 3. Autorización para para realizar el proyecto.....	116
Anexo 4. Encuesta dirigida al público.	118
Anexo 5. Entrevista a ex encargado del museo.	122
Anexo 6. Manual de usuario	125
Anexo 7. Manual Técnico del Proyecto.	135
Anexo 8. Certificado de culminación del proyecto.....	142

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada para la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel de la ciudad de El Ángel, cantón Espejo, provincia del Carchi. El estudio se fundamentó en un enfoque mixto, de tipo exploratorio, aplicado y de campo, utilizando técnicas como la observación directa, la investigación documental, entrevista especializada y encuestas dirigidas a la comunidad. El diagnóstico evidenció la ausencia de registros digitales de las piezas arqueológicas y limitaciones en la difusión del patrimonio cultural debido al cierre temporal del museo y a la escasez de recursos tecnológicos. A partir del diagnóstico realizado, se seleccionaron y digitalizaron 16 piezas representativas pertenecientes a las culturas Capulí, Piartal y Tuza mediante la técnica de reconstitución volumétrica basada en evidencia fotográfica directa, utilizando Blender para el modelado tridimensional. Posteriormente, se desarrolló una aplicación móvil de Realidad Aumentada basada en marcadores mediante Unity 3D, Vuforia Engine y el lenguaje de programación C#, aplicando la metodología ágil Scrum durante cuatro sprints de desarrollo. Los resultados obtenidos muestran una alta aceptación de la propuesta tecnológica, alcanzando un 97,96 % de aprobación por parte de los encuestados, mientras que el 94,7 % considera que la aplicación contribuye significativamente a la valoración y difusión del patrimonio cultural local. Se concluye que la Realidad Aumentada constituye una alternativa tecnológica viable, accesible y efectiva para la preservación digital y difusión de piezas arqueológicas, fortaleciendo el acceso al conocimiento histórico, la identidad cultural y la interacción de la comunidad con el patrimonio arqueológico del cantón Espejo.

Palabras clave: Realidad Aumentada, preservación digital, patrimonio arqueológico, modelado 3D, patrimonio cultural.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop an Augmented Reality application for the digital preservation of the archaeological artifacts housed in the Blas Ángel Municipal Archaeological Museum, located in El Ángel, Espejo Canton, Carchi Province, Ecuador. The study was based on a mixed-method approach and included exploratory, applied, and field research. Data collection techniques included direct observation, documentary research, specialized interviews, and community surveys. The diagnosis revealed the absence of digital records of the archaeological artifacts and limitations in the dissemination of cultural heritage due to the museum's temporary closure and the lack of technological resources. Based on the diagnosis, sixteen representative artifacts belonging to the Capulí, Piartal, and Tuza cultures were selected and digitized using volumetric reconstruction techniques based on direct photographic evidence, with Blender employed for three-dimensional modeling. Subsequently, a marker-based Augmented Reality mobile application was developed using Unity 3D, Vuforia Engine, and the C# programming language, following the Scrum agile methodology through four development sprints. The results showed a high level of acceptance of the technological proposal, reaching a 97.96% approval rate among respondents, while 94.7% considered that the application significantly contributes to the appreciation and dissemination of local cultural heritage. It is concluded that Augmented Reality constitutes a viable, accessible, and effective technological alternative for the digital preservation and dissemination of archaeological artifacts, strengthening access to historical knowledge, cultural identity, and community interaction with the archaeological heritage of Espejo Canton.

Keywords: Augmented Reality, digital preservation, archaeological heritage, 3D modeling, cultural heritage.

INTRODUCCIÓN

El patrimonio arqueológico es considerado un pilar fundamental para conocer la identidad cultural, así como para comprender el desarrollo sostenible de las comunidades. El Museo Arqueológico Blas Ángel, ubicado en la ciudad de El Ángel, Cantón Espejo, Provincia del Carchi, posee una variedad de piezas arqueológicas de comunidades ancestrales que se asentaron dentro de su dimensión territorial. Las piezas están clasificadas en botijuelas rituales, vasijas con pintura negativa, ocarinas y figuras antropomorfas-zoomorfas; esto no solo muestra el avance cultural que tuvo cada fase, sino que deja un legado irremplazable dentro de la región.

Sin embargo, las instituciones culturales luchan por adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad en constante transformación tecnológica, en la que los visitantes esperan una experiencia más dinámica, interactiva y personal.

El exponencial y rápido desarrollo de tecnologías como la realidad aumentada (RA) ha cambiado la forma en que las personas se relacionan con su entorno, siendo parte de ello el ámbito cultural e histórico. Esta tecnología, al integrar elementos visuales dentro de un mundo físico, brinda una valiosa oportunidad y mejora la experiencia tradicional del museo integrando la innovación tecnológica con la conservación y preservación de artefactos arqueológicos.

No obstante, el Museo Blas Ángel no había incorporado totalmente estas herramientas tecnológicas, lo que genera una limitación importante para atraer nuevo público, especialmente a los jóvenes, que eran quienes más desconocían la cultura de su territorio.

En ese contexto, el museo presenta distintos desafíos relacionados con la preservación y la difusión del patrimonio. La difusión fue prácticamente nula, ya que el museo se encuentra en proceso de traslado de piezas hacia una nueva infraestructura, lo cual ha ocasionado su cierre completo, limitando el acceso de las personas que deseaban visitarlo. Además, las experiencias dentro del museo fueron muy limitadas, pues no contaba con herramientas tecnológicas como la

realidad aumentada que permitieran una interacción más dinámica y enriquecedora con las piezas expuestas.

El presente estudio sugiere crear una aplicación de realidad aumentada que incorpore modelos tridimensionales de piezas emblemáticas con el objetivo de fortalecer la identidad cultural del Cantón Espejo, incrementar la accesibilidad en términos educativos y perfeccionar la preservación digital. Esta herramienta tiene como objetivo no solo la protección en el ámbito digital del patrimonio cultural, sino también perfeccionar la experiencia del visitante, fomentando su curiosidad, su aprendizaje y un vínculo más estrecho con la historia y la identidad cultural.

El desarrollo de esta aplicación tecnológica proporcionó diversos beneficios. Por un lado, hace que el museo sea visto como un lugar moderno e innovador, incrementando la satisfacción y el interés de los visitantes. Por otro, el personal del museo dispondrá de recursos tecnológicos que optimizarán la presentación de cada una de las piezas arqueológicas.

Finalmente, esta propuesta impulsa la unión de la tecnología con el ámbito cultural y educativo, contribuyendo al desarrollo digital y a la preservación del patrimonio arqueológico en el Museo Blas Ángel.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La pérdida, el deterioro y la limitada difusión del patrimonio arqueológico representan una problemática global ampliamente reconocida por la UNESCO. Diversos informes destacan que el patrimonio cultural material enfrenta riesgos crecientes derivados de factores ambientales, cambio climático, deficiencias en conservación y escasa accesibilidad pública (UNESCO, 2022). Esta situación compromete no solo la integridad física de los bienes, sino también la transmisión de la memoria colectiva y el refuerzo de la identidad cultural de las comunidades.

En el contexto ecuatoriano, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) ha documentado de forma sistemática problemas de conservación, inventario incompleto y baja digitalización de bienes arqueológicos en museos locales (INPC, 2023). Estos desafíos restringen el acceso ciudadano y el aprovechamiento del patrimonio en ámbitos académicos, educativos y turísticos. Aunque existen esfuerzos institucionales para mejorar la gestión patrimonial, muchos museos municipales enfrentan limitaciones presupuestarias, tecnológicas e infraestructurales persistentes. (Chávez & Sandoval, 2016), en su diagnóstico sobre los museos de la provincia carchense que incluyó al Museo Blas Ángel, evidenciaron que las instituciones museísticas que dependen exclusivamente del financiamiento público carecen de una partida presupuestaria estable, situación que compromete su capacidad para atender requerimientos básicos tanto de infraestructura como de gestión y conservación de sus colecciones.

Un ejemplo representativo es el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel, ubicado en la ciudad de El Ángel, cantón Espejo, provincia del Carchi. Este museo resguarda una colección de aproximadamente 200 piezas arqueológicas pertenecientes a las culturas precolombinas del norte de Ecuador, principalmente de las fases Capulí (800–1600 d.C.), Piartal y Tuza (1250–1532 d.C.), asociadas a los pueblos Pasto. Las piezas provienen de sitios como El Chaquilulo,

Ingüeza y Tres Tolas, e incluyen botijuelas rituales, vasijas con pintura negativa, ocarinas y figuras antropomorfas y zoomorfas representaciones de humanos, monos, cóndores y felinos (INPC, 2023). Estas piezas constituyen testimonios clave del desarrollo cultural, artístico y técnico de los pueblos Pasto en la región andina norte de Ecuador.

Sin embargo, el museo enfrenta desafíos estructurales que limitan su accesibilidad, difusión y preservación. La ausencia de digitalización integral impide una conservación óptima y reduce la visibilidad de la colección ante investigadores y la comunidad. Según la (UNESCO, 2025), los museos se ven expuestos a desafíos apremiantes como la ausencia de recursos y el cambio climático, factores que provocan que su infraestructura y colecciones queden expuestas al deterioro y la destrucción, tal como ocurre con las cerámicas del Museo Blas Ángel ante los factores ambientales propios de la región andina del Carchi.

Esta vulnerabilidad se agrava con el hecho de que el museo se encuentra actualmente en proceso de traslado hacia una nueva infraestructura, lo que ha ocasionado su cierre temporal y ha restringido completamente el acceso del público. Además, la escasa disponibilidad de recursos digitales limita el uso pedagógico, museográfico y turístico de las piezas, perpetuando una baja visibilidad y el conocimiento limitado sobre las culturas Pasto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada contribuye a la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel y mejora el acceso de la comunidad al patrimonio cultural del cantón Espejo, provincia del Carchi, durante el período 2025–2026?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La creación de una aplicación de realidad aumentada dirigida a la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Blas Ángel satisface la necesidad apremiante de actualizar la gestión del patrimonio de una institución que enfrenta restricciones en su presupuesto, tecnología e infraestructura. En un contexto donde los museos deben adaptarse a una sociedad cada vez más digital, la incorporación de herramientas tecnológicas innovadoras se convierte

en un elemento crucial para asegurar su sostenibilidad, relevancia y accesibilidad.

Desde la perspectiva académica, este proyecto ofrece una contribución teórica y metodológica al incorporar la realidad aumentada en la conservación del patrimonio arqueológico, ayudando a crear nuevas técnicas para la digitalización, el registro y la divulgación de colecciones en museos en lugares con recursos escasos. De igual modo, permite evidenciar la factibilidad técnica de utilizar modelos tridimensionales de objetos arqueológicos como una forma de conservación preventiva, estableciendo un modelo aplicable para otros museos locales y municipales del Ecuador.

Desde el enfoque social, esta aplicación facilitará que la población del cantón Espejo interactúe con el patrimonio cultural de su área, especialmente durante el cierre temporal del museo por cambio de infraestructura. Esta herramienta beneficiará directamente a estudiantes, educadores, investigadores y visitantes, promoviendo un sentido de identidad y pertenencia cultural relacionado con el legado de los pueblos Pasto. De esta manera, se disminuirá la desconexión que existe entre los jóvenes del cantón y su historia local.

Desde la perspectiva tecnológica, la iniciativa ilustra de qué manera la realidad aumentada puede enriquecer la vivencia de los visitantes en contextos culturales sin necesidad de realizar fuertes inversiones en infraestructura física. Esta particularidad la establece como la alternativa más adecuada para el Museo Blas Ángel. La digitalización de las obras a través de modelos 3D también asegura su conservación frente a posibles riesgos de deterioro físico, pérdida o daño irreversible, cumpliendo así un papel de preservación continua más allá de la condición de la infraestructura museística. Por lo tanto, esta propuesta favorece la conexión entre tecnología, cultura y educación, aportando al progreso digital del cantón Espejo y consolidando al Museo Blas Ángel como un lugar innovador, accesible y dedicado a la protección del patrimonio arqueológico del norte de Ecuador.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada para la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel de la ciudad de El Ángel, cantón Espejo, provincia del Carchi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel y los riesgos que enfrentan ante la ausencia de un sistema de preservación digital, mediante observación directa, entrevista especializada e investigación documental, con el fin de fundamentar la necesidad de implementar una solución tecnológica de preservación digital.
- Determinar las herramientas, técnicas de modelado 3D y metodologías de Realidad Aumentada más adecuadas para el desarrollo de una solución de preservación digital de piezas arqueológicas.
- Integrar modelos tridimensionales, recursos multimedia y funcionalidades de Realidad Aumentada en una aplicación orientada a la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál es el estado actual de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel y qué riesgos enfrentan ante la ausencia de un sistema de preservación digital?
- ¿Cuáles son las herramientas, técnicas de modelado 3D y metodologías de Realidad Aumentada más adecuadas para el desarrollo de una solución de preservación digital de piezas arqueológicas?
- ¿Cómo integrar modelos tridimensionales, recursos multimedia y funcionalidades de Realidad Aumentada en una aplicación para la preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los antecedentes de investigación que se presentan a continuación son significativos para el estudio actual que se planea llevar a cabo, en el cual la realidad aumentada aporte beneficios para la preservación digital y difusión de piezas arqueológicas en el Museo Blas Ángel, tomando en cuenta investigaciones semejantes que provean datos apropiados para el óptimo avance de la investigación.

A nivel internacional, en el contexto latinoamericano, la tesis de Requejo La Torre (2022), titulada "Valoración económica del Complejo Arqueológico de Kuélap mediante modelado 3D", evaluó su impacto en la preservación y el turismo sostenible. Estos antecedentes latinoamericanos refuerzan la pertinencia de innovar en el Cantón Espejo, donde no se han implementado iniciativas similares.

En el año 2022, Romero Barbosa realizó una investigación titulada "La realidad aumentada (RA), una mejora del discurso de sitios culturales: estudio del desarrollo de una aplicación móvil RA para museo", publicada en la revista *Entretejidos de México* (Romero Barbosa, 2022). En el documento se expone el proceso de elaboración de una aplicación móvil de realidad aumentada desarrollada como complemento a la museografía de un recinto cultural, con el objetivo de ampliar y hacer más rico el contenido didáctico audiovisual de las piezas expuestas. El autor identifica como problema central la mediación cultural deficiente en espacios museísticos, donde los formatos expositivos convencionales resultan insuficientes para transmitir el valor histórico y simbólico de los objetos al visitante promedio. Su propuesta tecnológica posibilita enriquecer la información disponible sobre cada pieza directamente en el espacio físico del museo, sin modificar su distribución original ni demandar inversiones costosas en infraestructura, llegando a la conclusión de que la RA se consolida como una herramienta accesible y de alto impacto para actualizar instituciones culturales de escala media (Romero Barbosa, 2022). Se puede decir

que la investigación contribuye con innovación en cuanto a la manera en que los museos muestran su material, demostrando que la tecnología puede ofrecer nuevos métodos para enriquecer la experiencia del visitante y mejorar la difusión del patrimonio cultural sin depender de grandes inversiones presupuestarias. Esta investigación se relaciona con el presente estudio al tratar la implementación de RA en museos con características similares a las del Museo Blas Ángel, en términos de escala institucional y limitaciones de recursos.

En el ámbito más reciente, Troya Haro (2025) trabajó en "El modelado 3D del patrimonio cultural del cantón Cotacachi" mediante una metodología mixta que integró encuestas, entrevistas y técnicas de digitalización, lo cual evidencia cómo estas herramientas pueden aportar no solo a la conservación, sino también a la difusión y turismo cultural.

En el año 2025, Guanochanga y Logacho realizaron un trabajo de titulación titulado "Desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada para la promoción y experiencia interactiva del Museo Rumiñahui Centro Cultural en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha" (Guanochanga & Logacho, 2025). El proyecto parte de la ausencia de herramientas tecnológicas innovadoras en el museo, situación que limitaba la experiencia de los visitantes y dificultaba atraer nuevas audiencias, en especial jóvenes. La aplicación se construyó con Unity, Vuforia Engine y C#, adoptando la metodología ágil Scrum con el propósito de asegurar ciclos de desarrollo iterativos y eficientes. Como resultado, se obtuvo una herramienta funcional compatible con dispositivos Android que permite el reconocimiento de imágenes mediante la cámara del dispositivo, la visualización de información cultural enriquecida en realidad aumentada, narración en audio de los contenidos y acceso a información del museo. El trabajo concluye que la implementación de la RA mejoró significativamente la experiencia interactiva de los visitantes y que la metodología Scrum permitió optimizar los procesos de desarrollo en un entorno con recursos limitados. Esta investigación aporta referentes técnicos y metodológicos directamente aplicables al presente proyecto, especialmente en cuanto a la selección de herramientas de desarrollo y la estructura de implementación para museos locales ecuatorianos.

Un estudio más local corresponde al trabajo de titulación realizado en el año 2021 por Imbaquingo Pantoja (2021), titulado "Aprovechamiento de las herramientas tecnológicas en el proceso de guianza del museo paleontológico

de la ciudad de Bolívar". El estudio aborda la problemática del deficiente uso de recursos tecnológicos en un museo de la provincia del Carchi, institución que, al igual que el Museo Blas Ángel, operaba con herramientas básicas y sin aplicaciones digitales propias. El autor creó una aplicación para móviles que incorpora realidad aumentada basada en marcadores, construida sobre Unity3D con integración de Vuforia Engine y modelos 3D elaborados en Blender, demostrando que estas herramientas pueden implementarse de forma efectiva incluso en contextos con escasos recursos tecnológicos y presupuestarios.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Realidad Aumentada

Se define como un sistema tecnológico que incorpora contenidos virtuales sobre la escena tangible que observa el individuo, ejecutando esta fusión de manera inmediata y sincronizada con los movimientos del usuario. De acuerdo con Boboc et al. (2022), "a diferencia de la realidad virtual, que sumerge al usuario en un entorno completamente sintético, la realidad aumentada superpone información digital al mundo real sin desplazarlo, manteniendo así la referencia física del entorno". Por lo tanto, la RA no anula la percepción del mundo real, sino que la enriquece con contenidos virtuales que aparecen como capas adicionales sobre los objetos y espacios que el visitante ya está observando. Esta condición híbrida la convierte en una herramienta especialmente pertinente para entornos museográficos, donde la presencia física del visitante frente al objeto original continúa siendo central. Por ejemplo, en un museo, un visitante puede ver una vasija de cierta cultura y, a través de la cámara de su teléfono móvil, observar cómo era esa pieza en su estado original, con colores y formas completas, e incluso ver animaciones que explican su uso ritual, todo ello sin que la pieza real sufra manipulación alguna. De esta manera, la RA no solo respeta la integridad del objeto patrimonial, sino que transforma la experiencia del visitante, pasando de una contemplación pasiva a una interacción activa con el contenido digital anclado en el propio objeto expuesto. Esta tecnología, por tanto, está revolucionando la forma en que los museos presentan su contenido, ofreciendo nuevas narrativas que combinan el respeto por la autenticidad material con las posibilidades didácticas del mundo virtual.

2.2.1.1. Tipos de Realidad Aumentada

La realidad aumentada no es una tecnología única, sino que se presenta en diferentes formas según cómo el dispositivo reconoce el entorno y dónde ancla el contenido digital. La clasificación más ampliamente aceptada distingue dos grandes grupos: la realidad aumentada basada en marcadores y la realidad aumentada sin marcadores (Benítez Miranda et al., 2025). Cada una de estas variantes responde a necesidades distintas y ofrece ventajas específicas, por lo que comprender sus diferencias resulta fundamental para elegir la más adecuada en un proyecto museístico como el que ocupa esta investigación.

2.2.1.1.1. Realidad Aumentada Basada en Marcadores.

La realidad aumentada basada en marcadores funciona a partir de figuras o patrones visuales que han sido predefinidos y que actúan como disparadores o "llaves" del contenido digital. Cuando la cámara del dispositivo se enfoca sobre uno de estos marcadores, el software entra en acción: mediante algoritmos de visión computacional, identifica el patrón, calcula su posición y orientación en el espacio tridimensional y, finalmente, superpone el objeto virtual ya sea un modelo 3D, un video, un texto o un sonido en la ubicación exacta donde se encuentra el marcador. Estos marcadores pueden adoptar formas muy variadas: desde un simple código QR impreso en una etiqueta, pasando por patrones bicromos similares a un tablero de ajedrez, hasta fotografías naturales de alta resolución, como el logotipo de un museo o la propia imagen de una pieza arqueológica. Una vez que el sistema ha reconocido el marcador, la escena se procesa en tiempo real a una velocidad de aproximadamente 30 fotogramas por segundo, lo que garantiza una experiencia fluida y sin retrasos perceptibles para el usuario (Guanochanga & Logacho, 2025). Gracias a esta inmediatez, el visitante puede mover su dispositivo y el contenido virtual permanece anclado al marcador como si realmente estuviera pegado a él.

Esta variante predomina en contextos patrimoniales y museísticos por varias razones. En primer lugar, su implementación es sencilla: no requiere de sensores complejos ni de un mapeo previo del espacio. En segundo lugar, ofrece una gran estabilidad incluso en interiores con iluminación cambiante, algo común en muchos museos donde la luz ambiental no siempre es uniforme. Por último, su costo de desarrollo es reducido, lo que la hace accesible para instituciones con

presupuestos limitados. Por ejemplo, se podría colocar un marcador (como un código QR o una imagen impresa) junto a cada vitrina, y al apuntar con el teléfono móvil, el visitante vería aparecer sobre la pieza real una animación que explica su origen, su uso ceremonial o incluso su reconstrucción volumétrica. De esta manera, la RA basada en marcadores se convierte en una aliada perfecta para museos pequeños que desean incorporar tecnología sin realizar grandes inversiones en infraestructura.

2.2.1.1.2. Realidad Aumentada Sin Marcadores

En el extremo opuesto se encuentra la realidad aumentada sin marcadores. Como su nombre lo indica, este tipo no requiere de imágenes predefinidas que actúen como disparador. En lugar de ello, utiliza algoritmos de reconocimiento del entorno para anclar los contenidos digitales directamente sobre las superficies u objetos del mundo real, sin necesidad de etiquetas artificiales. El funcionamiento se apoya en el hardware del dispositivo: la cámara capta el entorno, mientras que el GPS, el acelerómetro y el giroscopio proporcionan información sobre la ubicación y la orientación del usuario. Con estos datos, el software es capaz de superponer la información digital de forma contextual, es decir, ajustada al lugar y al ángulo desde el que se mira. Esto permite, por ejemplo, que, al caminar por una plaza, aparezcan sobre las fachadas de los edificios históricos explicaciones flotantes, o que al dirigir la cámara hacia el suelo se despliegue un mapa interactivo con los puntos de interés.

Dentro de esta categoría, Benítez Miranda et al. (2025) distinguen cuatro subtipos, cada uno con una tecnología base y unas aplicaciones características en el ámbito del patrimonio cultural:

- RA basada en geolocalización: utiliza el GPS, el acelerómetro y la brújula digital para superponer contenidos virtuales según la ubicación geográfica del usuario. Es ideal para recorridos turísticos exteriores en sitios arqueológicos extensos, como una ciudadela o un conjunto de ruinas al aire libre. El visitante puede ir caminando y recibir información automática cuando se acerca a una estructura determinada.
- RA basada en proyección: emplea proyectores digitales para lanzar contenido virtual directamente sobre superficies físicas, transformándolas en pantallas interactivas. En un museo, una pared vacía podría convertirse

en un lienzo donde se proyecte la reconstrucción de un ritual antiguo, y los visitantes podrían interactuar con ella mediante gestos. Este subtipo es más costoso y suele reservarse para instalaciones de gran escala o eventos culturales especiales.

- RA basada en superposición: utiliza la cámara del dispositivo para reemplazar o complementar partes de la vista del usuario con elementos digitales. Es especialmente útil para la visualización del estado original de piezas arqueológicas que han sufrido fracturas o pérdidas. Por ejemplo, una vasija rota podría ser completada digitalmente, mostrando cómo lucía en su totalidad.
- RA basada en SLAM (Simultaneous Localization and Mapping): combina la cámara con sensores de profundidad para construir un mapa tridimensional del entorno en tiempo real, mientras rastrea la posición del dispositivo dentro de ese mapa. Esto permite anclar objetos virtuales en entornos desconocidos con una precisión espacial muy alta, de modo que el contenido digital parece estar realmente apoyado sobre el suelo o sobre una mesa, y el usuario puede rodearlo y verlo desde distintos ángulos. Esta es la tecnología que utilizan aplicaciones como Pokémon GO o las herramientas de medición de habitaciones de algunos teléfonos.

En el caso concreto de museos, la RA sin marcadores podría emplearse para ofrecer un recorrido exterior por los alrededores del museo, mostrando datos sobre la historia o sobre los hallazgos arqueológicos de la zona mediante geolocalización. Sin embargo, para la interacción directa con las piezas dentro de la sala de exposiciones, la RA basada en marcadores sigue siendo la opción más práctica, estable y económica, por lo que ha sido la elegida en la mayoría de trabajos similares realizados en museos ecuatorianos (Guanochanga & Logacho, 2025). La elección entre un tipo u otro dependerá siempre de los objetivos específicos de la experiencia que se desea brindar y de los recursos técnicos y presupuestarios disponibles.

Tabla 1. Subtipos de Realidad Aumentada Sin Marcadores.

Subtipo	Tecnología base	Descripción	Aplicación en patrimonio
RA basada en geolocalización	GPS, acelerómetro, brújula digital	Superpone contenidos virtuales según la ubicación geográfica del usuario	Recorridos turísticos exteriores en sitios arqueológicos
RA basada en proyección	Proyectores digitales	Proyecta contenido digital directamente sobre superficies físicas transformándolas en pantallas interactivas	Instalaciones museísticas y eventos culturales de gran escala
RA basada en superposición	Cámara del dispositivo	Reemplaza o complementa partes de la vista del usuario con elementos digitales	Visualización del estado original de piezas arqueológicas restauradas o fragmentadas
RA basada en SLAM	Cámara, sensores de profundidad	Construye un mapa tridimensional del entorno en tiempo real mientras rastrea la posición del dispositivo	Anclaje de objetos virtuales en entornos desconocidos con alta precisión espacial

2.2.1.2. Niveles de Detección en Realidad Aumentada

Más allá de la clasificación por el tipo de marcador o su ausencia, los sistemas de realidad aumentada también pueden ordenarse según su nivel de detección. Este concepto hace referencia al método técnico concreto que emplea el dispositivo para identificar dónde debe anclar o colocar el contenido virtual dentro del entorno real. Dependiendo de la complejidad del hardware y del software, así como de la precisión deseada, se pueden distinguir cuatro niveles, que representan una especie de escalera tecnológica: desde los sistemas más simples y accesibles hasta los más inmersivos y costosos. Benítez Miranda et al. (2025) proponen la siguiente clasificación, resumida en la Tabla 2.

- Nivel 0: Detección por hipervínculo.

Este es el nivel más básico y, técnicamente, algunos autores lo consideran un precursor de la realidad aumentada más que RA propiamente dicha. Su funcionamiento es muy sencillo ya que se utiliza un código QR o un código de barras impreso que, al ser escaneado con la cámara del dispositivo, redirige al usuario a un contenido externo, generalmente una página web, un video o un archivo de texto. No hay superposición de objetos virtuales en el espacio tridimensional ni interacción en tiempo real con el entorno; simplemente se abre un enlace. En el contexto de un museo, este nivel se emplea para señalización básica. Por ejemplo, junto a una pieza arqueológica se coloca un código QR que, al leerlo, lleva al visitante a una ficha técnica en línea. Aunque es muy fácil de implementar y no requiere de software especializado, su capacidad para generar

experiencias inmersivas es prácticamente nula. Sin embargo, sigue siendo una opción válida para museos con presupuesto mínimo que desean ofrecer información complementaria sin necesidad de desarrollar una aplicación completa.

- Nivel 1: Detección por marcadores (Marker Based AR).

Este nivel corresponde a la realidad aumentada clásica, la más extendida en proyectos educativos y culturales. Aquí ya se utiliza un software de reconocimiento de imágenes (como Vuforia Engine) que identifica patrones bidimensionales predefinidos pueden ser marcadores artificiales o imágenes naturales, como el logotipo del museo o la fotografía de una pieza y superpone contenido virtual en 3D, video o audio sobre ese marcador. El contenido queda anclado al marcador de forma que, si el usuario mueve el dispositivo, el objeto virtual rota y se desplaza con él, creando la ilusión de que realmente está sobre la superficie física. Este nivel es el ideal para museos pequeños y medianos porque combina un costo moderado con una alta estabilidad y una experiencia atractiva. En el Museo Blas Ángel, por ejemplo, se podría imprimir un marcador con la forma de un fragmento característico de cerámica Capulí, y al enfocar con la aplicación, aparecería la vasija reconstruida en 3D, girando y mostrando sus decoraciones originales.

- Nivel 2: Detección sin marcadores (Markerless AR).

En este nivel, el sistema ya no necesita de un marcador impreso. En lugar de ello, utiliza algoritmos de reconocimiento de superficies físicas del entorno, como el suelo, las paredes o el techo. Gracias a tecnologías como SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), el dispositivo construye un mapa tridimensional del espacio en tiempo real y puede anclar objetos virtuales sobre superficies planas (por ejemplo, una mesa) sin necesidad de un código previo. Esto permite que el usuario pueda rodear el objeto virtual, agacharse para verlo desde abajo o acercar la cámara para apreciar detalles, como si realmente estuviera allí. Las aplicaciones típicas incluyen la visualización de muebles en una habitación (como hace IKEA Place) o la recreación de esculturas en una plaza vacía. En un museo, este nivel podría usarse para proyectar una pieza arqueológica que no está físicamente presente, o para que el

visitante «coloque» virtualmente una vasija sobre una vitrina y la examine desde todos los ángulos. La desventaja es que requiere dispositivos más potentes y un software más complejo, y su estabilidad puede verse afectada por la iluminación o la textura de las superficies.

- Nivel 3: Visión aumentada (Augmented Vision).

El nivel más alto de detección corresponde a la visión aumentada, que se asocia con el uso de gafas inteligentes o cascos de realidad mixta (como Microsoft HoloLens o Magic Leap). En este caso, la integración es continua e inmersiva: el usuario lleva puesto el dispositivo en su cabeza, y el contenido virtual se proyecta directamente sobre su campo de visión, adaptándose a cada movimiento de sus ojos y su cabeza. La detección del entorno es constante y en tiempo real, lo que permite interacciones muy naturales, como tocar un objeto virtual con la mano o caminar alrededor de él. Las aplicaciones típicas son experiencias completamente inmersivas de alta tecnología, como la recreación de un entierro prehispánico en el propio espacio del museo, donde los visitantes ven a los personajes virtuales moverse entre las vitrinas reales. Sin embargo, este nivel tiene un costo muy elevado y requiere de infraestructura especializada, por lo que no es viable para la mayoría de los museos ecuatorianos, incluido el Blas Ángel. No obstante, conocer su existencia ayuda a visualizar hacia dónde se dirige la evolución tecnológica en el ámbito patrimonial.

La selección del nivel de detección más adecuado para el proyecto dependerá de los recursos disponibles, la experiencia que se quiera ofrecer y las características físicas del museo. La siguiente tabla resume los cuatro niveles definidos por Benítez Miranda et al. (2025):

Tabla 2. Niveles de Detección en Sistemas de Realidad Aumentada.

Nivel	Denominación	Mecanismo	Aplicación típica
0	Detección por hipervínculo	Códigos QR o de barras que redirigen a contenido externo	Señalización básica en museos y sitios turísticos
1	Detección por marcadores (Marker Based AR)	Patrones bidimensionales o imágenes naturales predefinidas reconocidas por la cámara	Aplicaciones culturales y educativas
2	Detección sin marcadores (Markerless AR)	Reconocimiento de superficies físicas del entorno	Visualización de objetos virtuales desde múltiples ángulos
3	Visión aumentada (Augmented Vision)	Gafas inteligentes con integración inmersiva continua	Experiencias completamente inmersivas de alta tecnología

2.2.1.3. Realidad Aumentada Aplicada al Patrimonio Cultural

La aplicación de la realidad aumentada en el ámbito del patrimonio ha registrado un aumento sostenido a lo largo de la última década. A partir de una revisión sistemática de 1.201 trabajos publicados entre 2012 y 2021, Boboc et al. (2022) detectaron ocho ejes temáticos recurrentes: reconstrucción tridimensional de objetos, patrimonio en formato digital, museos virtuales, experiencia de usuario, educación, turismo, gamificación y patrimonio inmaterial. Por su parte, Ortiz-Zamora et al. (2023) comprobaron que la RA facilita la reconstrucción virtual de bienes patrimoniales visualizables en dispositivos móviles y tabletas, y que su incorporación en museos enriquece la visita y amplía el alcance de las actividades culturales. En Ecuador, Orozco et al. (2024) confirmaron que la RA es viable técnicamente en museos locales con recursos limitados y genera mejoras significativas en la experiencia del visitante.

2.2.1.4. Realidad Aumentada y Experiencia del Visitante

La incorporación de realidad aumentada en museos tiene un impacto directo y favorable en la experiencia de los visitantes. Chen y Lai (2021) demostraron que la RA tiene un impacto positivo en la motivación y la eficacia del aprendizaje de los visitantes, al proporcionar capas de información interactiva que facilitan la comprensión del valor histórico y simbólico de los objetos expuestos. Camps-Ortueta et al. (2023) evidenciaron que la aplicación lúdica de la RA incrementa el nivel de participación activa de los visitantes y prolonga el tiempo de permanencia frente a las piezas exhibidas.

2.2.2. Modelado Tridimensional

El modelado tridimensional es el procedimiento por el cual se obtiene la representación digital de un objeto en el espacio de tres dimensiones, a partir de la construcción de una malla geométrica formada por vértices, aristas y polígonos que definen su geometría, volumen y superficie. Hernández-Muñoz (2023), en su trabajo sobre digitalización 3D en museos arqueológicos publicado en la revista *Heritage*, señala que el modelado tridimensional aplicado al patrimonio cultural constituye una herramienta fundamental para la documentación, conservación y difusión de bienes culturales, ya que permite obtener representaciones digitales precisas de objetos físicos que pueden ser almacenadas, reproducidas y visualizadas en múltiples plataformas sin intervenir

directamente sobre los originales. En el contexto museístico, esta tecnología ha adquirido especial relevancia al posibilitar que las colecciones traspasen las limitaciones físicas del espacio expositivo y sean accesibles a través de aplicaciones digitales interactivas como la realidad aumentada, ampliando significativamente su alcance educativo y cultural.

2.2.2.1. Fundamentos del Modelado 3D Aplicado al Patrimonio Arqueológico

El modelado tridimensional aplicado al patrimonio arqueológico es el proceso mediante el cual se construyen representaciones digitales de objetos o vestigios culturales en un espacio tridimensional, con el propósito de preservar, documentar y difundir su forma, proporciones y características superficiales. En el terreno de la arqueología digital, esta práctica forma parte de la Arqueología Virtual, campo científico que, de acuerdo con los principios determinados por el ICOMOS, se ocupa de investigar y aplicar la visualización asistida por computadora en el manejo completo del patrimonio arqueológico. Dentro de este marco, la reconstrucción virtual implica el intento fundamentado de restituir visualmente un artefacto humano del pasado, tomando como base la evidencia física disponible, las inferencias comparativas con respaldo científico y los aportes de especialistas en patrimonio arqueológico (Aparicio Resco, 2021). Este enfoque reconoce que el modelado tridimensional de piezas arqueológicas no es únicamente un ejercicio técnico, sino un acto de interpretación científica fundamentado en la evidencia física disponible.

2.2.2.2. Reconstitución Volumétrica a partir de Evidencia Fotográfica Directa

La reconstitución volumétrica a partir de evidencia fotográfica directa es una técnica de modelado tridimensional en la que el modelador construye la geometría del objeto utilizando como referencia central fotografías tomadas desde distintos ángulos, complementadas con la observación presencial de la pieza física. Martínez Carrillo et al. (2023), en su estudio sobre plataformas de representación de cerámica arqueológica medieval publicado en la revista *Periferias: desde los márgenes de la arqueología*, documenta este método como una alternativa técnicamente válida y complementaria a la fotogrametría automatizada, señalando que partiendo del dibujo arqueológico tradicional y de la observación directa de las piezas es posible crear modelos tridimensionales a través de la reconstitución volumétrica con software para modelar y esculpir

digitalmente, obteniendo resultados de alta calidad para la difusión y puesta en valor del patrimonio cultural. A diferencia de los métodos de captura automatizada, la reconstitución volumétrica otorga al modelador control total sobre la topología, la densidad poligonal y la estructura de la malla desde el inicio del proceso, lo que la vuelve una metodología particularmente adecuada cuando se requiere producir modelos optimizados directamente para su uso en aplicaciones interactivas de tiempo real, como es el caso de la realidad aumentada.

2.2.2.3. Optimización de Modelos 3D para Realidad Aumentada

Una vez construido el modelo tridimensional mediante reconstitución volumétrica, su integración en una aplicación de realidad aumentada requiere verificar y garantizar su rendimiento eficiente en dispositivos móviles. Díaz Alemán (2023) explica que los modelos destinados a aplicaciones de RA deben mantener una densidad poligonal reducida que no comprometa la capacidad de procesamiento del dispositivo, conservando al mismo tiempo la fidelidad visual suficiente para representar adecuadamente el objeto patrimonial. Una ventaja significativa de la reconstitución volumétrica frente a métodos automatizados como la fotogrametría es que la topología del modelo puede controlarse desde su origen, construyendo una malla limpia y ordenada con el conteo poligonal adecuado para su uso en tiempo real, sin necesidad de etapas posteriores de reducción agresiva. La siguiente tabla sintetiza las características de este método en relación con los requerimientos técnicos del proyecto:

Tabla 3. Características de la Reconstitución Volumétrica por Evidencia Fotográfica Directa Aplicada al Proyecto.

Criterio	Descripción aplicada al proyecto
Fuente de referencia	Fotografías de las piezas tomadas desde múltiples ángulos y observación directa en el Museo Blas Ángel
Software utilizado	Blender, mediante herramientas de revolución, extrusión y modelado poligonal
Control topológico	Total; la densidad poligonal se define desde el inicio según los requerimientos de la aplicación móvil
Adecuación a piezas cerámicas	Alta; las formas simétricas de las vasijas Capulí, Piartal y Tuza facilitan la reconstitución por revolución de perfil
Optimización para RA	Integrada al proceso; no requiere etapas adicionales de reducción poligonal
Respaldo documental	Martínez Carrillo et al. (2023); Solórzano Venegas (2016); ICOMOS (2011)

2.2.3. Herramientas de Desarrollo

Desarrollar una aplicación de realidad aumentada no es tarea sencilla; implica combinar diferentes piezas de software que trabajen en armonía. En términos generales, se requieren tres categorías principales de herramientas: el motor de desarrollo (también llamado game engine), el SDK de realidad aumentada (el software que reconoce el entorno y ancla los objetos virtuales) y el software de modelado tridimensional (para crear los objetos 3D que se mostrarán). Cada una de estas categorías ofrece múltiples opciones, con características y costos muy distintos. Por ello, conocer las alternativas disponibles es fundamental para tomar decisiones informadas en un proyecto museístico, donde se busca el equilibrio entre calidad, costo y facilidad de implementación. A continuación, se describen las principales herramientas dentro de cada grupo, para disponer de una base teórica sólida que sustente el análisis comparativo posterior.

2.2.3.1. Motores de Desarrollo para Realidad Aumentada

Un motor de desarrollo (también denominado game engine) es un entorno de software que proporciona las herramientas, bibliotecas y marcos necesarios para crear aplicaciones interactivas en tiempo real. En el contexto del desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada para dispositivos móviles, los motores de desarrollo permiten integrar modelos 3D, gestionar la lógica de la aplicación, conectar SDKs de RA y compilar el producto final para múltiples plataformas. Los tres motores más utilizados en proyectos de RA patrimonial y museístico son Unity 3D, Unreal Engine y Godot Engine.

2.2.3.1.1. Unity 3D

Unity 3D es, indudablemente, el motor del desarrollo de aplicaciones interactivas en tiempo real más utilizado a nivel mundial, especialmente en las áreas de realidad virtual y aumentada. Desarrollado por Unity Technologies, ofrece un entorno visual completo que incluye sistema de escenas, renderizado de gráficos 3D, motor de física, sistema de audio, animaciones y, lo más valioso, la capacidad de compilar un mismo proyecto para múltiples plataformas sin reescribir el código. Para proyectos de RA en museos y patrimonio cultural, Unity se ha convertido en el estándar indiscutible. Al respecto, Guanochanga y Logacho (2025) afirman: "Unity 3D se ha consolidado como la herramienta predilecta para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada en museos,

debido a su compatibilidad nativa con SDKs como Vuforia, su amplia biblioteca de recursos y una comunidad de desarrolladores que facilita la resolución de problemas técnicos". Un ejemplo práctico: un estudiante universitario puede crear una aplicación que reconozca marcadores impresos de piezas arqueológicas y muestre sus modelos 3D, todo ello sin necesidad de invertir en licencias costosas, gracias a la versión gratuita de Unity. Además, Unity es compatible con las plataformas Windows, macOS, Linux, Android, iOS y WebGL, lo que garantiza que la aplicación pueda ejecutarse en la mayoría de los dispositivos que poseen los visitantes del museo. Por todas estas razones, su modelo de licencia gratuito y su curva de aprendizaje media lo convierten en la opción más accesible para proyectos académicos de pequeña y mediana escala (Guanochanga & Logacho, 2025).

2.2.3.1.2. Unreal Engine

Unreal Engine, desarrollado por Epic Games, se distingue principalmente por su capacidad de renderizado fotorrealista de alta fidelidad. Ofrece un sistema de gráficos avanzado que incluye iluminación global en tiempo real (Lumen), geometría nanoscópica (Nanite) y un entorno visual de scripting denominado Blueprint, que permite programar comportamientos arrastrando nodos y conectándolos, sin necesidad de escribir código línea por línea. Esto lo hace muy atractivo para diseñadores y artistas sin formación profunda en programación. Austria-Melo et al. (2022) señalan: "Unreal Engine se emplea habitualmente en producciones de alto presupuesto, como videojuegos AAA, efectos especiales cinematográficos y simuladores industriales, donde la calidad visual es prioritaria". En el ámbito de la realidad aumentada, Unreal Engine cuenta con soporte para ARCore (Google) y ARKit (Apple), pero su integración con Vuforia Engine (el SDK más utilizado para RA basada en marcadores) es mucho más compleja que en Unity y requiere configuraciones manuales adicionales. Su modelo de licencia es gratuito hasta que los ingresos brutos superen 1 millón de dólares. Aunque para un proyecto académico esto no supone un problema, la curva de aprendizaje de Unreal Engine es significativamente más pronunciada que la de Unity, lo que representa una desventaja importante cuando el tiempo de desarrollo es limitado, como suele ocurrir en los trabajos de titulación universitarios. Por lo tanto, a pesar de su impresionante calidad visual, Unreal Engine no es la opción más práctica para un museo pequeño con recursos limitados.

2.2.3.1.3. Godot Engine

Godot Engine es un motor de creación de código libre y completamente gratuito, distribuido bajo la licencia MIT. Fue diseñado con un fuerte énfasis en la accesibilidad y la ligereza. Emplea su propio lenguaje de scripting, denominado GDScript, cuya sintaxis es muy similar a la de Python, lo que facilita su aprendizaje. También admite C# y otros lenguajes. Benítez Miranda et al. (2025) destacan: “Godot ha ganado relevancia en la comunidad de desarrolladores independientes gracias a su arquitectura modular, su editor liviano y su orientación a proyectos 2D y 3D de escala reducida o media, lo que lo convierte en una alternativa atractiva para quienes desean evitar cualquier tipo de licencia comercial”. Sin embargo, en el ámbito específico de la realidad aumentada basada en marcadores para dispositivos Android, Godot presenta limitaciones importantes. No cuenta con integración nativa con SDKs de RA de amplio uso, como Vuforia Engine. Aunque existen plugins comunitarios para ARCore, su madurez, documentación y soporte son significativamente inferiores a los disponibles para Unity. El ecosistema de recursos, tutoriales y soporte especializado en RA para Godot es todavía muy reducido. Por ejemplo, si un desarrollador encuentra un error al intentar reconocer un marcador con Godot, es probable que pase horas buscando una solución sin éxito, mientras que en Unity la misma pregunta ya ha sido respondida cientos de veces en foros. En consecuencia, aunque Godot es una excelente opción para juegos 2D o aplicaciones sencillas, para un proyecto de RA patrimonial que requiera estabilidad y rapidez de desarrollo, Unity sigue siendo la opción más recomendable (Benítez Miranda et al., 2025; Guanochanga & Logacho, 2025).

Tabla 4. Análisis comparativo de motores de desarrollo para realidad aumentada.

Motor	Licencia	Integración con Vuforia	Compilación Android	Curva de aprendizaje	Uso en RA patrimonial
Unity 3D	Gratuita (Personal)	Nativa y directa	Sí, compilación directa	Media	Ampliamente documentado
Unreal Engine	Gratuita con royalties	Compleja, configuración manual	Sí, con configuración	Alta	Proyectos de alto presupuesto
Godot Engine	Gratuita (MIT)	Sin integración nativa madura	Sí, con plugins limitados	Media-baja	Escaso, plugins experimentales

2.2.3.2. SDK de Realidad Aumentada

Un SDK (Software Development Kit) de realidad aumentada es un conjunto de bibliotecas, APIs y herramientas que permite a un motor de desarrollo (como Unity) reconocer el entorno físico, detectar marcadores o superficies, y superponer contenido digital sobre la vista de la cámara en tiempo real. En términos sencillos, es el "cerebro" que le dice a la aplicación qué hacer cuando ve algo. La elección del SDK determina aspectos fundamentales: el tipo de RA que se puede implementar (basada en marcadores o sin marcadores), la precisión del tracking (seguimiento), la compatibilidad con diferentes plataformas (Android, iOS) y la dependencia o no de conexión a internet. Para proyectos de RA en museos y patrimonio cultural, los tres SDKs de mayor relevancia son Vuforia Engine, ARCore y Wikitude. Cada uno tiene características particulares que los hacen más o menos adecuados según las necesidades del proyecto y el presupuesto disponible.

2.2.3.2.1. Vuforia Engine

Vuforia Engine, desarrollado por PTC Inc., es el SDK de realidad aumentada con mayor adopción en aplicaciones museísticas y educativas a nivel mundial. Su principal fortaleza es el reconocimiento de imágenes de alta precisión, incluso en condiciones adversas. Al respecto, Guanochanga y Logacho (2025) afirman: "Vuforia permite asociar contenido virtual a marcadores impresos con una estabilidad excepcional, funcionando correctamente incluso bajo iluminación variable y desde ángulos oblicuos, lo que lo convierte en la opción ideal para museos donde las condiciones de luz no siempre son controlables". Una ventaja crucial para los museos es que Vuforia opera mediante una base de datos de marcadores que puede almacenarse localmente en el dispositivo, es decir, no requiere conexión a internet durante el uso. Esto es fundamental en zonas rurales o con conectividad limitada. Además, Vuforia soporta múltiples tipos de targets: Image Targets (imágenes planas, como una foto de una pieza), Multi-Targets (objetos cúbicos, como una vitrina), Cylinder Targets (superficies cilíndricas, como una vasija) y Model Targets (reconocimiento de objetos tridimensionales reales). Su integración con Unity es nativa: se instala como paquete desde el Package Manager sin necesidad de configuraciones complejas. La versión gratuita de Vuforia permite hasta 1000 reconocimientos de marcadores por mes, límite más que suficiente para fines educativos y proyectos académicos como el presente.

Por todas estas razones, Vuforia es la opción más recomendable para el desarrollo de aplicaciones en museos.

2.2.3.2.2. ARCore

Wikitude es un SDK comercial desarrollado por Wikitude GmbH (Austria) que ofrece capacidades híbridas: tanto RA basada en marcadores (reconocimiento de imágenes) como RA sin marcadores (SLAM y geolocalización). Soporta plataformas Android, iOS y gafas inteligentes, y puede integrarse con Unity, aunque su pipeline de integración es menos directo y requiere más pasos manuales que el de Vuforia. Boboc et al. (2022) mencionan: "Wikitude ha sido utilizado en varios proyectos de patrimonio digital europeos, particularmente en aplicaciones de turismo cultural con componentes de geolocalización, donde se necesita guiar al visitante a lo largo de un recorrido exterior". Por ejemplo, se podría crear una ruta por el centro histórico de El Ángel, mostrando información sobre los sitios arqueológicos cercanos. Sin embargo, el principal inconveniente de Wikitude es su modelo de licencia comercial. La versión de prueba incluye una marca de agua en la aplicación y limita el uso en producción, y las licencias completas tienen un costo significativo. Para proyectos académicos o institucionales con presupuesto limitado, como el del Museo Blas Ángel, esta restricción es prácticamente insalvable, por lo que Wikitude queda descartado a pesar de sus capacidades.

2.2.3.2.3. Wikitude

Wikitude es un SDK comercial desarrollado por Wikitude GmbH (Austria) que ofrece capacidades híbridas: tanto RA basada en marcadores (reconocimiento de imágenes) como RA sin marcadores (SLAM y geolocalización). Soporta plataformas Android, iOS y gafas inteligentes, y puede integrarse con Unity, aunque su pipeline de integración es menos directo y requiere más pasos manuales que el de Vuforia. Boboc et al. (2022) mencionan: "Wikitude ha sido utilizado en varios proyectos de patrimonio digital europeos, particularmente en aplicaciones de turismo cultural con componentes de geolocalización, donde se necesita guiar al visitante a lo largo de un recorrido exterior". Por ejemplo, se podría crear una ruta por el centro histórico de El Ángel, mostrando información sobre los sitios arqueológicos cercanos. Sin embargo, el principal inconveniente de Wikitude es su modelo de licencia comercial. La versión de prueba incluye

una marca de agua en la aplicación y limita el uso en producción, y las licencias completas tienen un costo significativo. Para proyectos académicos o institucionales con presupuesto limitado, como el del Museo Blas Ángel, esta restricción es prácticamente insalvable, por lo que Wikitude queda descartado a pesar de sus capacidades.

Tabla 5. Análisis comparativo de SDK de realidad aumentada.

SDK	Licencia	Tipo de RA	Integración con Unity	Modo offline	Compatibilidad Android
Vuforia Engine	Gratuita (limitada)	Basada en marcadores e imagen targets	Nativa (Package Manager)	Sí, base de datos local	Amplia (no requiere certificación)
ARCore	Gratuita (Google)	Sin marcadores (SLAM, superficies)	Via AR Foundation	No (requiere Play Services)	Solo dispositivos certificados por Google
Wikitude	Comercial (con marca de agua gratuita)	Marcadores, SLAM y geolocalización	Plugin externo, configuración manual	Sí (parcialmente)	Amplia

2.2.3.3. Herramientas de Modelado Tridimensional

El modelado tridimensional es el proceso mediante el cual se construye la representación digital de un objeto en un espacio de tres dimensiones. Para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada destinadas a patrimonio arqueológico, los modelos 3D deben cumplir dos condiciones simultáneas: representar fielmente las características formales y estéticas del objeto original, y mantener una densidad poligonal optimizada que garantice su rendimiento eficiente en dispositivos móviles. Las herramientas de modelado 3D más utilizadas en contextos de patrimonio cultural y desarrollo de RA son Blender, Autodesk Maya y ZBrush.

2.2.3.3.1. Blender

El programa de modelado, renderizado y animación 3D más empleado en la industria creativa es Blender. Desarrollado por la Blender Foundation y distribuido bajo licencia GPL, es completamente gratuito y no impone restricciones de uso. Díaz Alemán (2023) documenta su aplicación en procesos de retopología, optimización de mallas y modelado de patrimonio cultural para entornos interactivos de tiempo real. Blender integra en un único entorno herramientas de modelado poligonal, sculpting digital, rigging, animación, texturizado UV, nodos de materiales y renderizado con Cycles y Eevee. Para el modelado de piezas

arqueológicas de morfología simétrica, Blender ofrece herramientas específicas como la modificación por revolución de perfiles y la extrusión paramétrica, técnicas validadas por Martínez Carrillo et al. (2023) para la reconstitución volumétrica de cerámica arqueológica. Exporta directamente en formatos .fbx y .obj, compatibles con Unity sin conversión adicional.

2.2.3.3.2. Autodesk Maya

Autodesk Maya es el software de modelado y animación tridimensional de referencia en la industria cinematográfica, de efectos visuales y de videojuegos de producción profesional. Desarrollado por Autodesk, ofrece un conjunto completo de herramientas para modelado poligonal, NURBS, sculpting, rigging de personajes complejos, simulación de dinámicas y renderizado con Arnold. Hernández-Muñoz (2023) señala que Maya es empleado en proyectos de digitalización de museos de gran escala donde se requieren flujos de trabajo de producción avanzados y compatibilidad con pipelines corporativos. Su interfaz y conjunto de herramientas están orientados a flujos de trabajo profesionales de alta complejidad. Autodesk Maya requiere licencia de pago: su precio de suscripción anual supera los 2.000 USD, aunque Autodesk ofrece licencias educativas gratuitas para estudiantes universitarios con vigencia de un año y restricciones de uso comercial. La curva de aprendizaje de Maya es significativamente más pronunciada que la de Blender, requiriendo tiempo de formación especializada para aprovechar su potencial.

2.2.3.3.3. ZBrush

ZBrush es un software especializado en sculpting digital de alta resolución, desarrollado por Maxon (anteriormente Pixologic). Su arquitectura se basa en el uso de polígonos dinámicos denominados ZSpheres y en un sistema de niveles de subdivisión que permite trabajar con modelos de decenas de millones de polígonos sin comprometer el rendimiento del sistema. ZBrush es ampliamente utilizado en la industria del entretenimiento para crear personajes, criaturas y superficies orgánicas de alta complejidad. En el ámbito del patrimonio cultural, Montoya Janampa (2022) documenta su aplicación en la creación de detalles superficiales de alta resolución en reconstrucciones de objetos arqueológicos. Sin embargo, ZBrush está orientado principalmente al sculpting de formas orgánicas complejas, no al modelado poligonal limpio y optimizado que se requiere para

aplicaciones de tiempo real como la realidad aumentada. Los modelos generados en ZBrush requieren un proceso obligatorio de retopología para reducir su densidad poligonal a niveles adecuados para uso en dispositivos móviles. Su licencia es comercial con una versión de suscripción mensual disponible.

Tabla 6. Análisis comparativo de herramientas de modelado tridimensional.						
Herramienta	Licencia	Fortaleza principal	Exportación para Unity		Optimización para RA	Curva de aprendizaje
Blender	Gratuita (GPL)	Modelado poligonal, reconstitución volumétrica, retopología, exportación directa	.fbx, nativos	.obj	Control total desde el inicio, sin retopología posterior necesaria	Media
Autodesk Maya	Pago (licencia educativa limitada)	Animación y modelado para producción profesional, pipelines corporativos	.fbx nativo		Requiere etapa de optimización manual	Alta
ZBrush	Pago (suscripción)	Sculpting orgánico de alta resolución, detalle superficial extremo	Requiere exportación con retopología previa		Requiere retopología obligatoria para reducir polígonos	Alta

2.2.4. Lenguajes de Programación

Los lenguajes de programación son sistemas formales que contienen reglas semánticas y sintácticas, las cuales posibilitan al desarrollador formular instrucciones precisas para dirigir el comportamiento lógico de un sistema informático, convirtiendo la lógica de una solución en código ejecutable por la máquina. Aliaga Arias et al. (2024), en su revisión sistemática sobre lenguajes empleados en el desarrollo de aplicaciones móviles, publicada en la e-Revista Multidisciplinaria del Saber e indexada en SciELO, señalan que la selección adecuada del lenguaje de programación es una decisión crucial en el desarrollo de software, porque establece la calidad, la seguridad y la eficacia de la aplicación final, así como su compatibilidad con las plataformas y metodologías de desarrollo empleadas. Los autores destacan además que la integración de metodologías ágiles con lenguajes orientados a objetos modernas representa el estándar predominante en el desarrollo de aplicaciones móviles exitosas.

2.2.4.1. Lenguajes de Programación en el Desarrollo de Aplicaciones

Un lenguaje de programación es un sistema formal de instrucciones que posibilita a los programadores redactar órdenes, acciones y algoritmos para desarrollar software que regule el comportamiento lógico de una computadora. Los lenguajes de programación se agrupan en función del objetivo para el cual se utilizan, su paradigma y su nivel de abstracción. En el desarrollo de aplicaciones móviles interactivas y sistemas de realidad aumentada, los lenguajes orientados a objetos son los más utilizados por su capacidad de organizar el código en estructuras reutilizables y modulares (Guanochanga y Logacho, 2025).

2.2.4.2. Lenguaje C#

C# es un lenguaje de programación moderno, orientado a objetos y de propósito general. Fue creado por Microsoft como componente de su plataforma .NET. Guanochanga y Logacho (2025) señalan que C# es el lenguaje de scripting principal de Unity, y que su integración directa con el motor gráfico permite manipular objetos, físicas, luces y comportamientos desde el código. La siguiente tabla resume sus principales características aplicadas al presente proyecto.

Tabla 7. Características del Lenguaje C# Relevantes para el Desarrollo de la Aplicación.

Característica	Descripción	Relevancia para el proyecto
Orientación a objetos	Organiza el código en clases con encapsulación, herencia y polimorfismo	Facilita la gestión modular de los componentes de la aplicación de RA
Gestión automática de memoria	Asigna y libera recursos sin intervención manual del desarrollador	Optimiza el rendimiento de la aplicación en dispositivos móviles
Sintaxis clara y legible	Estructura ordenada que facilita el aprendizaje y la detección de errores	Reduce el tiempo de desarrollo y mantenimiento del código
Compatibilidad multiplataforma	Permite compilar para Android, iOS y Windows desde un único proyecto	Garantiza que la aplicación sea accesible al mayor número de visitantes posible

Benítez Miranda et al. (2025) destacan que C# se ha consolidado como uno de los lenguajes más demandados en el desarrollo de aplicaciones inmersivas con realidad aumentada y realidad virtual, tanto en contextos educativos como culturales, gracias a su robustez técnica y a la extensa comunidad de desarrolladores que lo respalda.

2.2.5. Preservación Digital

2.2.5.1. Patrimonio Cultural

El patrimonio cultural comprende el conjunto de bienes, tanto tangibles como intangibles, que tienen un valor simbólico, artístico, científico o histórico para una sociedad. En la perspectiva de Fontal Merillas (2023), el patrimonio no puede reducirse a un inventario estático de objetos heredados, sino que representa un proceso vivo mediante el cual cada comunidad establece relaciones significativas con su legado, eligiendo, resignificando y valorando determinados elementos del pasado según sus propias circunstancias presentes. Bajo este enfoque, lo que confiere valor al patrimonio cultural no son únicamente las cualidades intrínsecas de los objetos, sino los lazos afectivos, históricos y simbólicos que los grupos humanos construyen con ellos a lo largo del tiempo.

2.2.5.2. Patrimonio Arqueológico

El patrimonio arqueológico constituye una categoría específica del patrimonio cultural material integrada por los vestigios que las sociedades del pasado dejaron como testimonio de su existencia. Según el INPC (2023), este acervo comprende bienes muebles e inmuebles generados por grupos humanos a lo largo de la historia, los cuales aportan datos valiosos acerca de modos de vida, tecnologías, organización social y sistemas de pensamiento. Los objetos arqueológicos poseen valor científico porque permiten reconstruir procesos históricos mediante análisis sistemáticos de sus características formales, composición material y contextos de hallazgo. Novillo Verdugo et al. (2024) argumentan que el patrimonio arqueológico también cumple funciones sociales contemporáneas al fortalecer identidades colectivas y vincular a las comunidades actuales con sus raíces históricas. La preservación del patrimonio arqueológico no solo responde a imperativos científicos, sino también a necesidades sociales de memoria, identidad y continuidad cultural.



Figura 1. Piezas arqueológicas de la colección del Museo Blas Ángel, Cantón Espejo.

2.2.5.3. Fases Culturales del Norte Andino Ecuatoriano

Las fases culturales Capulí, Piartal y Tuza de la cultura Pasto se desarrollaron en el norte andino ecuatoriano durante el período de Integración e Incaico (800–1800 d.C.), representando las últimas sociedades prehispánicas antes de la conquista española. El INPC (2023) caracteriza cada fase con rasgos materiales distintivos que se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Fases Culturales de la Cultura Pasto del Norte Andino Ecuatoriano.

Fase cultural	Período	Características cerámicas principales	Otros rasgos distintivos
Capulí	800–1600 d.C.	Decoración en pintura negativa sobre engobe rojo; formas globulares	Representaciones antropomorfas estilizadas
Piartal	800–1500 d.C.	Vasijas con cuellos largos; decoración incisa	Modelados con figuras humanas de tocados elaborados
Tuza	1250–1800 d.C.	Cerámica utilitaria de paredes delgadas; ollas trípodes; botijuelas rituales	Evidencias de contacto con el Tahuantinsuyo incaico

Las expresiones materiales de estos pueblos Pasto constituyen testimonios fundamentales para comprender la diversidad cultural del Ecuador prehispánico y conforman el núcleo de la colección del Museo Blas Ángel.

2.2.5.4. Conservación y Preservación del Patrimonio

La conservación y preservación del patrimonio cultural abarca tanto las acciones físicas sobre los objetos como las estrategias digitales orientadas a garantizar su permanencia a largo plazo. El Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE, 2023) establece que todo museo debe implementar un Programa de Conservación Preventiva que contemple las características específicas de sus colecciones, sus posibilidades institucionales y sus necesidades particulares,

reconociendo que ambos enfoques (el físico y el digital), resultan complementarios e igualmente necesarios en el contexto museístico actual, especialmente cuando se trata de colecciones arqueológicas de alta fragilidad.

2.2.5.4.1. Conservación del Patrimonio Cultural

La disciplina de la conservación patrimonial ha evolucionado significativamente en las últimas décadas. Tradicionalmente, la conservación se centraba en la restauración: intervenir directamente sobre el objeto para reparar daños, reintegrar partes faltantes o detener procesos de deterioro activo. Sin embargo, esta perspectiva ha ido cediendo paso a un enfoque preventivo, que privilegia el control de las condiciones ambientales como la temperatura, humedad relativa, iluminación, calidad del aire y minimiza al máximo el contacto físico con los objetos, pues cualquier manipulación, por cuidadosa que sea, conlleva riesgos de modificación irreversible de la evidencia material. En este contexto, Boboc et al. (2022) señalan: "La digitalización tridimensional se ha consolidado como un complemento estratégico a la conservación física, al generar registros digitales duraderos que preservan la información esencial (forma, color, textura, dimensiones) incluso cuando las piezas originales sufren daños, se degradan o desaparecen por completo". Por ejemplo, una vasija de la cultura Piartal con fracturas progresivas puede ser escaneada o modelada en 3D en su estado actual; ese modelo digital se convierte en un testimonio fijo que documenta la pieza antes de que su deterioro avance. A futuro, si la vasija se fragmenta aún más, el museo contará con un registro preciso de cómo lucía en un momento dado. Además, la UNESCO (2025) advierte que los museos enfrentan presiones crecientes asociadas a la crisis climática (aumento de temperaturas, humedades extremas, eventos meteorológicos impredecibles) y a la falta de financiamiento crónico, circunstancias que aumentan la exposición de las colecciones al deterioro progresivo y a la pérdida irreversible. En contextos de recursos limitados, la digitalización como medida preventiva resulta significativamente más sostenible que las intervenciones correctivas complejas (restauraciones costosas, que requieren personal especializado y productos químicos). De hecho, el costo de digitalizar una pieza mediante reconstitución volumétrica es una fracción del costo de una restauración profesional. Por lo tanto, la conservación preventiva digital se presenta como una herramienta de gran valor para museos pequeños,

permitiéndoles cumplir con su misión de preservación sin incurrir en gastos insostenibles.

2.2.5.4.2. Preservación Digital del Patrimonio

La preservación digital no se limita a crear representaciones digitales de los objetos; implica un conjunto de estrategias activas orientadas a mantener la disponibilidad, la integridad y la legibilidad de esos bienes culturales en soporte digital a lo largo del tiempo, a veces décadas o siglos. Esto incluye acciones como la migración periódica de formatos (pasar de un formato obsoleto a uno actual), la emulación de entornos de software antiguos, el almacenamiento redundante en múltiples ubicaciones (discos duros, nube, servidores institucionales) y la documentación exhaustiva de metadatos (quién creó el modelo, con qué técnica, en qué fecha, qué nivel de certeza tiene). Ortiz-Zamora et al. (2023) apuntan: "La aplicación de tecnologías de reconstrucción virtual al patrimonio histórico amplía su visibilidad y facilita su transferencia a futuras generaciones, dado que las representaciones digitales no intervienen ni deterioran los objetos que reproducen, y además pueden ser copiadas y distribuidas sin pérdida de calidad". Esta propiedad es de especial relevancia para piezas cerámicas arqueológicas, que poseen un alto valor patrimonial pero una marcada fragilidad física: una vasija Capulí con engobe rojo puede perder su decoración por la simple acción de la humedad o la luz ultravioleta. En cambio, su modelo 3D texturizado preserva para siempre esos colores y detalles, incluso si la pieza original se desvanece. A ello se suma que la preservación digital permite que se supere las restricciones físicas del espacio museístico. Un ejemplo claro es cuando existe un proceso de traslado institucional: mientras las piezas están embaladas o almacenadas temporalmente, los modelos 3D y la aplicación de RA podrían seguir siendo accesibles al público a través de una exposición virtual, garantizando la continuidad educativa. La Figura 2 muestra un modelo tridimensional de una pieza arqueológica del Museo Blas Ángel generado en Blender, donde se aprecia la fidelidad volumétrica y textural alcanzada con la reconstitución por evidencia fotográfica directa.

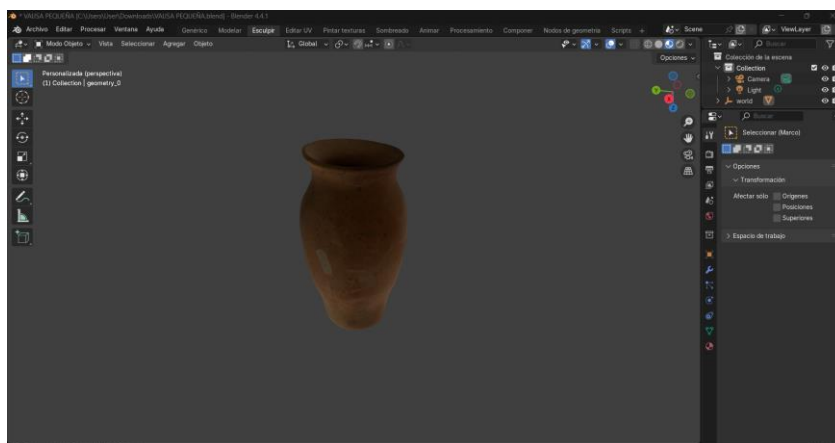


Figura 2. Modelo tridimensional de pieza arqueológica generado en Blender.

2.2.5.5. Museos y Tecnología

La integración de tecnologías digitales en los museos ha pasado de ser una opción innovadora, casi experimental, a una necesidad institucional ineludible. Los museos contemporáneos no solo conservan y exhiben; deben competir por la atención de públicos cada vez más familiarizados con entornos digitales interactivos, rápidos y personalizables. Un visitante de 20 años, acostumbrado a las redes sociales, los filtros de realidad aumentada y los videojuegos, encuentra poco atractiva una vitrina estática con una cartela de texto impreso. Por ello, los museos se ven obligados a repensar su propuesta museográfica, incorporando pantallas táctiles, aplicaciones móviles, códigos QR, realidad aumentada, gamificación e incluso inteligencia artificial para recomendar recorridos personalizados. Sin embargo, esta transformación no es homogénea: mientras los grandes museos nacionales o internacionales cuentan con presupuestos millonarios y equipos de desarrollo, los museos municipales y comunitarios, enfrentan barreras significativas. La brecha digital entre instituciones culturales es un fenómeno real, y su superación requiere soluciones adaptadas a contextos de recursos limitados, como las que se proponen en esta investigación.

2.2.5.5.1. El Museo como Institución Cultural

El Consejo Internacional de Museos (ICOM, 2022) define el museo como “una institución permanente, sin fines de lucro, al servicio de la sociedad, que investiga, colecciona, conserva, interpreta y exhibe el patrimonio material e inmaterial. Abiertos al público, accesibles e inclusivos, los museos fomentan la diversidad y la sostenibilidad”. Esta definición amplía el papel tradicional: ya no basta con acumular objetos; es necesario interpretarlos (darles significado),

hacerlos accesibles (derribar barreras físicas, económicas, cognitivas) y contribuir a la sostenibilidad (ambiental, social, económica). Frente a este mandato, los museos contemporáneos enfrentan la exigencia de renovarse ante una sociedad en acelerada transformación digital. Los públicos actuales no solo buscan información, sino experiencias participativas, dinámicas y personalizadas. Un visitante quiere sentirse protagonista, no un mero espectador. Robledo e Iturralde (2023) señalan: “Las instituciones museísticas ecuatorianas enfrentan tres desafíos interrelacionados: la actualización tecnológica de sus infraestructuras (muchas veces inexistente), la diversificación de audiencias (atraer a jóvenes, poblaciones rurales, personas con discapacidad) y la necesidad de conectar con los públicos jóvenes mediante lenguajes y formatos que les resulten familiares”. En el caso del Museo Blas Ángel, estos desafíos se agravan por su ubicación en un cantón rural, su presupuesto municipal limitado y la falta de personal técnico especializado. La Figura 3 muestra las instalaciones del museo, un espacio pequeño, pero con potencial, que actualmente carece de cualquier mediación digital.



Figura 3. Instalaciones del Museo Blas Ángel, ubicado frente al parque principal de El Ángel, Cantón Espejo, provincia del Carchi.

Fuente: Goraymi (2018)

2.2.5.5.2. Tecnología en Museos

La integración de tecnología en los museos ha transformado profundamente la relación entre las instituciones culturales y sus visitantes. Ya no se trata de una relación unidireccional (el museo habla, el visitante escucha), sino de un diálogo interactivo donde el visitante puede elegir qué información ver, a qué profundidad, y en qué formato (texto, audio, video, 3D, RA). Guijarro-Sánchez e Iglesias-García (2024) demuestran, a partir de un estudio en museos españoles y latinoamericanos, que “la incorporación de herramientas digitales en espacios museísticos no solo mejora la experiencia del visitante, aumentando su tiempo de

permanencia, su satisfacción y su recuerdo de los contenidos, sino que también incrementa la visibilidad institucional en redes sociales y diversifica las audiencias alcanzadas, atrayendo especialmente a jóvenes de 18 a 30 años". Por ejemplo, un museo que ofrece una aplicación de RA con gamificación (como buscar pistas o coleccionar modelos 3D) puede duplicar el número de visitantes jóvenes en un año. Sin embargo, la adopción tecnológica no es automática. Loo-Chóez et al. (2025), en una revisión sistemática sobre RA en museos universitarios, identificaron que entre los principales desafíos para su adopción figuran: (1) la escasa formación del personal (los museólogos no son desarrolladores de software), (2) los limitados recursos económicos (el desarrollo de una app a medida puede costar entre 5.000 y 20.000 USD en el mercado comercial), y (3) la escasa infraestructura tecnológica (falta de dispositivos de préstamo, conectividad a internet inestable, ordenadores obsoletos). Así, se ofrece un modelo replicable para otros museos ecuatorianos en condiciones similares. La Figura 4 mostraría una demostración de realidad aumentada, evidenciando cómo la tecnología puede integrarse de manera sencilla y efectiva.



Figura 4. Demostración de realidad aumentada sobre pieza cerámica en museos.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

Medina Romero et al. (2023) sostienen que los métodos mixtos combinan de manera ordenada datos cuantitativos y cualitativos, lo que permite abordar el problema de investigación de forma más completa al capitalizar las ventajas de cada perspectiva y generar interpretaciones con mayor profundidad y sustento. Siguiendo este principio, la presente investigación se apoya en un enfoque mixto que incorpora procedimientos de recolección y análisis provenientes de ambas tradiciones.

En la fase cuantitativa, se realizaron encuestas a alumnos, docentes y residentes de la ciudad de El Ángel para determinar el grado de conocimiento y valoración del patrimonio cultural existente. Los resultados se procesaron mediante estadísticas descriptivas, que permitieron identificar tendencias generales y cuantificar la percepción social sobre la importancia del museo y su legado.

En la fase cualitativa, se realizó una entrevista a un historiador ex encargado del museo del cantón Espejo con el fin de recopilar criterios especializados sobre la relevancia cultural, el simbolismo y el estado de conservación de las piezas arqueológicas. La entrevista fue analizada mediante categorización temática, identificando núcleos de significado como "valor cultural", "estado físico" y "requerimientos de digitalización", que orientaron las decisiones de diseño y selección de piezas para la aplicación (Cejás Martínez et al., 2023). Este análisis cualitativo complementó los resultados de las encuestas, ayudando a determinar qué piezas incluir en la aplicación y cómo diseñarla para que sea funcional, atractiva y culturalmente pertinente.

3.1.2. Tipo de Investigación

La presente investigación se clasifica según su propósito y alcance en los siguientes tipos:

3.1.2.1. Investigación de campo

Se trata de una investigación de campo porque los datos fueron recolectados directamente del contexto real donde ocurre el problema. Las encuestas se aplicaron a residentes, estudiantes y docentes del cantón Espejo, la entrevista se realizó al ex encargado del museo en el propio entorno institucional y el registro fotográfico de las piezas arqueológicas se llevó a cabo mediante visita directa al museo. Esto permitió obtener información primaria vinculada directamente con la realidad investigada.

3.1.2.2. Investigación exploratoria

La investigación presenta un carácter exploratorio porque aborda una problemática que no había sido estudiada ni atendida previamente en el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel: la digitalización de su acervo arqueológico mediante realidad aumentada. Al inicio no existía información sistematizada sobre el estado de conservación de las piezas, ni criterios documentados sobre cuáles debían priorizarse para su digitalización, ni experiencia previa en la institución con herramientas de preservación digital. Por ello, fue necesario explorar y establecer: (a) el estado real de la colección a través de observación directa y entrevista especializada, dado que el museo no contaba con un inventario digital actualizado; (b) qué piezas eran representativas de las fases culturales Capulí, Piartal y Tuza para la selección del corpus de digitalización; y (c) qué combinación de herramientas tecnológicas resultaba viable para implementar RA en un contexto museístico con recursos limitados y acceso restringido al espacio físico. Este componente exploratorio generó conocimiento de base que no preexistía en la institución y que orientó todas las decisiones técnicas y metodológicas del proyecto.

3.1.2.3. Investigación aplicada

La investigación es de tipo aplicada porque su propósito central no es generar conocimiento teórico, sino producir una solución tecnológica funcional que resuelva una problemática institucional real. En el marco de este proyecto, el producto aplicado desarrollado fue una aplicación móvil de realidad aumentada basada en marcadores, compatible con dispositivos Android, que permite visualizar modelos tridimensionales de 16 piezas arqueológicas representativas de las culturas Capulí, Piartal y Tuza al enfocar marcadores impresos con la cámara del dispositivo.

Este producto fue construido en cuatro sprints mediante la metodología Scrum, integra modelos 3D elaborados en Blender mediante reconstitución volumétrica, y fue desarrollado con Unity 3D, Vuforia Engine y C#. Su aplicación directa en el Museo Blas Ángel responde a las tres limitaciones identificadas en el diagnóstico: la ausencia de registros digitales de las piezas, el cierre temporal del museo por traslado de infraestructura y la baja difusión del patrimonio Pasto en la comunidad del cantón Espejo. La validación del producto se realizó mediante encuesta aplicada a 94 personas de la comunidad, obteniendo un 97,9% de aceptación y confirmando que el 94,7% de los encuestados considera que la herramienta contribuiría a valorar mejor el patrimonio cultural local.

Loor-Chóez et al. (2025) precisan que la investigación aplicada en el área de las tecnologías emergentes está orientada a dar respuesta a problemas específicos mediante la creación y validación de soluciones funcionales en escenarios reales. Este tipo de investigación trasciende la generación de saber teórico y lo transforma en un producto tecnológico concreto, con efectos directos y verificables en la institución o comunidad que lo recibe.

3.2. IDEA A DEFENDER

El desarrollo de una aplicación de realidad aumentada como estrategia de preservación digital de las piezas arqueológicas del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel permitirá reducir la pérdida de información arqueológica, ampliar el acceso de la comunidad al patrimonio cultural y fortalecer la difusión e identidad cultural del cantón Espejo, provincia del Carchi, durante el período 2025–2026.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 9. Definición y operacionalización de las variables.					
Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Técnica de recolección	Instrumento
Variable Independiente: Realidad Aumentada	Tecnología que superpone información digital sobre el entorno físico en tiempo real.	Desarrollo técnico de la aplicación	Número de piezas arqueológicas integradas con modelos 3D funcionales. Número de marcadores reconocidos correctamente por la cámara. Funcionamiento del contenido multimedia (texto y audio) por pieza	Observación directa del funcionamiento de la aplicación	Registro fotográfico y capturas de pantalla

Variable Dependiente: Preservación Digital	Proceso de documentación y reproducción digital tridimensional de las piezas arqueológicas de las culturas del Museo Blas Ángel, orientado a garantizar su conservación preventiva y accesibilidad cultural	Calidad visual de los modelos 3D	Nivel de fidelidad visual del modelo respecto a la pieza original. Nivel de optimización poligonal para dispositivos Android de gama media	Observación directa	Registro fotográfico comparativo entre pieza original y modelo digital
		Usabilidad percibida	Grado de facilidad de uso percibido por la comunidad. Nivel de satisfacción con la propuesta de la aplicación. Porcentaje de usuarios con intención de uso	Encuesta	Cuestionario
		Selección del acervo arqueológico	Número de piezas seleccionadas por cultura según criterios de representatividad cultural y estado de conservación. Número de piezas documentadas fotográficamente	Observación directa y entrevista	Registro fotográfico y guion de entrevista semiestructurada
		Accesibilidad al patrimonio	Nivel de conocimiento del patrimonio Pasto en la comunidad del cantón Espejo. Grado de accesibilidad percibida al patrimonio durante el cierre del museo	Encuesta	Cuestionario
		Aceptación de la propuesta	Grado de aceptación de la digitalización por parte del especialista del museo. Porcentaje de la comunidad que considera útil la aplicación para valorar el patrimonio	Entrevista y encuesta	Guion de entrevista y cuestionario

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1 Métodos

3.4.1.1. Método inductivo-deductivo

Este método trabaja en dos sentidos. Por un lado, parte de lo particular para llegar a conclusiones generales: se observaron las características de piezas concretas de las culturas Capulí, Piartal y Tuza, y a partir de esas observaciones se identificaron criterios generales de selección como el valor cultural, el simbolismo y el riesgo de deterioro. Por otro lado, parte de conocimientos ya establecidos para tomar decisiones concretas: los fundamentos teóricos sobre realidad aumentada, modelado 3D y desarrollo ágil de software orientaron las decisiones de diseño y construcción de la aplicación.

3.4.1.2. Método descriptivo

Este método se utilizó para recoger y presentar información tal como es, sin modificar la realidad. Sirvió para documentar la situación actual del Museo Blas Ángel: las condiciones en las que se encuentran las piezas, el nivel de conocimiento que tiene la comunidad del cantón Espejo sobre el patrimonio Pasto y las limitaciones tecnológicas y de infraestructura que enfrenta la institución. Esta descripción fue la base para entender el problema y justificar la propuesta tecnológica.

3.4.1.3 Método bibliográfico-documental

Este método consistió en buscar, leer y analizar información de fuentes escritas confiables para construir el marco teórico y los antecedentes de la investigación. Se revisaron artículos científicos, informes del INPC, documentos de la UNESCO y trabajos similares de otras universidades. Esto permitió conocer qué se ha hecho antes sobre realidad aumentada en museos, qué herramientas existen y cómo otros investigadores han abordado problemas parecidos al de este proyecto.

3.4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Tabla 10. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Característica principal	Instrumento
Encuesta	Medición del nivel de conocimiento del patrimonio arqueológico Pasto, la accesibilidad percibida al museo y la aceptación de la propuesta de aplicación de realidad aumentada por parte de la comunidad del cantón Espejo	Cuestionario dirigido a estudiantes, docentes y residentes de la ciudad de El Ángel

Entrevista semiestructurada	Recolección de criterios especializados sobre la representatividad cultural de las piezas arqueológicas, su estado de conservación y la valoración de la propuesta de digitalización mediante realidad aumentada	Guion de entrevista dirigido al historiador ex encargado del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel
Observación directa	Registro fotográfico de las piezas arqueológicas seleccionadas y documentación del estado de conservación visible de la colección durante la visita al museo	Registro fotográfico de las piezas arqueológicas de las fases Capulí, Piartal y Tuza

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.5.1 Población y Muestra

3.5.1.1. Población

La presente investigación trabaja con dos grupos poblacionales diferenciados dependiendo de la técnica de recopilación de datos utilizada. El primer grupo está conformado por el historiador ex encargado del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel, quien posee conocimiento especializado sobre la colección de piezas arqueológicas de las fases Capulí, Piartal y Tuza, su estado de conservación y su significado cultural. El segundo grupo está integrado por la comunidad de la ciudad de El Ángel, cabecera cantonal del cantón Espejo, incluyendo estudiantes de instituciones educativas locales, docentes y residentes que mantienen o han mantenido algún vínculo con el patrimonio cultural del museo. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022), la ciudad de El Ángel cuenta con una población de 4.383 habitantes, de los cuales una parte significativa corresponde a población joven en edad escolar. Esta delimitación geográfica resulta pertinente dado que el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel se encuentra ubicado en esta ciudad y son sus habitantes quienes mantienen un vínculo más directo con el patrimonio arqueológico que resguarda.

3.5.1.2. Muestra

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron dos tipos de muestreo. Para la aplicación de encuestas a la comunidad se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando factores como la accesibilidad al museo durante su período de cierre por traslado de infraestructura, el tiempo disponible y la disposición de los participantes. Para la selección de las piezas arqueológicas a digitalizar se aplicó un muestreo intencional guiado por criterio de experto: con el apoyo del señor Antonio Ibarra, ex encargado del museo e historiador conocedor de la colección, se identificaron las 16 piezas más representativas de las fases

Capulí, Piartal y Tuza en función de su valor histórico y cultural, dado que los recursos tecnológicos y el tiempo disponibles no permitían digitalizar la totalidad de las aproximadamente 200 piezas de la colección.

En cuanto al componente cualitativo, se trabajó con una entrevista dirigida al historiador ex encargado del Museo Blas Ángel, quien es la persona con mayor conocimiento sobre la colección arqueológica y la situación institucional actual. Si bien se trata de un único informante, su selección responde a criterios de idoneidad y conocimiento especializado, ya que es quien tuvo acceso directo a las piezas, a la documentación del acervo y a los procesos internos del museo durante muchos años. Martínez Miguélez (2006) señala que en investigaciones cualitativas los informantes clave son personas con conocimientos especiales y buena capacidad de información, por lo que un informante bien seleccionado aporta datos suficientes y de calidad para los objetivos planteados, sin que sea necesaria la representatividad estadística.

Para el componente cuantitativo, el tamaño de la muestra se determinó mediante la fórmula de Cochran (1977) para poblaciones finitas:

$$n = \frac{k^2 qpN}{e^2(N-1) + k^2 pq}$$

Donde: N = 4.383 (población de la ciudad de El Ángel), Z = 1,96 (nivel de confianza del 95%), p = q = 0,50 (máxima variabilidad), y e = 0,10 (margen de error del 10%), obteniéndose:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

$$n = \frac{4383 \times (1,96)^2 \times 0,50 \times 0,50}{(0,10)^2 \times (4383 - 1) + (1,96)^2 \times 0,50 \times 0,50}$$

$$n = \frac{4383 \times 3,8416 \times 0,25}{0,01 \times 4382 + 0,9604}$$

$$n = \frac{4210,1}{43,82 + 0,9604} = \frac{4210,1}{44,78} \approx 94 \text{ personas}$$

Se definió el tamaño de la muestra adoptando un margen de error del 10%, valor que López (2004) reconoce como uno de los márgenes aceptables en investigaciones con poblaciones finitas. Este margen fue seleccionado considerando las restricciones operativas derivadas del cierre temporal del museo

durante el período de recolección de datos. En consecuencia, se aplicaron 94 encuestas a estudiantes, docentes y residentes de la ciudad de El Ángel, lo que permitió obtener información sobre el nivel de conocimiento del patrimonio cultural Pasto en la comunidad local, la percepción sobre la accesibilidad al museo y la disposición hacia el uso de herramientas tecnológicas como la realidad aumentada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados de la Encuesta

La encuesta fue aplicada a 94 personas de la comunidad de la ciudad de El Ángel, cantón Espejo, provincia del Carchi, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando un margen de error del 10% sobre una población finita. El instrumento, estructurado en seis secciones, permitió recoger datos sobre el perfil sociodemográfico de los participantes, su acceso a tecnología móvil, su nivel de conocimiento y vinculación con el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel, su familiaridad con la Realidad Aumentada y su nivel de aceptación hacia la aplicación propuesta. A continuación, se presentan y analizan los resultados de cada pregunta, estableciendo su relación directa con los objetivos específicos de la investigación.

Pregunta 1. Edad

1. Ingrese su edad:

94 respuestas

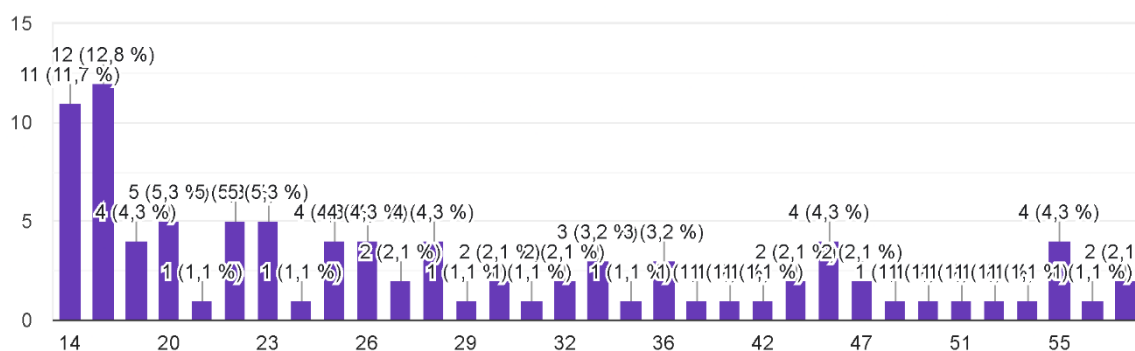


Figura 4. Gráfica de la pregunta 1

Como se evidencia en la Figura 4, el grupo mayoritario es el de los adultos jóvenes de 25 a 34 años, seguido muy de cerca por los individuos menores de 18 años y el grupo entre 18 y 24 años; estos tres segmentos, en total, representan

aproximadamente el 70 % del total de la muestra. El grupo con menos representación es el de 35 a 44 años. Esta distribución etaria es relevante porque los grupos de mayor peso muestral jóvenes y adultos jóvenes corresponden precisamente a la población con mayor familiaridad y disposición hacia el uso de tecnologías móviles, lo que constituye un indicador favorable para la adopción de una aplicación de Realidad Aumentada. Asimismo, la presencia significativa de menores de 18 años sugiere que la herramienta tiene un potencial de uso en el ámbito educativo formal, en coherencia con el carácter intergeneracional que debe tener una estrategia de difusión patrimonial.

Pregunta 2. Género

2. Género con el que se identifica:

94 respuestas

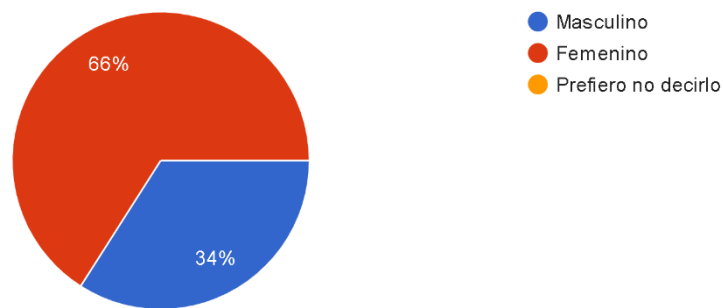


Figura 5. Gráfica de la pregunta 2

Como se evidencia en la Figura 5, la muestra está representada en su mayoría por el género femenino, que constituye más de dos tercios de los participantes, mientras que el género masculino constituye aproximadamente un tercio. Si bien esta distribución no fue intencionalmente buscada por el muestreo por conveniencia aplicado, no compromete la validez de los hallazgos relacionados con el objeto de estudio, dado que la aceptación tecnológica y el interés por el patrimonio cultural no constituyen variables con una diferenciación estadísticamente determinante por género según la literatura revisada. No obstante, se reconoce como una limitación metodológica que debe considerarse al generalizar los resultados, y se sugiere que futuras investigaciones apliquen un muestreo estratificado por género para fortalecer la representatividad de la muestra.

Pregunta 3. ¿Cuenta con smartphone o tablet para uso personal?

3. ¿Cuenta con un smartphone o tablet para uso personal?

94 respuestas

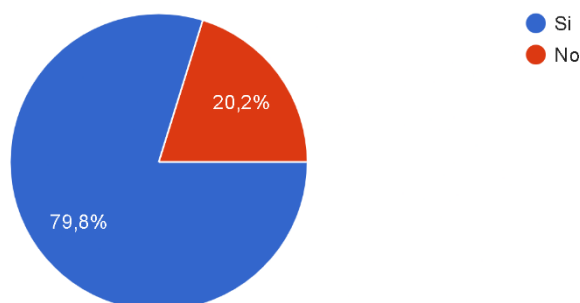


Figura 6. Gráfica de la pregunta 3

Como se evidencia en la Figura 6, el 79,8% de los encuestados dispone de un dispositivo móvil propio, mientras que el 20,2% no cuenta con este tipo de tecnología. Este resultado constituye un dato técnico determinante para el objetivo específico 2 de la investigación, ya que confirma la viabilidad de una solución basada en dispositivos móviles personales, sin necesidad de que el museo invierta en hardware adicional como tablets institucionales o estaciones interactivas fijas, lo que reduce significativamente la barrera de implementación en un contexto de recursos limitados. Al contrastar este hallazgo con el modelo de adopción tecnológica (Technology Acceptance Model), la disponibilidad del dispositivo constituye una condición previa indispensable para que se materialicen la utilidad percibida y la intención de uso reportadas posteriormente en las preguntas 17 y 18. En términos prácticos, este 79,8% representa la cobertura potencial máxima de usuarios que podrían acceder a la aplicación sin inversión adicional, validando la decisión de desarrollar una solución de tipo BYOD (Bring Your Own Device, o "traiga su propio dispositivo").

Pregunta 4. ¿Cuál es el sistema operativo principal del dispositivo?

4. ¿Cuál es el sistema operativo principal de su dispositivo?

94 respuestas

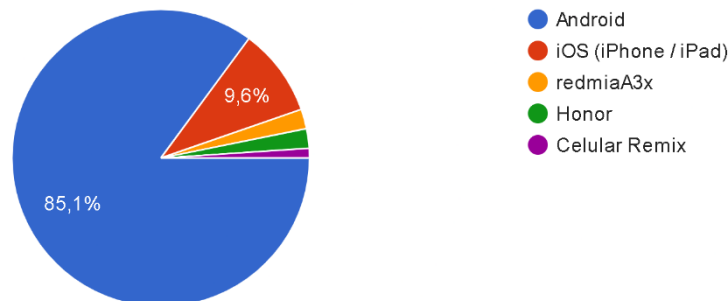


Figura 7. Gráfica de la pregunta 4

Como se evidencia en la Figura 7, el 85,1% de los encuestados utiliza Android como sistema operativo principal, frente a un 9,6% que usa iOS y un 5% que emplea otros sistemas. Este dato técnico resultó determinante en la selección de la plataforma de desarrollo, ya que orientar el proyecto hacia Android permite alcanzar a la inmensa mayoría de la población objetivo con un solo desarrollo nativo, optimizando los recursos limitados de tiempo y presupuesto disponibles para un trabajo de titulación. Al cruzar este resultado con el de la pregunta anterior, se obtiene que aproximadamente el 68% del total de encuestados ($79,8\% \text{ con smartphone} \times 85,1\% \text{ con Android}$) constituye la base instalada real y potencialmente alcanzable por la aplicación sin requerir versiones adicionales para otros sistemas operativos, cifra que respalda cuantitativamente la decisión metodológica adoptada en el Resultado 2 de esta investigación.

Pregunta 5. ¿Conoce el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel?

5. ¿Conoce el Museo Arqueológico Municipal "Blas Ángel"?

94 respuestas

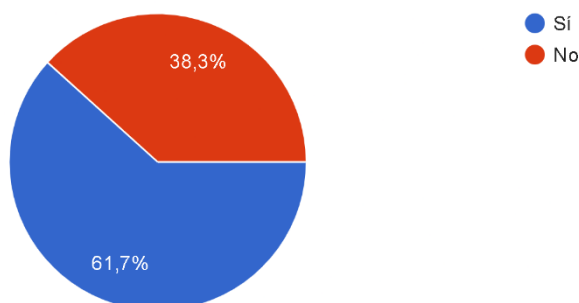


Figura 8. Gráfica de la pregunta 5

Como se muestra en la figura 8, el 61,7% de las personas encuestadas afirma conocer el museo, mientras que el 38,3% manifiesta no tener conocimiento sobre este espacio cultural. Aunque la mayoría presenta conocimiento, el porcentaje de desconocimiento sigue siendo considerable, lo que evidencia limitaciones en los procedimientos de divulgación del patrimonio cultural.

Este hallazgo refleja una problemática estructural de difusión patrimonial: casi cuatro de cada diez habitantes de la comunidad de El Ángel desconocen la existencia de un espacio cultural ubicado en su propio cantón. Esta cifra es consistente con los hallazgos reportados por el INPC (2023) respecto a la baja visibilidad de los museos municipales ecuatorianos frente a instituciones de mayor escala. Desde una perspectiva de gestión cultural, este 38,3% de desconocimiento no constituye un problema aislado, sino que está directamente vinculado con los resultados de las preguntas 7 y 8 referidas al conocimiento de las culturas prehispánicas locales, configurando un patrón consistente de baja visibilidad del patrimonio en la región. En este sentido, la implementación de herramientas digitales accesibles desde el teléfono móvil personal se presenta como una estrategia de difusión que no depende de que la persona visite físicamente el museo para enterarse de su existencia, ampliando el alcance potencial de la información cultural más allá del espacio físico institucional.

Pregunta 6. ¿Ha visitado el Museo Blas Ángel alguna vez?

6. ¿Ha visitado el Museo Blas Ángel alguna vez?

94 respuestas

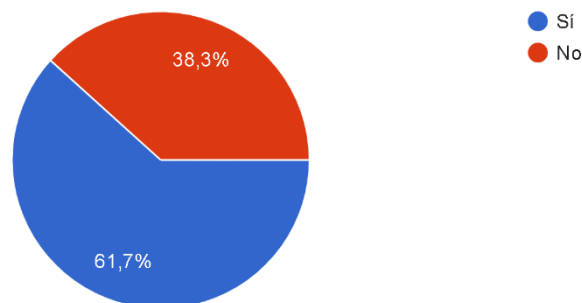


Figura 9. Gráfica de la pregunta 6

Como se evidencia en la Figura 9, el 61,7% de los encuestados ha visitado el museo en algún momento, mientras que el 38,3% no ha tenido esta experiencia, una proporción idéntica a la del desconocimiento reportado en la pregunta anterior, lo que sugiere una correlación directa entre conocer la existencia del museo y haberlo visitado. Este comportamiento evidencia que el desconocimiento, más que el desinterés, constituye la principal barrera de acceso al patrimonio local. Desde la perspectiva de la investigación, este hallazgo refuerza técnicamente la necesidad de implementar una solución que no solo enriquezca la experiencia dentro del museo, sino que también funcione como canal de difusión hacia quienes aún no lo conocen, ampliando el alcance del patrimonio cultural más allá de la visita física.

6.1 ¿Cuántas veces aproximadamente lo ha visitado?

58 respuestas

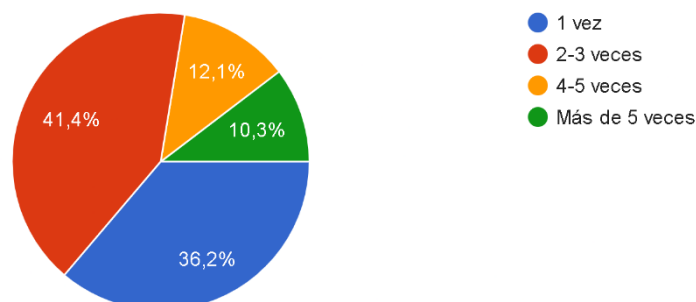


Figura 10. Gráfica de la pregunta 6.1

6.2 ¿Cuándo fue su última visita?

58 respuestas

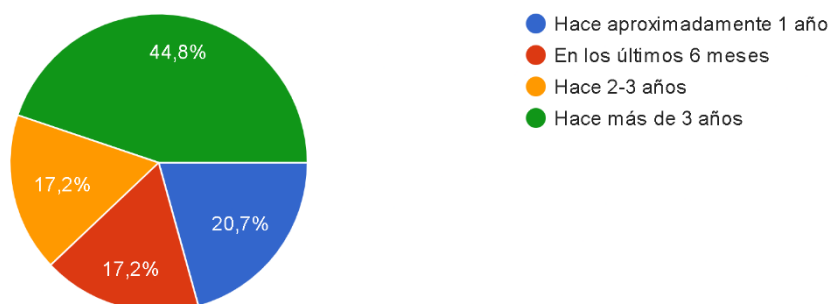


Figura 11. Gráfica de la pregunta 6.2

Como se evidencia en las Figuras 10, 11 y 12, el 61,7% de los encuestados ha visitado el museo al menos una vez y el 38,3% nunca lo ha visitado. De quienes sí lo han hecho, el 41,4% lo visitó entre 2 y 3 veces, el 36,2% una sola vez, el 12,1% entre 4 y 5 veces y únicamente el 10,3% más de 5 veces, lo que indica que la visita recurrente es minoritaria incluso entre quienes ya conocen el espacio. Respecto a la temporalidad de la última visita, el 44,8% la realizó hace más de 3 años, el 17,2% entre 2 y 3 años, el 20,7% hace aproximadamente un año y solo el 17,2% en los últimos 6 meses. Al analizar conjuntamente estos dos indicadores frecuencia y recencia de visita, se evidencia un patrón de baja fidelización: la mayoría de los visitantes históricos del museo no mantiene una relación activa con la institución en el tiempo. Este hallazgo es técnicamente relevante porque valida una de las funciones identificadas en la pregunta 22, donde la aplicación es percibida como un mecanismo capaz de reactivar el interés y motivar nuevas visitas, abordando directamente la problemática de baja recurrencia detectada en este indicador.

Pregunta 7. ¿Ha escuchado sobre las culturas arqueológicas de la región?

7. ¿Ha escuchado o leído sobre las siguientes culturas arqueológicas de la región de Carchi? (Puede marcar todas las que conozca)
94 respuestas

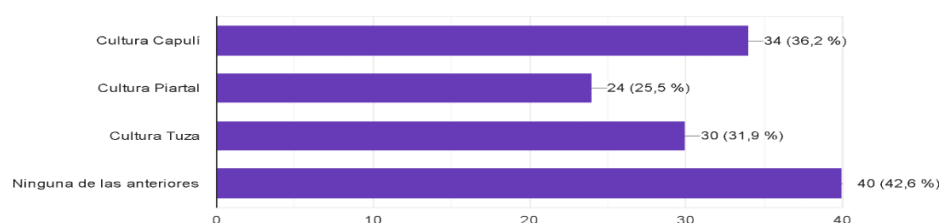


Figura 12. Gráfica de la pregunta 7

Como se evidencia en la Figura 12, casi la mitad de los encuestados (42,55%) manifestó no haber escuchado ni leído sobre ninguna de las culturas prehispánicas más representativas del Carchi. Entre quienes sí las reconocen, la Cultura Capulí presenta el mayor nivel de reconocimiento, seguida de la Cultura Tuza y, en menor medida, la Cultura Piartal, lo que coincide con el volumen de difusión académica e histórica disponible sobre cada una de estas fases culturales en la región. Este resultado, complementario al de la pregunta 5 sobre el desconocimiento del museo, permite construir un diagnóstico más amplio: no se trata únicamente de que la institución museística sea poco conocida, sino que el patrimonio cultural en su conjunto presenta una brecha de difusión a nivel social, lo que refuerza la pertinencia de una solución tecnológica orientada a la divulgación cultural, y no solo a la digitalización de objetos físicos.

Pregunta 8. Nivel de conocimiento sobre las culturas prehispánicas del Carchi

8. Califique su nivel de conocimiento general sobre las culturas prehispánicas que habitaron la región de Carchi.

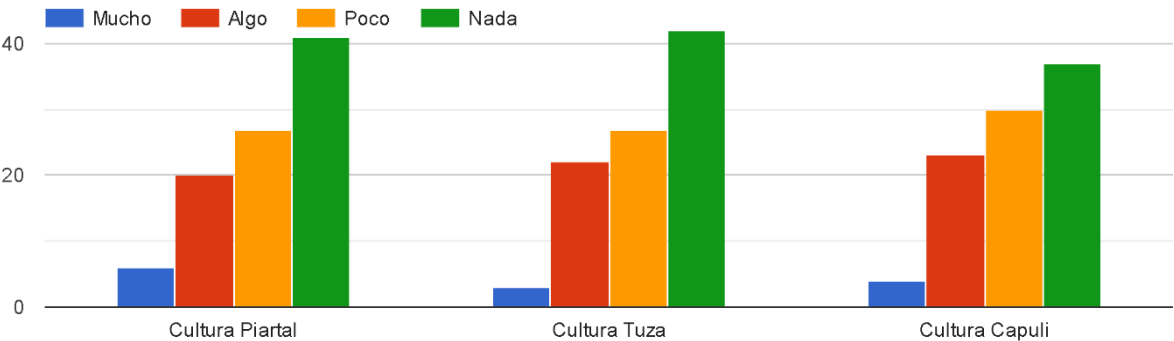


Figura 13. Gráfica de la pregunta 8

Como se evidencia en la Figura 13, en las tres culturas predomina el nivel de conocimiento "Nada" o "Poco", siendo la Cultura Capulí la que presenta un conocimiento ligeramente superior frente a Piartal y Tuza. Al contrastar este resultado con el de la pregunta 7, se observa una coherencia interna en el instrumento: quienes afirman no haber escuchado sobre estas culturas son, consistentemente, los mismos que reportan un nivel de conocimiento nulo o bajo en esta escala más detallada, lo que valida la consistencia de las respuestas

obtenidas. Este hallazgo confirma técnicamente la necesidad de que la aplicación no se limite a mostrar el modelo tridimensional de cada pieza, sino que incorpore contenido informativo contextualizado como el implementado mediante la función de información cultural por pieza, capaz de cubrir este vacío de conocimiento identificado de forma cuantitativa en la muestra.

Preguntas 9 a 13. Escala de valoración del patrimonio y del museo (1 al 5)

Indique su grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones: 1 = Totalmente en desacuerdo | 2 = En desacuerdo | 3 = Neutral | 4 = De acuerdo | 5 = Totalmente de acuerdo

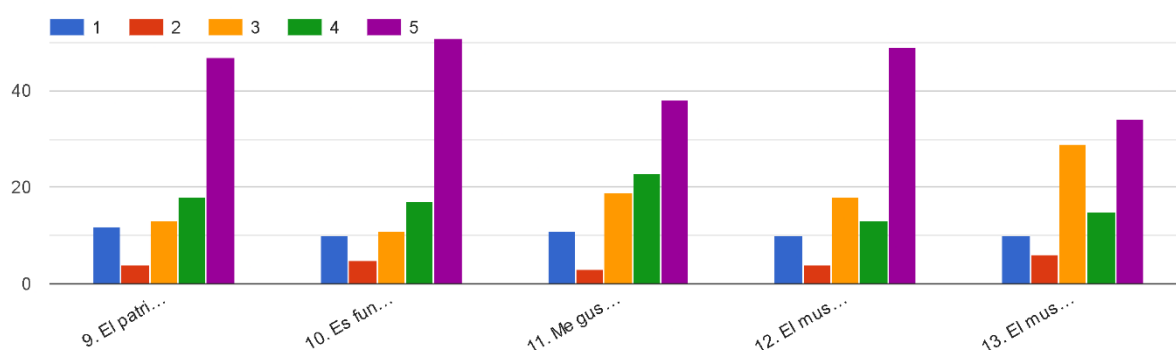


Figura 14. Gráfica de la pregunta 9 a 13

Como se evidencia en la Figura 14, los encuestados muestran un alto nivel de acuerdo con la importancia del patrimonio arqueológico para la identidad regional y con la necesidad de preservarlo para las futuras generaciones, además de expresar interés en aprender más sobre las culturas locales. Sin embargo, dentro de este mismo bloque de preguntas, la valoración de la accesibilidad del museo obtiene la puntuación más baja, evidenciando una disonancia entre el valor simbólico que la comunidad atribuye al patrimonio y la percepción de las condiciones reales de acceso al mismo. Esta brecha entre valoración e impedimento de acceso constituye, desde el punto de vista metodológico, la justificación cuantitativa más sólida para el desarrollo de la aplicación: la comunidad no necesita ser persuadida de la importancia del patrimonio, pues ya lo valora; lo que requiere es un canal que reduzca las barreras de acceso identificadas, función que la Realidad Aumentada está en condiciones de cumplir al permitir interactuar con el contenido cultural sin depender exclusivamente de la visita presencial.

Pregunta 14. ¿Qué tan cómodo/a se siente usando nuevas aplicaciones o tecnologías en su celular/Tablet?

14. ¿Qué tan cómodo/a se siente usando nuevas aplicaciones o tecnologías en su celular/tablet?

94 respuestas

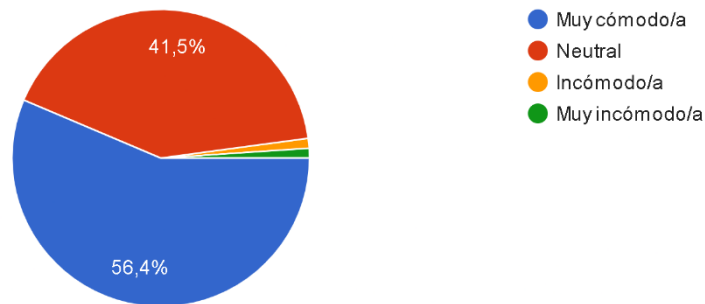


Figura 15. Gráfica de la pregunta 14

Como se evidencia en la Figura 15, el 56,4% de los encuestados se siente muy cómodo usando nuevas aplicaciones en su dispositivo y el 41,5% se declara neutral, mientras que solo un porcentaje mínimo indicó sentirse incómodo o muy incómodo. Esta variable, correspondiente a la familiaridad tecnológica general de la muestra, es un indicador indirecto pero relevante de usabilidad: una población con baja resistencia a adoptar nuevas herramientas digitales reduce la curva de aprendizaje esperada para la aplicación de RA, lo que técnicamente favorece su adopción sin requerir procesos extensos de capacitación o tutoriales complejos dentro del propio sistema.

Pregunta 15. ¿Con que frecuencia utiliza aplicaciones que usan Realidad Aumentada?

15. ¿Con qué frecuencia utiliza aplicaciones que usan Realidad Aumentada? (Ej: filtros de Instagram o Snapchat, juegos como Pokémon GO, aplicaciones para decorar o visualizar muebles)
94 respuestas

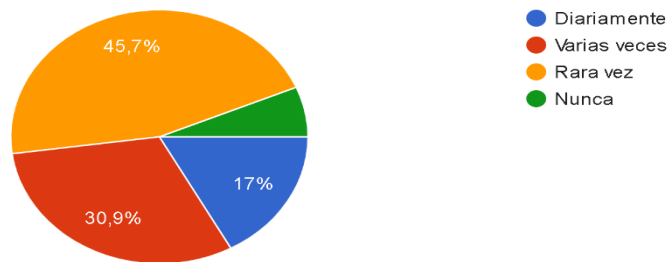


Figura 16. Gráfica de la pregunta 15

Como se evidencia en la Figura 16, el 45,7% de los encuestados usa aplicaciones de Realidad Aumentada rara vez, el 30,9% varias veces, el 17% diariamente y únicamente el 6,4% nunca las ha utilizado. En conjunto, más del 93% de la muestra tiene algún nivel de experiencia previa con esta tecnología, principalmente a través de filtros de redes sociales y aplicaciones de entretenimiento. Este resultado es técnicamente significativo porque indica que el concepto de Realidad Aumentada no es ajeno a la población objetivo, lo que reduce la necesidad de explicar el funcionamiento básico de la tecnología al usuario final y permite centrar la experiencia directamente en el contenido patrimonial, sin que la interacción con la cámara o el reconocimiento de marcadores represente una barrera cognitiva adicional.

Pregunta 16. ¿Qué tipo de aplicaciones usa con más frecuencia en su dispositivo?

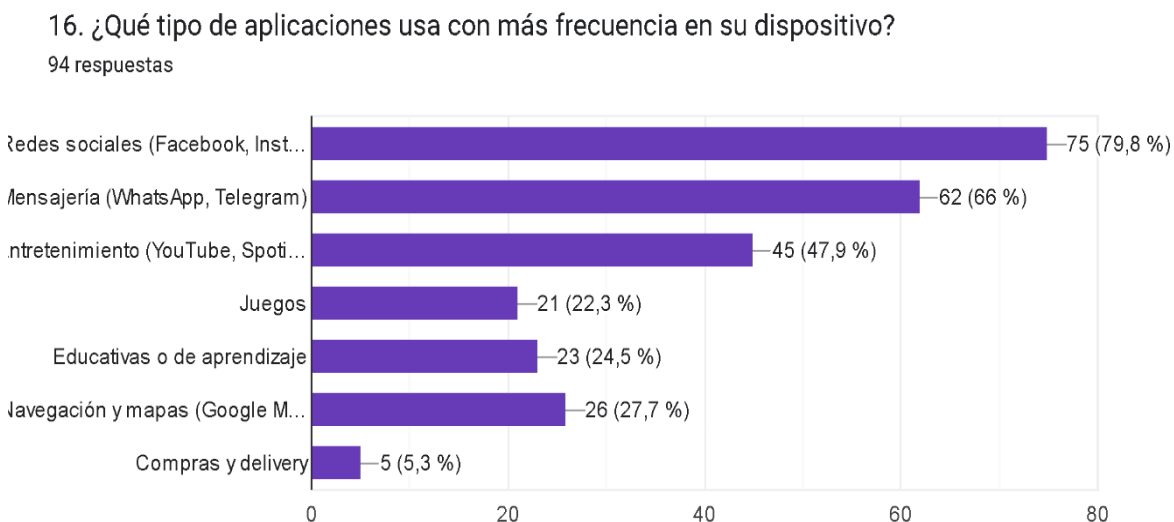


Figura 17. Gráfica de la pregunta 16

Como se evidencia en la Figura 17, las aplicaciones más utilizadas por los encuestados son las de redes sociales, seguidas de mensajería, entretenimiento, navegación y mapas, educativas, juegos y compras. Este patrón es importante desde la perspectiva del diseño de interfaz, ya que sugiere que los usuarios están habituados a interacciones táctiles simples, navegación intuitiva y contenido multimedia de consumo rápido, características propias de las aplicaciones de redes sociales y mensajería. En consecuencia, la configuración de la interfaz de la aplicación del Museo Blas Ángel se orientó hacia patrones de interacción similares a los ya familiarizados por el usuario: botones claros, navegación por categorías y contenido visual inmediato, en lugar de estructuras de navegación complejas propias de aplicaciones técnicas o profesionales.

Pregunta 17. En general, ¿Qué tan interesante le parece esta propuesta?

17. En general, ¿qué tan interesante le parece esta propuesta?

94 respuestas

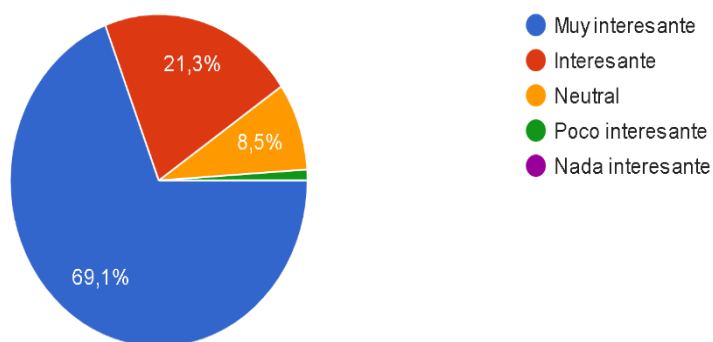


Figura 18. Gráfica de la pregunta 17

Como se evidencia en la Figura 18, el 69,1% de los encuestados calificó la propuesta como muy interesante, el 21,3% como interesante, el 8,5% como neutral y solo el 1,1% como poco interesante, es decir, más del 90% manifestó una percepción positiva hacia La implementación de realidad aumentada en el Museo Blas Ángel. Este resultado funciona como un primer indicador agregado de aceptación, previo a las preguntas más específicas sobre intención de uso (pregunta 18) y utilidad percibida (pregunta 21), y su consistencia con estas últimas refuerza la validez interna del instrumento aplicado: la valoración positiva inicial se mantiene y se especifica conforme avanza el cuestionario, en lugar de diluirse, lo que sugiere que el interés expresado no es superficial sino sostenido a lo largo de las distintas dimensiones evaluadas.

Pregunta 18. ¿Usaría esta aplicación si estuviera disponible gratuitamente?

18. ¿Usaría una aplicación de este tipo si estuviera disponible gratuitamente?

94 respuestas

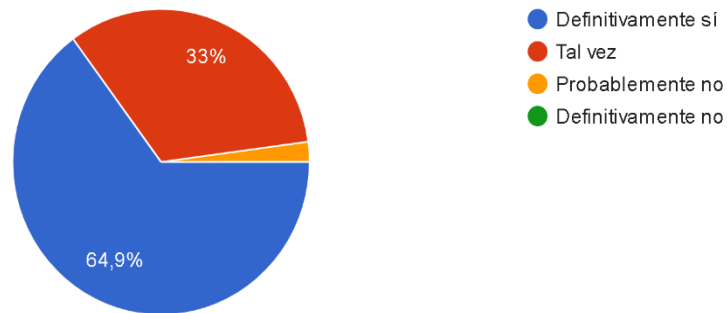


Figura 19. Gráfica de la pregunta 18

Como se evidencia en la Figura 19, los resultados muestran una aceptación altamente favorable hacia la adopción de la aplicación propuesta: el 64,9% de los encuestados afirma que definitivamente la usaría, mientras que un 33% manifiesta que tal vez lo haría, y únicamente el 2,1% muestra una disposición negativa. La suma de las respuestas positivas y de intención moderada (97,9%) constituye el principal indicador cuantitativo de viabilidad social del proyecto, validando de forma directa la idea a defender planteada en esta investigación. Desde un análisis más riguroso, conviene diferenciar entre la intención de uso declarada ("definitivamente la usaría") y la intención condicionada ("tal vez"): mientras el primer grupo representa una demanda ya consolidada, el segundo que agrupa a un tercio de la muestra constituye una oportunidad de conversión que depende directamente de factores controlables en la fase de implementación, como la facilidad de uso, la calidad del contenido y la estrategia de difusión del producto final, aspectos que son retomados posteriormente en la pregunta 23.

Pregunta 19. ¿En qué situaciones usaría la aplicación?

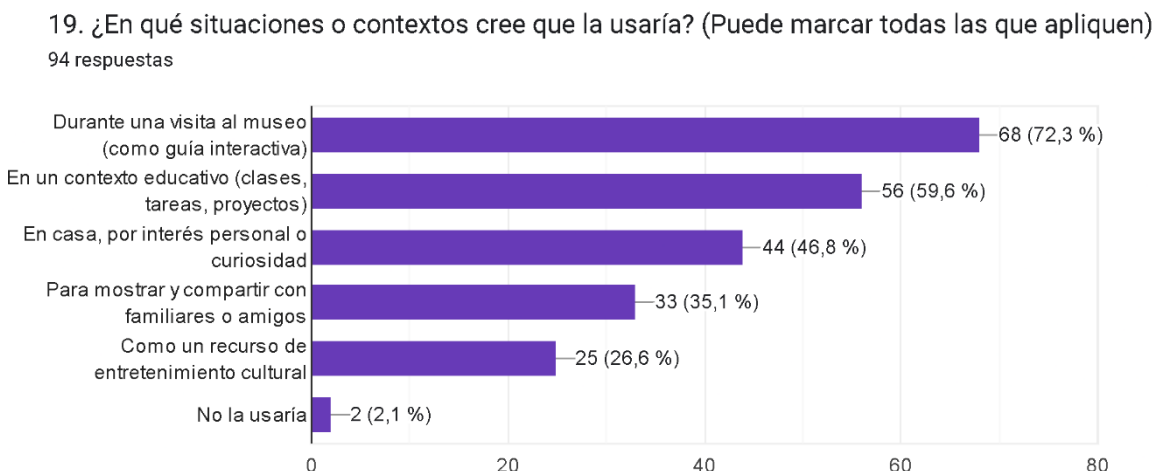


Figura 20. Gráfica de la pregunta 19

Como se evidencia en la Figura 20, el 72,3% de los encuestados utilizaría la aplicación durante una visita al museo, seguido de un 59,6% que la emplearía en contextos educativos y un 46,8% en el hogar por interés personal; además, un 35,1% la usaría para compartir con familiares o amigos, y solo un 2,1% indica que no la utilizaría en ningún escenario. Al tratarse de una pregunta de selección múltiple, la suma de porcentajes superior al 100% confirma que los encuestados identifican varios escenarios de uso simultáneos para una misma herramienta, evidenciando un carácter multifuncional que trasciende el momento puntual de la visita física. Este hallazgo es técnicamente relevante porque valida el diseño de la aplicación como un recurso de acceso permanente al patrimonio cultural, capaz de operar tanto dentro del museo mediante el reconocimiento de marcadores impresos junto a las piezas como fuera de él, en contextos educativos o de uso personal, lo que amplía su impacto más allá del espacio físico institucional y contribuye directamente a resolver la limitada accesibilidad identificada en el diagnóstico inicial.

Pregunta 20. ¿Qué funcionalidades le gustaría que incluyera la aplicación?

20. ¿Qué funcionalidades le gustaría que incluyera esta aplicación? (Puede marcar todas las que le gusten)

94 respuestas

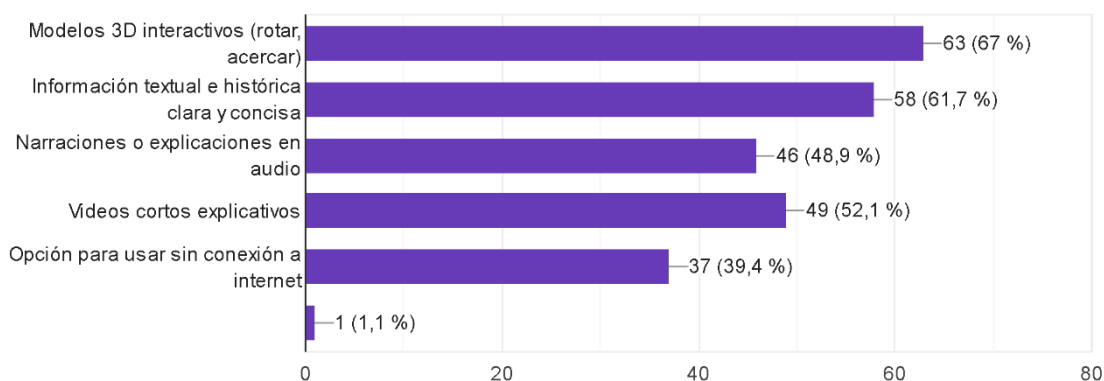


Figura 21. Gráfica de la pregunta 20

Como se evidencia en la Figura 21, existe una clara preferencia por funcionalidades interactivas: los modelos 3D encabezan las preferencias con un 67%, seguidos de información textual clara (61,7%), videos explicativos (52,1%) y narraciones en audio (48,9%); por su parte, un 39,4% considera importante el acceso sin conexión a internet. Este resultado tuvo una incidencia técnica directa en el desarrollo de la aplicación: las cuatro funcionalidades mejor valoradas por la comunidad —visualización 3D, información textual, contenido audiovisual y narración en audio— corresponden exactamente a las funciones implementadas por pieza arqueológica en el Resultado 3 de esta investigación (rotar, escalar, escuchar la historia en audio, fotografiar y acceder a información cultural), lo que demuestra que el diseño funcional del producto no respondió a decisiones arbitrarias del desarrollador, sino a una priorización basada en evidencia empírica recolectada directamente de los futuros usuarios. Asimismo, la importancia otorgada al uso sin conexión a internet (39,4%) confirma la pertinencia técnica de haber optado por Realidad Aumentada basada en marcadores, una modalidad que, a diferencia de la geolocalizada, no depende de conectividad activa para funcionar.

Pregunta 21. ¿Cree que esta herramienta ayudaría a valorar mejor el patrimonio?

21. ¿Cree que una herramienta así ayudaría a las personas a entender y valorar mejor el patrimonio arqueológico?

94 respuestas

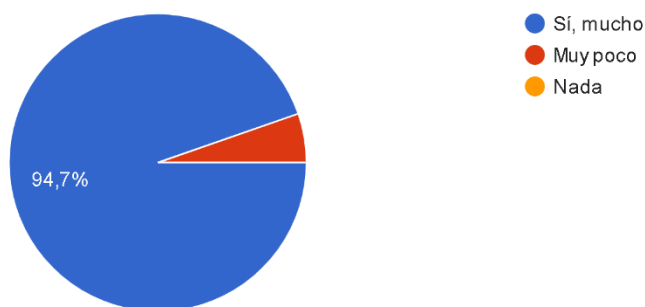


Figura 22. Gráfica de la pregunta 21

Como se evidencia en la Figura 22, el 94,7% de los encuestados considera que la aplicación contribuiría significativamente a mejorar la comprensión y valoración del patrimonio, mientras que solo un 5,3% percibe un impacto limitado. Este indicador corresponde específicamente a la dimensión de utilidad percibida establecida en la metodología de esta investigación, y su elevado valor constituye una validación directa de la variable dependiente preservación digital frente a la variable independiente aplicada que es la Realidad Aumentada. En términos del modelo de aceptación tecnológica, una utilidad percibida de esta magnitud reduce significativamente la resistencia inicial al uso de la herramienta, dado que los usuarios no solo encuentran la aplicación interesante o fácil de usar, sino que reconocen explícitamente su valor funcional para un propósito cultural concreto, lo que constituye un indicador de sostenibilidad de la adopción a mediano plazo, más allá del interés inicial por la novedad tecnológica.

Pregunta 22. ¿Qué tan probable es que la aplicación lo motive a visitar el museo?

22. ¿Qué tan probable es que una aplicación con estas características lo motivara a visitar o volver a visitar el Museo Blas Ángel? 1 = Nada probable | 2...ble | 3 = Neutral | 4 = Probable | 5 = Muy probable
94 respuestas

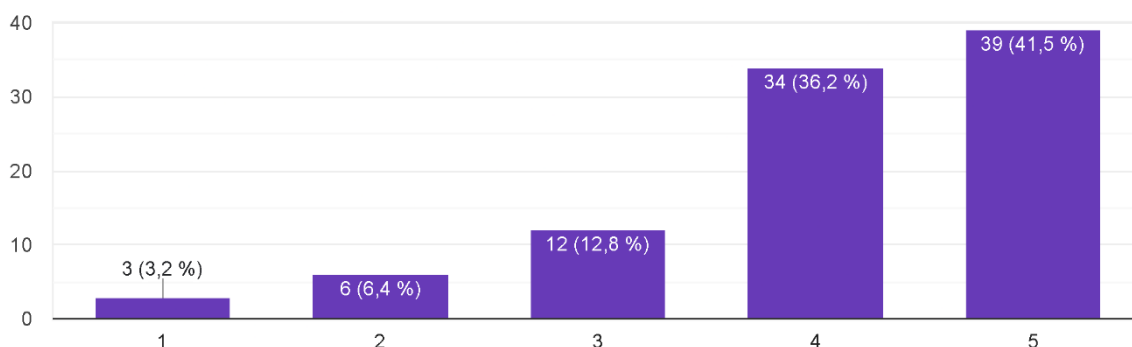


Figura 23. Gráfica de la pregunta 22

Como se evidencia en la Figura 23, el 77,7% de los encuestados considera probable o muy probable que la aplicación influya en su decisión de visitar el museo, mientras que un 12,8% se mantiene neutral y un 9,6% reporta una baja probabilidad. Este resultado es de particular relevancia técnica porque responde directamente al patrón de baja recurrencia de visitas identificado en la pregunta 6: si el 44,8% de quienes han visitado el museo no lo ha hecho en más de tres años, este 77,7% que considera probable que la aplicación lo motive a regresar representa una oportunidad concreta de reactivación. El hallazgo demuestra que la aplicación no compite con la experiencia física del museo ni pretende sustituirla, sino que opera como un mecanismo de atracción y reconexión entre lo digital y lo físico, lo que es coherente con el diseño de la solución, en la cual el contenido de Realidad Aumentada se activa únicamente al enfocar marcadores impresos ubicados dentro del propio espacio museístico.

Pregunta 23. ¿Qué aspectos le resultan más importantes en la aplicación?

23. Al usar una aplicación educativa como la descrita, ¿Qué aspectos le resultan más importantes?
(Seleccione los 3 principales)

94 respuestas

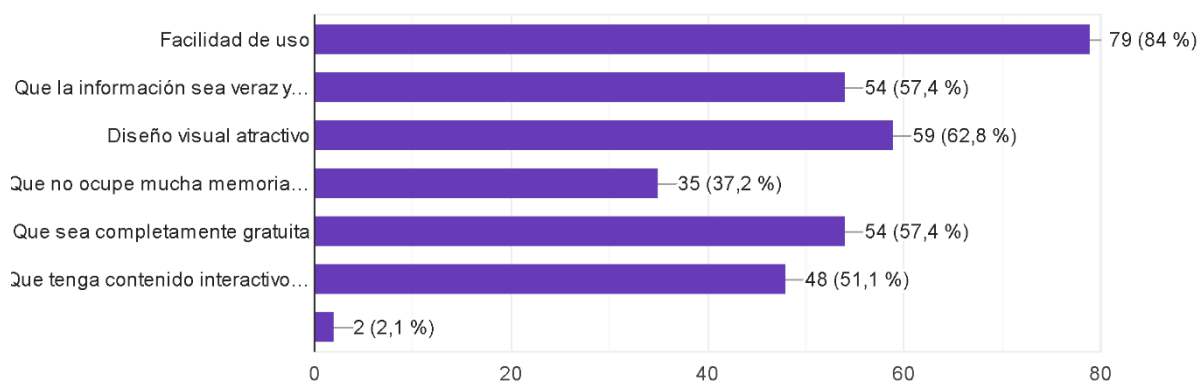


Figura 24. Gráfica de la pregunta 23

Como se evidencia en la Figura 24, los encuestados priorizan la facilidad de uso como el aspecto más importante de la aplicación, seguido del diseño visual atractivo, la información clara y veraz y la gratuidad; además, un 51,1% destaca el contenido interactivo y un 37,2% considera relevante el bajo consumo de recursos del dispositivo. Estos resultados constituyeron criterios de diseño determinantes durante el desarrollo: la priorización de la facilidad de uso por encima de cualquier otro atributo justifica técnicamente la decisión de implementar una interfaz con navegación simple por categorías (cultura, pieza, función), evitando menús anidados o pasos de configuración previos al uso. De manera similar, la relevancia otorgada al bajo consumo de recursos del dispositivo respalda la elección de Vuforia Engine como SDK de Realidad Aumentada, dado que su procesamiento basado en marcadores impresos exige menor capacidad de cómputo que las soluciones de RA sin marcadores, que dependen de algoritmos de mapeo del entorno en tiempo real. En conjunto, este conjunto de prioridades identificadas en la encuesta no solo valida el producto final desarrollado, sino que demuestra que las decisiones técnicas de la investigación estuvieron fundamentadas en las expectativas reales de los usuarios y no en supuestos del desarrollador.

4.1.2. Resultados de la Entrevista

La entrevista fue realizada al señor Antonio Ibarra, ex encargado y gestor cultural del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel del cantón Espejo, quien cuenta con aproximadamente 40 años de vinculación con el patrimonio arqueológico de la región. La entrevista se desarrolló mediante un guion semiestructurado de preguntas orientadas a conocer la importancia del museo, las características de su colección, los desafíos de conservación y la pertinencia de implementar una aplicación de realidad aumentada.

Pregunta 1. ¿Cuánto tiempo lleva usted vinculado con el museo y con el patrimonio arqueológico de la región?

El entrevistado indicó que su vinculación con el conocimiento arqueológico de la región data de aproximadamente 40 años, periodo durante el cual fue testigo directo de excavaciones realizadas en El Ángel. Señaló que desde el año 2000, al ingresar al área de cultura del Ilustre Municipio de Espejo durante la administración del alcalde Lenin Carrera, pudo dedicarse de manera más formal al análisis y clasificación cronológica de las piezas arqueológicas.

Pregunta 2. ¿Cómo describiría la importancia del Museo Blas Ángel para el cantón Espejo y la provincia del Carchi?

El entrevistado destacó que el museo tiene una importancia histórica y cultural profunda, ya que resguarda evidencias materiales de los antiguos pueblos Pasto, cuyo desarrollo cultural abarcó un extenso territorio desde el Carchi hasta el sur de Colombia. Señaló que las piezas reflejan conocimientos culturales y científicos expresados a través de la cerámica, la piedra, los metales y otras manifestaciones artísticas. Indicó que el museo surge de la necesidad de recopilar piezas que den testimonio de lo que fue la cultura Pasto en el tiempo y en el espacio, posicionando al cantón Espejo como un referente cultural de alcance continental.

Pregunta 3. ¿Qué características destacaría de la colección de piezas arqueológicas del museo?

El entrevistado indicó que una característica fundamental de la colección es que las piezas provienen de diferentes sitios arqueológicos del cantón, incluyendo Las Tres Tolas, El Espingo, Chabayán, San Isidro y La Libertad. Señaló además que el museo es heredero de todas las fases culturales de los pueblos Pasto, representadas

en la fase Negativo del Carchi, la fase Ángel y la fase Tuza o Cuasmal, lo que convierte a la colección en una muestra integral del desarrollo prehispánico de la región.

Pregunta 4. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta actualmente el museo en términos de conservación y difusión del patrimonio?

El entrevistado identificó como principales desafíos el mantenimiento continuo del museo, la urgencia de disponer de una infraestructura física apropiada para incrementar y clasificar científicamente las piezas, y la limitada difusión hacia la comunidad local. Reconoció que el museo ha recibido visitas de unidades educativas, universidades del norte del país y visitantes del sur de Colombia, pero que el desconocimiento generalizado del patrimonio prehispánico entre la población sigue siendo un problema significativo que debe atenderse desde edades tempranas.

Pregunta 5. ¿Cuáles considera que son los elementos más característicos y distintivos de cada cultura: Capulí, Piartal y Tuza?

El entrevistado describió los rasgos más distintivos de cada fase cultural de la siguiente manera. La cultura Capulí o Negativo del Carche, considerada la más antigua, se caracteriza por piezas totémicas, representaciones zoomorfas y el uso del oro de hasta 24 quilates, con presencia documentada en Colchués, El Ángel, Chiltarán, San Gabriel y Pupiales. La cultura Ángel o Piartal es especialmente reconocida por sus botijuelas rituales, que van desde los 40 hasta más de 50 centímetros de largo, y ha sido objeto de estudio a nivel continental por su extraordinaria relevancia. La cultura Tuza o Cuasmal representa el clímax del arte prehispánico de la región, con representaciones antropomorfas y zoomorfas estilizadas vinculadas a patrones geométricos de gran sofisticación, alcanzando según el entrevistado el nivel más alto del desarrollo artístico y cultural de los pueblos Pasto.

Pregunta 6. ¿Qué aspectos de estas culturas considera que son más desconocidos o mal interpretados por el público general?

El entrevistado señaló que el principal problema es el desconocimiento generalizado de la riqueza cultural prehispánica de la provincia del Carchi. Indicó que este patrimonio debe vincularse al conocimiento de todas las personas, ya que en él están los orígenes de la identidad idónea de la región, y que el arte y la

ciencia presentes en las piezas son motivo de orgullo que debe difundirse desde los niños hasta las personas mayores.

Pregunta 7. ¿Qué información histórica y cultural considera fundamental que las personas conozcan sobre estas culturas prehispánicas?

El entrevistado destacó la importancia de conocer los estudios históricos fundacionales realizados por Federico González Suárez, quien fue el primero en reportar la existencia de sitios arqueológicos como la piedra pintada en la parroquia de San Isidro. Mencionó también las investigaciones de Carlos Emilio Grijalva y la aplicación del carbono 14 como método de clasificación científica, señalando que estos referentes académicos son los que posicionan y sustentan la identidad cultural del cantón.

Pregunta 8. Desde su conocimiento y experiencia, ¿cuáles considera que son las piezas más representativas de cada cultura que se encuentran en el museo?

El entrevistado indicó que todas las piezas son importantes, ya que cada una representa una manifestación cultural en la que los artistas y artesanos de la época introdujeron su trabajo, creatividad y pensamiento. Sin embargo, señaló que desde el punto de vista de la conservación original de colores, algunas piezas destacan sobre otras sin que esto reste valor al resto de la colección.

Pregunta 9. ¿Hay alguna pieza que considere particularmente valiosa desde el punto de vista educativo para el público joven?

El entrevistado destacó como la pieza más representativa del museo una figura encontrada en la zona de Bellavista, que presenta la representación de una estrella de ocho puntas y la imagen de un cacique ataviado con los elementos característicos de su época. Señaló que esta pieza fue la que inspiró la construcción de los monumentos al Milenio y a Blas Ángel en el cantón, y que por sus representaciones simbólicas es la que mejor sustenta e identifica la identidad cultural Pasto en el territorio.

Pregunta 10. ¿Está familiarizado con tecnologías de digitalización 3D o realidad aumentada aplicadas al patrimonio cultural?

El entrevistado indicó que el museo ha trabajado en colaboración con el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural en la organización e inventario de las piezas mediante fichas técnicas, pero que hasta la fecha no se han realizado procesos de

digitalización en 3D. Señaló que el trabajo realizado se enfocó principalmente en la organización y catalogación física de la colección dentro de vitrinas.

Pregunta 11. ¿Qué opina sobre la idea de crear modelos 3D digitales de las piezas arqueológicas del museo como estrategia de preservación?

El entrevistado expresó su apoyo de forma directa, señalando que la tecnología actual lo hace necesario y que los modelos 3D permiten visualizar las piezas desde todos los ángulos, lo que resulta más explicativo y accesible para toda la sociedad, desde los niños hasta las personas adultas. Consideró que esta herramienta contribuiría significativamente a hacer conocer la riqueza cultural del cantón.

Pregunta 12. ¿Considera que una aplicación de realidad aumentada podría ser útil para la difusión del patrimonio del museo?

El entrevistado respondió afirmativamente de manera enfática, señalando que la aplicación de tecnologías como la realidad aumentada permite conocer la cultura de forma integral por primera vez, y que este conocimiento genera orgullo, sentido de pertenencia e identidad cultural en la comunidad. Indicó que este tipo de herramientas fortalece la identidad en el contexto del tiempo.

Pregunta 13. Si se desarrollara una aplicación de realidad aumentada para el museo, ¿qué tipo de información considera que debería incluirse para cada pieza?

El entrevistado recomendó que la aplicación incluya el contenido de las fichas arqueológicas de cada pieza como base informativa, ya que estas fichas contienen los datos técnicos, culturales e históricos validados por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, garantizando así la veracidad y pertinencia del contenido presentado al usuario.

Pregunta 14. ¿Qué factores podrían facilitar o dificultar la implementación de una herramienta digital como esta en el museo?

El entrevistado señaló que el principal factor que podría dificultar la implementación es la falta de voluntad institucional, así como la escasa aproximación de la comunidad hacia su propio patrimonio cultural. Sin embargo, indicó que el ámbito educativo, cultural y patrimonial ofrece el marco adecuado para impulsar este tipo de iniciativas de forma integral, y que la difusión es el elemento más importante para que el proyecto llegue a toda la comunidad. Finalmente, expresó que la comunidad local estaría interesada en utilizar una herramienta de este tipo,

destacando el valor de proyectos como el presente para fortalecer la difusión del patrimonio arqueológico del cantón Espejo.

4.2. PROPUESTA

La propuesta de solución de esta investigación se orientó a dar respuesta al objetivo general y a los tres objetivos específicos planteados. Se desarrolló una aplicación móvil de Realidad Aumentada basada en marcadores como estrategia tecnológica para la preservación digital del patrimonio arqueológico del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel. El proceso se organizó en cuatro etapas principales que se detallan a continuación.

4.2.1 Resultados del Diagnóstico de las Piezas Arqueológicas

Con el propósito de dar cumplimiento al primer objetivo específico, se realizó una visita directa al Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel durante el período de traslado de sus instalaciones. Durante esta visita se ejecutó una observación directa y sistemática de las piezas accesibles, documentando mediante registro fotográfico su estado físico visible: presencia de grietas, pérdida de policromía, depósitos de polvo y nivel general de conservación. Esta observación se complementó con la información especializada aportada por el señor Antonio Ibarra, ex encargado del museo e historiador con más de 40 años de vínculo con el patrimonio arqueológico de la región, quien guio el recorrido identificando las piezas de mayor valor cultural e histórico dentro de cada fase. Igualmente, la infraestructura estaba por colapsar, al tener una breve charla con el ex encargado del museo supo manifestar que ya había goteras por eso el rápido traslado de las piezas hacia el otro museo ya que la humedad podría dañar muy fácilmente el material y diseño inicial de la pieza.

El diagnóstico evidenció que el museo alberga aproximadamente 200 piezas arqueológicas, de las cuales ninguna cuenta con un registro digital. Las piezas presentan diferentes grados de deterioro: algunas muestran pérdida de policromía, micro fisuras superficiales y depósitos de polvo acumulado, circunstancia que se ha vuelto más grave por el proceso de traslado a las nuevas instalaciones.

Como resultado de la observación directa y de la información aportada por el historiador, se seleccionaron 16 piezas representativas de las fases Capulí, Piartal y Tuza, con base en criterios de valor histórico cultural y pertinencia para la digitalización, tal como se detalla en la sección 3.5.1.2. La siguiente tabla sintetiza el diagnóstico general de la colección:

Tabla 11. Diagnóstico general de la colección del Museo Blas Ángel.

Aspecto evaluado	Estado	Evidencia	Implicación para el proyecto
Número de piezas en la colección	≈200 piezas	Observación directa e inventario del museo	Justifica aplicar muestreo por criterio para la selección de piezas a digitalizar
Sistema de preservación digital existente	Ninguno	Entrevista al ex encargado; observación directa	Confirma la necesidad y pertinencia del proyecto
Estado de conservación visible de las piezas	Regular a malo	Microfisuras, pérdida de policromía, depósitos de polvo	Refuerza la urgencia de la digitalización como conservación preventiva
Situación institucional	Cierre temporal por traslado	Observación directa; entrevista	Valida la RA como alternativa de acceso al patrimonio durante el cierre
Difusión del patrimonio	Muy limitada	Encuesta: 38,3% desconoce el museo; 42,55% desconoce las culturas Pasto	Justifica la función educativa y difusora de la aplicación de RA

Como resultado del diagnóstico, se confirmó que el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel enfrenta una problemática real y urgente de preservación digital, accesibilidad y difusión del patrimonio. Estos hallazgos validan la necesidad de la propuesta tecnológica planteada en el presente proyecto y orientaron la selección de las piezas a digitalizar.

4.2.2. Resultado de Selección de herramientas y técnicas

Con base en los hallazgos del diagnóstico, los resultados de la encuesta aplicada a la comunidad y la revisión del marco teórico, se seleccionaron las herramientas y técnicas más adecuadas para el contexto de un museo municipal con recursos limitados.

4.2.2.1. Resultado de Tipo de aplicación y modalidad de Realidad Aumentada

Se optó por desarrollar una aplicación móvil porque el 79,8% de los encuestados cuenta con smartphone y el 85,1% utiliza sistema operativo Android. Este formato garantiza mayor accesibilidad, bajo costo y fácil distribución entre estudiantes, docentes y residentes de la ciudad de El Ángel.

Se eligió la Realidad Aumentada basada en marcadores por su alta precisión, bajo consumo de recursos y confiabilidad en entornos interiores. Esta modalidad no requiere conexión continua a internet ni dispositivos de gama alta, lo que la hace ideal para el público objetivo.

4.2.2.2. Motor de desarrollo y SDK de Realidad Aumentada Unity 3D

fue seleccionado como motor principal por ser el estándar en el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada, ofrecer excelente integración con otros componentes y permitir compilar directamente para Android.

Vuforia Engine se utilizó como SDK de RA por su robustez en el reconocimiento de imágenes, facilidad de integración con Unity y buen rendimiento incluso con iluminación variable dentro y fuera del museo.

4.2.2.3. Herramienta de modelado tridimensional

Se empleó Blender mediante la técnica de reconstitución volumétrica. Esta decisión se tomó porque:

- No se disponía de equipo especializado de fotogrametría.
- Blender es software libre y de código abierto.
- Permite un control total sobre la topología y optimización poligonal desde el inicio.
- Es ampliamente utilizado en proyectos de patrimonio cultural con recursos limitados.

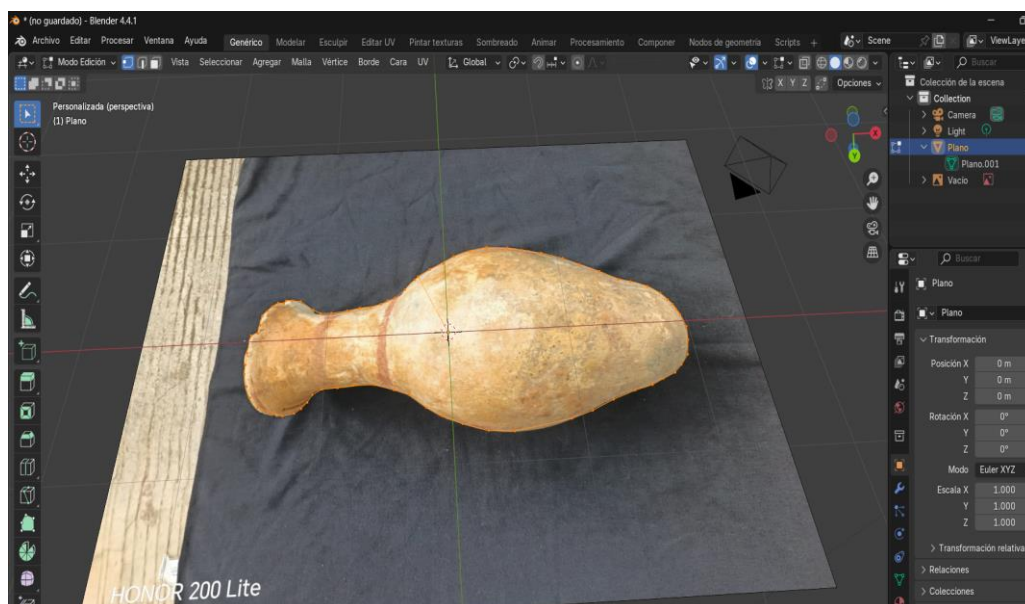


Figura 25. Modelado de pieza arqueológica en Blender con el método de reconstitución volumétrica

4.2.2.4. Lenguaje de programación

Se utilizó C# por ser el lenguaje nativo de Unity. Su orientación a objetos facilitó la creación de scripts modulares, mantenibles y escalables para el manejo de marcadores, modelos 3D e información cultural.

4.2.2.5. Metodología de desarrollo Scrum

Se adoptó la metodología ágil Scrum como marco de desarrollo. Si bien Scrum es una metodología concebida para equipos de trabajo, su adaptación a contextos de desarrollo individual es una práctica documentada en proyectos de titulación similares (Guanochanga y Logacho, 2025). En el presente TIC, Scrum permitió organizar el trabajo en cuatro sprints con objetivos claros, realizar ajustes constantes según pruebas y optimizar el tiempo disponible, garantizando entregas incrementales verificables alineadas con los objetivos específicos de la investigación.

4.2.3. Modelado Tridimensional de las piezas arqueológicas

Para cada pieza se tomaron fotografías desde múltiples ángulos como referencia visual, y a partir de estas se construyó manualmente la malla poligonal respetando las proporciones, texturas y características superficiales del objeto original.

El proceso de modelado siguió las siguientes etapas para cada pieza: (1) captura fotográfica desde múltiples ángulos, (2) construcción de la malla base mediante revolución de perfil y extrusión poligonal en Blender, (3) refinamiento de la geometría y ajuste de proporciones, (4) aplicación de materiales y texturas con referencia en las fotografías originales, y (5) optimización poligonal para garantizar el rendimiento en dispositivos Android de gama media. Los modelos fueron exportados en formato .fbx para su posterior integración en Unity.

Tabla 12. Piezas arqueológicas digitalizadas en el proyecto.

Nº	Denominación de la pieza	Fase cultural	Material	Formato
1	Botijuela	Capulí	Cerámica	.fbx
2	Cuenco Semiesférico	Capulí	Cerámica	.fbx
3	Cuenco Semiesférico F2	Capulí	Cerámica	.fbx
4	Cuenco Semiesférico F3	Capulí	Cerámica	.fbx
5	Cuenco Semiésférico F4	Capulí	Cerámica	.fbx
6	Vasija Globular	Capulí	Cerámica	.fbx
7	Olla Trípode	Capulí	Cerámica	.fbx
8	Figura Antropozoomorfa	Piartal	Cerámica	.fbx
9	Olla Zoomorfa	Piartal	Cerámica	.fbx
10	Botellón	Piartal	Cerámica	.fbx
11	Vasija	Piartal	Cerámica	.fbx
12	Botijuela	Tuza	Cerámica	.fbx

13	Vasija Fusiforme	Tuza	Cerámica	.fbx
14	Botijuela P2	Tuza	Cerámica	.fbx
15	Compotera Ceremonial	Tuza	Cerámica	.fbx
16	Vasija Globular	Tuza	Cerámica	.fbx

Los modelos obtenidos presentan una fidelidad visual adecuada respecto a las piezas originales y una densidad poligonal optimizada que garantiza su correcto funcionamiento en dispositivos móviles Android de gama media. La metodología de reconstitución volumétrica permitió un control total sobre la topología de la malla desde el inicio del proceso, evitando la necesidad de etapas adicionales de simplificación poligonal, como se explica en el marco teórico en la sección 2.2.2.2.

El proceso de modelado de cada pieza en Blender siguió una secuencia metodológica consistente fundamentada en la reconstitución volumétrica por evidencia fotográfica directa. En primer lugar, se realizó la captura fotográfica de cada pieza desde al menos ocho ángulos distintos (frontal, lateral derecho e izquierdo, posterior, superior, inferior y dos diagonales), las cuales sirvieron como referencia visual durante todo el proceso. Estas fotografías fueron cargadas como imágenes de referencia dentro del entorno de Blender.



Figura 26. Collage de fotografías en 8 ángulos diferentes de la pieza arqueológica.

En la segunda etapa se construyó la malla base. Dado que las vasijas, platos y ollas de las culturas presentan geometrías de revolución, es decir, formas aproximadamente simétricas alrededor de un eje vertical, se utilizó la herramienta de revolución de perfil (Spin) de Blender como punto de partida. Se trazó el perfil de la pieza en vista lateral basado en las fotografías de referencia, y posteriormente se aplicó la revolución a 360 grados alrededor del eje Y para generar el cuerpo base del modelo. En los casos donde la pieza presenta asimetrías o decoraciones en

relieve, se complementó con extrusión poligonal y sculpting para ajustar los detalles específicos.

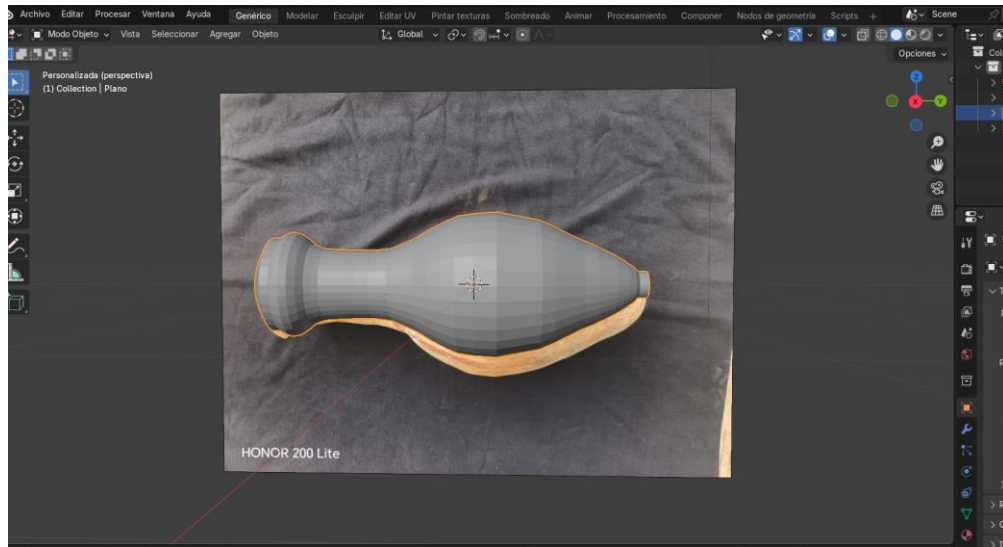


Figura 27. Modelo 3D de pieza arqueológica utilizando la herramienta Spin en Blender.

En la tercera etapa se refinaron la geometría y las proporciones comparando continuamente el modelo con las fotografías de referencia, ajustando vértices, aristas y caras hasta obtener una representación fiel a la pieza original. La cuarta etapa correspondió a la aplicación de materiales y texturas: se crearon materiales en el sistema de nodos de Blender asignando los colores base y acabados superficiales característicos de cada fase cultural, tomando como referencia directa las fotografías de las piezas. Las piezas Capulí se distinguen por su típica pintura negativa sobre fondo naranja o café; las piezas Piartal por tonos ocres y decoraciones geométricas; y las piezas Tuza por su pasta más fina y acabado pulido. Finalmente, en la quinta etapa se verificó el conteo de polígonos y se procedió a la exportación de cada modelo en formato .fbx para su integración en Unity.

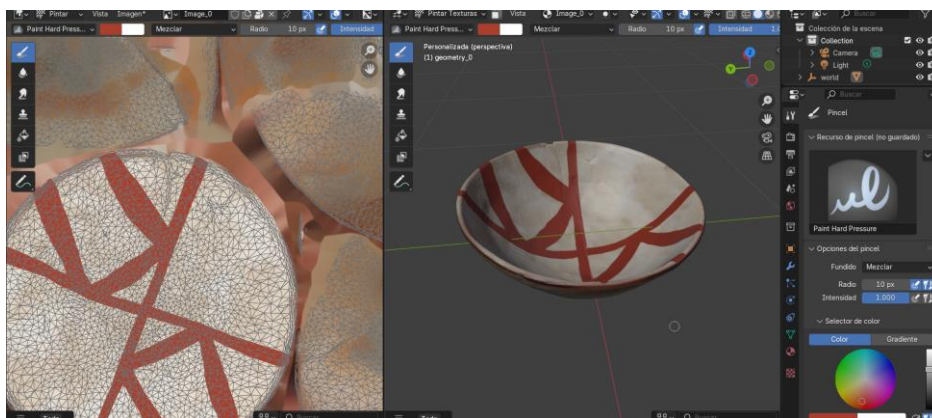


Figura 28. Aplicación de texturas a pieza arqueológica en Blender.

Tabla 13. Proceso de modelado 3D aplicado por tipo de pieza en Blender.

Tipo de pieza	Técnica principal	Herramientas Blender usadas	Característica de textura por fase
Vasija	Revolución de perfil (Spin)	Spin, Edit Mode, Sculpt, sistema de nodos	- Capulí: pintura negativa naranja/café - Piartal: ocre con geométricos - Tuza: pasta fina pulida
Plato	Revolución de perfil + extrusión	Spin, Extrude, Loop Cut, sistema de nodos	- Capulí: decoración interior - Piartal: bordes con incisiones - Tuza: superficie alisada
Olla	Revolución de perfil + sculpting	Spin, Sculpt Mode (Grab, Smooth), sistema de nodos	- Capulí: negro sobre rojo - Piartal: café grisáceo - Tuza: arcilla fina beige

Este proceso metodológico garantiza la coherencia entre lo planteado en el marco teórico (sección 2.2.2.2) y lo ejecutado en la práctica, demostrando que la reconstitución volumétrica es una técnica adecuada y reproducible para la digitalización de piezas cerámicas arqueológicas de morfología simétrica como las de las culturas Capulí, Piartal y Tuza del Museo Blas Ángel.

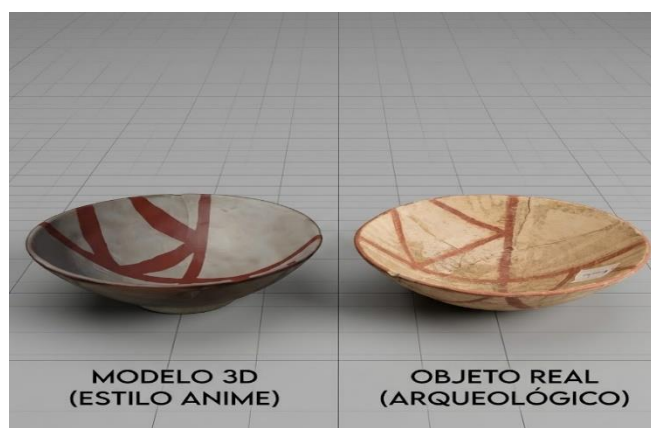


Figura 29. Comparación entre pieza arqueológica original y modelo 3D obtenido en Blender.

4.2.4. Desarrollo de la Aplicación de Realidad Aumentada

En cumplimiento del tercer objetivo específico, se creó una app móvil de realidad aumentada basada en marcadores, utilizando Unity 3D y Vuforia Engine, compatible con dispositivos Android. La aplicación permite al usuario explorar las piezas arqueológicas de las culturas Capulí, Piartal y Tuza del Museo Blas Ángel a través de una interfaz organizada por culturas, con funciones interactivas sobre cada modelo tridimensional.

El desarrollo se realizó bajo la metodología ágil Scrum, organizada en cuatro sprints con objetivos claros, entregables definidos y pruebas al final de cada iteración.

4.2.4.1. Prototipo de la Aplicación

Antes de iniciar el desarrollo, se definió la arquitectura de navegación y el flujo de pantallas de la aplicación mediante prototipos de baja fidelidad. Esta etapa permitió visualizar la estructura de la aplicación, identificar posibles problemas de usabilidad y establecer los requerimientos funcionales antes de escribir código. El flujo de navegación diseñado es el siguiente:

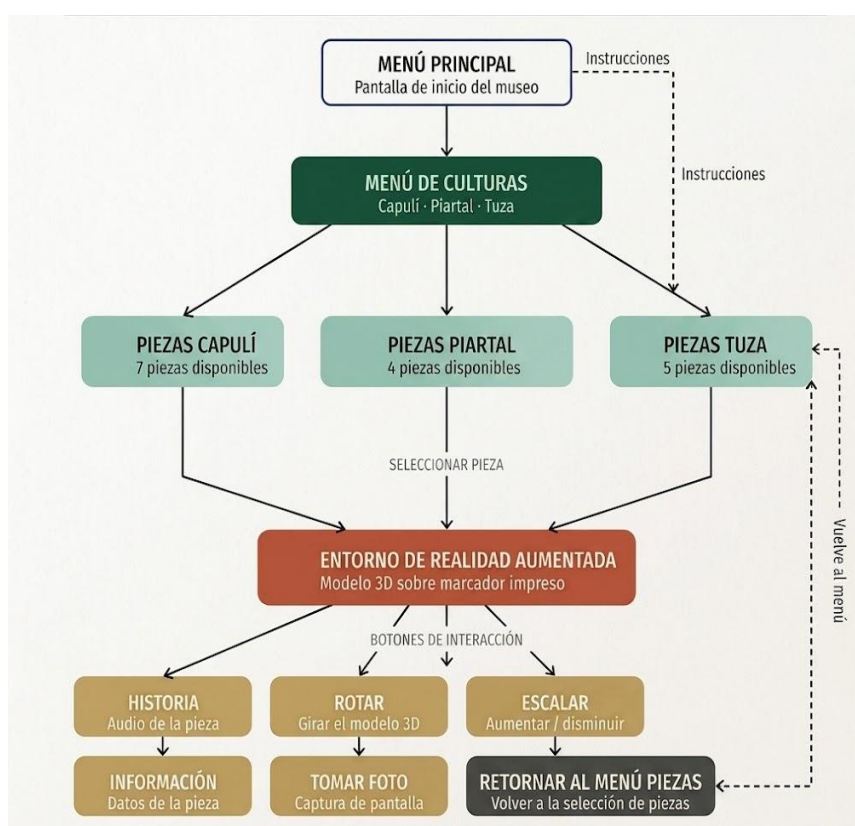


Figura 30. Diagrama de flujo de navegación de la aplicación.

La aplicación se organiza en las siguientes pantallas:

Menú Principal: pantalla de inicio con el nombre del museo, acceso al menú de culturas y un botón de instrucciones que explica al usuario cómo utilizar la aplicación.



Figura 31. Prototipo de la pantalla de inicio.

Menú de Culturas: pantalla que presenta las tres culturas disponibles para explorar: Capulí, Piartal y Tuza. El usuario selecciona la cultura de su interés.



Figura 32. Prototipo de la pantalla Culturas.

Menú de Piezas: pantalla que muestra el listado de piezas disponibles de la cultura seleccionada, con su denominación e imagen de referencia del marcador. El usuario selecciona la pieza que desea visualizar.



Figura 33. Prototipo de pantalla de listado de piezas de la cultura seleccionada.

Entorno de Realidad Aumentada: pantalla principal de la experiencia. Al enfocar la cámara sobre el marcador impreso correspondiente.

Vuforia Engine lo reconoce en tiempo real y superpone el modelo 3D de la pieza sobre él. Esta pantalla incluye los siguientes botones de interacción:

Tabla 14. Funcionamiento de botones.

Botón	Función
Escuchar	Reproduce y pausa el audio con la descripción histórica y cultural de la pieza
Rotar	Permite girar el modelo 3D para visualizarlo desde diferentes ángulos
Aumentar / Disminuir	Escala el modelo 3D aumentando o disminuyendo según preferencia del usuario
Información	Muestra texto con el nombre, fase cultural, y descripción de la pieza
Tomar foto	Captura una fotografía de la pantalla con el modelo 3D superpuesto
Regresar	Vuelve al menú de piezas de la cultura seleccionada



Figura 34. Prototipo de pantalla de visualización de la pieza arqueológica seleccionada.

4.2.4.2. Fases de Desarrollo con la Metodología Scrum

Sprint 1: Configuración del entorno de desarrollo

Se instaló Unity 3D (versión 6.0) y se integró el SDK de Vuforia Engine. Se configuró la escena principal y se realizaron pruebas iniciales de reconocimiento de marcadores en un dispositivo Android de prueba. Al finalizar este sprint se validó el correcto funcionamiento del sistema de Realidad Aumentada base.

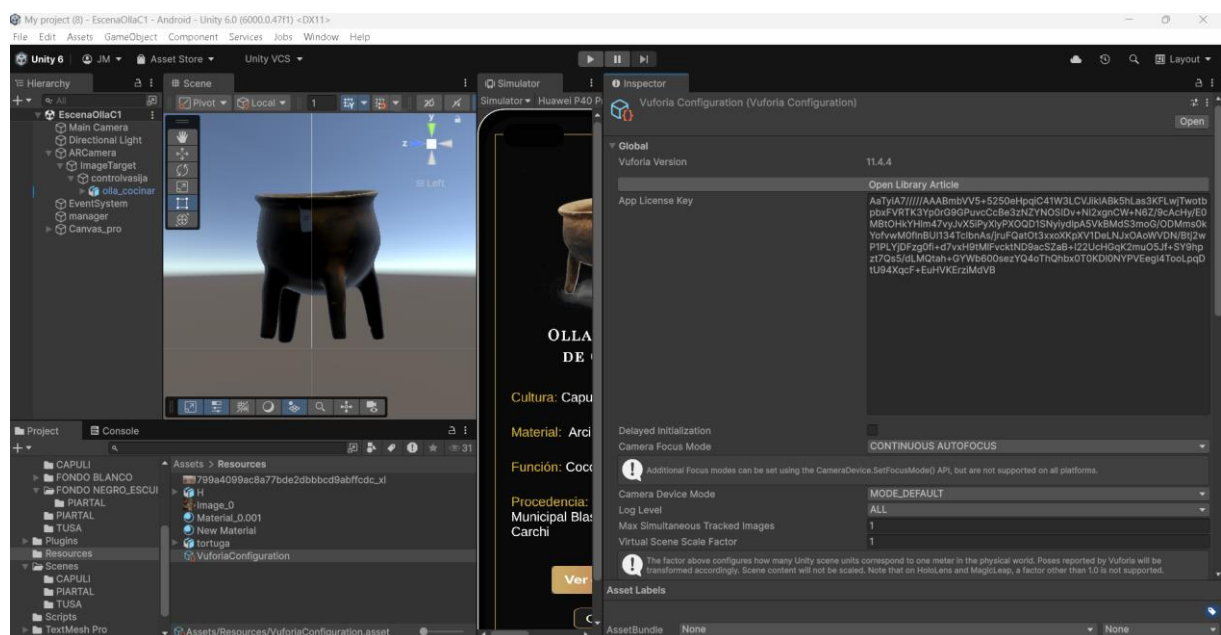


Figura 35. Entorno de Unity 3D con Vuforia Engine configurado (Sprint 1).

Sprint 2: Importación y ajuste de los modelos 3D

Se importaron los 16 modelos generados en Blender en formato. fbx. Se ajustaron la escala, posición, orientación, materiales y shaders de cada modelo para garantizar una correcta visualización en el entorno de Realidad Aumentada.

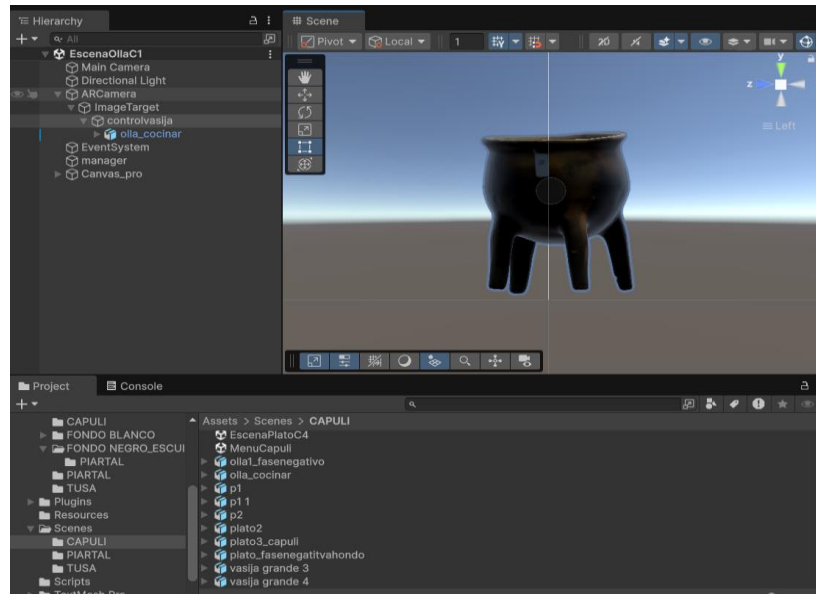


Figura 36. Importación y optimización de los modelos 3D en Unity (Sprint 2).

Sprint 3: Implementación de marcadores, interfaces y lógica de interacción

Se crearon los 16 marcadores y se registró la licence key en el portal Vuforia Developer Portal.

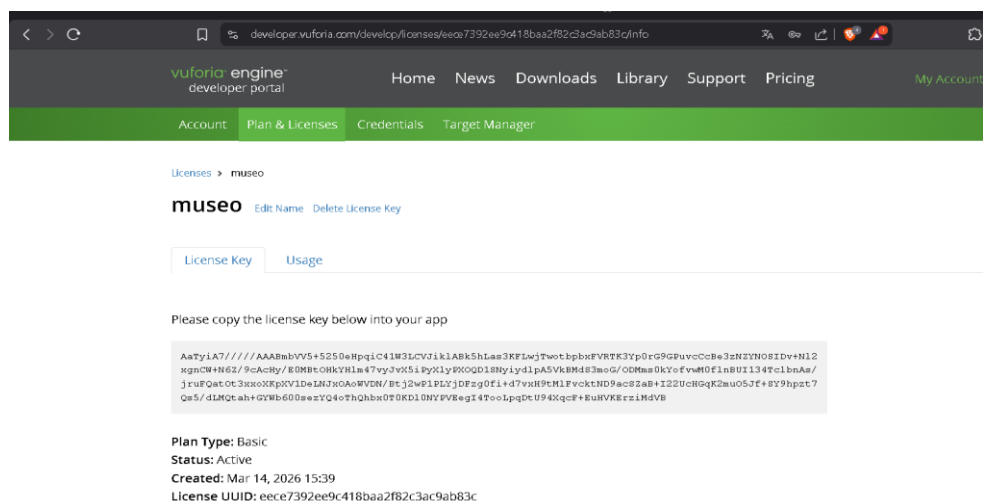


Figura 37. License Key utilizada de Vuforia Developer Portal.

Paralelamente se desarrollaron todas las interfaces de la aplicación y se programó en C# la lógica de interacción completa. A continuación, se detalla cada pantalla y funcionalidad implementada:

Menú Principal

El Menú Principal constituye la pantalla de inicio de la aplicación. Presenta el nombre del museo y dos opciones de navegación: acceder al explorador de culturas o consultar las instrucciones de uso. Fue diseñado con una interfaz limpia y comprensible para todo tipo de usuario, considerando un nivel de conocimiento en tecnología mínimo.

Se programó en C# la lógica de navegación entre escenas, de modo que al presionar cada botón la aplicación carga la escena correspondiente de forma inmediata.

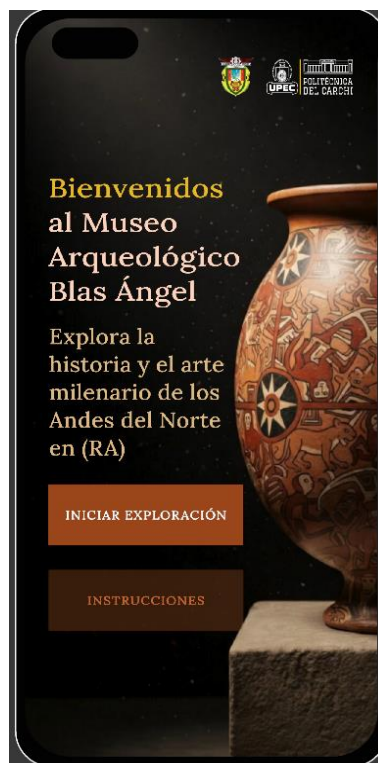


Figura 38. Pantalla de inicio de la aplicación.

Pantalla de Instrucciones

La pantalla de instrucciones fue desarrollada con el objetivo de guiar al usuario en el uso correcto de la aplicación, especialmente a quienes no están familiarizados con la Realidad Aumentada. Explica de forma visual y textual los pasos necesarios

para escanear un marcador y visualizar el modelo 3D de una pieza arqueológica. Se programó en C# el botón de regreso al Menú Principal.



Figura 39. Pantalla de instrucciones.

Menú de Culturas

El Menú de Culturas presenta al usuario las tres culturas arqueológicas disponibles: Capulí, Piartal y Tuza. Cada cultura se representa mediante un botón con su nombre e imagen representativa. Al seleccionar una cultura, la aplicación carga el Menú de Piezas correspondiente.

La lógica de navegación fue programada en C# utilizando el sistema de gestión de escenas de Unity, asignando a cada botón el nombre de la escena de destino como parámetro de carga. Esto permite escalar la aplicación con nuevas culturas en el futuro sin modificar la estructura base.



Figura 40. Pantalla de selección de culturas.

Menú de Piezas

El Menú de Piezas muestra el listado de piezas arqueológicas disponibles dentro de la cultura seleccionada, con la denominación de cada pieza y la imagen de su marcador. El usuario selecciona la pieza que desea visualizar en Realidad Aumentada.

Se programó en C# la lógica de selección, de manera que cada botón carga la escena del entorno de RA con el modelo 3D e información correspondiente a la pieza seleccionada. Se implementó además el botón de regreso al Menú de Culturas.

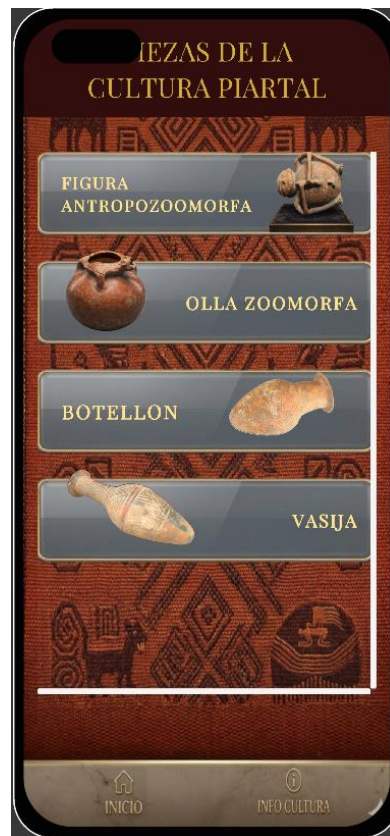


Figura 41. Menú de pieza de cultura seleccionada.

Entorno de Realidad Aumentada y botones de interacción.

El entorno de Realidad Aumentada es la pantalla principal de la experiencia. Al abrirse, activa la cámara del dispositivo Android y Vuforia Engine analiza el entorno en tiempo real. Cuando detecta el marcador registrado, superpone el modelo 3D de la pieza arqueológica correspondiente con información textual visible en pantalla.

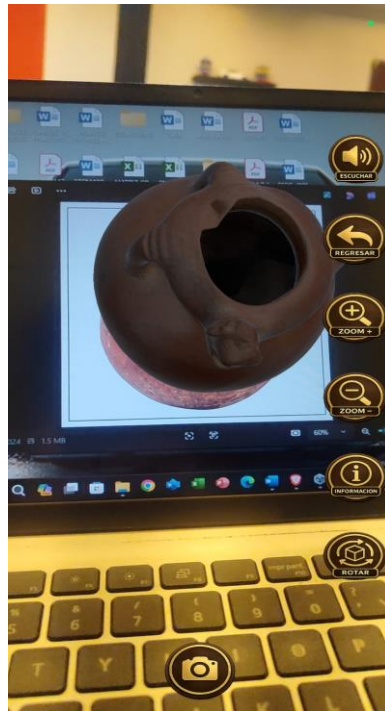


Figura 42. Interfaz de la pantalla de proyección de pieza arqueológica.

Se programaron en C# los seis botones de interacción disponibles en este entorno:

Botón Escuchar: Reproduce y pausa un audio con la descripción histórica y cultural de la pieza. Se utilizó el componente AudioSource de Unity para gestionar la reproducción, activándose y deteniéndose con cada pulsación.

```

AudioToggle.cs Release Notes: 1.120.0
Assets > Scripts > AudioToggle.cs
1  using UnityEngine;
2  using UnityEngine.UI;
3
4  public class AudioConBoton : MonoBehaviour
5  {
6      public AudioSource audioSource;
7      public Image botonImagen;
8
9      public Sprite iconoPlay;
10     public Sprite iconoPause;
11
12     private bool estabaReproduciendo = false;
13
14     void Start()
15     {
16         botonImagen.sprite = iconoPlay;
17     }
18
19     void Update()
20     {
21
22         if (estabaReproduciendo && !audioSource.isPlaying)
23         {
24             botonImagen.sprite = iconoPlay;
25             estabaReproduciendo = false;
26         }
27     }
28
29     public void ToggleAudio()
30     {
31         if (audioSource.isPlaying)
32         {
33             audioSource.Pause();
34             botonImagen.sprite = iconoPlay;
35             estabaReproduciendo = false;
36         }
37         else
38         {
39             audioSource.Play();
40             botonImagen.sprite = iconoPause;
41             estabaReproduciendo = true;
42         }
43     }
44 }

```

Figura 43. Código C# de script escuchar/pausar.

Botón Rotar: Permite girar el modelo 3D para visualizarlo desde diferentes ángulos. Se programó una función de rotación continua sobre el eje Y del modelo que se activa y desactiva con cada pulsación.

```

Assets > Scripts > RotarObjeto.cs
1  using UnityEngine;
2
3  public class RotarConBoton : MonoBehaviour
4  {
5      public float velocidad = 40f;
6      private bool rotando = false;
7
8      void Update()
9      {
10         if(rotando)
11         {
12             transform.Rotate(0, velocidad * Time.deltaTime, 0);
13         }
14     }
15
16     public void ActivarRotacion()
17     {
18         rotando = !rotando;
19     }
20 }

```

Figura 44. Código C# del script rotar.

Botones Aumentar / Disminuir: Escalan el modelo 3D dentro de un rango mínimo y máximo definido, modificando el valor de escala del Transform del objeto en Unity con cada pulsación para evitar deformaciones.

```

Assets > Scripts > ScaleControl.cs
1  using UnityEngine;
2
3  public class ScaleControl : MonoBehaviour
4  {
5      public float scaleSpeed = 0.1f;
6      public float minScale = 0.3f;
7      public float maxScale = 2f;
8
9      public void Aumentar()
10     {
11         Vector3 newScale = transform.localScale + Vector3.one * scaleSpeed;
12         newScale = Vector3.Min(newScale, Vector3.one * maxScale);
13         transform.localScale = newScale;
14     }
15
16     public void Disminuir()
17     {
18         Vector3 newScale = transform.localScale - Vector3.one * scaleSpeed;
19         newScale = Vector3.Max(newScale, Vector3.one * minScale);
20         transform.localScale = newScale;
21     }
22 }

```

Figura 45. Código C# del script ScaleControl.

Botón Información: Muestra un panel textual superpuesto con el nombre de la pieza, su fase cultural y una breve descripción histórica. Se utilizó la función SetActive de Unity para activar y desactivar el panel.

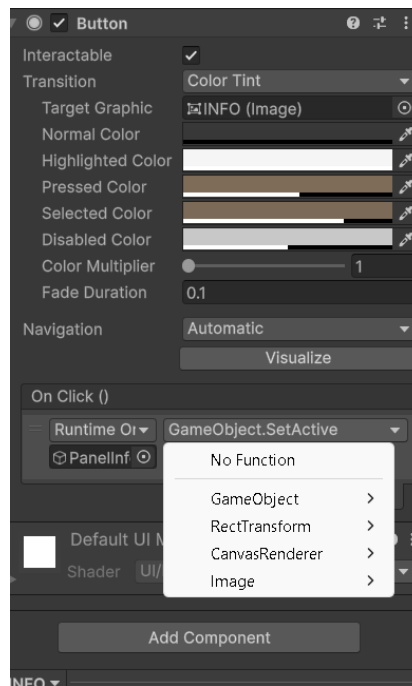


Figura 46. Lógica de funcionamiento del botón Información.

Botón Tomar Foto: Captura una imagen de la pantalla con el modelo 3D superpuesto y la guarda en la galería del dispositivo Android, utilizando la clase `ScreenCapture` de Unity.

```

Assets > Scripts > TomarFoto.cs
1  using UnityEngine;
2  using System.Collections;
3
4  public class CapturaFoto : MonoBehaviour
5  {
6      [Header("Referencias")]
7      public GameObject UI_Botones;
8      public GameObject UI_MarcoFoto;
9      public GameObject mensajeGuardado;
10
11     public void TomarFoto()
12     {
13         if (UI_Botones == null || UI_MarcoFoto == null)
14         {
15             Debug.LogError("❌ Faltan referencias en el Inspector");
16             return;
17         }
18
19         StartCoroutine(Capturar());
20     }
21
22     IEnumerator Capturar()
23     {
24         // Cambio extremadamente rápido
25         UI_Botones.SetActive(false);
26         UI_MarcoFoto.SetActive(true);
27
28         // Dos frames para que Unity actualice correctamente
29         yield return new WaitForEndOfFrame();
30         yield return new WaitForEndOfFrame();
31
32         // Captura de pantalla
33         Texture2D tex = new Texture2D(Screen.width, Screen.height, TextureFormat.RGB24, false);
34         tex.ReadPixels(new Rect(0, 0, Screen.width, Screen.height), 0, 0);
35         tex.Apply();
36
37         byte[] bytes = tex.EncodeToPNG();
38         Destroy(tex);
39
40         string nombre = "AR_Pieza_" + System.DateTime.Now.ToString("yyyyMMdd_HH:mm:ss") + ".png";
41
42         NativeGallery.SaveImageToGallery(bytes, "MiAppAR", nombre);
43
44         // Restaurar inmediatamente
45         UI_MarcoFoto.SetActive(false);

```

Figura 47. Código C# del script TomarFoto.

Botón Regresar: Vuelve al Menú de Piezas de la cultura que estaba explorando, manteniendo la cultura seleccionada previamente mediante el sistema de carga de escenas de Unity.

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class MenuManager : MonoBehaviour
{
    public void IrMenuPiezas()
    {
        SceneManager.LoadScene("MenuPiezas");
    }

    public void IrMenuCulturas()
    {
        SceneManager.LoadScene("MenuCulturas");
    }
    public void IrTusa()
    {
        SceneManager.LoadScene("MenuTusa");
    }
    public void IrCapuli()
    {
        SceneManager.LoadScene("MenuCapuli");
    }

    public void VolverMenu()
    {
        SceneManager.LoadScene("MenuPrincipal");
    }

    //CLASES PARA LAS PIEZAS ARQUEOLOGICAS PIARTAL
    public void IrTortuga()
    {
        SceneManager.LoadScene("EscenarTortuga");
    }
    public void IrAR()
    {
        SceneManager.LoadScene("EscenaAR");
    }
    public void IrBotellon()
    {
        SceneManager.LoadScene("EscenaBotellon");
    }
    public void IrBotellonP1()
    {
        SceneManager.LoadScene("EscenaBotellonP");
    }
}

```

Figura 48. Código C# de Script MenuManager.

Sprint 4: Pruebas funcionales, optimización y empaquetado

Se realizaron pruebas exhaustivas en dispositivos Android reales, evaluando el reconocimiento de marcadores, el funcionamiento de cada botón, el rendimiento, la usabilidad y la estabilidad general. Se corrigieron los errores detectados y se optimizó la aplicación. Finalmente se generó el archivo .apk instalable compatible con dispositivos Android API 26 o superior.

4.2.4.3. Características Técnicas de la Aplicación

Tabla 15. Características técnicas de la aplicación de Realidad Aumentada desarrollada.

Característica	Descripción
Motor de desarrollo	Unity 3D (versión 6.0)
SDK de Realidad Aumentada	Vuforia Engine — Marker Based AR
Lenguaje de programación	C#
Plataforma objetivo	Android API 26 o superior — justificado por el 85,1% de usuarios Android en la encuesta
Software de modelado 3D	Blender — reconstitución volumétrica
Metodología de desarrollo	Scrum — 4 sprints
Número de piezas integradas	16 piezas (7 Capulí, 4 Piartal, 5 Tuza)
Pantallas de la aplicación	Menú Principal, Instrucciones, Menú de Culturas, Menú de Piezas,

Funciones interactivas por pieza	Entorno RA Historia (audio), Rotar, Aumentar/Disminuir, Información, Tomar foto, Regresar
Estado actual	Funcional — reconocimiento de marcadores, modelos 3D e interfaces completas

La funcionalidad principal de la aplicación fue verificada satisfactoriamente: al apuntar la cámara del dispositivo Android hacia el marcador impreso, el sistema reconoce la imagen en tiempo real, superpone el modelo 3D de la pieza arqueológica y activa los botones de interacción, permitiendo al usuario escuchar la historia de la pieza, rotarla, escalarla, tomar foto y acceder a su información cultural. Este resultado valida la viabilidad técnica de la propuesta y demuestra que las herramientas seleccionadas son adecuadas para contextos museológicos con recursos limitados, en línea con lo evidenciado por Imbaquingo Pantoja (2021) y Guanochanga y Logacho (2025) en proyectos similares en el Ecuador.

4.3. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación guardan coherencia con los hallazgos de estudios similares realizados en el contexto ecuatoriano y latinoamericano, a la vez que presentan particularidades derivadas del contexto específico del Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel del cantón Espejo. A continuación, se examinan los hallazgos más relevantes en relación con la información teórica y empírica que se ha documentado.

El diagnóstico evidenció que el Museo Blas Ángel carece de cualquier sistema de preservación digital y que sus piezas presentan deterioro físico progresivo agravado por el proceso de traslado institucional. Este hallazgo coincide con lo señalado por Chávez y Sandoval (2016), quienes documentaron que los museos del Carchi que dependen de instituciones públicas carecen de asignación fija de recursos, lo que limita su capacidad de gestión y conservación de colecciones. Asimismo, los resultados de la encuesta refuerzan este diagnóstico: el 38,3% de la comunidad desconoce el museo y el 42,55% desconoce las culturas prehispánicas de la región, lo que confirma la limitada difusión del patrimonio identificada en el planteamiento del problema. Estos datos son consistentes con lo reportado por el INPC (2023), que documenta problemáticas similares de baja digitalización e inventario incompleto en museos locales del Ecuador.

La digitalización de las 16 piezas arqueológicas mediante reconstitución volumétrica en Blender demostró ser una metodología adecuada para piezas cerámicas de

morfología simétrica como las de las culturas Capulí, Piartal y Tuza. Este resultado coincide con lo documentado por Martínez Carrillo et al. (2023), quienes validan la reconstitución volumétrica como alternativa válida a la fotogrametría automatizada en contextos con recursos limitados. A diferencia de Troya Haro (2025), quien empleó fotogrametría digital en el patrimonio del cantón Cotacachi, el presente proyecto optó por la reconstitución manual en Blender, lo que permitió un mayor control sobre la topología de los modelos y su optimización directa para aplicaciones de tiempo real, sin requerir equipos de captura especializados. Esta decisión metodológica resultó pertinente dadas las condiciones de acceso al museo durante su cierre temporal por traslado.

La app de realidad aumentada que fue creada con Vuforia Engine, Unity 3D y C# demostró ser viable técnicamente en un contexto museológico con recursos limitados. Este resultado es coherente con lo evidenciado por Imbaquingo Pantoja (2021) en el museo paleontológico de Bolívar y por Guanochanga y Logacho (2025) en el Museo Rumiñahui, quienes emplearon las mismas herramientas de desarrollo y concluyeron que Unity con Vuforia Engine es una combinación adecuada para museos ecuatorianos de escala municipal con presupuesto restringido. La metodología ágil Scrum organizada en cuatro sprints permitió estructurar el desarrollo de forma iterativa, en coincidencia con lo reportado por Guanochanga y Logacho (2025), quienes también aplicaron Scrum y destacaron su eficacia para optimizar los procesos de desarrollo en entornos con recursos limitados. Por su parte, Romero Barbosa (2022) concluye que la RA representa una herramienta poderosa y accesible para la modernización de instituciones culturales de mediana escala, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente proyecto.

Los resultados de la encuesta revelan una aceptación altamente favorable hacia la propuesta: el 90,4% la considera interesante o muy interesante, el 97,9% usaría la aplicación si estuviera disponible gratuitamente y el 94,7% considera que la herramienta ayudaría a valorar mejor el patrimonio. Estos porcentajes son consistentes con lo reportado por Chen y Lai (2021), quienes demostraron que la RA influye positivamente en la motivación y el aprendizaje de los visitantes de museos, y con Camps-Ortueta et al. (2023), quienes evidenciaron que la RA incrementa la participación activa de los visitantes. Asimismo, el 77,7% de los encuestados considera probable o muy probable que la aplicación los motive a visitar el museo, lo que refuerza la función complementaria de la herramienta digital respecto a la

experiencia física, en línea con lo sostenido por Ortiz-Zamora et al. (2023). El 84% de los encuestados priorizó la facilidad de uso como el aspecto más importante de la aplicación, lo que subraya la necesidad de un diseño centrado en el usuario, en coincidencia con lo señalado por Llor-Chóez et al. (2025) respecto a los desafíos de adopción de RA en museos.

En resumen, los resultados obtenidos permiten sostener que la idea a defender planteada en esta investigación se cumple: el desarrollo de una aplicación de Realidad Aumentada como estrategia de preservación digital contribuye a reducir la pérdida de información arqueológica al generar registros tridimensionales de las piezas, amplía el acceso de la comunidad al patrimonio cultural durante el cierre del museo y fortalece la difusión e identidad cultural del cantón Espejo, en concordancia con lo demostrado por Orozco et al. (2024) en el Museo Isidro Ayora del Ecuador. La viabilidad técnica de la propuesta queda respaldada por los resultados del desarrollo, y su pertinencia social por la alta aceptación evidenciada en la encuesta aplicada a 94 personas de la comunidad de El Ángel.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El diagnóstico realizado al Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel confirmó la ausencia total de sistemas de preservación digital y la vulnerabilidad de sus piezas ante el deterioro físico progresivo, agravado por el proceso de traslado institucional. El 38,3% de la comunidad desconoce el museo y el 42,55% desconoce las culturas arqueológicas de la región, lo que evidencia una difusión del patrimonio cultural muy limitada. Esta situación implica que el patrimonio precolombino de las culturas Capulí, Piartal y Tuza permanece fuera del alcance educativo y cultural de la mayoría de la población local, debilitando la identidad colectiva del cantón Espejo y reduciendo las oportunidades de valoración y apropiación del legado ancestral de la región. Estos hallazgos justifican plenamente la necesidad de la propuesta tecnológica desarrollada.
- La digitalización de 16 piezas arqueológicas de las culturas Capulí, Piartal y Tuza mediante reconstitución volumétrica en Blender demostró ser una técnica viable y accesible para contextos con recursos tecnológicos limitados. La metodología permitió obtener modelos tridimensionales con fidelidad visual adecuada y densidad poligonal optimizada para su funcionamiento en dispositivos Android de gama media, sin requerir equipos de captura especializados como escáneres 3D o cámaras fotogramétricas.
- La integración de la aplicación móvil de Realidad Aumentada con Unity 3D, Vuforia Engine y C#, aplicando la metodología ágil Scrum en cuatro sprints metodología seleccionada por su capacidad de organizar el trabajo en entregas incrementales y adaptarse a los ajustes requeridos durante el desarrollo del TIC, aun siendo un proyecto unipersonal, validó la viabilidad técnica de integrar modelos 3D de piezas arqueológicas en un entorno de RA basada en marcadores. La funcionalidad principal de la aplicación fue verificada satisfactoriamente: al apuntar la cámara de un dispositivo Android

al marcador impreso, el sistema reconoce la imagen y superpone el modelo tridimensional con información cultural de la pieza en tiempo real.

- La encuesta aplicada a 94 personas de la comunidad del cantón Espejo reveló una aceptación altamente favorable: el 97,9% usaría la aplicación si estuviera disponible gratuitamente, el 94,7% considera que contribuiría a valorar mejor el patrimonio y el 77,7% estima probable que la herramienta los motive a visitar el museo. Estos resultados confirman que la idea a defender planteada en la investigación se cumple: la Realidad Aumentada contribuye a la preservación digital, amplía el acceso al patrimonio y fortalece la difusión e identidad cultural del cantón Espejo, provincia del Carchi.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Espejo gestionar la implementación oficial de la aplicación de Realidad Aumentada en el Museo Arqueológico Blas Ángel una vez concluido su traslado, integrando los marcadores impresos en las vitrinas de cada pieza para enriquecer la experiencia del visitante con contenido digital interactivo.
- Se recomienda ampliar la digitalización a las piezas restantes de la colección del museo, priorizando aquellas en peor estado de conservación y mayor riesgo de deterioro irreversible.
- Se recomienda a futuras investigaciones incorporar fotogrametría digital como complemento a la reconstitución volumétrica, especialmente para piezas con geometrías complejas o decoraciones en alto relieve que requieran mayor precisión en la captura superficial, siempre que los recursos tecnológicos lo permitan.
- Se recomienda al Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel implementar un sistema de monitoreo periódico del estado de conservación de sus piezas arqueológicas, integrando fichas de inventario digital actualizadas con la información cultural documentada en la aplicación de Realidad Aumentada, de manera que la preservación digital desarrollada en este proyecto sirva como punto de partida para un catálogo patrimonial formal que facilite futuras investigaciones y la gestión institucional del patrimonio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio Resco, P. (2021). Reconstrucción virtual en 3D del castillo de Gauzón (Castrillón, Asturias). *Arqueología de la Arquitectura*, (18), e119. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.006>
- Arias, F. G. (2022). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7.ª ed.). Editorial Episteme.
- Aliaga Arias, P. M., Chávez Carreño, A., & Muñoz López, R. (2024). Lenguajes de programación en el desarrollo de aplicaciones móviles: revisión sistemática. *e-Revista Multidisciplinaria del Saber*, 5(2), 18-34. <https://doi.org/10.56712/emds.v5i2.148>
- Austria-Melo, V., Calle-Jiménez, T., & Morocho-Lara, D. (2022). Unreal Engine como herramienta de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada: revisión de literatura. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E54), 234-246. <https://www.risti.xyz/issues/ristie54.pdf>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355-385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Benítez Miranda, R. S., Cevallos Illicachi, J. R., Pilla Zuñiga, W. I., & Sancho Aguilera, D. (2025). Realidad aumentada y realidad virtual en la educación en Latinoamérica: análisis de su adopción, desafíos y oportunidades. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 5528-5545. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17311
- Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented reality in cultural heritage: An overview of the last decade of applications. *Applied Sciences*, 12(19), 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Camps-Ortueta, I., Deltell, L., & Gutiérrez-Manjón, S. (2023). Aplicación lúdica de la realidad aumentada (RA) en el Museo Nacional de Ciencias Naturales en Madrid, España. *Revista Electrónica Educare*, 27(2), 187-203. <https://doi.org/10.15359/ree.27-2.15886>
- Cejas Martínez, M. F., Liccioni, E. J., Aldaz Hernández, S. M., Murillo, M., & Venegas, G. (2023). Enfoque cuantitativo y cualitativo: una mirada de los métodos mixtos. Fundación Editorial de la Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (FEDUEZ). <http://libreria.unellez.edu.ve/wp-content/uploads/2023/06/Enfoque-cuantitativo-cualitativo-metodo-mixto.pdf>
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3.ª ed.). John Wiley & Sons.

- Chávez Sánchez, Y. L., & Sandoval Guerrero, L. K. (2016). Análisis de infraestructura, gestión de colecciones y desempeño del personal de los museos de la provincia del Carchi. *Tsafiqui – Revista Científica en Ciencias Sociales*, 7(8), 56-65. <https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v0i8.166>
- Chen, C.-A., & Lai, H.-I. (2021). Aplicación de la realidad aumentada en museos: factores que influyen en la motivación y la eficacia del aprendizaje. *Science Progress*, 104(3), 1-21. <https://doi.org/10.1177/00368504211059045>
- Díaz Alemán, M. D. (2023). Retopología de mallas aplicada a modelos 3D de patrimonio cultural para la mejora de la visualización interactiva en realidad virtual y realidad aumentada. *Ge-conservación*, 24(1), 87-98. <https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1147>
- Fontal Merillas, O. (2023). La educación patrimonial centrada en los vínculos. Ediciones Trea.
- Goraymi. (2018). Museo Arqueológico Blas Ángel [Fotografía]. Goraymi. <https://www.goraymi.com>
- Guanochanga Guanoluisa, K. A., & Logacho Masabanda, A. A. (2025). Desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada para la promoción y experiencia interactiva del Museo Rumiñahui Centro Cultural en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cd27d37e-1c98-45fc-8d88-0319ffe821d7/content>
- Guijarro-Sánchez, R., & Iglesias-García, M. (2024). Museos y tecnología: el caso del MACA. *European Public & Social Innovation Review*, 9(1), 1-20. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1022>
- Hernández-Muñoz, Ó. (2023). Analysis of digitized 3D models published by archaeological museums. *Heritage*, 6(5), 3885-3902. <https://doi.org/10.3390/heritage6050206>
- ICOM – Consejo Internacional de Museos. (2022). Definición de museo [Resolución adoptada en la Asamblea General Extraordinaria, Praga]. <https://icom.museum/es/recursos/normas-y-directrices/definicion-del-museo/>
- ICOMOS. (2011). Principios de Sevilla: principios internacionales de la arqueología virtual. *International Forum of Virtual Archaeology*. <https://smartheritage.com/wp-content/uploads/2015/03/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>
- Imbaquingo Pantoja, J. D. (2021). Aprovechamiento de las herramientas tecnológicas en el proceso de guianza del museo paleontológico de la ciudad de Bolívar [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Estatal del Carchi]. Repositorio UPEC. <https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/70fa76e0-9218-44ea-ad30-43a0f6deed0e/content>

- Instituto del Patrimonio Cultural de España. (2023). Proyecto para la implantación de la conservación preventiva en las exposiciones temporales (CP_EXPOTEMP). Ministerio de Cultura de España. <https://ipce.cultura.gob.es/difusion/publicaciones/conservacion-y-restauracion.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). Censo de Población y Vivienda 2022: Resultados cantón Espejo. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2023). Informe de rendición de cuentas 2023. <https://www.patrimoniocultural.gob.ec/wp-content/uploads/2023/05/1.1INFORME-DE-RENDICION-DE-CUENTAS-INPC-2023-FINAL.pdf>
- Lóor-Chóez, C. C., Macías-Macías, F. A., & Zambrano-Romero, W. J. (2025). Realidad aumentada en museos universitarios: una revisión sistemática de la literatura. *MQRInvestigar*, 9(4), e1101. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.4.2025.e1101>
- López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012
- Martínez Carrillo, C., Rouco Collazo, J., Ramos Rodríguez, B., Carbonell Pastor, S., & Moya Soriano, E. (2023). Fotogrametría, modelado e impresión 3D como nuevas plataformas de representación de la cerámica medieval. En S. Carbonell Pastor et al. (Coords.), *Periferias: desde los márgenes de la arqueología* (pp. 331-335). Universidad de Alicante. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8934491>
- Martínez Miguélez, M. (2006). La investigación cualitativa (síntesis conceptual). *Revista de Investigación en Psicología*, 9(1), 123-146. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/psico/article/view/4033>
- Montoya Janampa, E. L. (2022). Digitalización 3D de objetos arqueológicos mediante ZBrush y fotogrametría para su difusión en entornos virtuales [Tesis de titulación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga]. Repositorio UNICA. <https://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.13028/4891>
- Medina Romero, M. Á., Hurtado Tiza, D. R., Muñoz Murillo, J. P., Ochoa Cervantez, D. O., & Izundegui Ordóñez, G. (2023). Método mixto de investigación: cuantitativo y cualitativo. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.105>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321-1329. https://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e77-d_12_1321

- Novillo Verdugo, M. Á., Galarza Torres, M. A., & Lucero Borja, L. F. (2024). Intersecciones y disyuntivas del patrimonio arqueológico y el turismo en el austro ecuatoriano. *Urbania. Revista Latinoamericana de Arqueología e Historia de las Ciudades*, (13). https://revistaurbania.wordpress.com/2025/04/01/2024-n13_e114/
- Orozco, M. O., Gaibor, N. R., Mendoza, M. T., & Medina, B. L. (2024). Hacia una experiencia museística inmersiva: realidad aumentada y el legado cultural del Museo Isidro Ayora. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 74(1), 459-476. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9833179>
- Ortiz-Zamora, F. J., Ladrón de Guevara-Muñoz, M. C., Miravet-Garret, L., Pérez-García, J., Martín-Domínguez, R., Salgado-Fernández, J., & Lora-Núñez, Á. (2023). Realidad aumentada aplicada a la recuperación del patrimonio histórico. *Revista DYNA*, 98(1), 86-90. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8758088>
- Pressman, R. S. (2010). *Ingeniería del software: un enfoque práctico* (7.ª ed.). McGraw-Hill.
- Requejo-La Torre, M., Rodríguez-Lichtenheldt, J. R., Gonzales-Castillo, J. R., Sánchez-Medina, G. A., & Astudillo, E. J. M. (2022). Valoración económica del Complejo Arqueológico de Kuélap, Amazonas, Perú. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 60(4), e260121. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.260121>
- Robledo, M. S., & Iturralde, P. J. (2023). Museos y sociedad: los desafíos del Museo Interactivo de Ciencia (MIC), Quito, Ecuador. *Diferents: Revista de Museus*, 8(1), 106-126. <https://doi.org/10.6035/diferents.6817>
- Rodríguez González, D., García Huerta, M.ª R., López-Menchero Bendicho, V. M., Morales Hervás, F. J., Miguel-Naranjo, P., & Maschner, H. (2022). Fotogrametría aplicada a la digitalización 3D de piezas arqueológicas: Alarcos (Ciudad Real) y su colección digital. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, (41), 429-445. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8562451>
- Romero Barbosa, J. E. (2022). La realidad aumentada (RA), una mejora del discurso de sitios culturales: estudio del desarrollo de una aplicación móvil RA para museo. *Entretejidos*, 9(1), 1-33. https://entretejidos.iconos.edu.mx/thesite/wp-content/uploads/2022/05/La_realidad_aumentada_RA.pdf
- Simón-Sánchez, M.-T., & Fernández-Sánchez, M.-R. (2023). Tecnologías emergentes para el proyecto de educación digital: Una revisión sistemática sobre realidad aumentada y patrimonio histórico-cultural. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 24, e30613. <https://doi.org/10.14201/eks.30613>
- Solórzano Venegas, M. S. (2016). Patrimonio cultural arqueológico e inmaterial de la parroquia rural La Pila. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales (ReHuSo)*, 1(1), 49-61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673171011004>

Sommerville, I. (2011). Ingeniería de software (9.ª ed.). Addison-Wesley.

Troya Haro, A. (2025). Modelado 3D del patrimonio cultural del cantón Cotacachi para su conservación y difusión [Trabajo de titulación, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16972>

UNESCO. (2022). El cambio climático amenaza los monumentos y espacios naturales del patrimonio mundial. <https://news.un.org/es/story/2022/04/1507322>

UNESCO. (2025). Planes de gestión de riesgo para los museos de La Serena, Talca y Aysén. <https://www.unesco.org/es/articles/planes-de-gestion-de-riesgo-para-los-museos-de-la-serena-talca-y-aysen>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND
NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Mafla Urresta José Alejandro DATE: Thursday, June the 25th of 2026 Topic: "Augmented reality for the digital preservation of archaeological artifacts in museums."				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE		9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		
		TOTAL 9		



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Mafla Urresta José Alejandro

Fecha de recepción del abstract: Miércoles, 24 de junio de 2026

Fecha de entrega del informe: Jueves, 25 de junio de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Tras evaluar el resumen presentado, se concluye que la traducción al inglés es adecuada y fiel al contenido. De acuerdo con la rúbrica aplicada para su valoración, se le asigna una calificación de 9, por lo que el trabajo queda aprobado.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 2. Solicitud para realizar el proyecto.

El Ángel, 30 de septiembre de 2025

MSc.

Arnaldo Cuaces

ALCALDE DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN ESPEJO

Presente.



De mis consideraciones:

Yo, Mafla Urresta José Alejandro, con cédula de ciudadanía N.° 0450077326, estudiante del Octavo Nivel de la carrera de Computación de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), me permito dirigirme a usted con el debido respeto para solicitar su autorización y apoyo institucional con el fin de desarrollar mi trabajo de titulación (tesis) en el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel.

El tema de investigación propuesto lleva por título:

“Realidad Aumentada para la preservación digital de piezas arqueológicas en museos”.

El objetivo principal de este proyecto es preservar digitalmente y difundir las piezas arqueológicas que forman parte del valioso patrimonio cultural del museo, mediante la aplicación de herramientas tecnológicas modernas que permitan fortalecer la identidad cultural y promover el turismo cultural en el cantón.

Por tal motivo, solicito de manera comedida su permiso para acceder al museo y realizar el levantamiento de información necesario, así como la colaboración institucional que considere pertinente para el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Estoy comprometido a realizar este trabajo con el mayor respeto hacia las normativas municipales y con la responsabilidad académica que corresponde.

Agradezco de antemano la atención brindada a la presente y quedo a su disposición para cualquier información adicional o reunión que se requiera.

Atentamente,

Mafla Urresta José Alejandro

C.C. 0450077326

ESTUDIANTE DE OCTAVO NIVEL

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

*Recibido
2025-09-30
ced*



De: *Alcalde*
Para: *Administración Turismo*
Asunto: *Autorización Proceder*
Fecha: *30-09-2025*

Anexo 3. Autorización para para realizar el proyecto.



**Gobierno Autónomo
Descentralizado
Municipal de Espejo**
Administración 2023 - 2027

Dirección Administrativa y Talento Humano

Oficio N° GADME – DGATH – WCV- 2025– 093

El Ángel, 03 de octubre del 2025

MSc.

Jorge Miranda

DIRECTOR DE CARRERA DE COMPUTACIÓN DE LA UPEC.

En su despacho. -

De mi especial consideración:

Estimado Director, en referencia a su oficio S/N de fecha 30 de septiembre del 2025, mediante el cual solicita autorización para realizar el trabajo de titulación en el Museo Arqueológico Municipal “Blas Ángel” de propiedad del Gobierno Autónomo descentralizado Municipal del cantón Espejo al señor Mafla Urresta José Alejandro portadora de cédula de identidad No. 0450077326, me permito indicar que con mucho agrado hemos aceptado dicha solicitud. Además, me permito informar lo siguiente:

DATOS DEL ESTUDIANTE

Nombre completo: Mafla Urresta José Alejandro		Nivel: octavo
# Doc. Identidad	Correo electrónico:	Teléfonos de contacto:
0450077326	Josedhmafla2003@gmail.com	0967051496

DATOS DE LA EMPRESA/ORGANIZACIÓN

Nombre de la empresa: Gobierno Autónomo descentralizado Municipal del cantón Espejo	RUC: 046000048001
Correo electrónico: gadmespejo@gmail.com	Teléfono fijo: 062977147-062977148
Representante legal: Ing. Arnaldo Cuacés Quelal	Celular: 0984663319
Ubicación: Calle Esmeraldas y Salinas esquina- ciudad de El Ángel- provincia del Carchi	

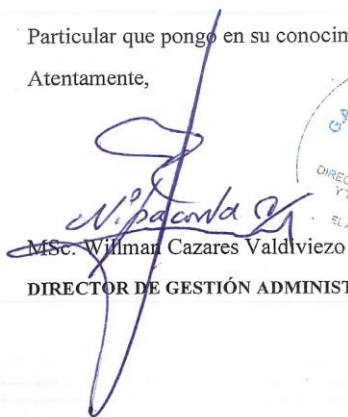
TUTOR DE LA EMPRESA/ORGANIZACIÓN

Nombre: Ing. Marcelo Paspuezan Taimal	Cargo: Analista de Turismo
Correo electrónico: mpaspuezan@gadme.gob.ec	Celular: 09906976613



Particular que pongo en su conocimiento para los fines institucionales pertinentes.

Atentamente,


MSc. Wilmar Cazares Valdiviezo



DIRECTOR DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y TALENTO HUMANO GADM-ESPEJO

Anexo 4. Encuesta dirigida al público.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Carrera de Computación

ENCUESTA SOBRE PERCEPCIÓN DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO Y TECNOLOGÍAS DIGITALES

Estimado/a:

Este cuestionario es parte de un Trabajo de Integración Curricular que busca desarrollar una propuesta de aplicación de realidad aumentada para preservar y difundir el patrimonio arqueológico del Museo Blas Ángel. Su participación es voluntaria y confidencial. No hay respuestas correctas o incorrectas; nos interesa conocer su opinión sincera.

Tiempo estimado: 10-15 minutos

SECCIÓN I: DATOS DEMOGRÁFICOS

1. **Edad:** _____ años
2. **Género:**
☐ Masculino ☐ Femenino ☐ Otro ☐ Prefiero no responder
3. **¿Cuenta con smartphone o tablet?**
☐ Sí, propio ☐ Sí, de mi familia ☐ No
4. **Sistema operativo de su dispositivo:**
☐ Android ☐ iOS (iPhone/iPad) ☐ Otro ☐ No sé ☐ No aplica

SECCIÓN II: CONOCIMIENTO DEL PATRIMONIO LOCAL

7. **¿Conoce el Museo Arqueológico Municipal Blas Ángel?**
☐ Sí ☐ No
8. **¿Ha visitado el Museo Blas Ángel alguna vez?**
☐ Sí ☐ No **Si respondió Sí:**
¿Cuántas veces aproximadamente?
9. ☐ 1 vez ☐ 2-3 veces ☐ 4-5 veces ☐ Más de 5 veces
¿Cuándo fue su última visita?
10. ☐ Este año ☐ Año pasado ☐ Hace 2-3 años ☐ Hace más de 3 años
11. **¿Conoce sobre las culturas prehispánicas que habitaron la región de Carchi?**
☐ Mucho ☐ Algo ☐ Poco ☐ Nada
12. **¿Ha escuchado sobre las siguientes culturas arqueológicas?** (puede marcar varias)
☐ Cultura Capulí

- ☐ Cultura Piartal
- ☐ Cultura Tuza
- ☐ Ninguna de las anteriores

13. **Califique su nivel de conocimiento sobre estas culturas:**

Cultura	Mucho	Algo	Poco	Nada
Capulí	☐	☐	☐	☐
Piartal	☐	☐	☐	☐
Tuza	☐	☐	☐	☐

SECCIÓN III: VALORACIÓN DEL PATRIMONIO

Instrucciones: Indique su grado de acuerdo con las siguientes afirmaciones usando la escala:

1 = Totalmente en desacuerdo | 2 = En desacuerdo | 3 = Neutral | 4 = De acuerdo | 5 = Totalmente de acuerdo

Afirmación	1	2	3	4	5
12. El patrimonio arqueológico es importante para la identidad del Cantón Espejo	☐	☐	☐	☐	☐
13. Es importante preservar las piezas arqueológicas para futuras generaciones	☐	☐	☐	☐	☐
14. Me gustaría aprender más sobre las culturas prehispánicas locales	☐	☐	☐	☐	☐
15. El museo es un espacio educativo valioso	☐	☐	☐	☐	☐
16. El museo es fácilmente accesible para estudiantes	☐	☐	☐	☐	☐

SECCIÓN IV: EXPERIENCIA CON TECNOLOGÍAS DIGITALES

18. **¿Con qué frecuencia usa aplicaciones de realidad aumentada?**

- ☐ Diariamente ☐ Varias veces por semana ☐ Ocasionalmente ☐ Rara vez ☐ Nunca

19. **¿Qué tipo de aplicaciones usa más?** (puede marcar varias)

- ☐ Redes sociales
- ☐ Juegos
- ☐ Educativas
- ☐ Entretenimiento (música, video)
- ☐ Mensajería
- ☐ Indicar que otras: _____

20. **¿Qué tan cómodo/a se siente usando nuevas tecnologías?**

- ☐ Muy cómodo ☐ Cómodo ☐ Neutral ☐ Incómodo ☐ Muy incómodo

SECCIÓN V: INTERÉS EN LA PROPUESTA

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que superpone información digital (modelos 3D, videos, texto) sobre el mundo real a través de la cámara del celular o tablet. Se propone desarrollar una aplicación de RA que permita visualizar modelos 3D de piezas arqueológicas del Museo Blas Ángel con información histórica.

22. **¿Le parece interesante esta propuesta?**
☐ Muy interesante ☐ Interesante ☐ Neutral ☐ Poco interesante ☐ Nada interesante
23. **¿Usaría una aplicación de este tipo si estuviera disponible?**
☐ Definitivamente sí ☐ Probablemente sí ☐ Tal vez ☐ Probablemente no ☐ Definitivamente no
24. **¿En qué contextos usaría esta aplicación?** (puede marcar varias)
☐ Durante una visita al museo
☐ En clase (como recurso educativo)
☐ En casa (por interés personal)
☐ Para tareas escolares
☐ Para compartir con amigos/familia
☐ Otro: _____
25. **¿Qué funcionalidades le gustaría que tuviera la aplicación?** (puede marcar varias)
☐ Ver modelos 3D de las piezas que se puedan rotar
☐ Información histórica sobre cada pieza
☐ Videos explicativos
☐ Audio con narración
☐ Comparación entre piezas de diferentes culturas
☐ Reconstrucción de cómo se usaban las piezas
☐ Juegos o actividades interactivas
☐ Compartir en redes sociales
☐ Otra: _____
26. **¿Cree que una aplicación así ayudaría a aprender mejor sobre el patrimonio?**
☐ Mucho ☐ Bastante ☐ Algo ☐ Poco ☐ Nada
27. **¿Qué tan dispuesto/a estaría a visitar el museo si tuviera esta aplicación disponible?**
☐ Totalmente de acuerdo ☐ De acuerdo ☐ Neutral ☐ Poco de acuerdo ☐ Nada de acuerdo

SECCIÓN VI: SUGERENCIAS Y COMENTARIOS

28. **¿Qué aspectos considera más importantes al usar una aplicación educativa?** (puede marcar máximo 3)
☐ Que sea fácil de usar
☐ Que tenga información clara
☐ Que sea visualmente atractiva
☐ Que funcione sin internet
☐ Que no ocupe mucho espacio en el celular
☐ Que sea gratuita

☐ Que tenga actividades interactivas

☐ Otro: _____

29. **¿Tiene alguna sugerencia o comentario sobre cómo debería ser esta aplicación?**

¡Gracias por su participación!

Sus respuestas son muy valiosas para este proyecto que busca preservar y difundir el patrimonio cultural del Cantón Espejo.

Anexo 5. Entrevista a ex encargado del museo.

ENTREVISTA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

GUION DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA A EXPERTOS EN PATRIMONIO CULTURAL

Investigador: José Alejandro Mafla Urresta
Fecha: _____ **Hora:** _____ **Lugar:** _____

DATOS DEL ENTREVISTADO

Nombre completo: _____
Profesión/Cargo: _____
Institución: _____
Años de experiencia en patrimonio cultural: _____
Especialidad: ☐ Arqueología ☐ Historia ☐ Gestión cultural ☐ Museología ☐ Otro: _____

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Antes de iniciar, se explica al entrevistado:

- Propósito de la investigación
- Uso confidencial de la información
- Derecho a no responder preguntas o retirarse
- Solicitud de grabación de audio (si aplica)

¿Autoriza la grabación de esta entrevista? ☐ Sí ☐ No

Firma del entrevistado: _____

SECCIÓN 1: CONOCIMIENTO DEL MUSEO Y SU COLECCIÓN

1. ¿Cuánto tiempo lleva usted vinculado/a con el Museo Blas Ángel o con el patrimonio arqueológico de la región?
2. ¿Cómo describiría la importancia del Museo Blas Ángel para el Cantón Espejo y la provincia del Carchi?
3. ¿Conoce la colección de piezas arqueológicas del museo? ¿Qué características destacaría de esta colección?
4. En su opinión, ¿cuáles son los principales desafíos que enfrenta actualmente el museo en términos de conservación y difusión del patrimonio?

SECCIÓN 2: CULTURAS CAPULÍ, PIARTAL Y TUZA

5. ¿Cuáles considera usted que son los elementos más característicos y distintivos de cada cultura?

- Cultura Capulí:
 - Cultura Piartal:
 - Cultura Tuza:
6. ¿Qué aspectos de estas culturas considera que son más desconocidos o malinterpretados por el público general?
 7. ¿Qué información histórica y cultural considera fundamental que las personas conozcan sobre estas culturas prehispánicas?

SECCIÓN 3: SELECCIÓN DE PIEZAS REPRESENTATIVAS

8. Desde su conocimiento y experiencia, ¿cuáles considera que son las piezas más representativas de cada cultura que se encuentran en el museo?

Cultura Capulí:

1. _____
2. _____
3. _____

Cultura Piartal ():

4. _____
5. _____
6. _____

Cultura Tuza :

7. _____
8. _____
9. _____
10. _____

9. ¿Hay alguna pieza que considere particularmente valiosa desde el punto de vista educativo para el público joven?

SECCIÓN 4: PRESERVACIÓN DIGITAL Y TECNOLOGÍAS

10. ¿Está familiarizado/a con tecnologías de digitalización 3D o realidad aumentada aplicadas al patrimonio cultural?

Si respondió sí, ¿podría mencionar algún proyecto o experiencia que conozca?

11. ¿Qué opina sobre la idea de crear modelos 3D digitales de las piezas arqueológicas del museo como estrategia de preservación?
12. ¿Considera que una aplicación de realidad aumentada podría ser útil para la difusión del patrimonio del museo? ¿Por qué?
13. ¿Qué beneficios y qué riesgos identifica en la digitalización del patrimonio arqueológico?

SECCIÓN 5: CONTENIDOS Y FUNCIONALIDADES

14. Si se desarrollara una aplicación de realidad aumentada para el museo, ¿qué tipo de información considera que debería incluirse para cada pieza?
15. ¿Qué tipo de experiencia interactiva considera que sería más atractiva para los visitantes?

SECCIÓN 6: VIABILIDAD Y RECOMENDACIONES

16. ¿Qué factores podrían facilitar o dificultar la implementación de una herramienta digital como esta en el museo?
17. ¿Cree que la comunidad local estaría interesada en utilizar una aplicación de este tipo? ¿Por qué?
18. ¿Qué recomendaciones daría para que este proyecto sea culturalmente pertinente y técnicamente viable?

SECCIÓN 7: OBSERVACIONES FINALES

19. ¿Hay algún aspecto importante que no hayamos abordado y que considere relevante para esta investigación?
20. ¿Estaría dispuesto/a a colaborar posteriormente en la validación de contenidos o en pruebas de la propuesta?
☐ Sí ☐ No
Contacto: _____

OBSERVACIONES DEL INVESTIGADOR:

Firma del investigador: _____

Fecha: _____

Anexo 6. Manual de usuario

MANUAL DE USUARIO PARA EL MANEJO DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA

1. INTRODUCCIÓN

Bienvenido a la aplicación móvil de Realidad Aumentada diseñada para la visualización e interacción con piezas arqueológicas de las culturas prehispánicas: Piartal, Tuza (Tusa) y Capulí. Esta guía le permitirá conocer la interfaz, el flujo de navegación y las herramientas de interacción 3D en Realidad Aumentada.

2. PANTALLA PRINCIPAL (BIENVENIDA)

Al abrir la aplicación, se presenta la pantalla de inicio con el título del proyecto y dos opciones principales:



Figura 49. Interfaz Principal

- **Botón [INICIAR EXPLORACIÓN]:** Dirige directamente al Menú de Culturas para comenzar la experiencia.
- **Botón [INSTRUCCIONES]:** Desplaza al usuario a la guía de uso del aplicativo.

Pantalla de Instrucciones

Si seleccionó instrucciones, visualizará las indicaciones de uso del sistema. Cuenta con las siguientes opciones:



Figura 50. Interfaz Instrucciones.

- **Botón [VOLVER]:** Permite volver a la Pantalla Principal.
- **Botón [COMENZAR]:** Ubicado en la parte inferior; una vez leídas las indicaciones, permite avanzar directamente a la experiencia.

3. MENÚ DE SELECCIÓN DE CULTURAS

En esta pantalla se despliegan las tres culturas arqueológicas disponibles para el estudio. El usuario debe seleccionar una para continuar:



Figura 51. Interfaz de selección de Culturas.

- **Botón**  : Ubicado en la parte superior derecha, este botón permite volver a la Pantalla Principal.

4. MENÚ DE SELECCIÓN DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS

Una vez seleccionada la cultura, se abrirá una pantalla que contiene la Lista de Piezas Arqueológicas pertenecientes a esa fase cultural.

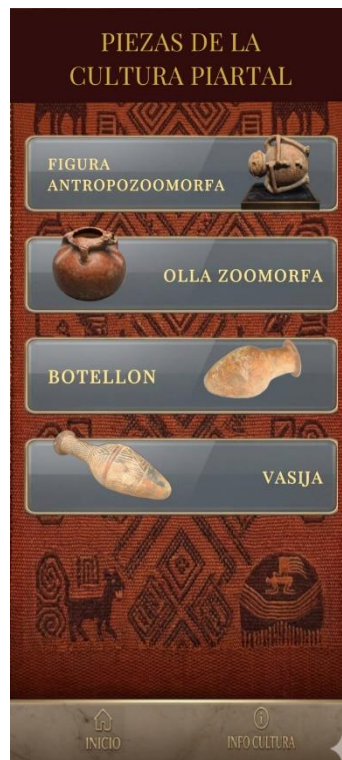


Figura 52. Interfaz de selección de piezas arqueológicas.

En la parte inferior de esta pantalla, el usuario dispone de dos opciones de navegación:

- **Botón**  **INICIO** : Permite volver al Menú de Culturas.
- **Botón**  **INFO CULTURA** : Abre una pantalla informativa dedicada a la historia de la cultura seleccionada.

Sección: Información de la Cultura

Al ingresar a esta sección, se mostrará un texto detallado y un reproductor de video integrado.



Figura 53. Interfaz de Información de Cultura.

- **Botón**  : Un único botón dinámico que cambia de icono según el estado del video. Permite reproducir o pausar el contenido audiovisual.
- **Botón**  : Permite salir de la información y volver a la lista de piezas.

5. DETALLE DE LA PIEZA SELECCIONADA

Al presionar sobre una pieza específica de la lista, se abrirá una ventana emergente o pantalla de detalle con la siguiente información:



Figura 54. Interfaz de detalle de la pieza seleccionada.

- **Visualización:** Fotografía de la pieza en alta resolución.
- **Descripción:** Características físicas del artefacto.
- **Botón [Cerrar]:** Regresa al listado de piezas de la cultura.
- **Botón [Ver en 3D]:** Activa la cámara del dispositivo móvil e inicia el motor de Realidad Aumentada.

6. MÓDULO DE REALIDAD AUMENTADA E INTERACTION 3D

Esta es la pantalla central de interacción inmersiva. Para proyectar la pieza arqueológica en 3D, el usuario debe enfocar la cámara del dispositivo hacia el "Image Target" (marcador) correcto, el cual corresponde a la misma fotografía de la pieza que seleccionó en la pantalla anterior.

Una vez que el sistema reconoce el marcador, el modelo 3D se proyectará sobre él. En esta interfaz se dispone de la siguiente botonera de control:

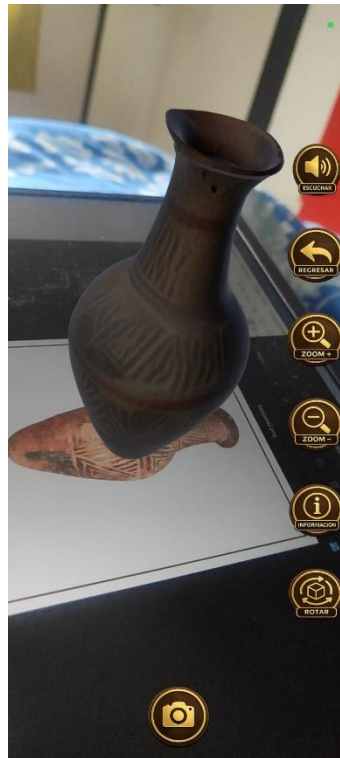


Figura 55. Interfaz central de interacción inmersiva.

Controles de Navegación y Captura

- **Botón**  : Sale del modo RA y vuelve a la pantalla de selección de piezas.
- **Botón**  : Captura la pantalla actual (captura de la pieza interactuando con el entorno), y guarda automáticamente en galería.
- **Botón**  : Muestra datos adicionales o asistencia rápida en pantalla.

Controles de Audio y Visualización 3D

- **Botón Multiacción**  /  : Activa o silencia la guía de audio informativa de la pieza.
- **Botón**  : Permite aumentar la escala del modelo 3D en tiempo real para apreciar mejor los detalles.

- **Botón**  : Permite disminuir la escala del modelo 3D en tiempo real para apreciar mejor los detalles.
- **Botón Multiacción**  : Botón único que activa el giro automático de la pieza sobre su eje para visualizarla en 360 grados, y al volverlo a presionar, detiene el movimiento en la posición actual.

7. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS (FAQ)

- **¿Por qué no aparece el modelo 3D al presionar "Ver en 3D"?**
- Asegúrese de estar enfocando el marcador (Image Target) correcto. Recuerde que el marcador es la misma foto de la pieza que eligió. Verifique también que haya suficiente iluminación en el espacio.
- **¿El botón de rotación no se detiene?** El botón funciona de manera alternable (Toggle). Presione una vez para iniciar el giro y presione el mismo botón nuevamente para congelar la rotación.

8. DESCARGA E INSTALACIÓN DEL APLICATIVO (APK)

Para instalar y ejecutar la aplicación en su dispositivo móvil, realice uno de los siguientes procedimientos previos:

- **Opción A (Enlace Directo):** Acceda al repositorio de almacenamiento digital a través del siguiente vínculo para descargar el archivo ejecutable:
- MUSEO ARQUEOLÓGICO BLÁS ÁNGEL
- **Opción B (Código QR):** Escanee el siguiente código QR con la cámara de su teléfono móvil para iniciar la descarga inmediata del archivo ejecutable con extensión .apk:



Figura 56. Código QR para descargar la aplicación

Nota de seguridad para la instalación: Debido a que es un aplicativo en desarrollo que no está subido a la tienda oficial de Google Play Store, al momento de instalar el archivo .apk su dispositivo podría mostrar una advertencia de "Origen desconocido". Debe pulsar en **"Instalar de todas formas"** o activar el permiso de "Permitir desde esta fuente" en los ajustes de seguridad de su teléfono para completar el proceso de instalación de forma exitosa.

9. REQUISITOS DEL SISTEMA

Para garantizar un rendimiento óptimo de la aplicación, el despliegue del motor de Realidad Aumentada y la fluidez de los modelos 3D, el dispositivo móvil debe cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

- **Sistema Operativo:** Android 8.0 (Oreo) o superior o superior.
- **Hardware Requerido:** Cámara trasera integrada con enfoque automático (mínimo 12 MP recomendados).
- **Sensores:** Giroscopio y acelerómetro (para estabilidad en el trackeo de la pieza).

10. BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EXPERIENCIA EN REALIDAD AUMENTADA

- **Iluminación Adecuada:** Evite habitaciones excesivamente oscuras o con reflejos de luz directos sobre el marcador (Image Target), ya que esto dificulta el reconocimiento de los patrones de la imagen por parte de la cámara.
- **Enfoque y Distancia:** Coloque la cámara a una distancia aproximada de entre 20 y 40 centímetros del marcador. Permita que la cámara enfoque correctamente la imagen antes de mover el dispositivo.
- **Estabilidad:** Mantenga el dispositivo lo más firme posible. Si el modelo se pierde, vuelva a apuntar directamente al centro de la fotografía de la pieza.

11. GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

- **Realidad Aumentada (RA):** Tecnología que superpone elementos digitales (como modelos 3D de cerámicas) sobre el entorno del mundo real a través de la pantalla de un dispositivo.
- **Image Target (Marcador):** Imagen del mundo real (en este caso, la propia fotografía de la pieza arqueológica) que el motor de RA reconoce para posicionar y anclar el objeto virtual en el espacio.
- **Modelo 3D:** Representación digital tridimensional de un objeto, que cuenta con volumen, texturas y propiedades visuales que emulan la pieza original del museo.
- **Botón Multiacción (Toggle):** Elemento de la interfaz que alterna entre dos estados o funciones con cada pulsación (ej. Reproducir/Pausar, Rotar/Detener).

Anexo 7. Manual Técnico del Proyecto.

MANUAL TÉCNICO

**APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA MUSEO ARQUEOLÓGICO MUNICIPAL BLAS
ÁNGEL**

Versión 1.1 mayo 2026

Desarrollado por: José Alejandro Mafla Urresta

Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

El Ángel – Ecuador

1. INTRODUCCIÓN

El presente manual técnico documenta el desarrollo, arquitectura, configuración y mantenimiento de la Aplicación de Realidad Aumentada del Museo Blas Ángel.

La aplicación permite a los visitantes visualizar piezas arqueológicas en 3D sobre marcadores impresos, pertenecientes a las culturas Capulí, Piartal y Tusa.

- **Tecnología principal:** Unity 6 + Vuforia Engine
- **Plataforma:** Android
- **Modo de funcionamiento:** Offline

Fecha: Mayo 2026 **Versión del manual:** 1.1

2. ARQUITECTURA GENERAL

La aplicación sigue una arquitectura local. Todo el procesamiento de Realidad Aumentada se realiza directamente en el dispositivo.

Componentes clave:

- Motor de RA: **Vuforia Engine**
- Motor de desarrollo: **Unity 6.0 (6000.0.47f1)**
- Lenguaje de programación: **C#**
- Modelos 3D: Importados desde **Blender** (.fbx)
- Marcadores: **Image Targets** de Vuforia

3. REQUISITOS DEL SISTEMA

Tabla 16. Requisitos del Sistema para Desarrollo.

Ítem	Especificación
Unity Version	6.0 (6000.0.47f1)
Vuforia Engine	Compatible con Unity 6
Plataforma	Android
API Mínima	Level 26 (Android 8.0)
API Objetivo	Level 33 o superior
Dispositivo recomendado	Android con cámara de buena calidad

4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

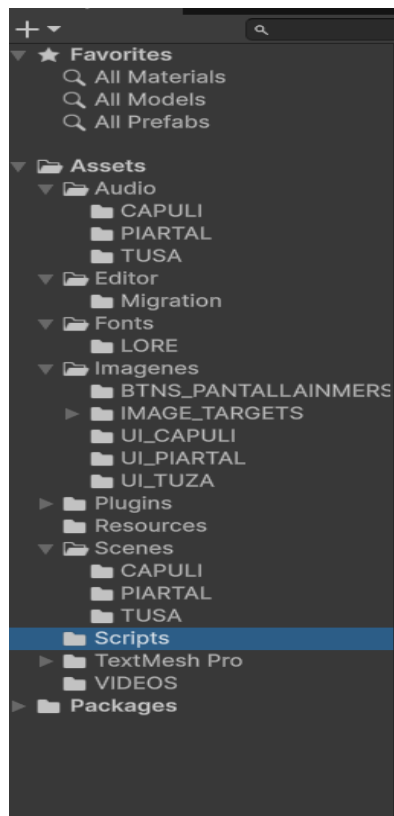


Figura 57. Estructura del proyecto.

5. ESTRUCTURA TÍPICA DE UNA ESCENA DE REALIDAD AUMENTADA

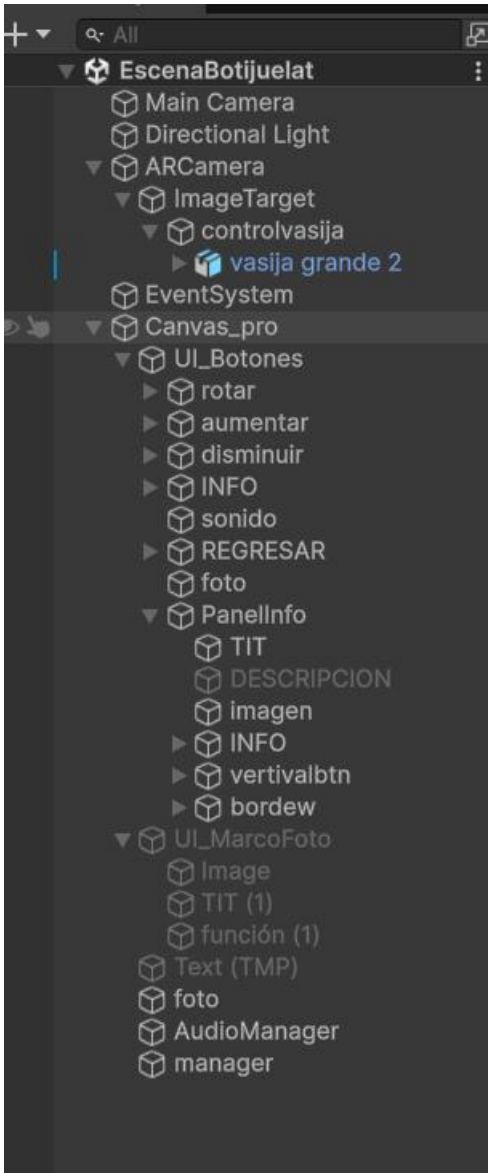


Figura 58. Jerarquía de la escena EscenaBotijuelac.

6. SCRIPTS PRINCIPALES

Tabla 17. Scripts Principales del Proyecto.

Script	Función principal
MenuManager.cs	Control de navegación entre menús y culturas
SceneTransition.cs	Transiciones suaves entre escenas
RotarObjeto.cs	Rotación del modelo 3D
ScaleControl.cs	Aumentar / Disminuir escala del objeto
TomarFoto.cs	Capturar pantalla y guardar en galería
AudioToggle.cs	Activar / Desactivar narración de audio
BotonAnimado.cs	Animaciones de interacción en botones

7. FLUJO DE USUARIO

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA – MUSEO BLAS ÁNGEL

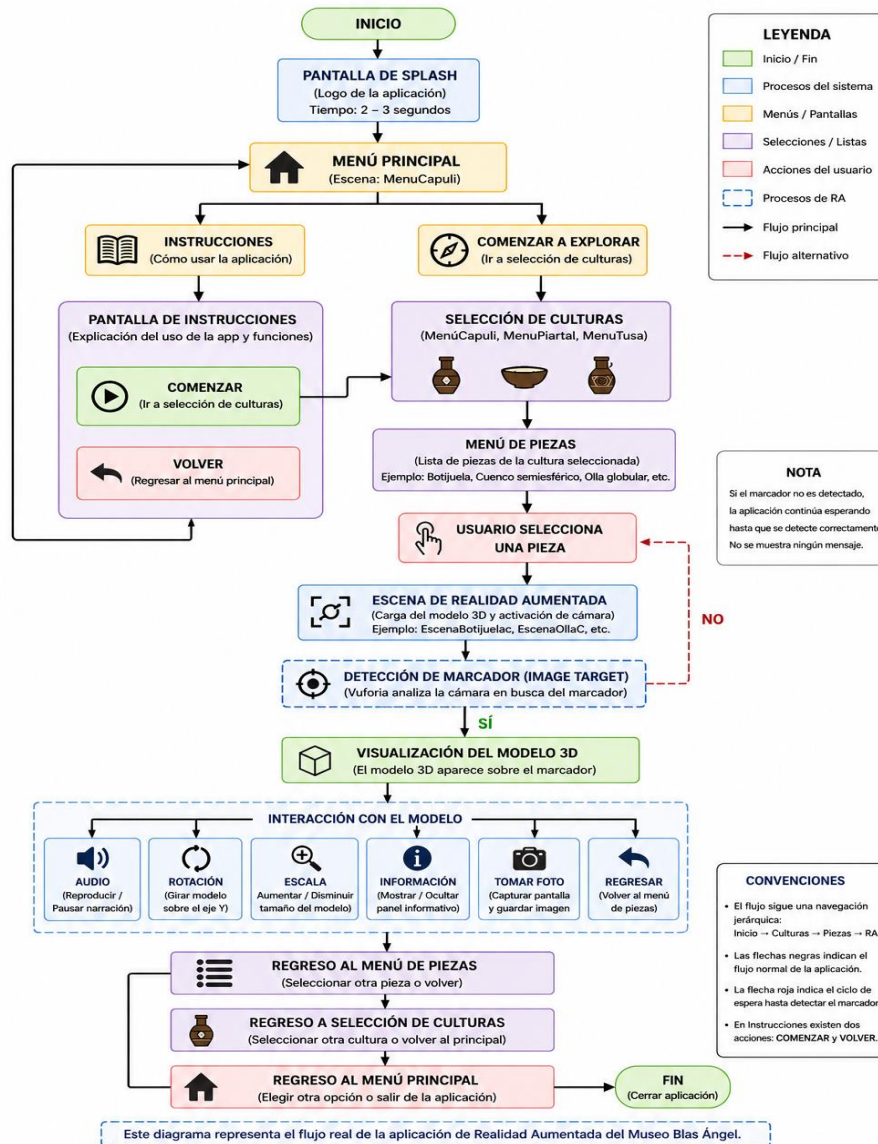


Figura 59. Flujo de usuario.

8. CÓMO AGREGAR UNA NUEVA PIEZA

1. Crear nueva escena en la carpeta correspondiente.
2. Agregar un **ImageTarget**.
3. Importar el modelo 3D.
4. Configurar botones y asignar scripts.
5. Actualizar MenuManager.
6. Recompilar.

9. COMPILACIÓN DEL APK

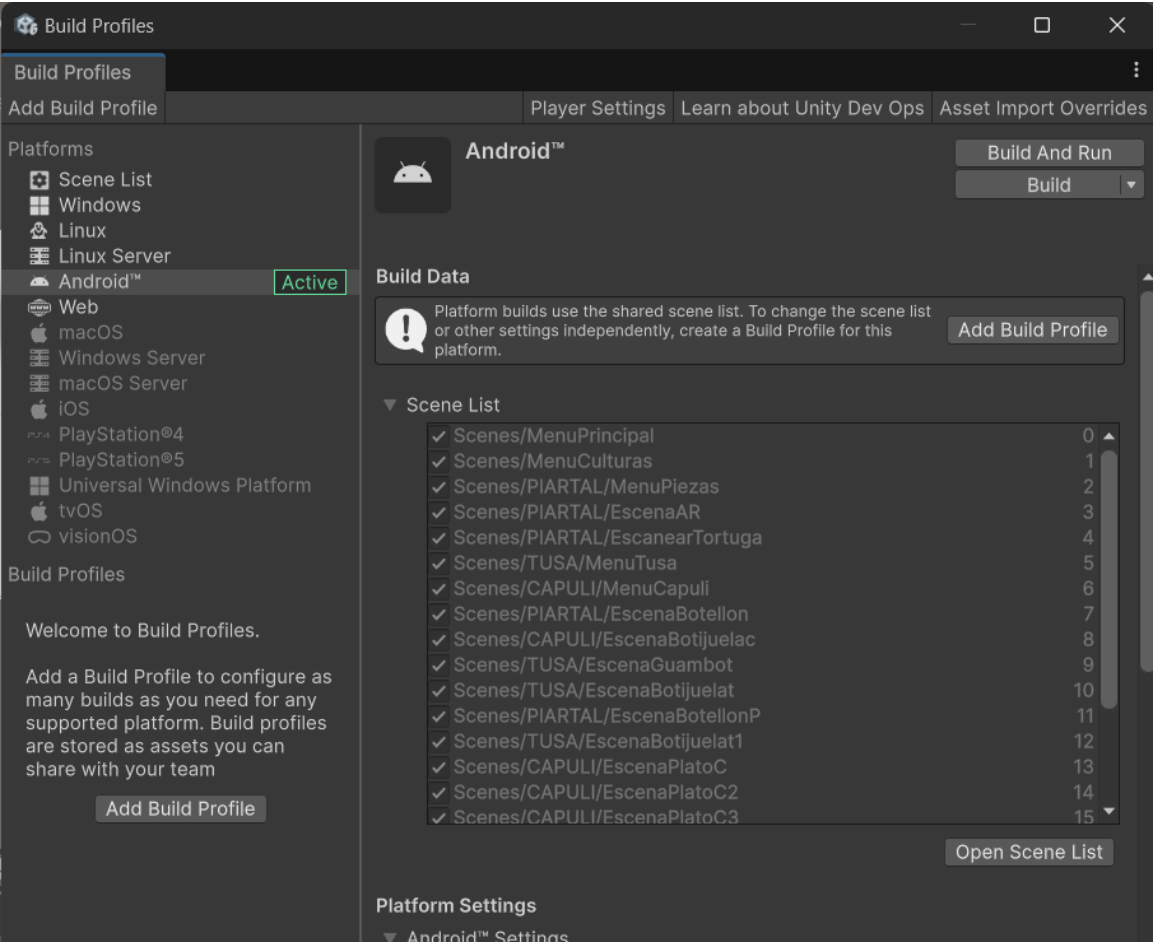


Figura 60. Ventana Build Settings.

1. File → Build Settings
2. Seleccionar Android
3. Agregar escenas
4. Configurar Player Settings
5. Build

10. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Tabla 18. Solución de Problemas Comunes.

Problema	Causa probable	Solución
El modelo no aparece	Marcador no reconocido	Mejorar iluminación, reimprimir marcador
Botones no responden	Script no asignado	Revisar Inspector del botón
Audio no suena	AudioToggle mal configurado	Verificar AudioSource y clip asignado
App se cierra al iniciar cámara	Permisos no concedidos	Activar en Ajustes del dispositivo
Rendimiento bajo	Modelo con muchos polígonos	Optimizar en Blender

11. CONSIDERACIONES FINALES

- Mantener respaldo del proyecto (Git recomendado).
- Actualizar este manual ante cambios importantes.
- Realizar pruebas en dispositivos reales.
- Documentar modificaciones.

Desarrollador: José Alejandro Mafla Urresta **Correo:** jose.mafla@upec.edu.ec

Fecha: Mayo 2026

Anexo 8. Certificado de culminación del proyecto.

 **Gobierno Autónomo
Descentralizado
Municipal de Espejo**
Administración 2023 - 2027

Dirección Administrativa y Talento Humano

A petición verbal de la persona interesada el suscrito MSc. Willman Patricio Cazares Valdiviezo con cédula de identificación No. 0400825832, Director de Gestión Administrativa y de Talento Humano me permito,

CERTIFICAR

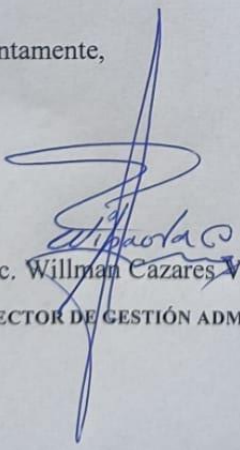
Que, el señor José Alejandro Mafla Urresta portador de la cédula de identidad No. 0450077326 culminó su trabajo de investigación relacionado con su tesis de grado con el tema: "REALIDAD AUMENTADA PARA LA PRESERVACIÓN DIGITAL DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS EN MUSEOS" bajo la coordinación Del Ing. Marcelo Paspuezan Taimal Analista de la Unidad de Turismo y Cultura del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Espejo. Mismo que se lo ha realizado con todo lo solicitado por la Institución y a entera satisfacción.

En tal sentido, me permito agradecer al estudiante por el trabajo realizado en este proyecto alcanzando los objetivos propuestos.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, para lo cual faculto al interesado hacer uso del presente en los asuntos que convengan a sus intereses.

El Ángel, 20 de mayo del 2026

Atentamente,





MSc. Willman Cazares Valdiviezo
DIRECTOR DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y TALENTO HUMANO DEL GADME.



Esmeraldas y Salinas / Espejo - Carchi Tlf: 062 977 147 / 062 977 148 Web: www.gadme.gob.ec