



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación

Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación

TRABAJO FIN DE GRADO

Fabricación Aditiva como Herramienta para la Accesibilidad Táctil de Obras Artísticas

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

Autor: LÁZARO GUERRERO LOSADA

Tutor: SERGIO MARTÍN BÉJAR

Cotutor: CAROLINA BERMUDO GAMBOA

MÁLAGA, JUNIO de 2025.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Agradecimientos

A mis padres, por ser un apoyo incondicional y siempre haberme forzado a dar el máximo.

A mi hermano, a quien pretendo ser un referente y servirle como ejemplo.

A mi pareja, por estar siempre a mi lado y apoyarme en todas mis aventuras.

A mis amigos, por ser el fuego que me guiaba hacia la superación.

Y a Sergio, mi tutor, a quien agradezco su confianza depositada en mi desde hace años y por haberme adentrado en el maravilloso mundo de la investigación.



Resumen

El presente Trabajo Fin de Grado aborda el desarrollo de herramientas para adaptar obras museísticas a personas con discapacidad visual mediante fabricación aditiva.

El desarrollo del trabajo a concluido con el desarrollo de una metodología digital que integra la segmentación de imágenes con inteligencia artificial y refinamiento manual de los contornos, junto a la generación de modelos digitales para la fabricación en FFF. Adicionalmente, se ha validado el sistema mediante una encuesta a usuarios pertenecientes a la ONCE en Málaga, cuyos resultados, aunque limitados por el tamaño muestral, han revelado algunas correlaciones significativas.

Frente a técnicas existentes como el termoformado, la tecnología Fuser o los collages, entre otros, esta propuesta destaca por su versatilidad y su amplia replicabilidad. El sistema supera limitaciones de softwares como TactileView, útiles para gráficos simples, pero ineficaces en obras complejas. Pese a estas ventajas, el método requiere aún de cierta corrección manual en la segmentación y optimización de parámetros de impresión para mejorar la interpretación háptica. Estas correcciones serán abordadas en futuras líneas de investigación como el proyecto de investigación Artacto.

Palabras clave: Discapacidad visual, adaptaciones museísticas, segmentación de imágenes, fabricación aditiva.



Abstract

This Bachelor's Thesis addresses the development of tools to adapt museum artworks for people with visual impairments using additive manufacturing.

The work concludes with a digital methodology that integrates image segmentation through artificial intelligence and manual contour refinement, alongside the generation of digital models for FFF fabrication. Furthermore, the system was validated through a survey of users from the ONCE in Málaga, whose results, though limited by sample size, revealed significant correlations.

Compared to existing techniques such as thermoforming, Fuser technology, or collages, among others, this proposal stands out for its versatility and broad scalability. The system overcomes limitations of software like TactileView, useful for simple graphics but ineffective for complex artworks. Despite these advantages, the method still requires manual corrections in segmentation and optimization of printing parameters to enhance haptic interpretation. These improvements will be addressed in future research lines, such as the Artacto research project.

Keywords: Visual impairment, museum adaptations, image segmentation, additive manufacturing.



Índice

| | |
|--|------------|
| 1. Introducción..... | 16 |
| 2. Objetivos..... | 19 |
| 3. Antecedentes | 21 |
| 3.1. Antecedentes tiflológicos | 21 |
| 3.1.1 Elementos didácticos..... | 21 |
| 3.1.1.1. Termoformado..... | 22 |
| 3.1.1.2. Fuser | 28 |
| 3.1.1.3. Impresora Braille | 35 |
| 3.1.1.4. TactileView | 38 |
| 3.1.1.5. Collages..... | 41 |
| 3.1.1.6. Reproducciones táctiles | 45 |
| 3.1.1.7. Impresión 3D..... | 46 |
| 3.1.1.8. Maquetas | 48 |
| 3.1.2 Museos adaptados..... | 49 |
| 3.1.2.1. Tifloteca | 49 |
| 3.1.2.2. Museo tiflológico | 49 |
| 3.1.2.3. Hoy se toca el Prado | 50 |
| 3.1.2.4. Museo Málaga | 52 |
| 3.2. Fabricación por filamento fundido (FFF)..... | 54 |
| 3.2.1 Proceso de fabricación | 54 |
| 3.2.2 Equipo..... | 55 |
| 3.2.2.1. Partes de la máquina | 56 |
| 3.2.2.2. Maquinaria usada | 57 |
| 3.2.3 Materiales | 59 |
| 3.2.4 Parámetros de impresión..... | 61 |
| 4. Segmentación de los cuadros | 65 |
| 4.1. Calco de imagen | 65 |
| 4.1.1 Calco mediante colores | 65 |
| 4.1.2 Calco monocromático..... | 75 |
| 4.1.2.1. Obras monocromáticas simples..... | 75 |
| 4.1.2.2. Transformación a obras monocromáticas | 78 |
| 4.1.3 Por Python | 86 |
| 4.1.3.1. Contornos por ángulos..... | 86 |
| 4.1.3.2. Contorno por relleno de huecos | 88 |
| 4.1.4 Segment Anything Model (SAM)..... | 95 |
| 4.1.4.1. Por código | 96 |
| 4.1.4.2. Por web | 98 |
| 5. Generación de modelos 3D | 104 |



| | | |
|-------------|--|------------|
| 5.1. | Softwares para la generación de modelos 3D a partir de imágenes en 2D | 104 |
| 5.1.1 | Softwares CAD..... | 104 |
| 5.1.2 | Blender | 105 |
| 5.1.2.1. | Mediante canales RGB..... | 105 |
| 5.1.2.2. | Por SVG..... | 107 |
| 5.1.2.3. | Por Knife Project. | 109 |
| 5.1.2.4. | Remesh | 110 |
| 5.2. | Variables de impresión..... | 114 |
| 5.2.1 | Variación de altura | 114 |
| 5.2.2 | Perfil-Macizo..... | 115 |
| 5.2.3 | Textura | 115 |
| 5.3. | Impresiones | 119 |
| 6. | <i>Evaluación de los modelos. Encuesta y resultados.</i>..... | 124 |
| 6.1. | Encuesta | 124 |
| 6.2. | Resultados | 130 |
| 6.2.1 | Análisis de los datos de información general..... | 130 |
| 6.2.2 | Resultados de las variables en función de toda la población..... | 133 |
| 6.2.3 | Resultados de las variables en función del tipo de visión | 137 |
| 6.2.4 | Resultados de las variables en función de la edad de la pérdida de visión..... | 139 |
| 6.2.5 | Análisis de la valoración final..... | 141 |
| 7. | <i>Conclusiones</i> | 143 |
| 7.1. | Conclusión..... | 143 |
| 7.2. | Líneas futuras de investigación | 145 |
| | <i>BIBLIOGRAFÍA</i> | 147 |
| | <i>Anexo I</i>..... | 150 |
| | <i>Anexo II</i>..... | 154 |
| | <i>Anexo III</i>..... | 157 |
| | <i>Anexo IV</i>..... | 164 |
| | <i>Anexo V</i>..... | 176 |
| | <i>Anexo VI</i>..... | 180 |
| | <i>Anexo VII</i>..... | 211 |
| | <i>Anexo VIII</i>..... | 218 |



Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de Europa por termoconformado..... | 22 |
| Figura 2. Mapa de España en plancha de estaño. | 23 |
| Figura 3. Molde mapa provincias de Andalucía..... | 24 |
| Figura 4. Molde maqueta aparatos reproductivos humanos..... | 24 |
| Figura 5. Muralla de la Alcazaba moldeada mediante termoconformado..... | 25 |
| Figura 6. Templete del patio de los leones..... | 26 |
| Figura 7. Patio de los leones en perspectiva..... | 26 |
| Figura 8. Máquina de termoconformado por partes..... | 27 |
| Figura 9. Busto de Fauno, Pablo Picasso..... | 30 |
| Figura 10. Plano urbanístico..... | 31 |
| Figura 11. El acróbata, Pablo Picasso..... | 32 |
| Figura 12. Busto de mujer con los brazos cruzados por detrás de la cabeza, Pablo Picasso..... | 33 |
| Figura 13. Anatomía de un calamar..... | 34 |
| Figura 14. Máquina Fuser..... | 35 |
| Figura 15. Braille 450 s2..... | 35 |
| Figura 16. Alfabeto español en Braille..... | 36 |
| Figura 17. Compartimento trasero de Braille 450 S2 para la introducción de papel continuo..... | 37 |
| Figura 18. Dimensiones que ocupa la Braille en el espacio..... | 37 |
| Figura 19. Captura de pantalla del software TactileView procesando la foto de un delfín..... | 38 |
| Figura 20. Comparación del mapa de E.E.U.U generado en TactileView entre digital y físico..... | 40 |
| Figura 21. Ilustración de un barco mediante TactileView..... | 41 |
| Figura 22. Cuento de Frida Kahlo..... | 41 |



| | |
|--|----|
| Figura 23. Paseo a la orilla del mar, Joaquín Sorolla. | 42 |
| Figura 24. Fotos de cuentos fabricados mediante collage. | 42 |
| Figura 25. El Buen Pastor, Bartolomé Esteban Murillo. | 43 |
| Figura 26. Sherlock Holmes, Basil Rathbone. | 44 |
| Figura 27. Casco del guerrero. | 45 |
| Figura 28. Modelos impresos en 3D. a) Dama de Elche, b) Cruz tuareg, c) Duomo de Florencia. | 47 |
| Figura 29. Foto del escaparate de todos los modelos impresos en 3D. | 47 |
| Figura 30. Maqueta del coliseo romano, Museo tiflológico de Madrid. | 48 |
| Figura 31. a) Puerta del sol, b) Venus: Andrés Clariana de Bru de Sala. | 50 |
| Figura 32. Máquina de escritura para el sistema Moon. | 50 |
| Figura 33. La Gioconda (Taller de Leonardo da Vinci). | 51 |
| Figura 34. La fragua de Vulcano, Velázquez. | 52 |
| Figura 35. Decoración central de la pila de abluciones de una mezquita, Jarrita procedente de un alfar malagueño y Estela de orejetas de un alfar malagueño. | 53 |
| Figura 36. Casco del caballero, de bronce de estilo corintio, Medallón de Trayamar, Jarro de boca de seta y lucerna con dos mechas, Cuencos con carenado con decoración geométrica incisa y apliques metálicos. | 54 |
| Figura 37. Tipo de extrusor: a) directa, b) bowden. | 56 |
| Figura 38. Impresora 3D a) Raise 3D PRO, b) Raise 3D E2. | 58 |
| Figura 39. Impresora 3D Ender 3 V3 KE. | 58 |
| Figura 40. Impresora 3D: a) Bambulab X1C, b) Bambulab A1. | 62 |
| Figura 41. Defecto de las retracciones. | 63 |
| Figura 42. Diferentes rellenos y sus densidades en la impresión 3D. | 63 |
| Figura 43. Diferencia en la altura de capa. | 64 |
| Figura 44. Diferentes efectos aplicados. | 66 |
| Figura 45. Calco de imagen mediante tres colores. | 67 |
| Figura 46. Calco de imagen mediante seis colores. | 67 |



| | |
|---|----|
| Figura 47. Calco de imagen mediante dieciséis colores..... | 67 |
| Figura 48. Número de elementos..... | 68 |
| Figura 49. Mosaico de Pájaros del faro de Torrox..... | 69 |
| Figura 50. Mosaico sin fondo..... | 70 |
| Figura 51. Primera segmentación del mosaico. | 70 |
| Figura 52. Figuras principales del mosaico: a) pájaro, b) paloma, b) jarro, c) rama de olivo | 71 |
| Figura 53. Limpieza del lazo claro. | 72 |
| Figura 54. Limpieza del lazo azul. | 72 |
| Figura 55. Mosaico versión final: a) colores originales, b) colores de alto contraste. | 73 |
| Figura 56. a) Mosaico original, b) Mosaico final. | 73 |
| Figura 57. Jacqueline con sombrero de paja, Pablo Picasso..... | 74 |
| Figura 58. Carpeta de la Tauromaquia, Pablo Picasso..... | 76 |
| Figura 59. Carpeta de la Tauromaquia procesada..... | 76 |
| Figura 60. a) La playa, Pablo Picasso, b) La playa procesada..... | 77 |
| Figura 61. a) Autorretrato en blanco y negro, b) Rango de colores..... | 79 |
| Figura 62. Proceso Gama de colores..... | 80 |
| Figura 63. Vectorización Autorretrato: a) versión código, b) primera vectorización, c) segunda vectorización..... | 81 |
| Figura 64. Simplificación del trazado. | 82 |
| Figura 65. a) El sueño, Pablo Picasso (original), b) El sueño, procesado con Gama de colores. | 82 |
| Figura 66. El sueño vectorizado. | 83 |
| Figura 67. gallo y cuchillo sobre una mesa..... | 83 |
| Figura 68. Gallo y cuchillo sobre una mesa vectorizado..... | 84 |
| Figura 69. Guernica, Pablo Picasso..... | 84 |
| Figura 70. Guernica vectorizado. | 85 |



| | |
|--|-----|
| Figura 71. Autorretrato procesado con delineación de contornos. | 88 |
| Figura 72. a) Gato devorando un pájaro, Pablo Picasso, b) versión procesada por delineación de contornos. | 88 |
| Figura 73. resumen proceso segmentación del Autorretrato. | 90 |
| Figura 74. Comparación Autorretrato entre: a) versión Calco de Imagen, b) versión delineación de contornos. | 90 |
| Figura 75. a) Gato devorando un pájaro, Pablo Picasso, b) Gato devorando un pájaro procesado por gama de colores. | 91 |
| Figura 76. Rellenado final..... | 91 |
| Figura 77. Segundo relleno del gato a partir de una versión vectorizada previamente..... | 92 |
| Figura 78. Las Señoritas de Avignon, Pablo Picasso..... | 93 |
| Figura 79. Versiones Señoritas de Avignon..... | 94 |
| Figura 80. Segmentación de fotografía mediante SAM..... | 97 |
| Figura 81. Segmentación de fotografía a partir de la segunda versión del código.. | 98 |
| Figura 82. Vista del Guadalquivir, Manuel Barrón y Carrillo. | 99 |
| Figura 83. Mascara de segmentación SAM web..... | 100 |
| Figura 84. Gama de colores Vistas del Guadalquivir..... | 100 |
| Figura 85. Vectorización de Vista del Guadalquivir..... | 101 |
| Figura 86. Colores aplicados a la vectorización..... | 101 |
| Figura 87. Y tenían corazón..... | 102 |
| Figura 88. Y tenía corazón segmentado..... | 102 |
| Figura 89. Y tenía corazón mejora vectorización..... | 103 |
| Figura 90. Extrusión mediante mapeado de colores..... | 106 |
| Figura 91. Autorretrato extruido..... | 106 |
| Figura 92. Mejora definición de los trazados: a) extrusión base, b) mejora calidad..... | 107 |
| Figura 93. Comparación entre una extrusión mediante mapeado de colores y mediante svg..... | 108 |



| | |
|--|-----|
| Figura 94. Knife Project. | 109 |
| Figura 95. Errores Knife Project..... | 110 |
| Figura 96. Error triangulación de superficies. | 111 |
| Figura 97. Remesh Carpeta de la Tauromaquia. | 112 |
| Figura 98. Segundo remesh superficie. | 112 |
| Figura 99. Error en la generación de superficies debido a la falta de vertices y arístias..... | 113 |
| Figura 100. Nueva resolución del modelo digital aumentada mediante remesh. | 113 |
| Figura 101. Variación de alturas..... | 114 |
| Figura 102. Mosaico de pájaros del Faro de Torrox: a) Perfil macizo, b) Perfil hueco. | 115 |
| Figura 103. Sistema de colores heráldicos. | 116 |
| Figura 104. Motivo en Illustrator..... | 117 |
| Figura 105. Versión Y tenía corazón relleno a partir de textura heráldica. | 117 |
| Figura 106. Vectorización textura heráldica..... | 118 |
| Figura 107. Normativa Braille. | 119 |
| Figura 108. Mosaico de pájaros del Faro de Torrox con siluetas delineadas con solo el perfil. | 120 |
| Figura 109. Modelo importado en IdeaMaker..... | 120 |
| Figura 110. Modelo laminado y previsualizado. | 121 |
| Figura 111. Datos tiempo impresión. | 122 |
| Figura 112. Mosaico macizo. | 123 |
| Figura 113. Mosaico perfil. | 123 |
| Figura 114. Información General, Encuesta. | 125 |
| Figura 115. Cuadro 1: Carpeta de la Tauromaquia, Encuesta. | 126 |
| Figura 116. Cuadro 2: Mosaico de Pájaros del Faro de Torrox, Encuesta. | 127 |
| Figura 117. Cuadro 3: Y tenía corazón, Encuesta. | 127 |
| Figura 118. Cuadro 4: Autorretrato, Encuesta..... | 128 |



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Figura 119. Valoración final, Encuesta. 129



Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Comparaciones materiales utilizados en FFF..... | 59 |
| Tabla 2. Dimensiones mínimas Braille. | 119 |
| Tabla 3. Efecto de cada variable en función del tipo de visión frente a toda la población muestreada. | 139 |
| Tabla 4. Efecto de cada variable en función de la edad de pérdida de visión frente a toda la población muestreada. | 141 |



Índice de gráficas

| | |
|--|-----|
| Gráfica 1. Rango de edades. | 130 |
| Gráfica 2. a) Población en función del género, b) Tipo de visión..... | 131 |
| Gráfica 3. Edad en la que perdió la capacidad visual. | 132 |
| Gráfica 4. ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto?..... | 132 |
| Gráfica 5. ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | 133 |
| Gráfica 6. Efecto de cada variable. | 134 |
| Gráfica 7. Mejora de cada variable, toda la población..... | 135 |
| Gráfica 8. Orden de importancia de cada variable | 136 |
| Gráfica 9. Mejora de la interpretabilidad con la audioguía..... | 137 |
| Gráfica 10. Efecto de cada variable en función del tipo de visión. | 138 |
| Gráfica 11. Efecto de cada variable en función de la edad de la pérdida de visión. | 140 |
| Gráfica 12. Tipo de visión en función de la edad a la que se perdió la visión..... | 141 |
| Gráfica 13. Aspectos generales. | 142 |



1. Introducción

El acceso a los museos por personas ciegas es escaso debido a la gran falta de adaptabilidad que requieren estas personas. Pese a que el acceso al patrimonio cultural está recogido por UNESCO como un derecho fundamental debido a su gran interés y nexos para la cohesión social (United Nations, 2006), menos del 5% de los museos europeos ofrecen adaptaciones específicas para personas con baja visión o ceguera total (EBU, 2022). Esta ausencia de adaptaciones no solo viola los principios de inclusión, sino que perpetúa la discriminación social que sufren este colectivo, dejando que las obras museísticas solo sean un privilegio para aquellos que tienen visión.

Pese al esfuerzo de la ONU por eliminar estas barreras limitantes (United Nations, 2006, 2006b, 2022a), la realidad deja mucho que desear para aquellos que quieren disfrutar el arte desde otro prisma. Para tratar de mejorar esto, gobiernos, organizaciones y museos han destinado recursos en los últimos tiempos para remodelar secciones, actualizar sistemas y comprar nuevas tecnologías que faciliten la interpretación de las obras (Ministerio de Derechos Sociales, 2023). Existen museos que incorporan audioguías. Estas son fuentes de información valiosa que solo funcionan unidireccionalmente debido a que solo se permite al usuario escuchar para entender la obra. El usuario no puede preguntar o interactuar con la audioguía, imposibilitando una bidireccionalidad que aumentase el entendimiento, ocasionando que la interpretación mental sea limitada. También existen algunos museos que incorporan maquetas u objetos palpables, pero estos son muy difíciles de encontrar debido a su alto coste y su limitación de obras a las que puede representar. Sin embargo, un estudio realizado en el Museo del Prado reveló que el 78% de los usuarios ciegos consideraron las maquetas disponibles como poco representativas de las obras originales, destacando la pérdida de detalles como sombras o relieves sutiles (García, 2022). A pesar de todo el esfuerzo de algunos museos, solo el 15% de los museos cuentan con adaptaciones como las maquetas táctiles o las audioguías según un informe del Museo Tiflológico de la ONCE en España (ONCE, 2024).

La tecnología avanza a un ritmo inconmensurable. Los museos invierten grandes cantidades de dinero en experiencias inmersivas para el público general, mientras las soluciones para gente ciega permanecen ancladas en tecnologías arcaicas



como las audioguías y las maquetas. Esta paradoja refleja un sesgo social reflejando que la innovación tecnológica aplicada a la cultura solo puede ser para unos cuantos. Este abandono que sienten las personas con discapacidad visual aumenta el riesgo de exclusión social. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos individuos sufren problemas de salud mental a causa de la exclusión social que sufren (Pan American Health Organization, 2024). Otros estudios de psicología social como los desarrollados por Falk y Dierking en 2013 (Francis, 2015) vinculan el acceso al arte con la construcción de una identidad a través de la participación ciudadana. Es por ello por lo que la inclusión social es muy importante para el desarrollo de una sociedad justa, donde las personas no se sientan discriminadas ni abandonadas.

Aquellos países que poseen una alta densidad museística, como por ejemplo Italia, con más de cuatro mil novecientas instituciones museísticas, muestran mayores índices de participación ciudadana en eventos e instituciones culturales (Manfredini, 2020). Otro ejemplo puede ser Ámsterdam, la cual tiene un museo por cada cinco mil novecientos habitantes (World Cities Culture Forum, 2025). Por otro lado, regiones con menos infraestructura museística como pueden ser zonas de Bulgaria, presentan un 40% menos de actividades culturales (Cultural Policies, 2025).

Como decía el historiador Pierre Nora, los museos son “lugares de memoria” que materializan la identidad nacional (Nora, 1984). Cuadros como el Guernica recrean los horrores que se cometieron entre personas compatriotas, es por ello, que imposibilitar el acceso a personas ciegas a conocer esa etapa de su país hace que se sientan desplazados de la identidad nacional. Un informe reveló que el 73% de los europeos consideran que los museos son claves para entender la historia de su país (Helmut K. Anheij *et al.*, 2017). Los museos tienen más importancia de lo que las personas pueden llegar a pensar. Estos sitios son “aulas permanentes donde se enseña que significa ser humano” (Duncan F. Cameron, 1971). Son fuentes constantes de conocimiento que forjan el imaginario común. El sociólogo francés Bourdieu demostró que el acceso a instituciones culturales como los museos, determinan el “capital simbólico” de los individuos (Pierre Bourdieu, 1984).

Las personas con discapacidad visual se sienten desplazadas, tienen un sentimiento de no pertenecer a la cultura. Según la Encuesta de Hábitos Culturales en España realizada por el Ministerio de Cultura y Deporte en 2019, casi medio



millón de personas (472.000 personas) no pudieron acceder a complejos culturales debido a problemas relacionados con la accesibilidad (Ministerio de cultura y Deporte, 2019). Si se pretende que los museos sean espacios de socialización, no se puede apartar a la marginalidad a este colectivo. Un estudio realizado en España investigó la implicación de los estudiantes en las excursiones a los museos. Mientras el 92% de los escolares sin discapacidad visual acceden a la excursión para visitar un museo, solo el 17% de los alumnos con discapacidad visual participan en las actividades (Cultura División de Estadística Estudios, 2024). Esto puede producir en estas personas un analfabetismo cultural, privándoles de los avances y novedades, al mismo tiempo que aislándoles.

España tiene la suerte de poseer un Museo tiflológico completamente adaptado a personas con discapacidad visual. Su lema; “Un museo para tocar”, hace referencia a la gran cantidad de maquetas táctiles que tienen para que sus usuarios puedan disfrutar y facilitar el acceso a la cultura. Además, juega un papel importante en la concienciación y ayuda a otros museos sobre la importancia de la adaptabilidad (ONCE, 2025). Junto a él está el museo más importante de España, el Museo del Prado, quien tiene una exposición donde las principales obras de los pintores españoles más ilustres son recreadas volumétricamente para que personas con discapacidad visual puedan palparla e interpretarla (Museo del Prado, 2025). Juntos, van por España tratando de concienciar y ayudar a los museos españoles a mejorar su accesibilidad y enseñar los avances tecnológicos que pueden mejorar la experiencia de los más vulnerables.

En un contexto global, donde los museos quieren migrar de “templos de arte” hacia espacios sociales y educativos (ICOM, 2025), la accesibilidad debe ser fundamental en el proceso. Habrá personas que podrán pensar que la accesibilidad táctil para personas ciegas puede suponer un costo elevado, pero realmente es una inversión en diversidad y pluralidad. Para ello van a tener que apoyarse en la tecnología. Innovaciones como la fabricación aditiva pueden resolver problemas técnicos a un bajo coste, pudiendo redefinir el acceso y la democratización de los museos a las personas vulnerables.



2. Objetivos

La falta de accesibilidad a los museos representa una barrera significativa para la participación cultural plena de las personas ciegas o con discapacidad visual severa, perpetuando situaciones de exclusión y limitando su acceso al patrimonio artístico general. Ante esta problemática y la evidente carencia de soluciones táctiles efectivas y escalables en los museos, la fabricación aditiva emerge como una tecnología prometedora para generar representaciones físicas significativas de obras pictóricas. Este trabajo se enmarca en el desarrollo y validación de un proceso que aprovecha el potencial del procesamiento digital de imágenes mediante inteligencia artificial y la impresión 3D para crear recursos táctiles que traduzcan la experiencia visual a una experiencia háptica. Bajo este contexto, se definen los siguientes objetivos:

El objetivo principal será desarrollar, implementar y validar una metodología integral basada en fabricación aditiva para la creación de representaciones táctiles volumétricas de obras pictóricas, con el fin de mejorar la accesibilidad y la experiencia museística de personas ciegas o con discapacidad visual severa.

Para ello se subdivide el objetivo general en varios objetivos específicos:

1. Diseñar y optimizar un flujo de trabajo digital que permita procesar imágenes digitales de cuadros para segmentar automáticamente sus elementos compositivos principales.
2. Implementar y refinar procesos para la generación de modelos volumétricos a partir de las imágenes segmentadas obtenidas mediante el uso de softwares de modelación 3D.
3. Fabricar prototipos físicos de las representaciones táctiles mediante tecnologías de fabricación aditiva, seleccionando materiales y parámetros de impresión que garanticen durabilidad, seguridad y una experiencia óptima.
4. Diseñar y fabricar diferentes versiones modificando aspectos del producto que respondan a diferentes variables para poder estudiar la efectividad de los diferentes parámetros.



5. Evaluar los prototipos con personas que tengan ceguera total y baja visión mediante una encuesta presencial para validar el funcionamiento del producto, además, recoger información para la futura mejora del sistema.
6. Estudiar la efectividad, utilidad y comprensibilidad de las piezas mediante los datos obtenidos durante la evaluación y reportar los resultados.



3. Antecedentes

Este apartado explora los fundamentos teóricos previos sobre los que se fundamenta el presente trabajo, abordando dos ejes principales. En primer lugar, se examinan las tecnologías tiflológicas existentes para la adaptación de recursos culturales y educativos. Estos antecedentes contextualizan la evolución de las herramientas de accesibilidad y su impacto en la autonomía de las personas con discapacidad visual. En segundo lugar, se profundiza en los principios teóricos de la fabricación aditiva FFF (Fabricación por filamento fundido), tecnología empleada en este proyecto. Se analizarán el proceso de fabricación, la maquinaria necesaria, los materiales con los que se pueden imprimir, y los parámetros claves a tener en cuenta para la impresión.

3.1. Antecedentes tiflológicos

El desarrollo de recursos accesibles para personas con discapacidad visual ha dado lugar a diversas tecnologías y metodologías, cada una con sus particularidades en cuanto a su fabricación, su usabilidad y su aplicabilidad. Este apartado analiza críticamente los principales sistemas empleados actualmente, desde técnicas tradicionales como el termoformado y los collages hasta soluciones digitales avanzadas como la impresión 3D y el software TactileView. Se examinarán sus procesos de producción, ventajas en la transmisión de información táctil y limitaciones prácticas, proporcionando así una base comparativa para entender las decisiones técnicas adoptadas en este proyecto. Este análisis no solo contextualiza el estado del arte, sino que también revela los desafíos pendientes en la creación de materiales inclusivos.

3.1.1 Elementos didácticos

En la actualidad, existen diversas tecnologías que permiten adaptar recursos académicos, culturales y de acceso a la información para personas con discapacidad visual. Todas ellas comparten un principio fundamental: la conversión de imágenes en representaciones táctiles mediante relieves

perceptibles al tacto. Estas soluciones no solo facilitan el aprendizaje y la autonomía, sino que también promueven la inclusión educativa y social. En este punto se va a explicar las principales tecnologías presentes en los centros educativos para personas con discapacidad visual.

3.1.1.1. Termoformado

El termoformado es un proceso de fabricación esencial para la creación de recursos didácticos táctiles destinados a personas con discapacidad visual. Esta tecnología permite la producción en serie de placas, mapas, diagramas y otros soportes en relieve, facilitando el acceso a información mediante el tacto. Su relevancia en el ámbito educativo y de accesibilidad radica en su alta calidad y cantidad de detalle admisible.

El proceso inicia con la elaboración de un molde que contiene el diseño en relieve que se desea reproducir. Este molde puede fabricarse mediante técnicas avanzadas de precisión como el corte por control numérico. Este método es más preciso y genera un molde más duradero, pero incrementa considerablemente el coste y solo es rentable con grandes tiradas de reproducciones. Un ejemplo puede ser el mostrado en la Figura 1. Este mapa de Europa es fabricado en masa por la ONCE, y se distribuyen a todas las sedes de España. Como se puede observar, la plancha está completamente texturizada, generando volúmenes y relieves para crear una jerarquía de la información que ayude a la interpretación.

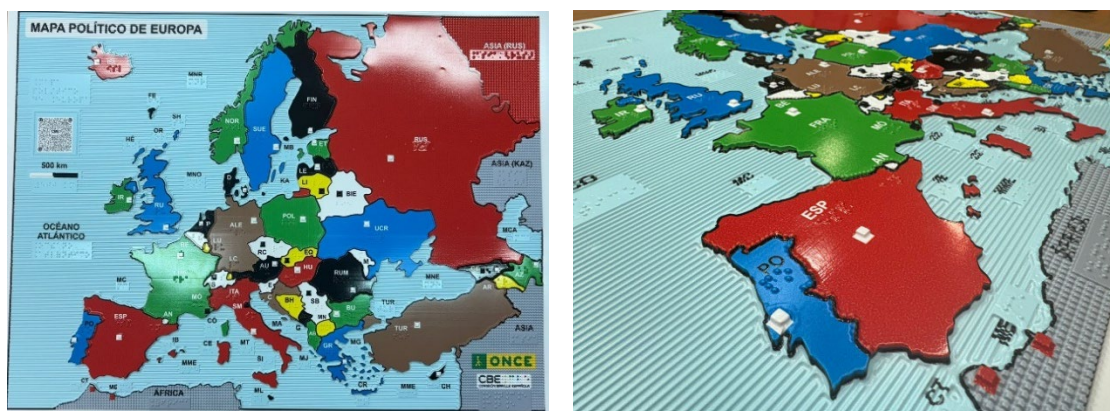


Figura 1. Mapa de Europa por termoconformado.

Existen otras maneras rudimentarias de generar los moldes a un bajo coste, pero limitan la cantidad de replicas que se pueden conformar. Sin embargo, los técnicos

de ONCE Málaga han detallado que este método lo prefieren debido a su gran versatilidad y personalización, permitiendo que el profesor pueda crear sus propios modelos. Para generar los moldes de forma “casera”, los técnicos han utilizado dos métodos distintos. Un primer método por el cual, a partir de una plancha de estaño (Figura 2) y un punzón, se va marcando la silueta de la imagen deseada. Este método es el más rápido, pero es el que menos cantidad de detalle admite. Esta limitación viene principalmente por dos factores. Un primer factor es el punzón y su punta. Esta tiene un tamaño determinado por lo que no se pueden hacer detalles muy pequeños. La segunda limitación es la persona que fabrica el molde. La calidad y cantidad de detalle viene determinada directamente por la profesionalidad y experiencia del técnico.

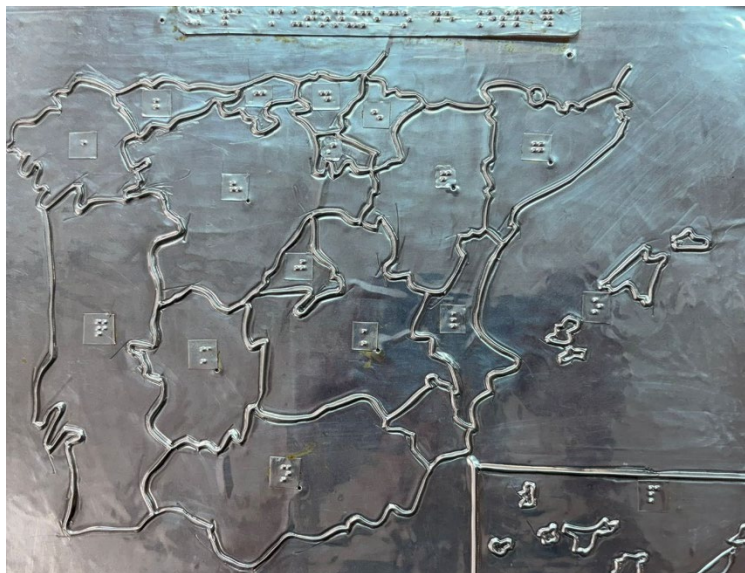


Figura 2. Mapa de España en plancha de estaño.

Otro método utilizado por los técnicos ha sido generar moldes a partir de materiales como la madera y cartón duro. Estos materiales tienen la suficiente resistencia ignífuga para soportar la temperatura del material plástico fundido y no adherirse a la plancha fundida. Este método es completamente artesanal. El técnico dibuja sobre el cartón la figura deseada, la corta a mano y va pegando las piezas a la base de madera o tela, conformando así el resultado final. Para ilustrar mejor este método se disponen a continuación varios moldes fabricados en la sede de la ONCE de Málaga (Figura 3, Figura 4).



Figura 3. Molde mapa provincias de Andalucía.

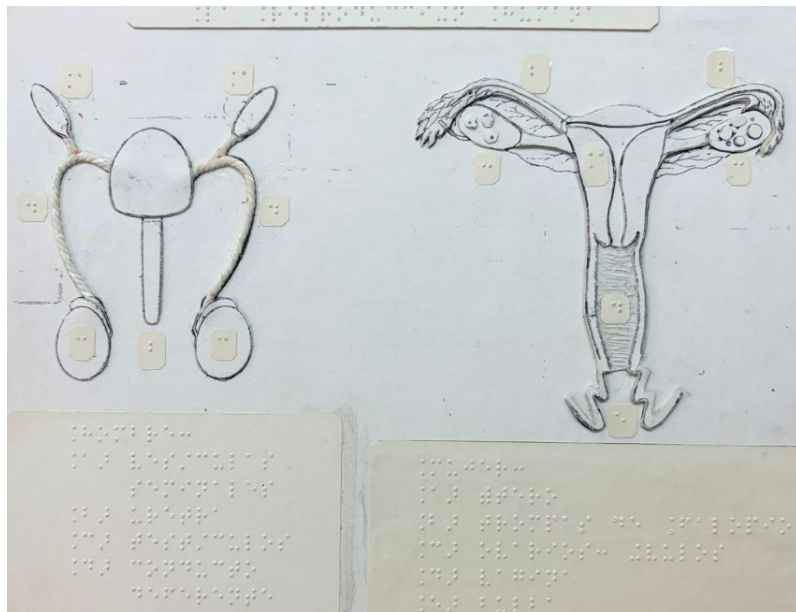


Figura 4. Molde maqueta aparatos reproductivos humanos.

Ambos métodos de fabricación del molde tienen sus respectivas ventajas y desventajas. La principal ventaja de ambos es la durabilidad que presentan las piezas moldeadas. Tradicionalmente se han hecho maquetas a mano, pero su número escaseaba y era fácilmente deteriorables. Evolucionar esa maqueta para que sirva de molde, o generar los modelos directamente en metal, ha conseguido escalar el sistema y aumentar la vida útil del producto. Comparando los moldes por

CNC frente a los hechos a mano, el primero destacaría por su durabilidad, replicabilidad y calidad en los detalles. Sin embargo, alto precio de fabricación del molde, y la poca variedad educativa que tiene, hace que los técnicos prefieran las maquetas manuales, permitiéndoles más control sobre su enseñanza a un precio relativamente asequible.

Los resultados obtenidos mediante este método de fabricación son bastante aceptables. Los detalles se pueden diferenciar perfectamente al tacto, y el acabado superficial no es abrasivo (Figura 5), permitiendo largos periodos de uso sin sufrir incomodidad o daños en las yemas de los dedos. Sin embargo, debido al método de fabricación, la lámina ha de ser delgada para permitir un correcto moldeo. Esto, unido a que el material base es una plancha de plástico conformado, se obtiene un objeto muy delgado y flexible, el cual no permite el agarre haciendo imposible su manipulación con las manos. Su uso queda limitado a palpar la plancha sobre una superficie plana y rígida. En la Figura 6 se puede ver ambas caras de la lámina final, dejando al descubierto el lado positivo y negativo de la plancha, y por donde ha sido incidido el molde.

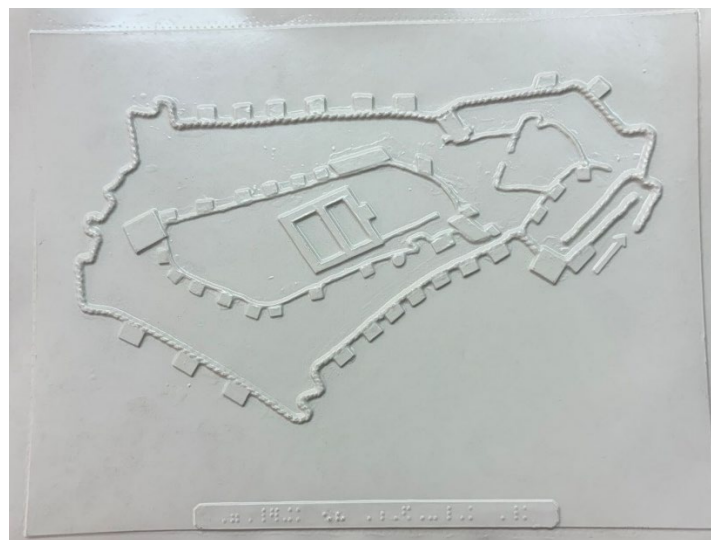


Figura 5. Muralla de la Alcazaba moldeada mediante termoconformado.

Dentro de las personas que tienen discapacidad visual, se encuentran aquellas que tiene baja visión. En función de la visión que tenga cada persona, habrá algunas que solo vean luces y sombras, y otras que sean capaces de distinguir algunos colores. Este método de fabricación permite la pigmentación de la lámina, consiguiendo colorear la figura deseada (Figura 6).

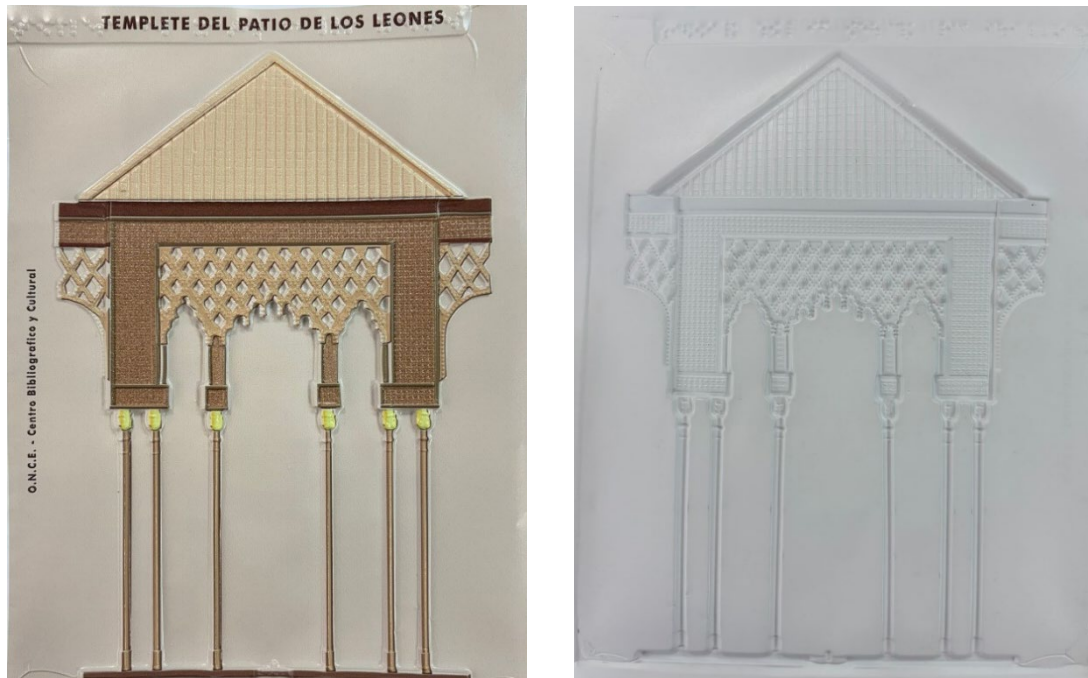


Figura 6. *TempLETE del patio de los leones.*

Para poder obtener color en el resultado final, la lámina debe ser coloreada previamente al moldeo. Para ello se imprime en impresoras UV planas o de sublimación. Posterior a la impresión se les aplica un barniz de protección UV para evitar la decoloración durante el moldeo en caliente. Con este método se puede imprimir parte de la plancha, como lo realizado en la Figura 6, o se puede colorear la totalidad de ella como la Figura 7.



Figura 7. *Patio de los leones en perspectiva.*

Para poder fabricar el resultado final, se sitúan tanto el molde como la lámina dentro de la termoformadora (Figura 8). En el mercado existen numerosas máquinas, cada uno con unas características, funcionalidades y dimensiones distintas. Para poder ilustrar mejor las partes se va a utilizar de referencia la máquina que se encuentra en la sede de la ONCE en Málaga. Sin embargo, todas las máquinas tienen al menos estos componentes. La máquina está conformada principalmente por estos elementos:

1. Paneles calefactores: Calientan la lámina.
2. Plataforma elevadora: Mueve el molde hacia la lámina.
3. Base: Superficie metálica donde se coloca el molde.
4. Controles: Sistema de botones, pulsadores y selectores que determinan los parámetros de la máquina.
5. Marco de sujeción: Sujeta la plancha plástica para que esta no se mueva durante el moldeo
6. Bomba de vacío: Succiona el aire forzando a la plancha a obtener la forma deseada

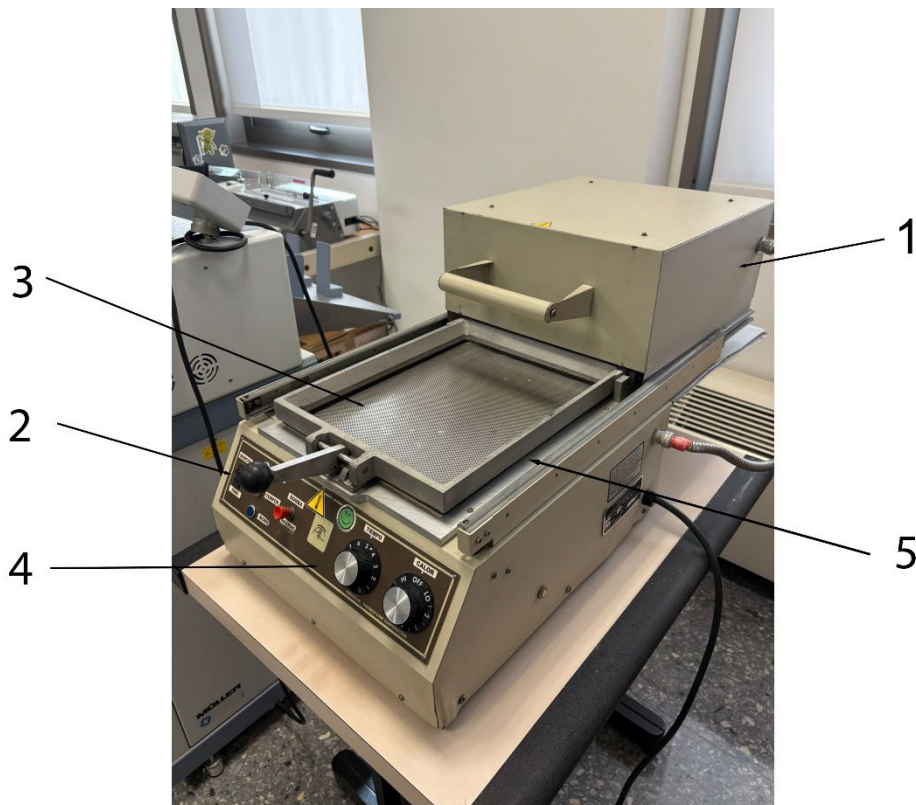


Figura 8. Máquina de termoconformado por partes.



El funcionamiento más primario de la máquina, y que comparten la mayoría de ellas son:

1. Colocación del molde en la base
2. Colocación de la lámina sobre la carcasa de sujeción
3. Accionamiento de la plataforma elevadora
4. Colocación de los paneles calefactores sobre la plancha
5. Activación de los controladores para aplicar calor y vacío
6. Tiempo de fabricación
7. Retirada de todas las acciones anteriores
8. Expulsión del modelo final
9. Recorte de rebabas si es requerido

El termoformado es una buena solución para la creación de recursos didácticos a un coste moderado. Limitaciones como la generación del molde, la adquisición de maquinaria y el ruido que esta produce, son algunos de los inconvenientes que presenta este método de fabricación.

3.1.1.2. Fuser

El sistema Fuser es una tecnología para hacer gráficos táctiles para personas con discapacidad visual. Funciona basándose en un proceso llamado hinchado térmico selectivo. La idea es transformar imágenes impresas en relieves que se puedan palpar. Se utiliza un papel especial que tiene un polímero termoplástico, el cual al ser impreso con tinta negra común de impresora sobre este papel y aplicarle calor se origina una reacción por la cual las partes impresas con tinta se hinchan, creando relieves de 0.2 a 0.5 mm de alto.

Esta tecnología está relacionada con los Materiales de Cambio de Fase (PCM). Las microcápsulas en el papel contienen un agente espumante que se convierte en gas cuando se calienta. La tinta negra es la que más calor absorbe, y ayuda a que el calor se distribuya de manera uniforme. Este método permite una resolución háptica de entre 8-12 puntos por centímetro, lo que es suficiente para hacer mapas, diagramas científicos o figuras. Sus ventajas son:

- Rapidez: Hace gráficos en 2-5 minutos.



- **Económico:** No necesita moldes físicos costosos y el folio especial y la tinta de impresora es barato.
- **Versatilidad:** Funciona imprimiendo cualquier foto.
- **Compatibilidad:** Permite el uso diferentes softwares de edición para generar las siluetas que serán impresas

A pesar de poder imprimir cualquier foto con este método, existen varias restricciones que obligan que la foto tenga ciertas características. En primer lugar, no se pueden imprimir fotos a color, ya que funciona exclusivamente con tinta negra ya que es la que absorbe más calor. Además de las zonas impresas con negro, todo lo que esté en tonalidades de grises también se va a imprimir. Se debe dejar espacio entre las líneas impresas para que el material pueda expandirse, y para que la persona con discapacidad visual pueda palpar e interpretar correctamente la figura.

Un resultado del uso de esta tecnología es el mostrado en la Figura 9. Este ejemplo es una representación de la cerámica del pintor malagueño Pablo Picasso “Busto de Fauno”. La cerámica posee un grabado en su interior el cual ha sido adaptado para poder ser impreso con esta tecnología. Como la Figura 9 posee diferentes colores y sombras, estas serían también impresas y dificultarían la interpretación por parte de las personas que palpen la obra en caso de ser impresa tal cual. Para evitar esto, se ha dibujado una copia sobre una hoja y se ha dejado en blanco y negro. Esto se puede deducir debido a que los círculos concéntricos que simulan las formas curvas de la cerámica no siguen líneas curvas perfectas. De haber sido procesado por software, el resultado habría sido perfecto. En los siguientes apartados se mostrarán ejemplos que si han sido procesados por ordenador.



Figura 9. Busto de Fauno, Pablo Picasso.

Los resultados con esta tecnología son bastante buenos. Además, según los técnicos de la ONCE en Málaga, este sistema es el que más utilizan, ya que les permite crear materiales educativos adaptados a las necesidades de los estudiantes, facilitando la enseñanza de conceptos complejos sobre matemáticas, dibujo y arte.

Aunque el sistema Fuser tiene la limitación de no generar figuras diferenciadas de forma ya sea por variación de altura o por materiales, es posible optimizar el resultado mediante el diseño adaptado de rellenos. Dibujando patrones de relleno en el archivo digital (antes de la impresión), se pueden crear efectos táctiles distintivos que simulen diferentes texturas y ayuden a diferenciar objetos. Tomando como ejemplo la Figura 10, se puede ver como ha aumentado la información de la imagen y facilitado la interpretabilidad añadiendo rellenos como pequeños puntos negros a áreas que representarían zonas verdes. Puntos blancos sobre fondo negro para diferenciar los edificios. Líneas ondulantes para poder situar el río, además de líneas gruesas completamente negras para dibujar las carreteras. Gracias al uso estratégico de rellenos, el sistema Fuser supera sus limitaciones iniciales, adquiriendo una mayor versatilidad y valor funcional. Esta adaptación no solo enriquece la información táctil, sino que también facilita una interpretación más intuitiva y accesible para usuarios con discapacidad visual, transformando un simple relieve en un mapa legible y lleno de matices perceptibles al tacto.



Figura 10. Plano urbanístico.

Esta tecnología también es útil para la adaptación de obras museísticas. Para poder generar un amplio volumen de obras distintas, es preciso hacer uso de la tecnología y la edición fotográfica. Anteriormente se ha explicado como la figura X fue calcada a mano. En el caso de querer muchas obras, el coste que supone tener a una persona dibujando a mano las siluetas de cada obra sería muy caro. En este punto entran los softwares de edición. Gracias a editar los ajustes de saturación, contraste e iluminación que se puede encontrar en cualquier programa, un técnico podría sacar una versión simplificada de la obra en un breve periodo de tiempo. Un ejemplo puede ser la Figura 11, El acrobata. Esta obra pintada por Pablo Picasso solo posee al acrobata, por lo que sus escasos colores y siluetas remarcadas ayudan al procesamiento de la imagen.



Figura 11. El acróbata, Pablo Picasso.

No todas las obras pueden ser procesables. Las principales variables que determinan si una obra puede ser procesable o no serían la cantidad de tonalidades de colores que posee la obra, y si las figuras poseen siluetas bien marcadas, donde el contraste y las líneas definidas permiten una traducción clara. Un artista ideal para este tipo de adaptación podría ser Pablo Picasso.

Gracias a su estilo artístico, el cubismo, sus obras están caracterizadas por formas geométricas, líneas gruesas y contornos negros bien definidos. Las figuras fragmentadas y los trazos oscuros que dominan sus obras permiten extraer fácilmente las siluetas principales para convertirlas en relieve. Además, la ausencia de gradaciones sutiles de color y la simplificación de las formas en planos superpuestos facilitan la creación de un diseño táctil comprensible.

En cambio, obras más paisajísticas o impresionistas, con múltiples elementos superpuestos y transiciones de color difusas, presentan mayores dificultades. Cuadros donde las pinceladas son menos delineadas y los fondos se funden con las figuras, requieren un proceso de simplificación mucho más complejo para que el resultado sea interpretable al tacto.

Algunos defectos que posee automatizar el proceso de adaptación de las obras museísticas a través de programas informáticos pueden ser obtener líneas

inconsistentes, figuras mezcladas y siluetas mal pintadas. Al observar la Figura 12, se puede apreciar como el pelo de la mujer es inconsistente. En la obra original, Figura 12 derecha, el pelo posee textura, diferencia de colores, y trazos que muestran las ondulaciones. Al tratar de simplificar el pelo, la pieza impresa refleja que el programa no ha sido capaz de simplificar correctamente todos esos atributos. Para corregir este problema se pueden plantear diferentes soluciones como generar degradados de grises para otorgar es tridimensionalidad, generar rellenos mediante líneas onduladas como las vistas en la Figura 12, o simplemente dejar toda esa zona en negro. Esto solo se puede solucionar mediante retoque fotográfico manual, y es preciosa que el técnico conozca las técnicas adecuadas para poder arreglar el dibujo.



Figura 12. Busto de mujer con los brazos cruzados por detrás de la cabeza, Pablo Picasso.

Una problemática habitual en la creación de recursos adaptados es sobresaturar de información la ilustración al tratar de introducir el mayor número de información posible. En la Figura 13 se puede observar una ilustración sobre la anatomía de un calamar. Una persona sin discapacidad visual puede entender y diferenciar toda la información presente en la hoja. Sin embargo, una personas con discapacidad visual le resulta imposible interpretar la hoja. El folio presenta tanta información, tantos rellenos distintos minúsculos, y decenas de figuras que se cortan entre sí, que es imposible poder palpar la ilustración sin perderse. Una persona con ceguera de la sede de la ONCE en Málaga sostuvo que esta ilustración no valía para estudiar.

Le era imposible hayar los diferentes órganos descritos. Se perdía al tratar de seguir una silueta porque había líneas que se entrecruzaban. Es por ello que es muy importante conocer las virtudes y los defectos de esta tecnología, y es trabajo de los técnicos el poder adaptar correctamente los materiales a las personas que lo necesitan.

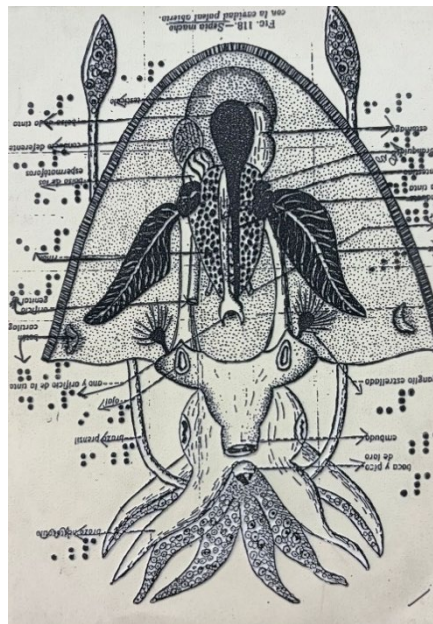


Figura 13. Anatomía de un calamar.

Una vez hablado del sistema de fabricación y las necesidades de diseño que requiere la tecnología, el siguiente aspecto a desarrollar reside en el estudio de la maquinaria especializada en este sistema de fabricación. La máquina (Figura 14) consta de un tambor giratorio donde se coloca el folio previamente impreso, y mediante resistencias calefactoras, se aplica una alta temperatura para generar el relieve. La precisión en el calentamiento y la velocidad de rotación del tambor son esenciales para garantizar que los relieves táctiles mantengan una definición óptima sin deformaciones. A pesar de sus ventajas, el sistema tiene algunas limitaciones: no puede crear texturas diferentes, solo variaciones en altura, y el contraste disminuye con gráficos más complejos.



Figura 14. Máquina Fuser.

3.1.1.3. Impresora Braille

Las impresoras braille (Figura 15) son un dispositivo esencial para la producción de materiales accesibles destinados a personas con discapacidad visual. A diferencia de las impresoras convencionales, estas no utilizan tinta, sino que generan relieves táctiles mediante la deformación física de sustratos como papel de alto gramaje o láminas de polímero. Su funcionamiento se basa en el empleo de mecanismos de impacto. Estos están compuestos por agujas metálicas, denominadas punteros, las cuales presionan el papel contra un rodillo rígido (yunque), creando así los puntos en relieve.



Figura 15. Braillo 450 s2.

El braille es un sistema de lectoescritura táctil diseñado en el siglo XIX por Louis Braille, que permite a personas con discapacidad visual acceder a información escrita mediante el tacto. Se basa en una estructura modular denominada celda braille, compuesta por seis puntos en relieve distribuidos en dos columnas verticales de tres puntos cada una. Cada combinación específica de puntos elevados o hundidos dentro de la celda corresponde a un carácter único, pudiendo ser letras (Figura 16), números, signos de puntuación o incluso notaciones matemáticas y musicales. Cabe destacar que el braille no es un idioma, sino un código de transcripción adaptable a cualquier lengua.

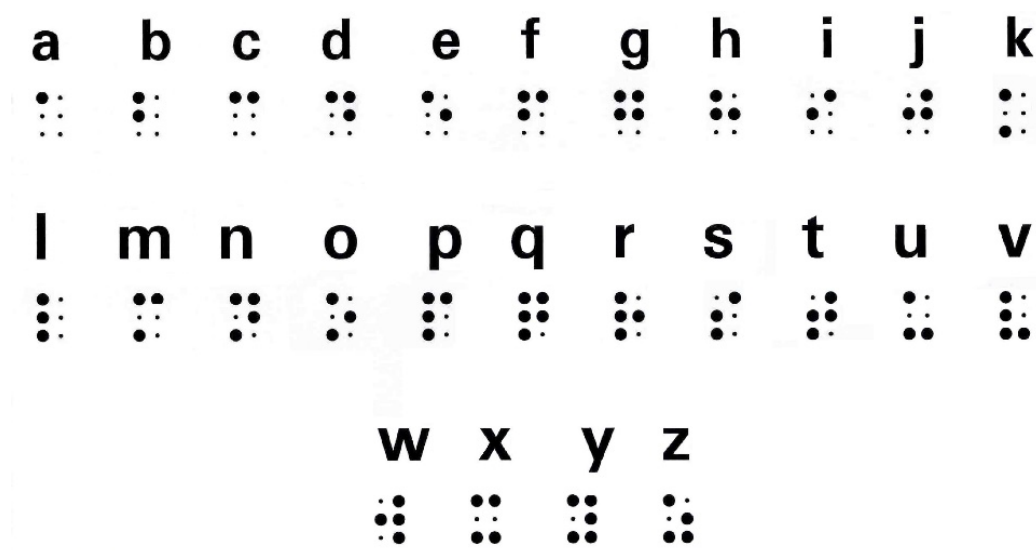


Figura 16. Alfabeto español en Braille.

Para la creación de grandes tiradas de copias, o la creación de libros, se puede usar impresoras adaptadas al empleo de papel continuo. El papel continuo es una tira de papel formada por múltiples hojas unidas en serie mediante perforaciones que permiten separarlas después de la impresión. Se presenta en rollos o en forma de acordeón, y se usa principalmente en impresoras de braille como la que se puede observar en la Figura 17



Figura 17. Compartimento trasero de Braillo 450 S2 para la introducción de papel continuo.

Uno de los mayores inconvenientes de las impresoras de braille es lo voluminosas y pesadas que son. Debido a la arquitectura del producto, la máquina está conformada por numerosos mecanismos de impacto que imposibilitan su portabilidad, además de generar bastante ruido. Con el paso de los años van apareciendo impresoras cada vez más pequeñas y menos ruidosas. En la Figura 18 se puede apreciar como la impresora de braille Braillo 450 S2 ocupa por completo la superficie de una mesa.



Figura 18. Dimensiones que ocupa la Braillo en el espacio.

3.1.1.4. *TactileView*

TactileView es un software especializado diseñado para la creación y adaptación de materiales didácticos destinados a personas con discapacidad visual. Este programa permite transformar imágenes, gráficos y textos en representaciones hápticas mediante el uso de impresoras de relieve, facilitando el acceso a información visual a través del tacto (Figura 19). Entre sus ventajas destacan su interfaz intuitiva, la capacidad de personalizar diseños según necesidades educativas o profesionales, y la compatibilidad con diversas tecnologías de impresión táctil. Para su fabricación, se emplean máquinas como impresoras braille de relieve, termoformadoras y fuser (anteriormente explicadas). Esta herramienta resulta esencial en entornos educativos inclusivos, permitiendo la autonomía y el aprendizaje accesible para usuarios con ceguera o baja visión.

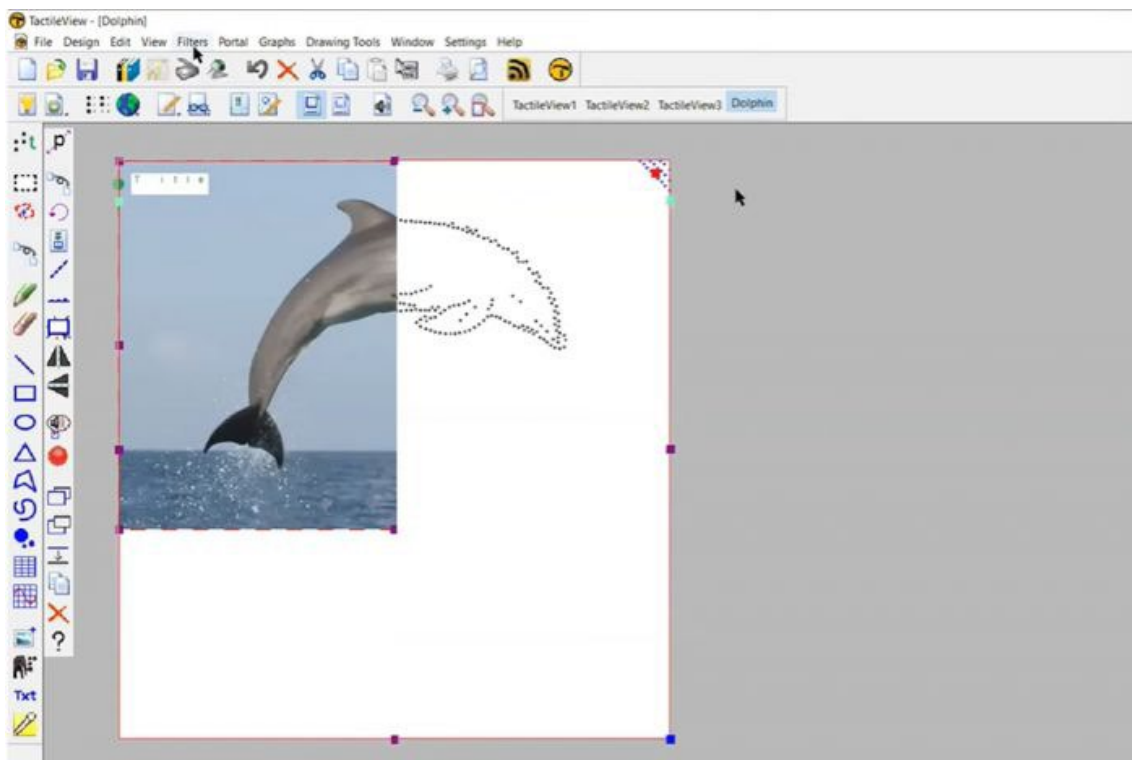


Figura 19. Captura de pantalla del software TactileView procesando la foto de un delfín.

El software facilita la generación de mapas táctiles para personas con discapacidad visual mediante un proceso estructurado en tres fases principales, precedidas por la configuración de preferencias iniciales. Para poder entender



mejor la metodología de uso se va a explicar las fases a partir de un ejemplo práctico, la generación del mapa de estados de E.E.U.U.

- Configuración inicial (Preferencias): Antes de iniciar, el usuario debe definir parámetros como el sistema de medición (métrico/imperial) y el tamaño del papel (ej. A4), esenciales para garantizar la compatibilidad con dispositivos de producción.
- Fase 1: Delimitación del área geográfica: El usuario selecciona la escala del mapa (Estados Unidos), con opciones de ajuste mediante zoom y desplazamiento (*panning*). Mapas de menor escala (ej. calles) permiten mayor precisión, mientras que los de ámbito global carecen de esta funcionalidad. Las dimensiones del área seleccionada se muestran en unidades configurables (km/millas), facilitando la interpretación para usuarios de lectores de pantalla.
- Fase 2: Personalización de detalles: Una vez definida el área, el usuario podría incorporar capas de información (ej. calles, capitales) activables mediante casillas de verificación (en el caso práctico de la Figura 20 no se ha detallado los estados de forma numérica). Cada capa se puede gestionar de forma independiente para evitar saturación táctil, priorizando la usabilidad. La herramienta genera automáticamente un archivo SVG y un índice de referencia con posiciones numeradas, optimizando la navegación háptica.
- Fase 3: Descarga y producción (Figura 20): El mapa se exporta en formato SVG para su posterior tratamiento. Es crucial mantener coherencia entre el tamaño de papel configurado y las capacidades del dispositivo de producción. En el caso práctico de la Figura 20, se ha elegido fabricar mediante una impresora de Braille.

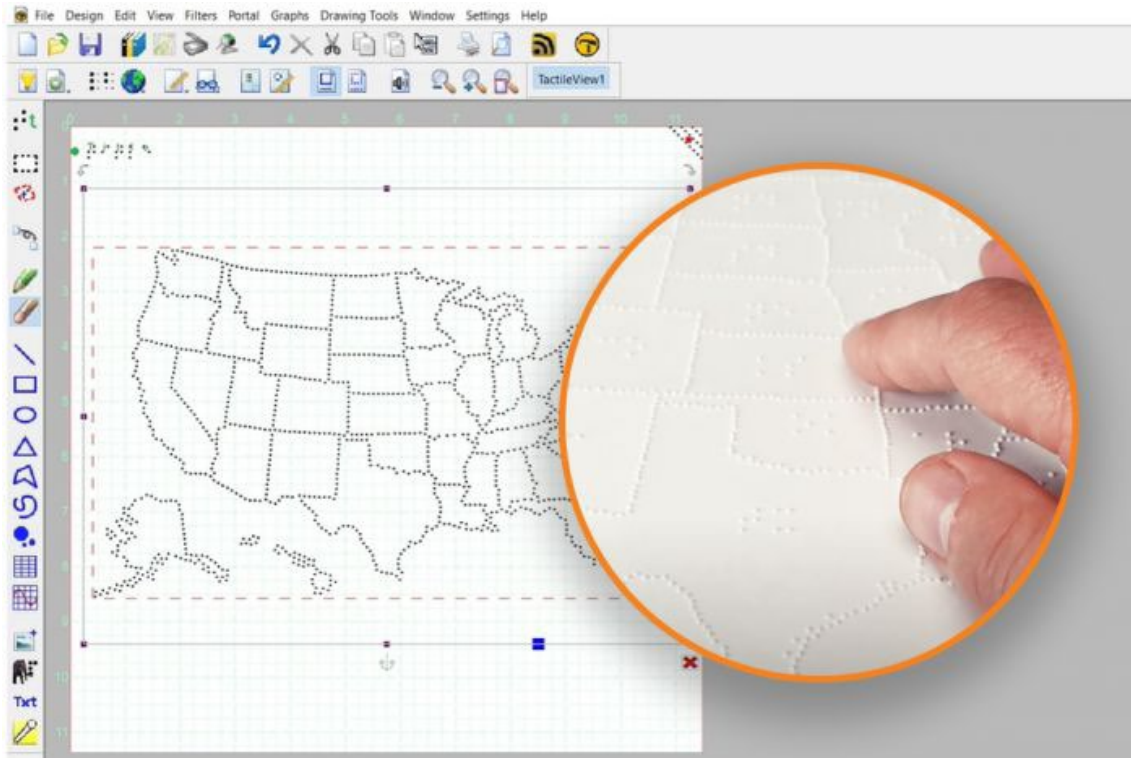


Figura 20. Comparación del mapa de E.E.U.U generado en TactileView entre digital y físico.

De las tecnologías vistas, esta es la más usada por las personas con discapacidad visual. Como muchas personas cuentan con impresoras de Braille en sus hogares, TactileView se ha convertido en un programa habitual para poder estudiar y aprender. La Figura 21 es un dibujo sobre un barco que fue procesado por TactileView e impreso en una impresora de Braille por un estudiante de la ONCE Málaga en su casa. La autonomía es muy importante para estas personas. Ser capaces de hacer cosas por si mismos y aprender por su cuenta les ayuda enormemente a mejorar su estado anímico y psicológico. Es por ello por lo que softwares como TactileView no solo tienen importancia tecnológicamente, su mayor virtud son la autonomía y la independencia que ofrecen a los usuarios.



Figura 21. Ilustración de un barco mediante TactileView

3.1.1.5. Collages

Los collages constituyen una metodología artesanal y versátil para la creación de recursos táctiles adaptados, destacando por su capacidad de transformar materiales cotidianos en herramientas pedagógicas inclusivas. Esta técnica, fundamentada en el ensamblaje de capas y texturas, se aplica en dos ámbitos principales: la adaptación de cuentos infantiles (Figura 22) y la recreación de obras pictóricas (Figura 23).



Figura 22. Cuento de Frida Kahlo.



Figura 23. Paseo a la orilla del mar, Joaquín Sorolla.

Para los cuentos táctiles se emplean elementos accesibles como cartulinas, goma EVA o hilos, los cuales son recortados y superpuestos para representar personajes, escenarios y acciones, haciendo posible que los niños con discapacidad visual puedan seguir narrativas mediante el tacto. Los cuentos estudiados en la sede de Málaga de la ONCE presentaban siempre la misma estructura. Una portada compuesta por un título y su adaptado en braille, sobre un fondo con los personajes del cuento en relieve (Figura 24). Para el desarrollo de la historia, la maquetación del cuento estaba conformada por una hoja donde viene impreso el cuento junto a la versión en Braille, y otra hoja con un collage ilustrando lo narrado (Figura 22).



Figura 24. Fotos de cuentos fabricados mediante collage.

Por otro lado, mediante este proceso de fabricación también se pueden adaptar cuadros. El proceso implica una deconstrucción creativa de la imagen original. Para ello se imprime múltiples veces el mismo cuadro, recortando sus componentes principales (figuras humanas, objetos o fondos) para luego superponerlos en capas sucesivas que generen un relieve. Como se puede observar en la Figura 25, la adición de capas sucesivas favorece la interpretabilidad de la obra pudiendo segmentar objetos entre sí. Asimismo, esta sucesión de capas genera una jerarquización de la información, permitiendo transmitir profundidad y relevancia sin necesidad de visión facilitando la comprensión espacial y narrativa a través del relieve. Por ejemplo, el pastor sobresale claramente sobre un fondo plano, indicando su protagonismo en la historia o en la composición Figura 25



Figura 25. *El Buen Pastor*, Bartolomé Esteban Murillo.

El efecto tridimensional del uso del collage puede ser enriquecido con texturas realistas vinculadas a los elementos representados. De este modo, el abrigo de Sherlock Holmes (Figura 26) ha sido recubierto con tela para que las personas que interactúen con la obra entiendan mejor que el detective lleva un abrigo. Por otro lado, el uso de un material rígido para ilustrar la pipa les ayuda, en primer lugar, a localizar la pipa de tabaco dentro del cuadro, además de transmitirles que es un

objeto duro. Otra forma de transmitir información a través de la textura son la adición de patrones para la segmentación de elementos. En la Figura 25, se puede apreciar diferentes texturas presentes en la oveja y el fondo. Las formas onduladas de la oveja pueden hacer referencia a la esponjosidad de la lana y sus formas ovaladas, mientras que los puntos presentes en los fondos oscuros en la esquina inferior derecha y superior izquierda (Figura 25 izquierda) hacen entender a la persona que, en efecto, esas zonas son oscuras. También se puede apreciar como en las ramas de los arbustos se han colocado pequeñas hebras de hilo para simular el efecto de las ramas sobre las hojas.



Figura 26. Sherlock Holmes, Basil Rathbone.

Por último, subrayar que estos proyectos, aunque aparentemente simples, requieren un diseño minucioso que equilibre la fidelidad al original, la durabilidad del material y la claridad perceptiva. No obstante, su mayor virtud radica en la democratización de la accesibilidad. Al utilizar materiales básicos y accesibles por la gran mayoría, educadores o familias pueden producir recursos personalizados sin depender de tecnologías costosas. De este modo, los collages trascienden su función estética para convertirse en puentes cognitivos que, mediante la experimentación sensorial, acercan el arte, la literatura y el conocimiento a

personas con ceguera, promoviendo un aprendizaje multisensorial e inclusivo desde lo cotidiano.

3.1.1.6. Reproducciones táctiles

Las reproducciones táctiles son réplicas exactas de piezas museísticas elaboradas mediante técnicas artesanales como el modelado en arcilla o el vaciado en yeso. Este método permite a personas con discapacidad visual interactuar con objetos culturales sin riesgo de deteriorar los originales. Estas recreaciones, además de preservar la integridad de las obras patrimoniales, priorizan la fidelidad formal y cromática. Las obras son pintadas meticulosamente para ofrecer una experiencia inclusiva y fidedigna tanto las personas con discapacidad visual como para los que no la tienen.

Un ejemplo puede ser encontrado en el Museo de Málaga. En este museo se encuentra un casco de un guerrero griego (Figura 27 izquierda). Este objeto es una de las propiedades más importantes del museo. Tanto, que decidieron crear una reproducción táctil (Figura 27 derecha) para que todos los visitantes pudiesen disfrutar de esta reliquia palpándola. Las reproducciones se convierten en herramientas pedagógicas que democratizan el acceso al patrimonio. Al tocar una réplica, los usuarios con discapacidad visual reconstruyen mentalmente formas, escalas y estilos, mientras que los acompañantes videntes descubren nuevas capas de significado a través del tacto.



Figura 27. Casco del guerrero.



3.1.1.7. Impresión 3D

La fabricación aditiva FFF (fabricación por filamento fundido), comúnmente conocida como impresión 3D, es una tecnología muy popular que va ganando cada vez más espacios gracias a su versatilidad y costes. La fabricación aditiva está llamada a ser la tecnología que consiga los mayores avances en la adaptación de recursos didácticos a personas con discapacidad visual.

Actualmente la impresión 3D está siendo utilizada para crear pequeñas recreaciones que permitan al usuario interactuar con la pieza mediante el tacto. Gracias a las propiedades del método de fabricación y del material empleado, la persona puede tocar y manipular la pieza sin riesgo a que esta se deteriore. Otra ventaja que ofrece este sistema es poder fabricar nuevas piezas en caso de rotura. Antiguamente no se podían tocar las obras artísticas por el riesgo que suponía la erosión, pero gracias a los modelos digitales, estos pueden ser impresos tantas veces como se requiera.

La ONCE ha creado un estándar interno por el cual sobre una plancha de cartón prensado se fija una réplica impresa en 3D del elemento patrimonial, acompañada de una fotografía en color del original y una leyenda con el título en tinta y braille. Los trabajos realizados se pueden clasificar en tres categorías; esculturas, objetos y arquitectura.

Como ejemplo de escultura se ha escogido a la Dama de Elche (Figura 28 a). La réplica impresa captura los detalles del tocado ibérico, los ropajes plegados y la expresión facial, facilitando la comprensión de su iconicidad histórica. Para ilustrar un ejemplo sobre un objeto, la ONCE tiene fabricada una réplica sobre la Cruz Tuareg (Figura 28 b). Cruz nómada del Sáhara que simboliza su identidad tribal. Y por último, para entender las réplicas arquitectónicas se ha expuesto el Duomo de Florencia (Figura 28 c). Catedral florentina que destaca por su cúpula revolucionaria.



Figura 28. Modelos impresos en 3D. a) Dama de Elche, b) Cruz tuareg, c) Duomo de Florencia.

La ONCE ha estado trabajando arduamente en este campo, fabricando numerosos modelos y distribuyéndolos por las sedes de España. En la sede de Málaga se puede encontrar un gran repertorio de recreaciones como los mostrados en la Figura 29.



Figura 29. Foto del escaparate de todos los modelos impresos en 3D.

3.1.1.8. Maquetas

Las maquetas (Figura 30) se han consolidado como uno de los recursos más efectivos para la transmisión de conocimientos a personas con discapacidad visual. Su capacidad de representación tridimensional permite a los usuarios explorar los modelos desde múltiples perspectivas, alternando entre una visión global del conjunto y el análisis detallado de sus componentes, lo que resulta especialmente valioso en el ámbito del patrimonio arquitectónico. La imposibilidad de acceder físicamente a monumentos de grandes dimensiones hace que estas reproducciones a escala se conviertan en herramientas insustituibles para su comprensión táctil.



Figura 30. Maqueta del coliseo romano, Museo tiflológico de Madrid.

En el contexto museístico, para que un diseño sea accesible se debe tener en cuenta por un lado la correcta selección de materiales. Los materiales deben ofrecer una adecuada resistencia al tacto continuado y proporcionar información háptica clara. Además de tener en cuenta las dimensiones finales del modelo. Estas deben estar equilibradas entre una buena interpretabilidad y fidelidad a la obra original.



3.1.2 Museos adaptados

3.1.2.1. Tifloteca

Una tifloteca es un espacio donde las personas con discapacidad visual pueden acudir para estudiar o leer gracias a los recursos educativos y contenidos adaptados. Su nombre procede de tiflos (palabra griega para “ciego”) y teca (depósito/colección). Este espacio contrasta con las bibliotecas convencionales por sus materiales adaptados. Además, se utiliza como aula para la enseñanza por parte de los técnicos a personas que o bien acaban de sufrir alguna lesión grave en la visión, o están estudiando con recursos adaptados. Su objetivo fundamental es la eliminación de barreras mediante la adaptación de recursos y la promoción de la autonomía. A pesar de no ser un museo, en este espacio se pueden encontrar obras museísticas adaptadas como las expuestas en el apartado anterior, llegando a ser en algunas ciudades y municipios el único espacio con obras adaptadas.

3.1.2.2. Museo tiflológico

El Museo tiflológico se define a sí mismo como un museo para ver y tocar. Fue fundado por la ONCE en 1992 en Madrid. Su misión es democratizar el patrimonio cultural para personas con discapacidad visual mediante recursos táctiles, auditivos y visuales, en un entorno accesible y gratuito. Actualmente es uno de los museos más adaptados del mundo.

El museo cuenta con tres colecciones permanentes. Una sobre maquetas de monumentos nacionales e internacionales (Figura 31 a). Una colección sobre obras de artistas ciegos y discapacidad visual grave (Figura 31 b). Y una última colección sobre patrimonio tiflológico histórico (Figura 32). El museo también rota su catálogo mediante colecciones temporales.



Figura 31. a) Puerta del sol, b) Venus: Andrés Clariana de Bru de Sala



Figura 32. Máquina de escritura para el sistema Moon.

3.1.2.3. Hoy se toca el Prado

La iniciativa "Hoy toca el Prado", lanzada en 2015 por el Museo Nacional del Prado y la colaboración de la ONCE, revolucionó la accesibilidad al arte para personas con discapacidad visual. Este proyecto pionero transforma obras pictóricas emblemáticas en reproducciones táctiles en relieve, permitiendo a personas ciegas o con baja visión interpretar los cuadros a través del tacto (Figura 33). Mediante la técnica "Didú", desarrollada por Estudios Durero, se convierten fotografías de alta resolución en imágenes tridimensionales con texturas y volúmenes preservando detalles esenciales para la comprensión háptica.



Figura 33. La Gioconda (Taller de Leonardo da Vinci).

La colección incluye seis piezas clave de la colección del Prado; Noli me tangere (Correggio), La fragua de Vulcano de Velázquez (Figura 34), El quitasol (Goya), La Gioconda (Taller de Leonardo da Vinci), El caballero de la mano en el pecho (Greco) y Bodegón con alcachofas, flores y recipientes de vidrio (Van der Hamen), habiéndose fabricado estas tres últimas a tamaño real. Estas obras no son una colección permanente del museo. Las obras rotando por las ciudades españolas para que las personas con discapacidad puedan disfrutar de ellas sin necesidad de viajar, con la dificultad que supondría. A estas obras se une en cada sede una reproducción táctil de la obra más emblemática del museo que acoge la muestra. Posteriormente esta obra es donada al museo de acogida.



Figura 34. La fragua de Vulcano, Velázquez.

El diseño de las obras prioriza la inclusión integral, añadiendo paneles en braille para contextualizar las obras. Además, cuentan con audioguías especializadas que guían el recorrido táctil y normalmente se realizan actividades para que personas con visión exploren la obra como lo haría un ciego. A la persona se le ofrecería unas gafas opacas para que comprendan como las personas ciegas entienden el mundo y lo difícil que es.

3.1.2.4. Museo Málaga

El Museo de Málaga ha implementado un programa de accesibilidad mediante réplicas táctiles artesanales, elaboradas en arcilla, yeso y resinas, que permiten a personas con discapacidad visual interactuar con piezas patrimoniales sin riesgo para las originales. Estas reproducciones, fieles en forma, tamaño y textura, incluyen obras clave como la Decoración central de la pila de abluciones de una

mezquita y objetos cerámicos locales como la Jarrita y la Estela de orejetas procedentes de alfares malagueños (Figura 35).



Figura 35. Decoración central de la pila de abluciones de una mezquita, Jarrita procedente de un alfar malagueño y Estela de orejetas de un alfar malagueño.

También tiene piezas emblemáticas de diversa cronología como el Casco corintio de bronce (que recrea la curvatura defensiva y detalles del yelmo), el Jarro de boca de seta (con su característico pico vertedor), los cuencos carenados con decoración geométrica y el Medallón de Trayamar (Figura 36). Cada réplica, pintada para replicar la cromatografía original y enriquecida con texturas diferenciadas, transforma la visita en una experiencia háptica guiada. Este enfoque no solo preserva las obras, sino que democratiza su significado histórico, permitiendo a usuarios con ceguera descifrar técnicas artesanales, simbologías culturales y evoluciones estilísticas a través del tacto.



Figura 36. Casco del caballero, de bronce de estilo corintio, Medallón de Trayamar, Jarro de boca de seta y lucerna con dos mechas, Cuencos con carenado con decoración geométrica incisa y apliques metálicos.

3.2. Fabricación por filamento fundido (FFF)

3.2.1 Proceso de fabricación

En el presente trabajo se va a fabricar mediante fabricación aditiva, concretamente con máquinas basadas en la tecnología de fabricación por filamento fundido (FFF), o también conocida popularmente como impresión 3D. Bajo esta premisa, a continuación, se va a explicar en qué consiste este modo de fabricación, y los motivos de su elección.

El FFF se encuentra dentro de los procesos de fabricación aditiva. Estos procesos de fabricación se caracterizan por fabricar piezas mediante la adición de material por capas a partir de un modelo digital. Según la norma ISO/ASTM 52900, la fabricación aditiva se clasifica en 7 categorías principales:

1. Fotopolimerización en Cuba. Sus principales tecnologías son:



- 1.1. SLA (Estereolitografía)
- 1.2. DLP (Procesamiento Digital de Luz)
- 1.3. LCD/MSLA (Pantalla de LCD)
2. Fusión en Lecho de Polvo. Sus principales tecnologías son:
 - 2.1. SLS (Sinterizado Selectivo por Láser)
 - 2.2. SLM/DMLS (Fusión Selectiva por Láser)
 - 2.3. MJF (Multi Jet Fusion)
 - 2.4. EBM (Fusión por Haz de Electrones)
3. Inyección de Material. Sus principales tecnologías son:
 - 3.1. PolyJet
 - 3.2. NanoParticle Jetting
4. Inyección de Aglutinante.
5. Deposición de Energía Dirigida. Sus principales tecnologías son:
 - 5.1. LENS
 - 5.2. WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)
6. Extrusión de Material. Sus principales tecnologías son:
 - 6.1. FFF (Fabricación por filamento fundido) / FDM (Modelado por Deposición Fundida)
7. Fabricación con Láminas. Sus principales tecnologías son:
 - 7.1. LOM (Laminated Object Manufacturing)
 - 7.2. Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM)

La fabricación por filamento fundido (FFF) se basa en la disposición de material fundido capa a capa hasta conseguir la pieza deseada. Al material se le conoce comúnmente como filamento, y suele ser una bobina de hilo de 1,75 mm de diámetro y puede ser de diferentes materiales y colores. Su popularidad radica en su bajo coste tanto del equipamiento como del material empleado y su facilidad de operación.

3.2.2 Equipo

Dentro de la fabricación aditiva por FFF existen numerosas máquinas de diferentes tamaños, características y capacidades. Una máquina enfocada a industria y grandes líneas de producción no es lo mismo que las impresoras 3D que se pueden encontrar en pequeños talleres o laboratorios. Para el presente trabajo se ha usado máquinas pequeñas de uso doméstico.

3.2.2.1. Partes de la máquina

Las empresas fabricantes de impresoras 3D tratan de diferenciarse de la competencia mediante funcionalidades, capacidades o diseño. Sin embargo, todas poseen una misma arquitectura de producto. Las partes comunes a todas son (Redwood, Schöffner and Garret, 2017):

- Boquilla: Es la pieza por donde sale el material. Posee un orificio en la punta por donde sale el filamento. Suele ser de 0.4 mm y es quien determina la cantidad de material depositado junto al parámetro altura de cama (ver punto 3.4)
- Extrusor: Conjunto de engranajes por los que pasa el filamento. Es la parte encargada de empujar el filamento hacia el bloque calentador, y quien otorga la fuerza para que el material sea expulsado. Existen dos tipos de extrusores; tipo directo o bowden. La primera configuración (Figura 37 izquierda) tiene tanto el extrusor como el hotend (bloque conformado por boquilla, bloque calentador y disipador) juntos, acortando el camino del filamento y optimizando la fuerza ejercida por el extrusor. Las impresoras con configuración tipo bowden (Figura 37 derecha) son las más primitivas, y se caracterizan por tener tanto el extrusor como el hotend separados. Esto produce que la máquina pierda precisión sobre la cantidad de material depositado. El tipo de configuración tiene bastante importancia. Por ejemplo, el TPU solo puede ser impreso con directa debido a la capacidad elástica del material. Esto evita que se pueda controlar la extrusión del material.

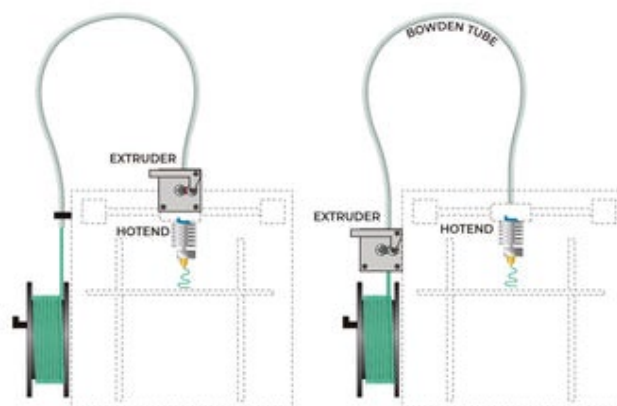


Figura 37. Tipo de extrusor: a) directa, b) bowden.



- **Bloque calentador:** Es el elemento que calienta el filamento hasta la temperatura deseada. Siempre está justo encima de la boquilla y va acompañado de un disipador de temperatura para que las piezas adyacentes no sufran.
- **Cama de impresión:** Es la base sobre la que se imprime la primera capa y sobre la que se va a fabricar la pieza. Es muy importante que esté calibrada respecto al plano X e Y de la boquilla, sino puede ocurrir que haya puntos en el espacio donde la separación entre la cama y la boquilla sea muy pequeña o nula, propiciando atascos, o también puede haber puntos donde la separación sea demasiada y el filamento no llegue a pisar la cama, no adhiriéndose a ella.
- **Controlador:** Componente encargado de interpretar las instrucciones de impresión y traducirlas en señales eléctricas precisas.
- **Fuente de alimentación:** Componente encargado de suministrar corriente eléctrica a todos los componentes, convirtiendo la corriente alterna del sistema a 220V a corriente continua.

3.2.2.2. Maquinaria usada

Para el presente trabajo se han utilizado tres impresoras 3D distintas. Dos impresoras provenientes de la misma marca; los modelos Raise 3D E2 y Raise 3D PRO (Figura 38). Ambos modelos son impresoras cerradas, permitiendo un mayor control sobre la temperatura interna. Además, tienen una gran cama de impresión, cualidad imprescindible para poder imprimir la mayoría de los cuadros. La Raise 3D E2 tiene una cama de impresión con dimensiones de 330 mm de ancho por 240 mm de profundidad y 240 mm de altura. La Raise 3D PRO tiene unas medidas de impresión de 620 mm de anchura, por 590 mm de profundidad y 1105 mm de altura



Figura 38. Impresora 3D a) Raise 3D PRO, b) Raise 3D E2.

Otra máquina utilizada ha sido la Creality Ender 3 V3 KE (Figura 39). Impresora abierta que ha sido utilizada para fabricar principalmente con TPU debido a su fiabilidad y propiedades mecánicas. La cama de impresión de la Creality Ender 3 V3 KE tiene unas medidas de 220 mm de ancho, por 220 mm de profundidad, y 240 mm de altura.



Figura 39. Impresora 3D Ender 3 V3 KE

3.2.3 Materiales

Una de las grandes ventajas de la fabricación aditiva es su amplia versatilidad de materiales con los que se puede trabajar. En la Tabla 1. Comparaciones materiales utilizados en FFF. se va a sintetizar las principales características de los materiales más comunes en la fabricación aditiva FFF. Para esta tabla se ha escogido cuatro polímeros, sin embargo, en la actualidad existen numerosos tipos y cada vez van saliendo nuevas versiones o materiales reforzados con fibras. Algunos ejemplos de materiales no puestos en la tabla son; PA (Poliamida o Nylon), PC (Policarbonato), ASA (Acrlonitrilo Estireno Acrilato), PVA (Alcohol Polivinílico) y PP (Polipropileno) (Redwood, Schöffer and Garret, 2017).

Tabla 1. Comparaciones materiales utilizados en FFF.

| Características | | PLA | ABS | PETG | TPU |
|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Tipo de material | | Termoplástico | Termoplástico | Termoplástico | Elastómero |
| Propiedades mecánicas | Resistencia | Media | Buena | Buena | Media-Baja |
| | Rigidez | Alta | Media | Media | Muy baja |
| | Tenacidad | Baja | Media | Buena | Muy alta |
| Propiedades térmicas | Temperatura Deflexión | 55-60°C | 95-105°C | 70-80°C | 50-70°C |
| | Resistencia al calor | Baja | Media | Media | Baja |
| Temperatura boquilla | | 190-220 | 230-250 | 220-250 | 220-240 |
| Temperatura cama imp. | | 0-60°C | 90-110°C | 60-80°C | 20-60°C |
| Velocidad impresión | | Media-Alta | Media-Baja | Media-Alta | Baja |



| | | | | |
|------------------------|-----------|----------|-------|---------|
| Facilidad de impresión | Muy fácil | Moderada | Fácil | Difícil |
| Costo relativo | Bajo | Bajo | Medio | Medio |

La selección de material es crucial en el desarrollo de cualquier trabajo. El material más usado en la actualidad es el PLA (Ácido Poliláctico) debido a su bajo coste, variedad de color, facilidad de impresión y versatilidad de propiedades (Gibson, Rosen and Stucker, 2014; Chacón *et al.*, 2017; Redwood, Schöffner and Garret, 2017; Rajpurohit and Dave, 2018).

Otra alternativa común cuando la pieza requiere de una mayor resistencia es el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Este material presenta muy buenas cualidades a un precio bajo, sin embargo, su dificultad de fabricación ha limitado su popularidad (Chacón *et al.*, 2017; Redwood, Schöffner and Garret, 2017). Esta dificultad se debe a que, para poder imprimir una pieza con este material, es necesario imprimirla en un entorno con temperatura controlada debido a que necesita que el aire que rodea a la pieza esté siempre a unos 100°C. Para que haya una buena adhesión entre capas, el ABS requiere de esas altas temperaturas. Estas temperaturas las consigue al principio cuando la impresión es muy próxima a la cama de impresión, pero a medida que se aleja de la base, la temperatura de las capas disminuye, dificultando la adhesión del material nuevo sobre el ya depositado. Una alternativa que ha ido ganando popularidad ha sido el PETG (Polietilentereftalato Glicol). Es un material con propiedades parecidas al ABS, pero sin la dificultad de impresión (Kopar and Yildiz, 2023).

Por último, el TPU (Poliuretano Termoplástico). A diferencia de los anteriores, este es un elastómero. Es común verlo en aplicaciones “flexibles” sin embargo no es fácil imprimirlo. Esta dificultad es debida a su naturaleza elástica, naturaleza que dificulta el trabajo del extrusor evitando que pueda extruir una cantidad homogénea de material. Cuando el extrusor trata de tirar del filamento, este se deforma en vez de desplazarse, lo que evita que el material sea extruido y por ende depositado en la capa (Zolfagharian *et al.*, 2016).



3.2.4 Parámetros de impresión

Para poder imprimir una pieza correctamente hay que tener varios factores en cuenta. Hoy en día, gracias a los softwares de procesamiento de piezas para la fabricación aditiva, los usuarios no deben tenerlos tan en cuenta ya que estos programas tienen por defecto valores estándar en función del material. Sin embargo, para obtener mejores resultados es necesario conocer (Redwood, Schöffner and Garret, 2017):

- **Temperatura de la boquilla:** Esta temperatura variará en función del material (Tabla 1). Si la temperatura no es la óptima puede ocurrir dos escenarios. Un primero escenario donde la temperatura sea menor a la óptima, a partir de la cual el polímero no va a alcanzar la temperatura suficiente para poder moldearse y adaptarse al contorno deseado. Además, si la temperatura es demasiado baja, cabe el riesgo que el material no pueda ser expulsado por la boquilla, originando un atasco en la máquina. Otro escenario sería en caso de tener una temperatura elevada. En este caso el material se volvería demasiado moldeable por lo que se pierde precisión tanto en flujo como retenciones. En el caso en el que la temperatura sea demasiado alta, pequeñas burbujas pueden ir apareciendo a raíz de los gases que se desprenderían desde el interior del filamento.
- **Temperatura de la cama de impresión:** La cama de impresión es la base sobre la que se va a imprimir el modelo. La temperatura de esta superficie es necesaria para la correcta adhesión del material. Por ejemplo (Tabla 1), el PLA se puede imprimir perfectamente teniendo la cama a temperatura ambiente, pero el ABS requiere de unos 100°C para que el material depositado se adhiera.
- **Temperatura ambiente:** Como se puede ver en la siguiente figura (Figura 40. Impresora 3D: a) Bambulab X1C, b) Bambulab A1.), existen dos tipos de impresoras; aquellas que están abiertas, y aquellas que están cerradas. En función del material que se esté imprimiendo, es necesario mantener una temperatura ambiente controlada. Mientras el PLA puede imprimirse a 25°C, el ABS requiere temperaturas de unos 100°C. El ABS solo se puede imprimir correctamente en las impresoras cerradas, sin embargo, para poder imprimir el PLA en una impresora cerrada, se va a precisar de una correcta

ventilación del interior debido a que el constante calor generada por la boquilla y la cama de impresión, hacen que la temperatura interna aumente.



Figura 40. Impresora 3D: a) Bambulab X1C, b) Bambulab A1.

- **Velocidad de impresión:** La velocidad de impresión es el parámetro principal que determina el tiempo de fabricación. Es la velocidad a la que va a ir el cabezal de la impresora depositando el filamento. Este parámetro debe de ir en consonancia con las aceleraciones y las retracciones. Un ejemplo ilustrativo puede ser entre PLA y TPU. Mientras el PLA puede ser impreso a altas velocidades (300 mm/s), el TPU se tiene que imprimir a velocidades muy bajas (20 mm/s)
- **Aceleración:** La aceleración determina como cambia la velocidad del cabezal respecto al tiempo.
- **Retracciones:** Cada vez que el cabezal salta a imprimir en otro lugar, el material debe de dejar de salir. La retracción es el parámetro por el cual el extrusor funciona en inversa para recoger material y evitar que se impriman zonas no deseadas. Un defecto de fabricación común son unos hilos muy finos que sobresalen de la pieza. Este error es por culpa de no tener bien calibrada la retracción. En la Figura 41 se puede ver un ejemplo de este error. Cuando el material saltaba de la probeta A hacia la B, se puede ver como entre medias se queda un pequeño hilo de filamento

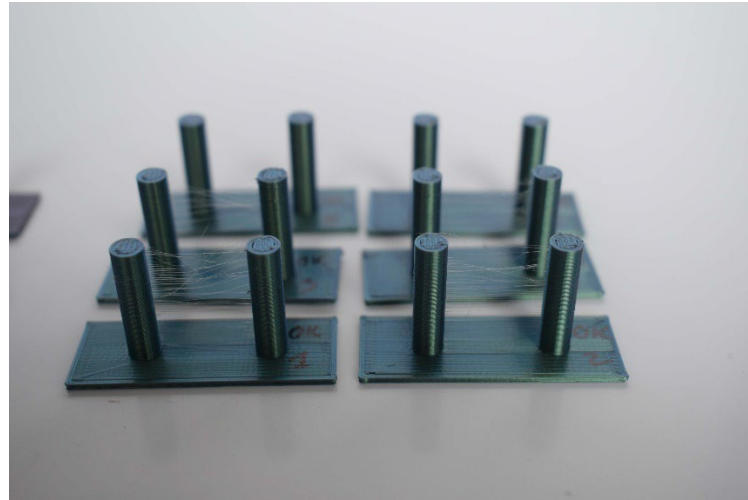


Figura 41. Defecto de las retracciones.

- Densidad de relleno: El relleno es la cantidad de material con la que se quiere fabricar la pieza. Para optimizar material, se ha diseñado diferentes patrones de relleno que optimizan y distribuyen las cargas aplicadas. La densidad de relleno es el parámetro por el cual se determina la cantidad de material que se va a imprimir en el interior. La densidad se mide en porcentaje, y sus valores típicos están entre un 5% y 15%. En la siguiente figura (Figura 42) se puede observar diferentes tipos de relleno y diferentes densidades aplicadas.

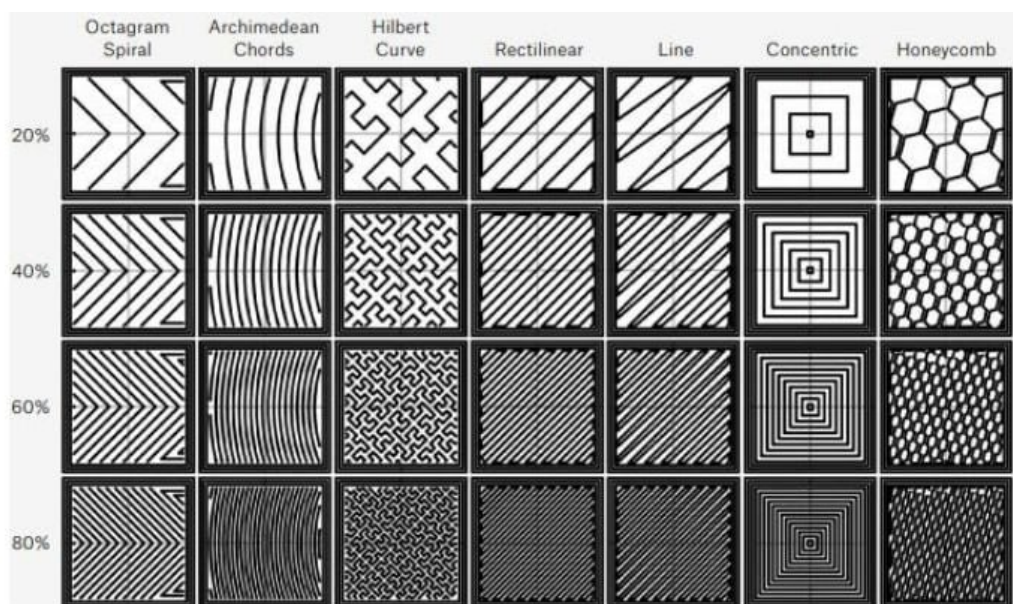


Figura 42. Diferentes rellenos y sus densidades en la impresión 3D.

- **Altura de capa:** La fabricación aditiva es un proceso de fabricación capa a capa. El FFF tiene una rugosidad característica debido a esas capas, y es la altura de capa el parámetro que determina la calidad superficial. A menor altura de capa, mayor número de ellas va a haber, y por ende, menor será la rugosidad. Los parámetros comúnmente usados son alturas de capa de 0.3mm para acabados decentes, y 0,2 mm o 0,1mm para buenos y muy buenos acabados. A menor altura de capa, mayor número de capas, y mayor tiempo de fabricación. En la siguiente figura (Figura 42) se puede observar tres probetas con diferentes alturas de capa.

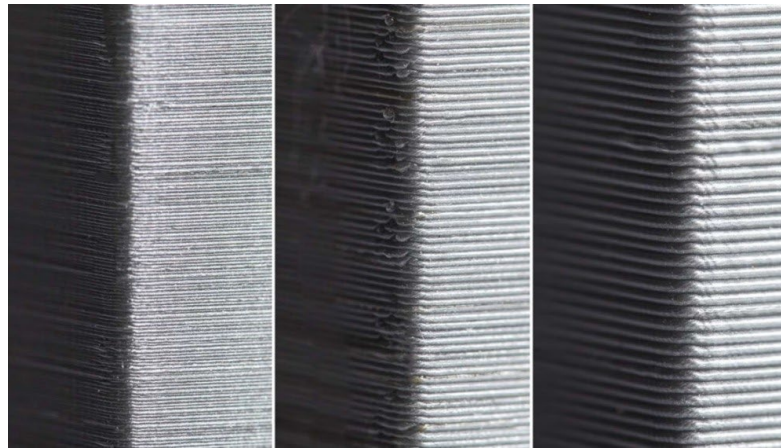


Figura 43. Diferencia en la altura de capa.

- **Orientación de la pieza:** Las impresoras 3D son máquinas de 3 grados de libertad (ejes X, Y, Z). Conociendo esto, es importante para reducir tiempos de producción, y aumentar calidades superficiales, imprimir dentro de la medida en orientaciones cartesianas (ej: paralelas al eje x).



4. Segmentación de los cuadros

La idea general es transformar una imagen basada en píxeles pasarla a vectores ya que con eso conseguimos una homogeneización de los colores, lo que ayuda después al darle altura en el software 3D.

4.1. Calco de imagen

Este método trata de aproximar una versión simplificada de las obras a partir del uso de herramientas presentes en el software Illustrator. La principal herramienta utilizada en esta metodología es “Calco de Imagen”. Esta herramienta es una función de vectorización automatizada que transforma imágenes basadas en píxeles en gráficos vectoriales escalables mediante el análisis de contrastes de colores y luminosidad. Si bien es eficaz para segmentar elementos básicos mediante reducción cromática, presenta limitaciones en la preservación de bordes críticos y tiende a fusionar regiones adyacentes no relacionadas. Esta limitación exige correcciones manuales extensivas, dificultando su aplicación automatizada.

Los motivos de elección de este método son debido a la sencillez que presenta el uso de esta herramienta gracias a una muy buena interfaz de usuario que facilita el trabajo. La herramienta ofrece en la versión de 2025 hasta once ajustes preestablecidos, por ejemplo “Foto de alta fidelidad”, “Gráfico de bosquejo”, “Dibujo técnico”, etc. Para esta metodología se han usado dos ajustes preestablecidos. Una aproximación a partir del calco de la imagen mediante colores, y una segunda aproximación mediante un sistema monocromático.

4.1.1 Calco mediante colores

Esta primera aproximación utiliza la herramienta Calco de Imagen para transformar obras pictóricas en representaciones vectoriales basadas en agrupaciones cromáticas. El objetivo es simplificar la paleta original, reduciendo la complejidad cromática a un conjunto limitado de colores que permitan segmentar las áreas estructurales clave de la composición (como siluetas, rasgos faciales o elementos

centrales). Para mejorar este proceso se a decidido hacer un tratamiento fotográfico previo para estudiar el efecto que diversos filtros pueden tener para facilitar la segmentación o mejorar el acabado del resultado final. Para ello, otro software perteneciente a la misma compañía que Illustrator ha sido utilizado. Photoshop es un programa de retoque fotográfico profesional que posee diferentes filtros prestablecidos. Para poder estudiar el efecto se ha escogido cinco filtros distintos (Figura 44) junto a la obra original. Estos filtros son: fragmentado, esponja, espátula, neón y gaussiano. Los filtros han sido utilizados sobre la obra “Autorretrato”, del pintor malagueño Pablo Picasso.



Figura 44. Diferentes efectos aplicados.

A partir de las obras filtradas, se procede a utilizar la herramienta de Calco de imagen. Dentro de la función, se puede elegir la cantidad de colores con los que se desea vectorizar. Este parámetro indica cuantos colores distintos va a tener la obra procesada. A mayor número de colores, mayor fidelidad se conseguirá debido a que las áreas con tonalidades ligeramente diferentes podrán ser coloreadas distintamente.

Resultados

Para estudiar el efecto de las cantidades de colores y determinar que ajuste es mejor, se ha decidido comparar los resultados de tres ajustes prestablecidos distintos. En la Figura 45 se puede ver las seis versiones calcadas mediante tres colores, en la Figura 46 mediante seis colores, y en la Figura 47 mediante dieciséis colores. Como se puede observar, a medida que se aumenta la cantidad de colores aumenta la calidad de la imagen, lo que también aumenta la cantidad de polígonos generados. El objetivo principal al utilizar la herramienta Calco de Imagen en este trabajo es simplificar al máximo las obras para obtener las formas esenciales que definen su composición. No se trata de mantener todos los detalles del cuadro original, sino de extraer únicamente aquellas líneas y áreas fundamentales que permitan reconocer la figura: el perfil del rostro, la silueta de los ojos, la forma de la

boca y otros elementos clave que componen la estructura básica de la imagen. La idea es trabajar con el menor número posible de áreas vectoriales, pero que cada una de ellas represente una parte significativa y diferenciada de la obra, evitando que se conviertan en simples manchas sin significado o que se mezclen elementos que deberían estar separados.



Figura 45. Calco de imagen mediante tres colores.



Figura 46. Calco de imagen mediante seis colores.



Figura 47. Calco de imagen mediante dieciséis colores.

Observando los resultados, se puede apreciar que al reducir la cantidad de colores se consigue crear agrupaciones de colores más amplias. Sin embargo, esta aproximación tiene el problema que crea figuras entre elementos que no se desean. Por ejemplo, en la Figura 45, efecto esponja se puede ver cómo se mezcla el fondo con el pelo, generando una simplificación completamente errónea. Por otro lado, al aumentar la cantidad de colores se evita mezclar elementos que no tienen relevancia entre sí, pero tiene el gran problema de generar demasiados trazados. Como se puede ver en la Figura 48, analizando la información de la imagen se puede

extraer que la cantidad de trazados en la imagen aumenta exponencialmente a medida que aumenta la calidad de la imagen, pasando de 1790 a 2932, y a 6007.

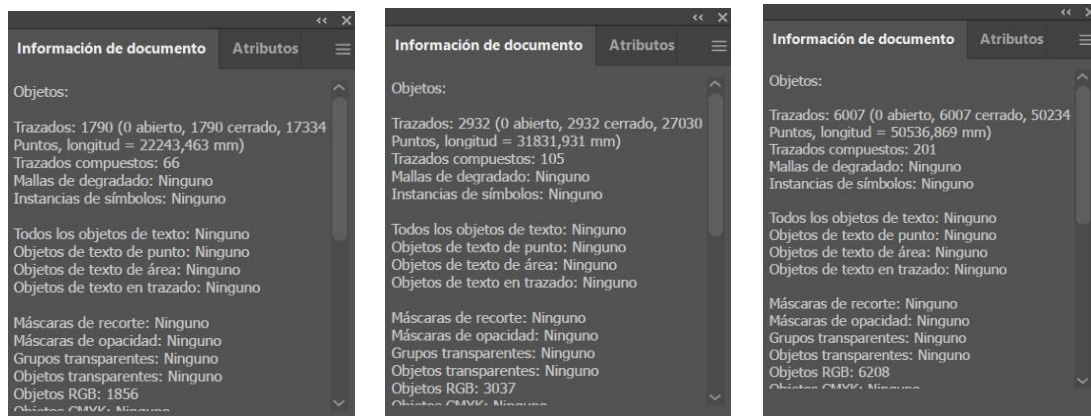


Figura 48. Número de elementos.

Con estos datos se podría concluir que el Calco de imagen mediante tres colores es el idóneo, sin embargo, todos los efectos calcados con tres colores presentan deficiencias entre el pelo y el fondo. Una alternativa podría ser escoger aquellos resultados con mayor segmentación entre las figuras a pesar de tener un mayor número de polígonos. El problema que presenta tener tantos trazados es que hay que unirlos entre sí en trazados más grandes para que el número total sea admisible. La única forma de trabajar con miles de trazados en el software es unirlos manualmente uno por uno. Esto hace impracticable el uso de esta metodología. Otros problemas encontrados con esta aproximación han sido:

- Pérdida de definición, confusión y mezcla entre trazados importantes que delimitan zonas.
- No asegura que se evite mezclar elementos, lo que aumenta la edición manual e imposibilita la automatización del proceso.
- No asegura que el método sea replicable en diferentes cuadros.

Ante la inviabilidad demostrada para la generación de reproducciones a partir de obras con una gran variedad cromática, causando la generación de miles de polígonos, se ha explorado una alternativa con una obra de menor complejidad cromática pero alta fragmentación estructural. Se ha escogido un mosaico de la localidad de Torrox, Málaga (Figura 49). Esta pieza, compuesta por cientos de teselas (pequeñas piezas pétreas que forman la ilustración), presenta características únicas. A pesar de tener una paleta cromática es reducida a partir

de tonos terrosos, blancos y azulados, la necesidad de procesar cada tesela individualmente convierte el proceso en una tarea prácticamente manual. La metodología aplicada ha consistido en vectorizar la imagen base con Calco de imagen y luego retocar manualmente cada tesela, ajustando contornos y colores para agrupar conjuntos más grandes que faciliten la manipulación y edición.



Figura 49. Mosaico de Pájaros del faro de Torrox.

Si bien el mosaico evitó el problema de fusiones entre fondos y figuras, el tiempo requerido para editar cada tesela limita la automatización del sistema. Este caso ilustra un problema inherente al método. A pesar de seleccionar obras aparentemente más simples, la presencia de elementos multiplicados como las teselas generan una barrera frente a la escalabilidad del sistema.

La metodología que se ha utilizado ha sido a partir de Calco de imagen con un amplio retoque manual. En primer lugar, se ha editado la obra en Photoshop para simplificar el fondo sobre el que están las figuras (Figura 50). Esto se ha realizado debido a que esas teselas no aportan ninguna información y lo único que puede hacer es confundir al usuario.



Figura 50. Mosaico sin fondo.

Una vez limpiado el fondo se ha pasado al software Illustrator, donde se ha utilizado la herramienta Calco de Imagen para pasar la foto a vectorial. La obra tiene tantos elementos que se ha hecho una limpieza previa de aquellos elementos que no son muy primordiales o que aporten poca información. Observando la Figura 51 se puede apreciar la enorme simplificación de la obra aun manteniendo los elementos principales que componen la obra.

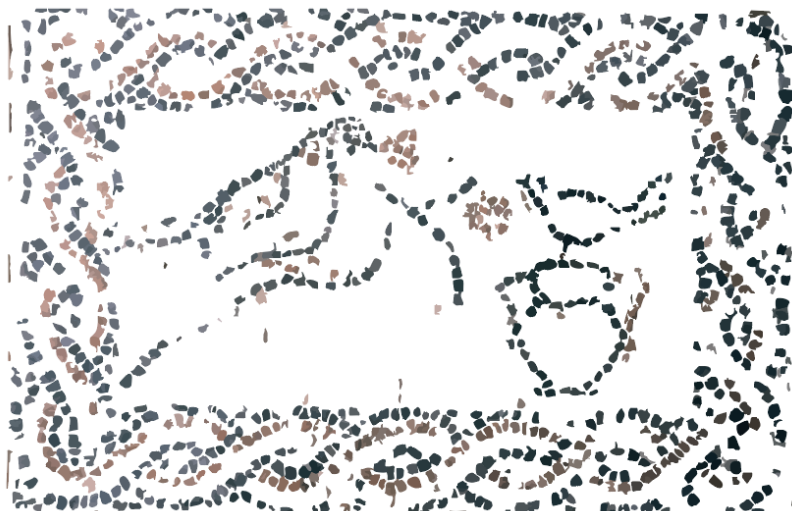


Figura 51. Primera segmentación del mosaico.

Una vez obtenida la simplificación en vectorial, la obra se ha separado en diferentes elementos que componen al cuadro, tales como el pájaro, la paloma, el jarro, la

rama de olivo y los lazos (Figura 52), para así poder optimizar el proceso de extrusión futura en el software de modelado. Para conseguir esto se ha hecho una selección manual tesela por tesela para seleccionar cada elemento como se ha mencionado.



Figura 52. Figuras principales del mosaico: a) pájaro, b) paloma, b) jarro, c) rama de olivo

Para agrupar los elementos se ha seguido un proceso de selección por color. Se seleccionaba una tesela de un color y se utilizaba la herramienta de Illustrator: elegir similar. Esta herramienta permite seleccionar formas en función del ajuste establecido. Para este caso se ha elegido seleccionar mediante color. Como cada tesela que conforma la forma final son de colores muy parecidos, se ha seleccionado esta herramienta para poder seleccionar de una forma más rápida la mayor cantidad de teselas posibles. Además de seleccionar por color, se ha ajustado un rango de desviación para poder seleccionar un rango más amplio de colores que se ajuste a las diferentes tonalidades que pueden presentar las teselas. Este proceso se debe hacer iterativamente hasta poder seleccionar todas las teselas que conformen la figura.

EL método de elección por color similar presenta algunas deficiencias. Al tratar de segmentar uno de los lazos, además de segmentar las teselas propias del lazo, se

ha seleccionado por fallo del sistema otras teselas que, aun teniendo un mismo color, no pertenecían al mismo elemento. Como se puede observar en la Figura 53 izquierda, la obra presentaba en los bordes teselas que tienen un color beige parecido. Esto es debido a la degradación que ha sufrido la obra con el paso de los años. Es por ello por lo que es precisa una posterior limpieza de la figura eliminando las teselas infiltradas (Figura 53 derecha). Para el segundo lazo (Figura 54 izquierda) se ha seguido el mismo procedimiento hasta conseguir un lazo limpio y sin elementos erróneos (Figura 54 derecha).



Figura 53. Limpieza del lazo claro.



Figura 54. Limpieza del lazo azul.

Una vez finalizada la segmentación de todos los elementos se combinan para producir la composición final (Figura 55 izquierda). En esta imagen se puede ver el mosaico simplificado final, y en la Figura 55 derecha en diferentes colores para poder apreciar mejor los diferentes elementos haciendo uso de colores que contrasten entre sí.

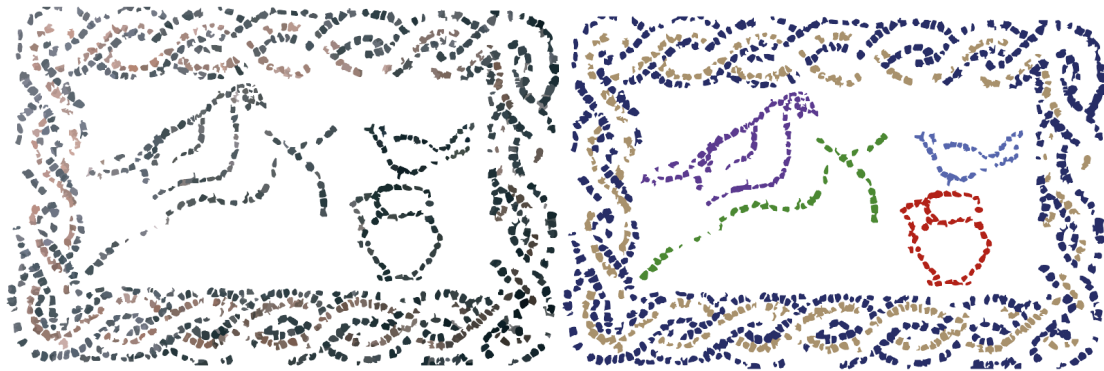


Figura 55. Mosaico versión final: a) colores originales, b) colores de alto contraste.

Por último, y a modo ilustrativo se puede ver en esta siguiente Figura 56 la comparación entre la imagen una portada de la obra y el resultado final del procesamiento. En ella se puede apreciar una clara simplificación de los elementos que componen la obra facilitando la futura interpretación por parte de los usuarios.

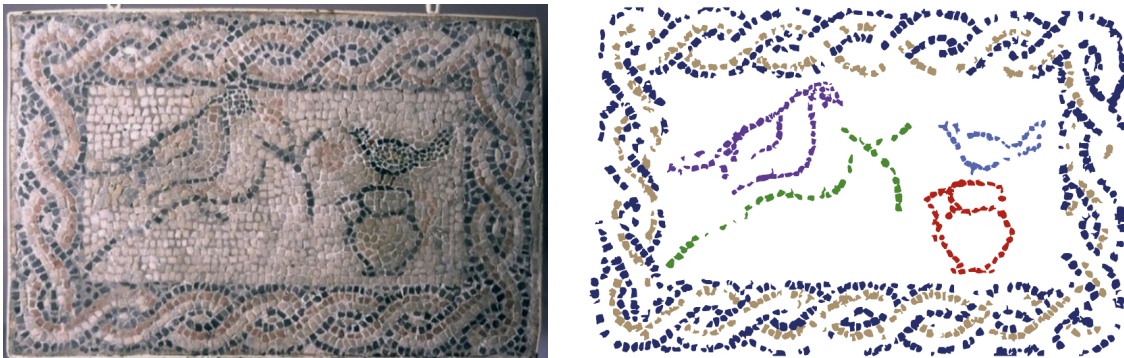


Figura 56. a) Mosaico original, b) Mosaico final.

El principal inconveniente durante este enfoque ha radicado en la excesiva generación de polígonos al procesar obras con alto nivel de detalle y la amplia edición manual que ha requerido. A pesar de la mejora en cuanto a la segmentación obtenida con el mosaico, se ha considerado evaluar el comportamiento de la aproximación de calco de imagen mediante color en una composición de mayor simplicidad. El objetivo es determinar si el método podría resultar funcional al aplicarse a obras con contornos definidos, pocos elementos y ausencia de texturas intrincadas. Esta prueba permitirá discernir si el problema subyace en la técnica misma o, por el contrario, si su utilidad se limita exclusivamente a casos muy específicos de baja complejidad visual, lo que ayudaría a establecer los límites reales de aplicabilidad del proceso.

La obra seleccionada para esta validación ha sido “Jacqueline con sombrero de paja” de Pablo Picasso (Figura 57 izquierda) debido a su simplicidad compositiva y cromática. La composición reducida a cuatro colores planos (negro, amarillo, rojo y verde) sin texturas elimina los problemas de interpretabilidad asociados a paletas complejas o sombreados. Además, su diseño se basa en figuras geométricas bien delimitadas creando un conjunto de polígonos aislados gracias al alto contraste con el fondo blanco. Estas características la convierten en un caso ideal para probar la hipótesis. En el caso de que el método falle incluso en una obra con tan baja ambigüedad concluirá definitivamente que el método no es apto. Si por el contrario logra segmentar correctamente las áreas, se podrá concluir que su uso estará limitado a la segmentación de piezas con condiciones de minimalismo cromático y geométrico.



Figura 57. *Jacqueline con sombrero de paja*, Pablo Picasso.

Conclusiones

Como se puede observar en la Figura 57, los resultados del procesamiento demuestran una segmentación perfecta, confirmando que esta aproximación solo resulta viable cuando se cumplen condiciones concretas de minimalismo cromático y geométrico. El éxito en este último caso contrasta con los fracasos previos en obras de mayor complejidad cromática como el Autorretrato, y las



dificultades obtenidas en el Mosaico de Torrox, evidenciando que el método carece de versatilidad y solo podría aplicarse a un subconjunto muy reducido de obras. Estas limitaciones estructurales obligan a concluir que, si bien la técnica funciona en entornos controlados, no es escalable como solución general para la adaptación táctil de obras artísticas, donde la variedad cromática, la riqueza de detalles y la superposición de planos son comunes.

4.1.2 Calco monocromático

El método de procesamiento mediante calco de imagen monocromático solo resulta efectivo cuando se aplica a obras que, además de estar pintadas en un solo color, presentan una estructura visual sencilla mediante trazos bien definidos, ausencia de variaciones tonales, y un alto contraste entre las figuras y el fondo. Sin embargo, muchas obras monocromáticas incluyen precisamente esas variaciones de saturación o texturas que dificultan una segmentación limpia. Para abordar este problema, se propone un preprocesado mediante la herramienta Gama de Colores de Photoshop. Este proceso permitirá convertir obras monocromáticas complejas en versiones de alto contraste y formas planas, aptas para la segmentación. Además, mediante el uso esta herramienta se puede convertir obras pintadas con varios colores a unas versiones monocromáticas. Este enfoque busca ampliar el rango de obras procesables, transformando aquellas con varios colores, degradados o detalles intrincados en composiciones binarias que puedan ser interpretadas correctamente por el algoritmo de vectorización.

4.1.2.1. Obras monocromáticas simples

Esta aproximación analiza la aplicación directa de la herramienta Calco de Imagen en modo monocromático sobre obras que reúnen las condiciones ideales para una vectorización precisa. Estas condiciones son tener un alto contraste entre figura y fondo, tener los trazados bien definidos, y tener una composición libre de superposiciones entre diferentes figuras. Este enfoque está pensado para ser el más rápido debido a que no precisa de filtros o modificaciones previas, aligerando la carga de diseño y facilitando su uso.

Resultados

Carpeta de la Tauromaquia es un grabado de Pablo Picasso (Figura 58) elegido para esta aproximación. Como se puede observar, es una obra monocromática con bastante contraste debido a su composición de negro sobre blanco. Además, sus trazados son simples y cerrados, evitando la superposición entre elementos. Esta obra ha sido muy fácil de procesar. Para ello, la obra ha sido únicamente procesada mediante la herramienta Calco de imagen. El resultado obtenido en la Figura 59 es un calco perfecto de la original, manteniendo todos los trazados y estilos del artista.

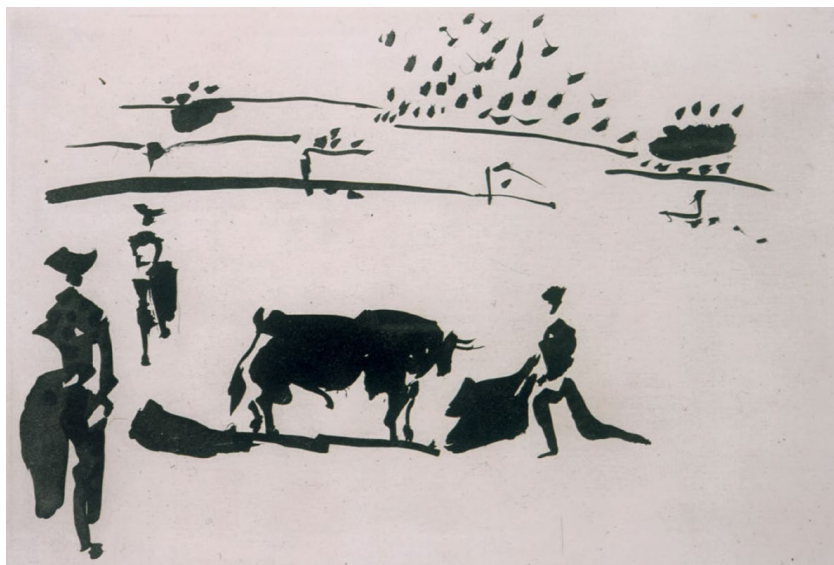


Figura 58. *Carpeta de la Tauromaquia*, Pablo Picasso.



Figura 59. *Carpeta de la Tauromaquia* procesada.

Otra obra procesada es el dibujo de Picasso; La playa. Esta obra, a diferencia de las demás, es un dibujo, no un cuadro. Esta característica ha ayudado a la hora de procesarlo, ya que al ser un dibujo está hecho a lápiz, simplificando los colores y los trazados. Sin embargo, debido a que es un dibujo pequeño, la foto de referencia tiene poca calidad (Figura 60 a) lo que ha dificultado el procesamiento. Esto ha significado en una posterior edición manual para perfilar algunas líneas a pesar de la gran afinidad que ha presentado la obra procesada (Figura 60 b).



Figura 60. a) La playa, Pablo Picasso, b) La playa procesada.

Con esta obra se abre un amplio abanico de posibilidades, debido a que pintores como Picasso cuentan con decenas de miles de dibujos. Se ha demostrado que los dibujos son unas obras muy fáciles de procesar, lo cual permite poder crear un programa informático básico centrado en procesar únicamente dibujos hechos a lápiz.

Conclusiones

Dado los resultados obtenidos con esta aproximación, se puede concluir que el calco de imágenes monocromáticas solo funciona eficazmente cuando las obras presentan un alto contraste, trazos bien definidos y ausencia de superposiciones complejas. Estas condiciones permiten una vectorización rápida y precisa. Sin



embargo, su aplicabilidad está limitada ya que la mayoría de las obras pictóricas no cumplen con estos requisitos de simplicidad extrema, lo que obliga a buscar métodos alternativos para piezas más complejas.

4.1.2.2. Transformación a obras monocromáticas

Para superar las limitaciones del método basado en varios colores, y mejorar el sistema basado en obras monocromáticas, se ha desarrollado una nueva aproximación que aprovecha el hecho de que muchas obras pictóricas a color utilizan líneas negras para delimitar las figuras y los elementos principales. Esta técnica consiste en convertir cromáticas en monocromáticas resaltando únicamente los contornos oscuros que definen la composición, para luego aplicar la herramienta Calco de Imagen y conseguir una vectorización aceptable. De esta manera, en lugar de trabajar con áreas de color, esta aproximación se centra exclusivamente en capturar esas líneas negras que marcan los bordes de las formas, obteniendo así un esquema simplificado. Este enfoque permite reducir drásticamente la complejidad del modelo vectorial, ya que, en lugar de generar múltiples polígonos para representar diferentes zonas de color, solo conservamos los trazos esenciales que definen la estructura de la obra.

Este método consta de varios pasos a seguir para poder obtener la obra segmentada. El primer paso consiste en pasar la foto a blanco y negro para facilitar el procesamiento (Figura 61 a). Segundo, se utiliza la herramienta del software Photoshop “Gama de colores” (Figura 61 b) para seleccionar las zonas negras del cuadro. Esta herramienta es una función de selección avanzada que permite aislar áreas específicas de una imagen basándose en su similitud tonal. Funciona analizando los valores de color y luminosidad de los píxeles dentro de un rango definido por el usuario. Dentro de ella se ha de seleccionar sombras (negro) y después ajustar manualmente los parámetros tolerancia y rango hasta que la imagen previsualizada sea la deseada.

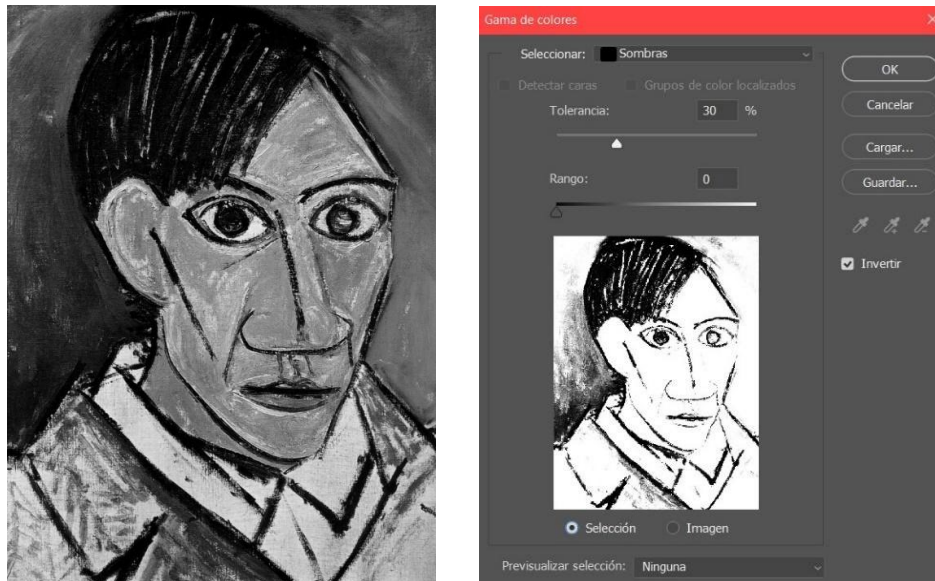


Figura 61. a) Autorretrato en blanco y negro, b) Rango de colores.

La herramienta Gama de colores no transforma la imagen, sino que realiza una selección en la zona sombreada elegida (Figura 62 a). En Photoshop, una selección es un área delimitada que define los píxeles sobre los cuales actuarán las herramientas o modificaciones posteriores. Cuando se crea una selección, se está estableciendo una zona de trabajo restringida. Cualquier operación como pintar, borrar, copiar, ajustar colores, etc, solo afectará a los píxeles dentro de ese perímetro, mientras que el resto de la imagen permanecerá protegido.

Una vez seleccionada las sombras, se procede a colorear la zona de rojo (color arbitrario elegido por su alto contraste) para poder distinguir mejor el fondo y las zonas seleccionadas (Figura 62 b). Para crear un mayor contraste, y aislar las zonas seleccionadas (pintadas en rojo), se procede a pintar el resto de la obra de otro color, en este caso blanco para un mayor contraste. Para ello se puede hacer uso del atajo de teclado pulsando las teclas ctrl + shift + I para invertir la selección, haciendo que la selección sea el fondo para poder pintarlo de blanco (Figura 62 c). Como se puede observar en la Figura 62 d, hay zonas del fondo que están pintadas de rojo debido a una mala calibración de las tolerancias en el momento de la selección de las sombras. Esto puede ser corregido pintando manualmente aquellas zonas que se crean oportunas ya que no aportan información útil. Esta nueva versión coloreada puede ser vista en la Figura 62 e.



Figura 62. Proceso Gama de colores.

Esta consecución de pasos ha sido realizada para obtener una imagen monocromática. La Figura 62 e sigue siendo una imagen rasterizada (basada en píxeles), y para poder ser convertida en un modelo 3D se precisa que esté vectorizada. Para vectorizar la imagen se utiliza la herramienta anteriormente descrita, Calco de imagen. Sin embargo, en esta ocasión el ajuste predefinido va a ser monotónico.

Resultados

A partir de una imagen monocromática, se utiliza la herramienta Calco de imagen a un color. Esta aproximación mejora la segmentación obtenida en el apartado anterior, consiguiendo una mejor simplificación de la obra (Figura 63 a). El resultado obtenido presenta numerosos defectos en las continuidades, como por ejemplo los encontrados en el pelo. Para mejorar la calidad de la segmentación se realiza una simplificación del trazado usando la herramienta Simplificar (Illustrator). En los ajustes de simplificación (Figura 64), se procede a reducir la simplificación de la curva al 0%, y el umbral de ángulo de punto de esquina al 0%. La ventaja de este proceso es su capacidad de iteración. Simplificándose una vez la figura se obtiene los resultados de la Figura 63b. Si se vuelve a simplificar la obra a partir del resultado anterior, se obtiene una nueva simplificación (Figura 63c) con mejor acabado. Este proceso puede iterarse tantas veces, como reducciones permita la obra.

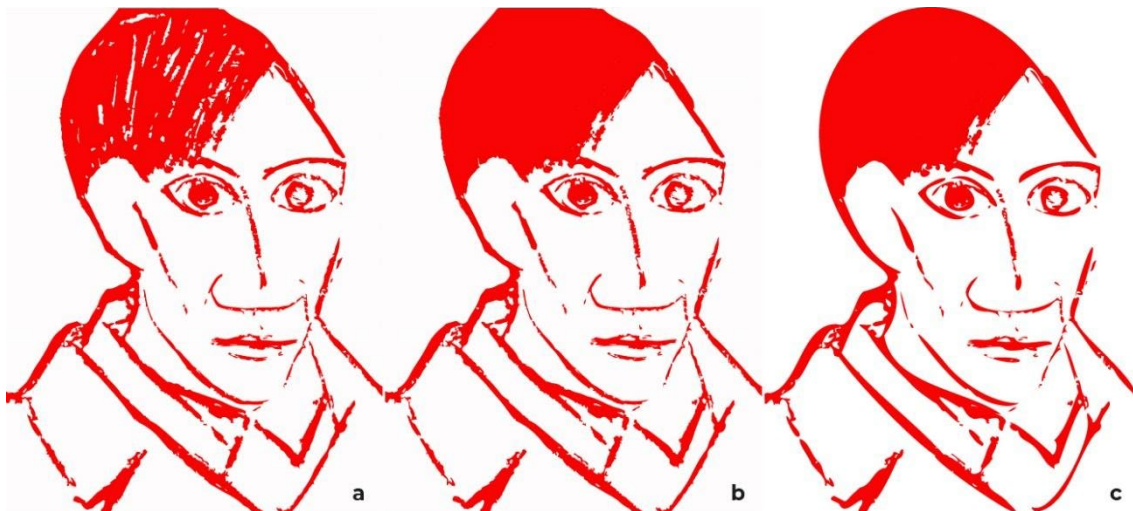


Figura 63. Vectorización Autorretrato: a) versión código, b) primera vectorización, c) segunda vectorización.

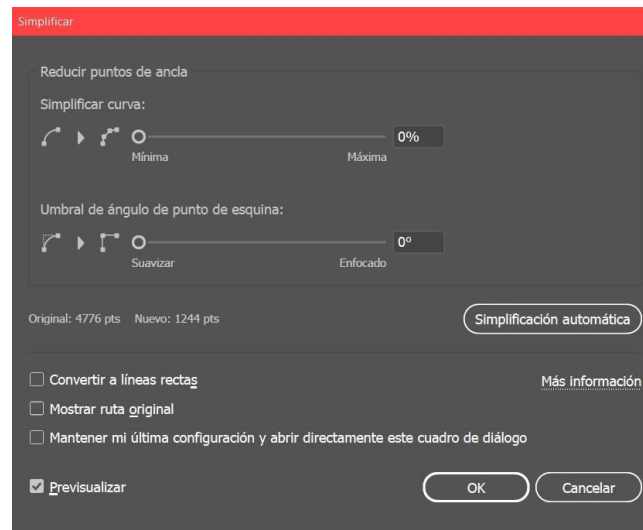


Figura 64. Simplificación del trazado.

Para validar la versatilidad de esta metodología se ha procesado más cuadros. Como se puede observar en la Figura 65 a, el cuadro “El sueño” reúne las propiedades necesarias para crear una simplificación instantánea. La herramienta gama de colores consigue una segmentación perfecta de las figuras claves del cuadro (Figura 65 b). El resultado final vectorizado a partir de Calco de imagen puede ser observado en la Figura 66.



Figura 65. a) El sueño, Pablo Picasso (original), b) El sueño, procesado con Gama de colores.

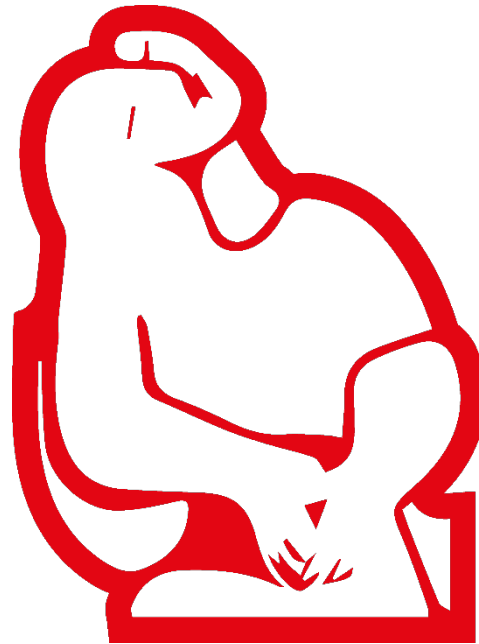


Figura 66. *El sueño vectorizado.*

Otra obra procesada bajo esta aproximación ha sido otra obra de Pablo Picasso; Gallo con cuchillo sobre una mesa (Figura 67). Esta obra presenta largos y gruesos trazos que delinearían las formas de las figuras, facilitando la labor de la herramienta Gama de colores. A pesar de tener muchas texturas y formas intrincadas, la herramienta ha sido capaz de segmentar a la perfección las líneas negras, generando una versión que posteriormente ha sido vectorizada a través de Calco de imagen, consiguiendo una reproducción muy aceptable (Figura 68).



Figura 67. *gallo y cuchillo sobre una mesa.*



Figura 68. Gallo y cuchillo sobre una mesa vectorizado.

La última obra procesada ha sido “El Guernica” (Figura 69). A pesar de que esta obra ya es de por sí monocromática, hay diferentes texturas y degradados que generan ruido en el procesamiento. Es por ello por lo que ha tenido que ser pasada previamente por Gama de colores, para poder generar una obra más nítida y sin interferencias. A partir de esa versión, se ha utilizado la herramienta Calco de imagen para obtener el resultado final (Figura 70).



Figura 69. Guernica, Pablo Picasso.



Figura 70. Guernica vectorizado.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este apartado demuestran que la conversión previa de obras cromáticas a versiones monocromáticas de alto contraste constituye, hasta el momento, la aproximación más versátil y eficaz para la vectorización de pinturas. A diferencia de métodos anteriores, esta técnica ha permitido procesar con éxito obras que inicialmente habían fallado como Autorretrato. Obras como El sueño han sido posible procesarlas a pesar de carecer de trazos negros, pero gracias a la versatilidad y desempeño de esta aproximación, el alto contraste entre sus figuras ha bastado para la segmentación. Este método también sirve para obras como el Guernica, donde a pesar de ser monocromáticas, presentan una texturización y complejidad en sus formas, que hacen imposible su procesamiento sin utilizar la herramienta Gama de colores. Casos como El gallo con cuchillo en una mesa confirman que, cuando las obras presentan trazos gruesos bien definidos, el método es robusto incluso ante estilos artísticos expresivos con formas intrincadas. Si bien persisten limitaciones en piezas con degradados sutiles o fondos poco contrastados, esta estrategia ha superado a las anteriores en capacidad de adaptación a diversidad de estilos, equilibrando automatización y calidad de resultados. Su éxito radica en transformar problemas de segmentación cromática en desafíos de contraste, más sencillos de resolver algorítmicamente. No obstante, se requiere seguir optimizando el proceso para ampliar su aplicabilidad a un espectro más amplio de obras.



4.1.3 Por Python

Una vez visto la segmentación a partir de retoque fotográfico, se propone una nueva aproximación utilizando Python para desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes que detecte automáticamente los contornos y delineaciones clave de las obras pictóricas. Python es un lenguaje de programación utilizado en visión por ordenador y destaca por su versatilidad, acceso a bibliotecas especializadas y capacidad para automatizar procesos complejos. Esta aproximación busca superar las limitaciones del calco manual mediante técnicas de detección de bordes que permitan extraer las líneas estructurales de la imagen con mayor precisión y replicabilidad. Se estudiará así otra forma de conseguir una segmentación limpia de los elementos pictóricos, priorizando la identificación de siluetas esenciales (rostros, objetos, fondos) sin depender de reducciones cromáticas arbitrarias. A diferencia del enfoque anterior, esta aproximación pretende minimizar la intervención manual, optimizando el flujo de trabajo para su aplicación sistemática en distintas obras. Sin embargo, el cuadro introducido en el programa debe haber pasado previamente por la herramienta de Photoshop Gama de colores, anteriormente descrita, para evitar falsos positivos en el rastreo de la imagen y facilitar el trabajo del programa informático.

Esta aproximación basada en Python genera resultados rasterizados en formato PNG, lo que limita su escalabilidad y edición posterior. Para solventar esta limitación, esta aproximación se complementa con el proceso de vectorización mediante calco de imagen visto en el apartado anterior. Esta conexión entre ambos métodos permite aprovechar la eficiencia del algoritmo de Python en la identificación inicial de contornos, mientras que la vectorización garantiza la obtención de trazados editables, adaptables y simplificados

4.1.3.1. *Contornos por ángulos*

Para refinar los resultados de la delineación de contornos, se propone una técnica de procesamiento basada en la simplificación de trazados mediante análisis angular. El algoritmo recorre los puntos del contorno detectado evaluando grupos de tres puntos consecutivos: cuando el ángulo formado supera un umbral predefinido, se aplica interpolación para suavizar la curva, eliminando picos innecesarios y preservando únicamente las transiciones geométricamente



relevantes. El código utiliza las bibliotecas OpenCV para la detección de contornos y NumPy para cálculo.

En relación con el código (Anexo I), primero se define una función que calcule el ángulo entre tres puntos usando los vectores que conectan esos puntos. Este cálculo es clave porque determina si se debe suavizar el contorno en esa área. Si el ángulo entre los puntos es muy grande (es decir, si el cambio de dirección es brusco), el algoritmo interpola los puntos intermedios para suavizar el contorno.

Posteriormente se carga la imagen en escala de grises y se le aplica un filtro de suavizado para reducir el ruido. Luego, se convierte a una imagen binaria (blanco y negro) para facilitar la detección de contornos. Una vez que los contornos se han encontrado, se simplifican usando una técnica de aproximación para reducir la cantidad de puntos que forman cada contorno.

Para cada grupo de tres puntos consecutivos, se calcula el ángulo entre ellos. Si el ángulo supera un cierto umbral se interpola un nuevo punto entre los extremos para suavizar el cambio brusco en el contorno. El resultado es un contorno más suave y continuo. Finalmente, el código dibuja los contornos suavizados sobre una imagen en blanco y los guarda como una nueva imagen. Además, muestra el resultado visualmente en una ventana emergente para que el usuario pueda ver los contornos suavizados.

Resultados

Los resultados obtenidos con el código de simplificación angular muestran un comportamiento desigual según la complejidad de la obra analizada. En el caso del Autorretrato de Picasso (Figura 71), el método ha demostrado una eficacia notable, segmentando con claridad las siluetas principales y preservando los rasgos esenciales del rostro gracias a la definición de sus contornos y a una estructura geométrica relativamente sencilla. Sin embargo, el mismo enfoque ha resultado completamente ineficaz al aplicarse a obras de mayor complejidad visual, como El Gato devorando un pájaro (Figura 72), donde la acumulación de detalles, texturas y contornos superpuestos ha saturado la capacidad de cálculo del programa. Esta limitación evidencia que, si bien la técnica es prometedora para obras con trazos definidos y contornos claros, requiere ajustes adicionales para manejar composiciones de una mayor complejidad gráfica.



Figura 71. Autorretrato procesado con delineación de contornos.

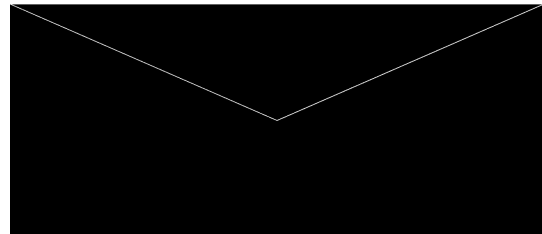


Figura 72. a) Gato devorando un pájaro, Pablo Picasso, b) versión procesada por delineación de contornos.

4.1.3.2. Contorno por relleno de huecos

El enfoque anterior de delineación de contornos generaba curvas finas sin área que resultaban insuficientes para representar sólidamente las figuras. La limitación clave radicaba en que esas líneas delgadas, aunque precisas para definir bordes, no generaban superficies cerradas ni áreas tangibles, lo cual es esencial para construir siluetas como polígonos completos. Para ello se ha adoptado una nueva estrategia, una solución centrada en convertir el trazado lineal en un elemento con volumen bidimensional. Concretamente, se amplió deliberadamente el grosor del trazo hasta lograr que este ocupara un área mínima pero significativa. Este proceso,



análogo a sustituir un pincel fino por uno grueso, permite que el contorno deje de ser una línea y pase a formar una región rellena. Una ventaja de esta aproximación es la eliminación de detalles pequeños que dificultan el contorneado. Al generar áreas gruesas, los detalles pequeños que contenían diferencias angulares muy grandes en la aproximación anterior son eliminadas.

El flujo general del código (Anexo II) se basa en la manipulación de imágenes en escala de grises, la aplicación de transformaciones geométricas y el uso de un canal de transparencia (canal alfa) en una imagen RGBA. Primero, la imagen se carga en escala de grises y se convierte en una imagen binaria (blanco y negro) donde los píxeles se clasifican como negros o blancos en función de un umbral. Luego, se invierte esta imagen binaria para que los huecos aparezcan en blanco, facilitando la detección de los contornos. A partir de los contornos detectados, se crea una máscara en la que los huecos se rellenan. Luego, se aplica una "transformación de distancia", técnica que calcula la distancia desde cada píxel de la máscara hasta el borde más cercano. Esta transformación permite identificar y controlar el tamaño de los huecos. Utilizando la transformación de distancia se define un intervalo de distancias, lo que permite rellenar solo aquellos huecos que estén dentro de un rango específico. Posteriormente, se aplica una dilatación a los huecos seleccionados dentro de ese intervalo, ampliando ligeramente las áreas rellenas.

Una vez los huecos están seleccionados, la máscara se invierte de nuevo para que el fondo quede negro. A continuación, se crea una nueva imagen con cuatro canales RGBA (rojo, verde, azul y alpha para la transparencia). En esta imagen, se define que las áreas que eran huecas se vuelven transparentes, mientras que las áreas negras (las figuras originales) se colorean de rojo (color arbitrario elegido por su alto contraste). Finalmente, la imagen resultante se exporta en formato PNG (formato que admite transparencia).

Resultado

Gracias al código anteriormente descrito se procesó la obra "Autorretrato". Para obtener el resultado final se hizo una serie de iteraciones (Figura 73) que fueron mejorando poco a poco el resultado. Estas iteraciones fueron:

1. Pasar la foto por la herramienta Gama de colores y simplificar la forma.
2. Introducir la foto en el programa y procesarla con una distancia mínima de 0.5 y una distancia máxima de 5.0

3. Vectorizar la imagen y optimizarla un total de tres ocasiones
4. Volver a pasar por el código la imagen vectorizada para rellenar ciertos huecos y simplificar las curvas. Esta vez con un valor mayor en distancia mínima y máxima (10.0 y 20.0).
5. Vectorizar la imagen y simplificarla un total de tres veces.



Figura 73. resumen proceso segmentación del Autorretrato.

Gracias al programa se ha conseguido una mejora significativa con la obtenida la aproximación obtenida con Calco de imagen exclusivamente visto en los apartados anteriores (Figura 74 a). En esta iteración se han conseguido trazados más gordos y simplificados, alcanzando la meta planteada (Figura 74 b). Otra mejora apreciable es la eliminación de pequeños detalles generando figuras más limpias y claras que realzan la silueta de la obra. Estas áreas pequeñas son innecesarias para la interpretación de la obra, e incluso pueden llegar a causar confusión a los usuarios durante la palpación.

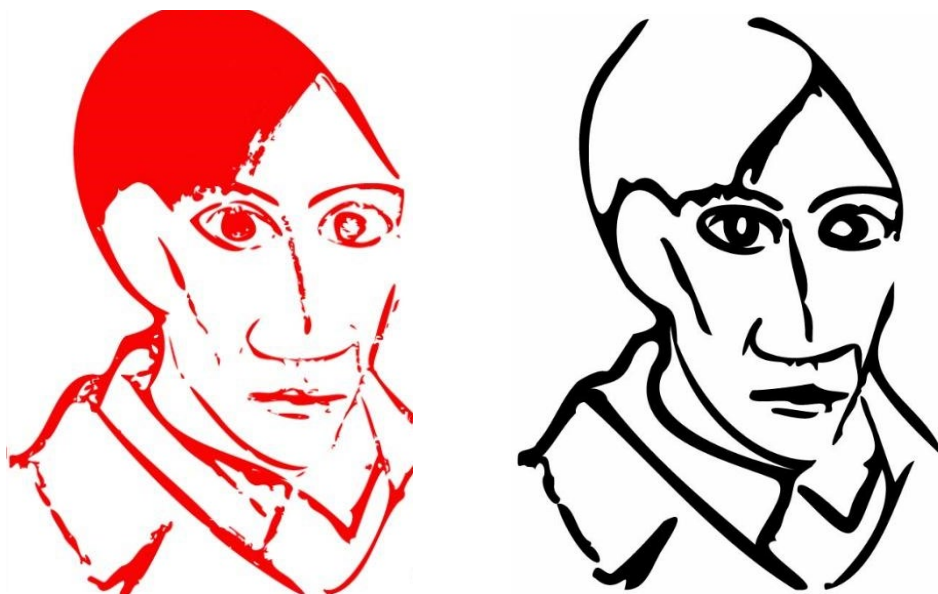


Figura 74. Comparación Autorretrato entre: a) versión Calco de Imagen, b) versión delineación de contornos.

En el intento de validar el código para su uso con diferentes obras se ha decidido probar su versatilidad frente a más cuadros. Entre todas las obras de Picasso se eligió el cuadro “El gato” debido a sus claros trazos negros y su simplicidad en cuanto a la composición. Como siempre, se empieza usando la herramienta Gama de Colores para simplificar la obra (Figura 75).



Figura 75. a) Gato devorando un pájaro, Pablo Picasso, b) Gato devorando un pájaro procesado por gama de colores.

A continuación, se introduce en el código para ser procesada. Tras diez intentos en los que se estuvo ajustando los valores distancia mínima y distancia máxima para no perder información de pequeños detalles, se llegó al resultado final (Figura 76)



Figura 76. Rellenado final.

Como se observa, desgraciadamente el programa desarrollado no sirve al igual de bien en el retrato como en el gato. Volviendo a las Figura 75 y Figura 76, se puede

apreciar como varios detalles han sido perdidos en el proceso, tales como pérdida de detalle en las rayas del camuflaje o la pérdida de definición en la cola. Una pérdida intolerable en el procesamiento de la obra (Figura 76) es la pérdida de un ojo y de detalle en el otro ojo. Esto se debe a que la distancia que hay entre los diferentes elementos en la cara es tan pequeña, que, si pusiésemos el baremo tan bajo, habría muchas partes que se rellenaría cuando no deben.

Por otro lado, otro defecto que se encuentra es en las manchas de la espalda. Estas, desde un principio (Figura 75), ya poseen bastante ruido por lo que generan áreas grandes de color, pero con muy poca nitidez. Esto ocasiona que al introducir la imagen en el código esa falta de nitidez genere confusión en el algoritmo produciendo esas manchas raras e inconexas. Por otro lado, la cola tiene tan poco detalle en la Figura 75, que es imposible reconstruirla mediante código a no ser que se dibuje a mano de nuevo. Si se vectoriza la imagen y se simplifica para volver a pasarla por el software, al igual que se hizo con el retrato, se consigue el siguiente resultado final (Figura 77).



Figura 77. Segundo relleno del gato a partir de una versión vectorizada previamente.

Por el lado positivo, se ha conseguido un trazado uniforme, suave, y de un grosor bastante aceptable. Sin embargo, se ha perdido gran parte del detalle, lo que ha producido en la generación de falsas áreas. Un ejemplo claro serían las patas del pájaro y el gato. Ahora es imposible diferenciar la pata delantera del pájaro de la barriga del gato. La cara también ha sufrido estragos. Donde antes se había perdido un ojo, ahora la cara está sin expresión alguna, dejando únicamente la boca y las orejas como signos identificativos.

Tras el fracaso con la obra anterior, se ha procesado otra obra para comprobar si el problema es del software o de la obra. En este intento se ha seleccionado el cuadro “Las Señoritas de Avignon” de Pablo Picasso (Figura 78).



Figura 78. Las Señoritas de Avignon, Pablo Picasso.

Desde un comienzo, la obra ha presentado para su procesamiento. En un primer paso, la obra ha sido simplificada mediante la herramienta Gama de colores. Hallar los parámetros adecuados para simplificar la imagen ha sido todo un reto debido a que no se conseguía trazos oscuros que segmentar. Como se puede observar en la Figura 79, fila número 1, diferentes configuraciones de Gama de colores han sido probadas con el fin de estudiar el efecto que los diferentes ajustes tienen sobre la procesabilidad final. En un primer intento con la herramienta se ha tratado buscar los bordes de las siluetas (pintados en rojo) para así poder generar directamente a las mujeres. En una segunda versión se ha propuesto realzar el fondo para dejar a las señoritas en tonos más. En una tercera aproximación se intentó lo contrario, dejar a las señoritas completamente pintadas en rojo para delinear su silueta con blanco. En la cuarta aproximación se ha partido de la idea de la segunda versión, pero ajustando a las señoritas para que estas sean mucho más blancas en detrimento de la cantidad de detalles de su cuerpo.

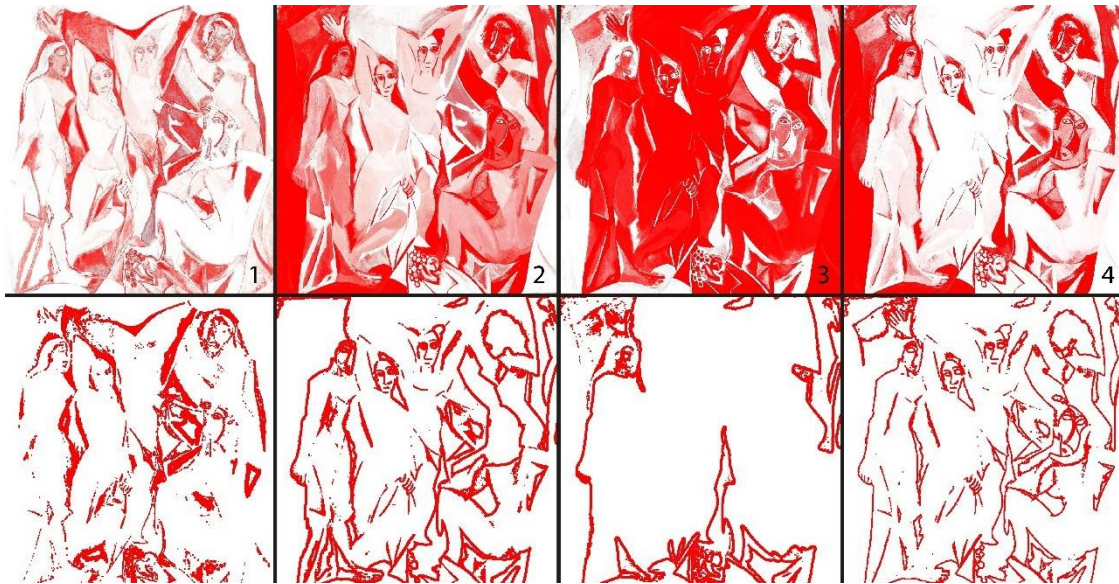


Figura 79. Versiones *Señoritas de Avignon*.

Los cuatro resultados obtenidos (Figura 79) mediante las distintas versiones de procesamiento son bastante pobres, evidenciando la inviabilidad de este método. La versión 3 resulta particularmente deficiente. La imagen está reducida a amplias zonas blancas sin contornos, los cuales solo permiten intuir vagamente la silueta de una cabeza femenina, perdiendo por completo la estructura compositiva. Otra versión con resultados inadmisibles es la versión número 1. En esta versión solamente se identifican las formas genéricas porque se conoce previamente la obra original, careciendo de valor práctico para la interpretación. La versión número 2, aunque ligeramente superior, sigue siendo insatisfactoria. A pesar de que logra diferenciar algunas figuras, fusiona áreas críticas como fondos y vestimentas, creando conexiones erróneas que distorsionan la composición. Finalmente, la versión número 4 es la menos deficiente debido a que presenta trazos más finos que preservan detalles más pequeños, pero repite el error de unir elementos inconexos, invalidando su utilidad para una segmentación limpia.

Conclusiones

Tras analizar todos los resultados obtenidos, se concluye que este método de segmentación no resulta válido para el propósito planteado. Únicamente ha mostrado cierto grado de funcionalidad en obras de extrema sencillez, como el autorretrato, donde su escasez de detalles y figuras ha permitido una segmentación aceptable. Sin embargo, al aplicarlo a composiciones con mayor complejidad el



sistema ha fallado de manera sistemática, generando resultados caóticos e inútiles para su posterior modelado 3D.

4.1.4 Segment Anything Model (SAM)

Los métodos anteriores eran incapaces de segmentar obras complejas como paisajes con múltiples elementos interconectados. Para ampliar la versatilidad del sistema se requiere de un sistema que comprenda todas las figuras de una imagen. Debe de ser capaz de distinguir un barco de un edificio, un árbol de una figura humana, independientemente de su estilo artístico o paleta cromática. Esta capacidad de reconocer objetos por su forma y contexto, adaptándose incluso a representaciones pictóricas abstractas, solo es viable mediante inteligencia artificial (IA). Un IA es un programa entrenado con miles de ejemplos para identificar patrones, clasificar elementos y tomar decisiones basadas en datos.

Para este fin, se ha seleccionado SAM (Segment Anything Model), desarrollado por Meta. Este modelo de segmentación universal reconoce y aísla cualquier elemento en una imagen mediante el análisis de sus características morfológicas y contextuales. Su arquitectura le comprende casi cualquier objeto, segmentando desde barcos impresionistas hasta figuras cubistas con igual eficacia. Esto lo convierte en la herramienta idónea para abordar la complejidad de obras que métodos tradicionales no pudieron procesar.

Para esta aproximación se ha usado tanto la versión web del modelo [X], la cual permite un acceso completo y gratuito al sistema, pero con acciones limitadas, y también se ha usado la inteligencia artificial en local. Usar el modelo en local permite un mayor control sobre las acciones debido a que al estar instaladas en un ordenador normal y no en un servidor externo, se permite el uso de programación en Python para ajustar los comandos. Su configuración requiere hardware potente y sigue un proceso de instalación complejo mediante comandos avanzados, ya que no dispone de un instalador ejecutable convencional. Aunque existe documentación oficial para guiar el proceso, esta resulta técnicamente densa y requiere conocimientos previos en entornos de desarrollo.



4.1.4.1. Por código

La forma más precisa y donde más control se puede tener sobre el funcionamiento del sistema, es crear un código a medida para que el programa ejecute las funciones deseadas. Es por ello por lo que se ha creado un código desde cero para que la inteligencia artificial sea capaz de segmentar una obra y exportarla en formato vectorial.

Resultados

El código desarrollado (Anexo III) comienza importando bibliotecas clave como OpenCV para el procesamiento de imágenes, NumPy para operaciones matriciales y svgwrite para generación de gráficos vectoriales. El flujo principal inicia cargando el modelo SAM preentrenado (sam_vit_h_4b8939.pth) y configurando el predictor. Posteriormente, se carga la imagen, se convierte a RGB y se ajusta su tamaño según el porcentaje de escala especificado. La interfaz de usuario muestra la imagen redimensionada al 50% del tamaño procesado por pantalla, permitiendo la interacción mediante clics del ratón que registra coordenadas y marca puntos verdes sobre la imagen. Existen diferentes teclas que ayudan a interactuar con el programa. Al presionar “q” se procesan los clics, “r” reinicia la selección, y “ESC” cierra el programa.

Al procesar los puntos seleccionados, el predictor de SAM genera tres máscaras candidatas con sus puntuaciones de confianza. Estas máscaras se muestran simultáneamente en ventanas emergentes donde cada una superpone el área segmentada en rojo sobre la imagen original a escala reducida. El usuario selecciona la máscara óptima mediante teclas numéricas (1-3). Tras la selección, la herramienta exporta dos archivos: un SVG vectorial con la máscara como polígono rojo definido por contornos, y un PNG de vista previa que incluye la máscara semitransparente (30% de opacidad), contornos verdes, y marcadores de los clics originales (Figura 80).

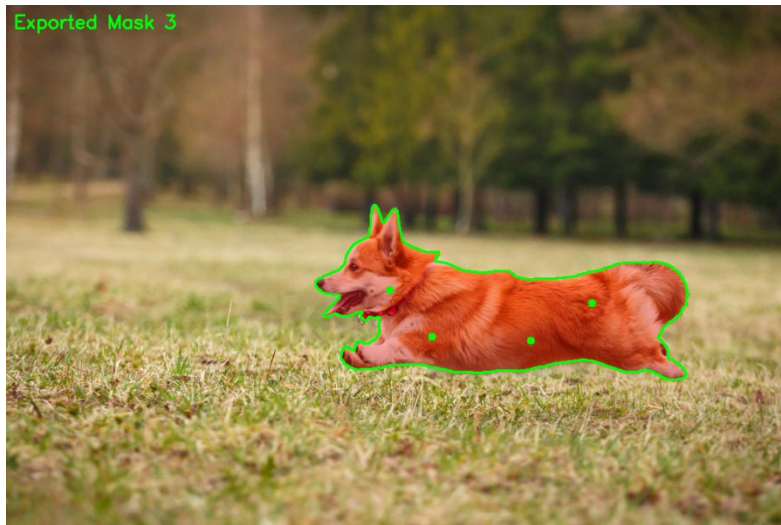


Figura 80. Segmentación de fotografía mediante SAM.

El código anterior presentaba limitaciones en cuanto a la selección múltiple de objetos. Para ello se ha generado una nueva versión del código (Anexo IV) que mejora significativamente el sistema original al permitir la selección interactiva de múltiples objetos y añade funciones de refinamiento. Para ello, se ha implementado una estructura de datos basada en listas para poder almacenar diferentes objetos, conteniendo las coordenadas de los clics, el color asignado, la máscara generada y la etiqueta de segmentación. Se introduce un ciclo de colores automático que asigna tonalidades distintas entre verde, azul y rojo a cada objeto. Para poder seleccionar un nuevo objeto se debe presionar la tecla “n” para generar un nuevo objeto en la lista.

Además, se incorpora un modo de refinamiento activando la tecla “r”. Sistema donde los clics izquierdos añaden puntos de primer plano y derechos marcan áreas de fondo a excluir, actualizando dinámicamente la máscara durante la interacción. Tras procesar todos los objetos, se genera una máscara compuesta combinando las segmentaciones individuales y exporta dos formatos: un SVG con la silueta combinada en rojo sólido y un PNG que preserva los colores asignados a cada objeto, mostrando además los puntos de clic originales y texto descriptivo para una revisión integral (Figura 81).

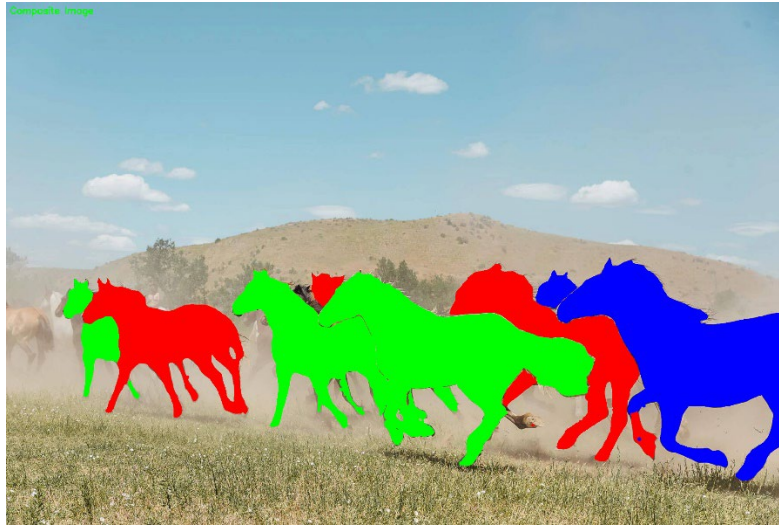


Figura 81. Segmentación de fotografía a partir de la segunda versión del código.

Conclusiones

Esta metodología es la de mayor potencial debido a su capacidad para trabajar directamente con archivos vectoriales y su flexibilidad para seleccionar elementos específicos a segmentar. Aunque la versión actual ya permite acciones imposibles con otros métodos, como el filtrado selectivo de componentes, el código admite mejoras para refinar la precisión de los resultados, optimizar el procesamiento de formas complejas y reducir intervenciones manuales

4.1.4.2. Por web

Otra forma de hacer uso de la inteligencia artificial de segmentación es a través de la web oficial del modelo. Esta ofrece el sistema completamente gratuito para que cualquier persona interactúe con él. Ventajas como la facilidad de uso y su versatilidad hacen que sea más cómodo usar esta versión. Sin embargo, presenta limitaciones técnicas clave como que las exportaciones solo están disponibles en formato JPG. Para solventar esto, se ha integrado un postprocesado mediante la técnica de Calco de Imagen de Illustrator. Aunque la versión web carece de la precisión absoluta del código local, su agilidad y calidad aceptable la convierten en una opción viable para proyectos que prioricen rapidez sobre control.

Resultados

Para este método se ha elegido procesar un paisaje. Anteriormente era imposible procesar este tipo de obras ya que no cumplían con las características necesarias. Como primera obra ha sido elegido “Vista del Guadalquivir” (Figura 82), una obra con muchos elementos en el lienzo, tales como un barco, personas, edificios, vegetación, etc.



Figura 82. Vista del Guadalquivir, Manuel Barrón y Carrillo.

Esta obra a simple vista se ve que sería imposible procesarlo con las aproximaciones anteriores. Como se muestra en la Figura 83, al subir la imagen a la web, SAM devuelve una imagen con varias máscaras superpuestas una sobre la obra segmentando los diferentes elementos que se ha encontrado. Esta imagen procesada es un archivo “.jpg”, el cual hay que procesarlo para convertirlo en uno vectorizado para posteriormente crear el modelo tridimensional.



Figura 83. Mascara de segmentación SAM web.

Para poder pasar el archivo a uno vectorizado primero hay que extraer los bordes azules. Estos bordes son fundamentales ya que son los que delimitan las áreas, y por ende, los que conforman la silueta de la figura. Para ello, se utiliza la herramienta de Gama de colores de Photoshop anteriormente descrita y se aíslan los contornos azules (Figura 84).

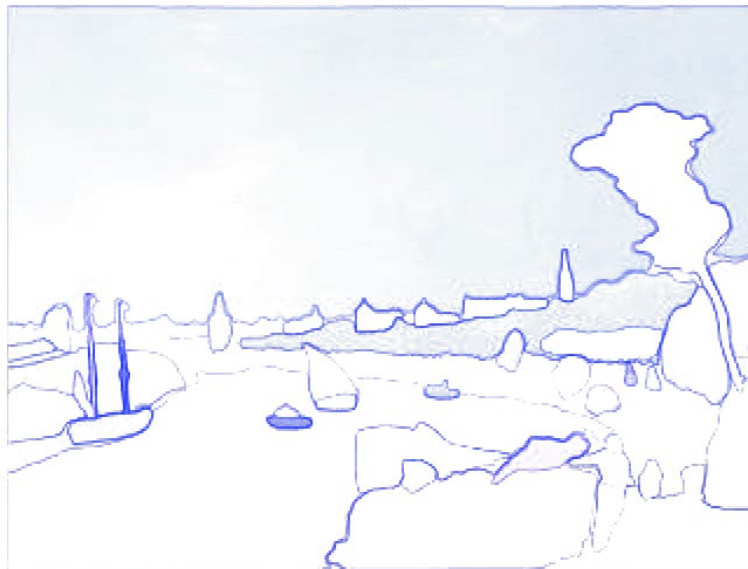


Figura 84. Gama de colores Vistas del Guadalquivir.

Una vez obtenida la imagen segmentada, se vectoriza utilizando la herramienta de Illustrator Calco de imagen. Como se observa en la Figura 85, Vista del Guadalquivir ha sido reducida a un conjunto de bordes gruesos que delinear las siluetas de las figuras más importantes de la obra.

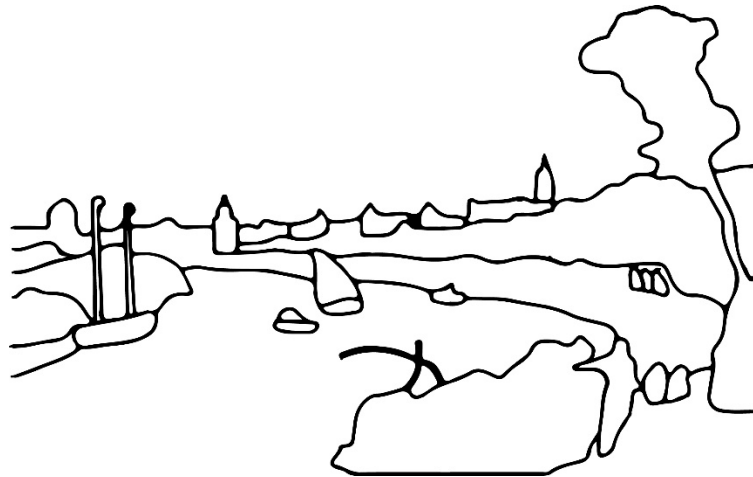


Figura 85. Vectorización de Vista del Guadalquivir.

En la Figura 86 se ha coloreado las áreas para poder entender mejor la composición y profundidad de los elementos. Se han agrupado diferentes figuras bajo un mismo color para mostrar que pertenecen al mismo conjunto. Por ejemplo, todos los edificios del fondo han sido pintados de amarillos para entender rápidamente que pertenecen al mismo grupo, y que están a una distancia parecida.



Figura 86. Colores aplicados a la vectorización.

Para validar la versatilidad del sistema se ha optado por procesar otra obra. Y tenía corazón ha sido la obra elegida (Figura 87). Esta obra presenta un reto frente a la segmentación debido al uso amplificado de zonas sombrías e iluminadas debido al estilo artístico.



Figura 87. Y tenían corazón.

Para el análisis de esta obra se empleó el mismo procedimiento anterior. Tras esta etapa inicial donde se ha procesado la obra para convertirla en una imagen vectorial (Figura 88), se realizó un refinamiento manual para eliminar componentes redundantes o confusos.



Figura 88. Y tenía corazón segmentado.

Como se puede observar en la Figura 88, el suelo presenta problemas de segmentación debido a las diferencias de iluminación. El programa lo ha sacado como si fueran dos objetos distintos, pero en esencia es solo uno, es por ello por lo que en la versión corregida (Figura 89) se ha unificado ambas áreas. Otro problema de segmentación ha sido que el programa ha eliminado una pata de la mesa debido a la escasa iluminación que se le ha aplicado. Otro problema detectado ha sido con la cuerda que pasa por la ventana. Es cierto que esta cuerda no aporta nada a la composición, pero al estar en ella, el programa la ha detectado. Es por ello por lo que se ha eliminado manualmente en la Figura 89 para evitar problemas de interpretabilidad. Además del trabajo de refinamiento, se ha modificado los bordes de las figuras aumentando su grosor y coloreándolos de azul para un mejor contraste, y así conseguir una mejor interpretación.



Figura 89. Y tenía corazón mejora vectorización.

Conclusiones

Esta aproximación segmenta con bastante precisión, pero requiere de un procesamiento manual adicional para vectorizar los resultados, lo que limita su automatización. Esta dependencia de pasos externos la hace poco escalable para proyectos sistemáticos.



5. Generación de modelos 3D

En este apartado se estudiará el trabajo realizado para la generación de modelos digitales a partir de los resultados obtenidos durante la segmentación. Estos modelos serán posteriormente utilizados para su la fabricación aditiva.

5.1. Softwares para la generación de modelos 3D a partir de imágenes en 2D

Las obras segmentadas son imágenes planas sin ningún tipo de información tridimensional. En este apartado se explicarán las diferentes técnicas y softwares empleados para la generación de modelos volumétricos.

5.1.1 Softwares CAD

La generación de modelos mediante softwares CAD como SolidWorks y AutoCAD han revelado limitaciones críticas para la generación de modelos tridimensionales. En SolidWorks, aunque se permite importar archivos en formato SVG, la conversión de bocetos a formas tridimensionales es impracticable. Cada vector se debe transformar a una cara plana haciendo que con obras complejas con decenas de figuras su uso sea imposible.

Por otra parte, AutoCAD ni siquiera admite el formato SVG directamente, requiriendo una conversión previa a un formato nativo del programa denominado DXF. Esta conversión degrada la calidad ya que simplifica los vectores, eliminando nodos esenciales y aplanando detalles. Peor aún es su uso cuando se intenta extruir las figuras planas. El software colapsa por sobrecarga de operaciones booleanas, siendo incapaz de gestionar la densidad de información.

Estos problemas evidencian que los programas CAD tradicionales, optimizados para diseño industrial con geometrías simples, carecen de la flexibilidad necesaria para procesar formas artísticas orgánicas. Su dependencia de topologías limpias y estructuras choca frontalmente con las vectorizaciones pictóricas, donde abundan



curvas complejas e intrincadas. Esta incompatibilidad técnica subraya la necesidad de explorar alternativas especializadas en mallas complejas o desarrollar flujos de procesados adaptados que reduzcan la carga geométrica antes de la extrusión.

5.1.2 Blender

A diferencia de los sistemas CAD tradicionales anteriormente descritos, Blender es un software de modelado basado en mallas poligonales que resuelve eficazmente los desafíos de importación y extrusión de archivos SVG gracias a su enfoque flexible y adaptado a geometrías complejas. Su sistema de extrusión no requiere operaciones booleanas pesadas ya que basta con convertir las curvas en mallas y aplicar una extrusión simple. Para conseguir esta extrusión se va a explicar diferentes métodos.

5.1.2.1. *Mediante canales RGB*

Este método se basa en extruir selectivamente las zonas de un plano que coinciden con las áreas de color que queremos resaltar en la obra original. Se parte de un plano con las mismas dimensiones que la obra. Solo aquellas partes que coincidan exactamente con la posición de los colores se extruirán, creando así el relieve. Para mejorar la precisión, es necesario subdividir el plano en una cuadrícula más densa, aumentando el número de polígonos y por ende la resolución, al igual que ocurre con la resolución en una pantalla. Cuanto mayor sea el número de píxeles de la pantalla, mayor calidad tendrá la imagen, por lo que cuantas más divisiones tenga el plano, mayor detalle capturará el modelo 3D. Este enfoque permite transformar una imagen plana en un volumen con textura de manera sistemática, aunque requiere ajustar cuidadosamente el nivel de subdivisión para equilibrar calidad geométrica y rendimiento del software.

La subdivisión óptima recomendada ronda un factor de conversión de 1000. Finalizada la subdivisión, se debe acceder a la sección de texturas (Figura 90 a) para crear una nueva. Haciendo clic en la carpeta se importa la imagen deseada, donde a continuación aparecerá un submenú. En el se determinarán los valores R, G y B (rojo, verde y azul) haciendo que el verde y azul sea 0 y rojo 1 (Figura 90 b). Esto es debido a que la imagen importada está coloreada de color rojo. Ajustando el canal rojo en 1, se consigue que solo se use el rojo y se desprecie todas las demás

tonalidades formadas a partir de la combinación con el verde y el azul. A continuación, en modificadores (Figura 90 c) se añade un modificador de deformación. Esto hará que la imagen importada genere el volumen sobre el plano base (Figura 91).

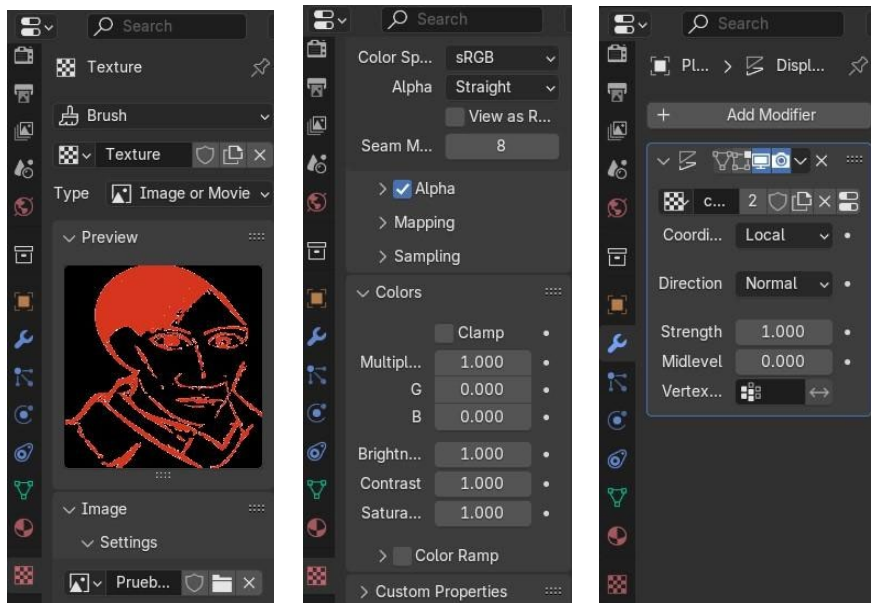


Figura 90. Extrusión mediante mapeado de colores.

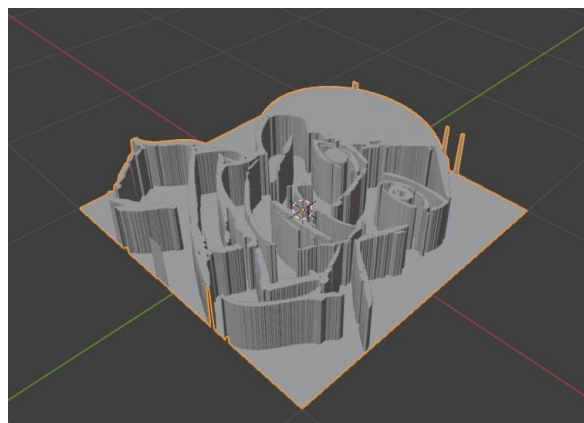


Figura 91. Autorretrato extruido.

Como se puede observar en la Figura 91, los bordes de las siluetas han sido conformados a base de rectángulos. Esto es debido a la propiedad pixelada que se ha descrito anteriormente. Para poder mejorar la calidad superficial, se puede subdividir en más partes el plano inicial, generando dentro de la una mayor densidad de caras que ayudan a mejorar la resolución. En la Figura 92 se puede ver

un gran avance en cuanto a la calidad gracias al aumento de la resolución del plano. Sin embargo, este aumento de la resolución va en detrimento del peso del archivo debido a que una mayor resolución resulta en una mayor cantidad de polígonos que deben ser almacenados.

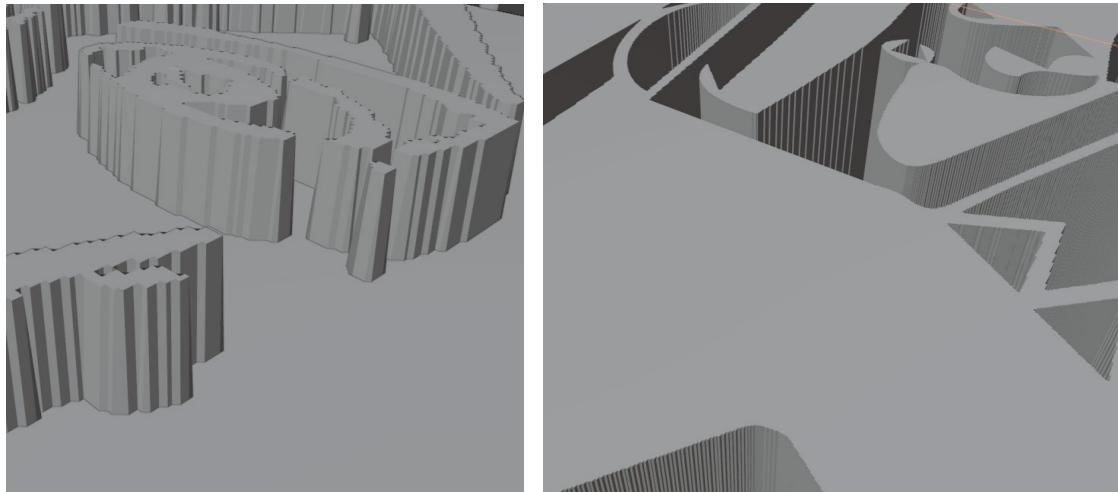


Figura 92. Mejora definición de los trazados: a) extrusión base, b) mejora calidad.

5.1.2.2. Por SVG

La elección del formato de imagen resulta determinante para lograr una óptima definición en los bordes de los modelos 3D. A diferencia de los formatos rasterizados como JPG o PNG (basados en píxeles), el formato SVG (Scalable Vector Graphics) almacena la información como ecuaciones matemáticas, lo que permite una escalabilidad infinita sin pérdida de calidad. Esta propiedad vectorial es clave para obtener bordes perfectamente definidos en el modelado 3D, ya que las curvas y líneas se calculan con precisión decimal, evitando el efecto "pixelado" de las imágenes rasterizadas.

Esta diferencia se puede entender comparando dos resultados. A la izquierda de la Figura 93 se encuentra un modelo generado a partir de una imagen rasterizada. Como se puede observar todo está compuesto de rectángulos debido a que la importación de la imagen fue basada en píxeles. A la derecha de la Figura 93 se puede ver un modelo generado a partir de una imagen vectorial (SVG). La mejora en la calidad es bastante notoria.

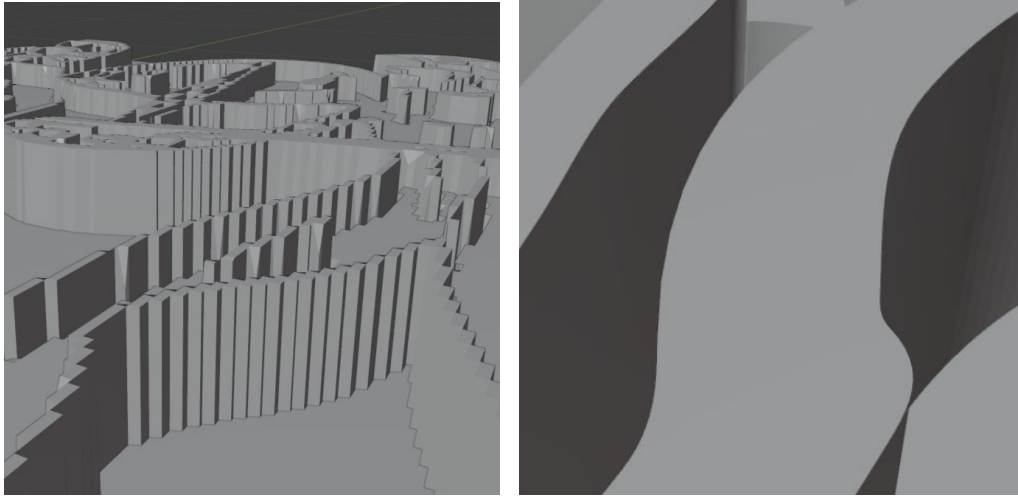


Figura 93. Comparación entre una extrusión mediante mapeado de colores y mediante svg.

Otra ventaja de usar archivos vectoriales y no rasterizados es la diferencia del peso del archivo. Los modelos generados a partir de imágenes rasterizadas como los estudiados el apartado anterior (Figura 92) pueden llegar a pesar hasta 1GB, frente al peso de los vectoriales que pesan en el orden de KB (cien veces menor). Es cierto que la calidad del trazo no debe ser perfecta ya que debido a las características de la impresión FFF, mientras que el tamaño del píxel sea menor que el de la boquilla, la impresora no va a ser capaz de mostrar el defecto. Pero si sería un problema si se decidiese usar alguna tecnología que tenga mayor resolución.

Otro beneficio de los modelos generados a partir de archivos vectoriales es que es muchísimo más sencillo y rápido tratar con este tipo de archivos debido a que cada elemento de la imagen es un área independiente a su colindante, por lo cual se puede conseguir extruir cada elemento de la figura a la altura deseada independientemente de un código de colores.

5.1.2.3. *Por Knife Project.*

Otro método evaluado para la generación de un modelo tridimensional ha sido a partir de la herramienta Knife Project. El proceso comienza con la importación de la imagen vectorial como curva, la cual se posiciona encima de un plano base previamente subdividido. Al aplicar Knife Project, los trazos vectoriales actúan como patrones de corte sobre el plano. Estas áreas delimitadas pueden luego extrudirse de manera independiente, permitiendo crear volúmenes tridimensionales que mantienen la fidelidad de los bordes. La principal ventaja de este enfoque radica en su capacidad para manejar la complejidad de las formas artísticas, especialmente en obras con trazos delicados o patrones intrincados donde otros métodos fallan.

En la Figura 94 se puede observar un plano base con unas figuras resaltadas en amarillo debido a que se encuentran extruidas. Sobre el plano, y resaltado en naranja se puede encontrar la imagen vectorial de referencia. Esta ha sido la utilizada para proyectar las curvas sobre el plano.

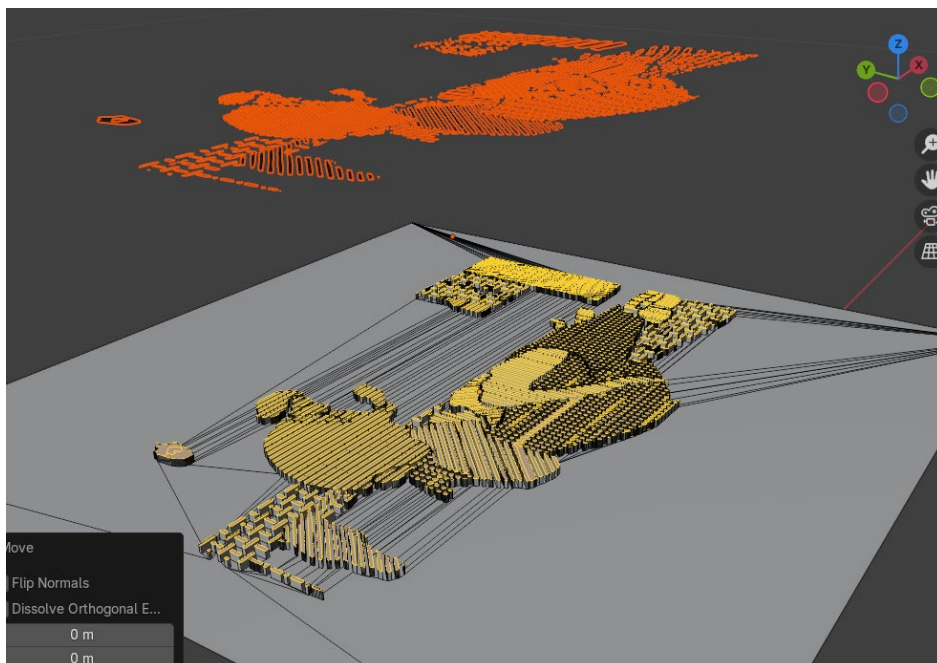


Figura 94. Knife Project.

Sin embargo, este método presenta varios problemas de topología debido a que la proyección de curvas complejas y con una alta carga nodal, generan errores a la

hora de recortar el plano. Blender tiene una herramienta para poder ver la dirección normal de las caras, siendo azul para afuera, y rojo para adentro. Esto permite encontrar aquellas caras que se han recortado mal. En el modelo de la Figura 95 a, varias caras estaban en rojo reflejando una mala topología. En la Figura 95 b se puede ver como existen caras en negro las cuales son las causantes de el error. Estas caras surgen debido a que no son áreas cerradas, por lo que editandolas manualmente para generar aquellas aristas que le faltan, se puede cerrar la cara y por ende corregir el error.

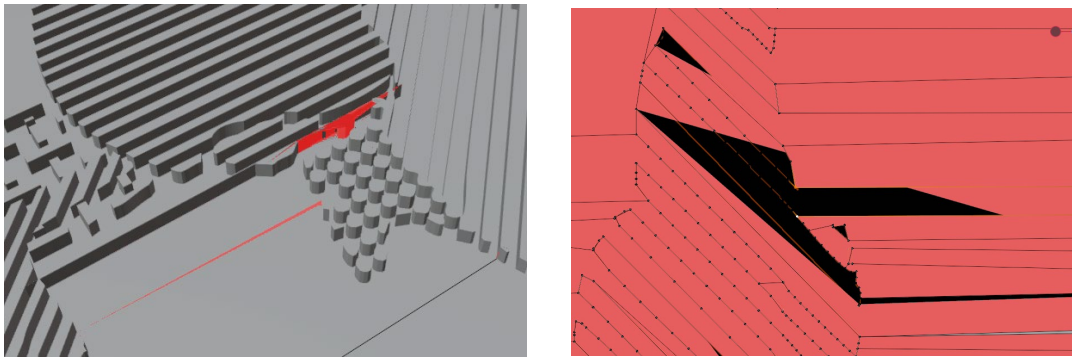


Figura 95. Errores Knife Project.

Este método presenta una alta calidad y versatilidad, pero su alta necesidad de correcciones manuales limita la escalabilidad y la automatización del método.

5.1.2.4. Remesh

A la hora de generar el modelo 3D final, se crean 2 elementos, por un lado, se hace una base cuadrangular que sirve como base sobre el que la obra procesada va a ser impresa, se podría entender como si fuese un lienzo. Por otro lado, está el archivo importado de la obra procesada el cual mediante una extrusión se genera un volumen. Tanto el lienzo como la obra procesada volumétrica se unen en un solo objeto mediante un modificador booleano que a partir de los dos elementos los unifica en uno solo. Esta unión de superficies solo es posible si las caras de ambos objetos están en contacto. Esto genera problemas de topografía debido a que, al ser inicialmente dos objetos distintos, al unificarse en uno se generan volúmenes internos residuales a partir de la topología anterior, produciendo errores en la fabricación aditiva. Esto ocurre debido a que, si no existe un alineamiento exacto entre las superficies de los dos modelos, parte de un objeto queda atrapado dentro del otro, generando ese volumen interno.

Otro error presente en la generación volumétrica del modelo se encuentra en la triangulación de las caras superiores. Como se puede observar en la Figura 96, el software genera una cantidad innecesarias de triángulos para definir la cara (resaltadas en amarillo). Estas líneas no añaden nada de información, y lo único que añaden es peso al archivo. Además, esto genera malos acabados superficiales durante la fabricación.

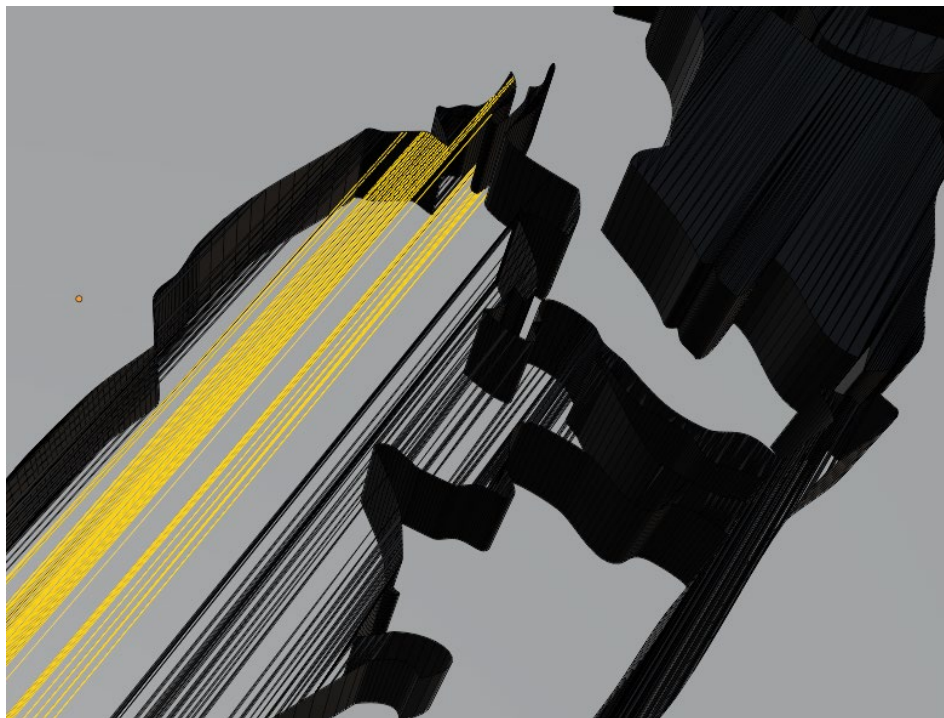


Figura 96. Error triangulación de superficies.

Para poder solucionar estos problemas se ha optado por recalcular la topografía, simplificando los trazados y la superficie. Para realizar, el software posee una herramienta denominada “remesh”. Esta herramienta recalcula la topografía del modelo, eliminando de ella triangulaciones innecesarias y volúmenes internos erróneos. En la Figura 97 se puede observar cómo la calidad superficial obtenida es perfecta.

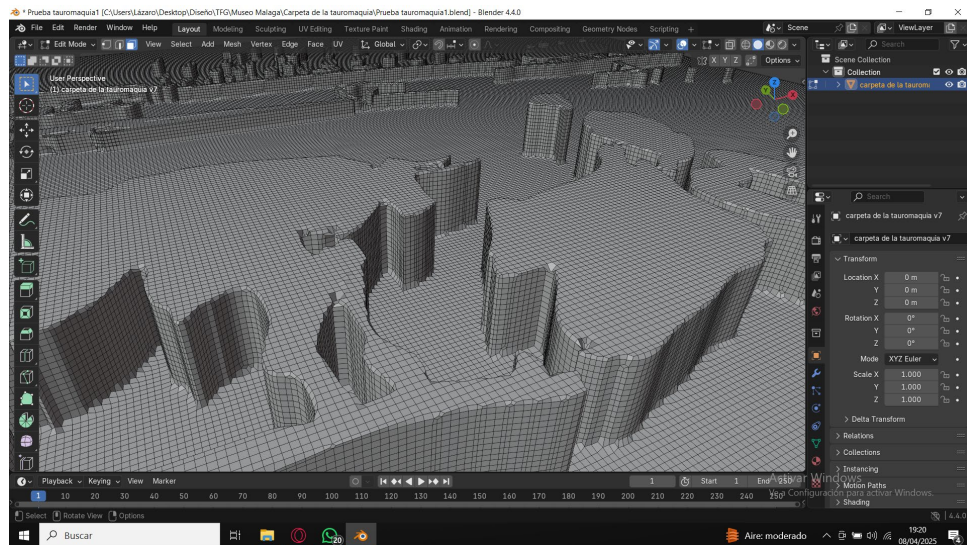


Figura 97. Remesh Carpeta de la Tauromaquia.

En función del valor ajustado para generar la nueva superficie, mayor o menor resolución se puede obtener. Este valor está determinado en unidades métricas, y a mayor sea su valor, menor será las dimensiones de las nuevas subcaras de la superficie, aumentando así la calidad superficial en detrimento del peso del archivo. En el resultado anterior (Figura 97) se ha utilizado un valor de 0.5mm, y en el resultado obtenido en la Figura 98 se ha utilizado un valor de 0.75mm. Se puede observar como a mayor valor, menor es la cantidad de caras, disminuyendo la calidad.

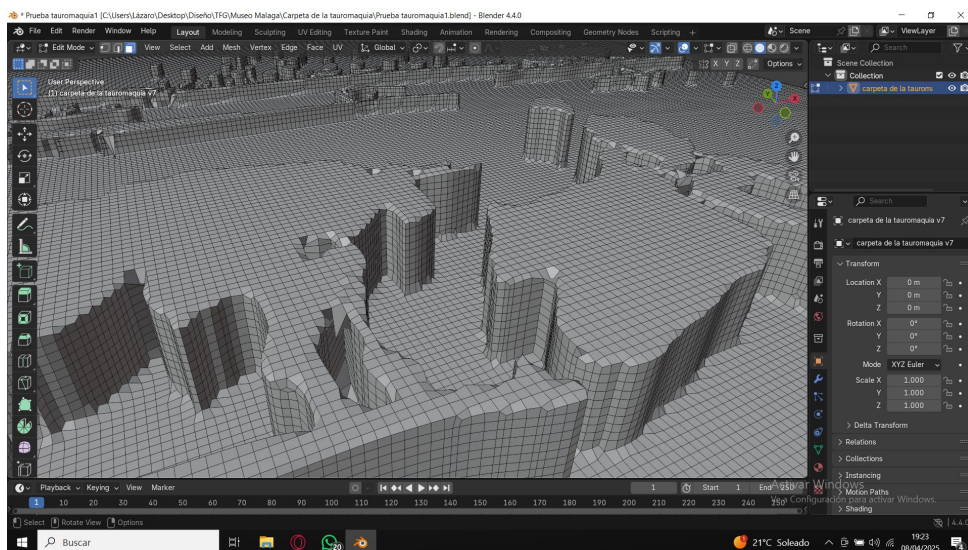


Figura 98. Segundo remesh superficie.

Gracias a esta herramienta, superficies muy desgastadas como las generadas en el modelo de la Figura 99 han podido ser restauradas perfectamente (Figura 100).

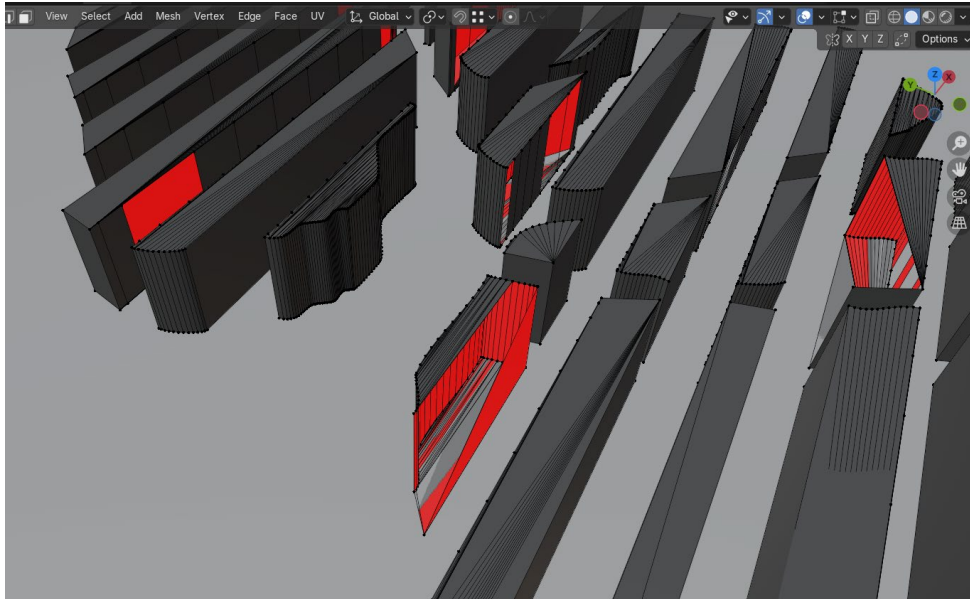


Figura 99. Error en la generación de superficies debido a la falta de vértices y aristas.

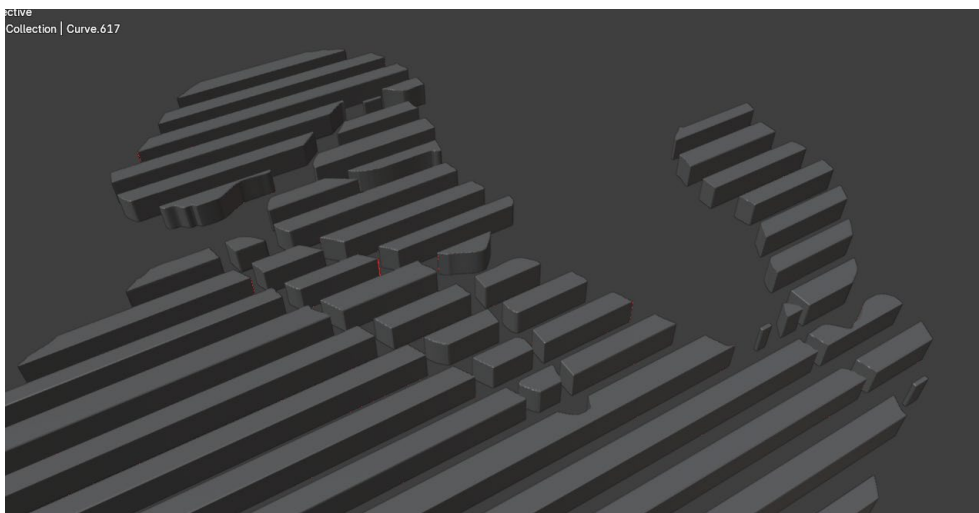


Figura 100. Nueva resolución del modelo digital aumentada mediante remesh.

5.2. Variables de impresión

Además de generar extrusiones, se pueden explorar variaciones en el diseño para mejorar la interpretación táctil, analizando cómo ciertos ajustes influyen en la percepción de las obras. En primer lugar, se estudiará el efecto de la diferencia de altura en el relieve con el fin de determinar si un mayor contraste facilita el reconocimiento de las formas. Por otro lado, se diseñará una versión con caras macizas y otra con las caras únicamente contorneadas para evaluar si las siluetas ayudan a la interpretabilidad o si por el contrario tener tantos bordes confunden al usuario. Finalmente, se experimentará con la incorporación de texturas codificadas, asignando patrones táctiles específicos a distintos colores para ver si este sistema simbólico ayuda a distinguir gamas cromáticas y aporta claridad a la composición.

5.2.1 Variación de altura

Para transmitir la profundidad del cuadro se ha diseñado una versión con variaciones de altura en el relieve. Cada componente se dispone en un plano distinto, desde ligeras elevaciones para detalles secundarios hasta relieves marcados para las figuras principales, creando así un sistema táctil que reproduce la perspectiva visual. Esta gradación permitirá evaluar si la diferenciación por alturas facilita la comprensión espacial de la obra. En la Figura 101 puede observar un ejemplo de ello.

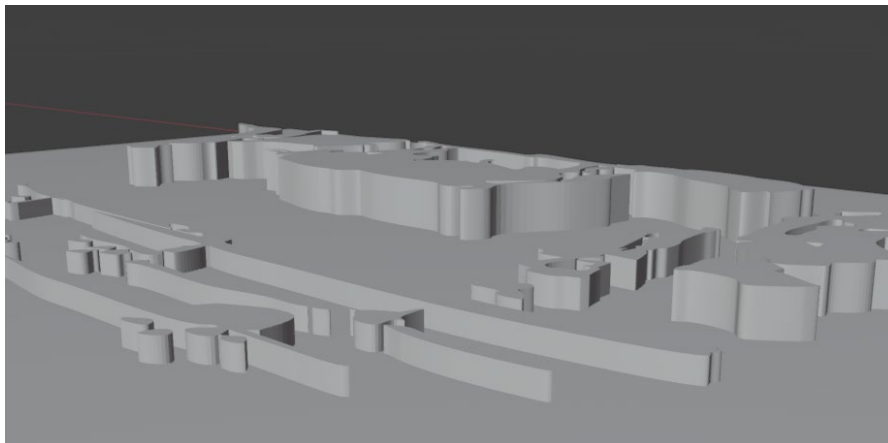


Figura 101. Variación de alturas.

5.2.2 Perfil-Macizo

Se ha creado una versión con figuras definidas únicamente por sus perfiles (contornos huecos) y otra con formas macizas (rellenas) para evaluar su impacto en la interpretación táctil. Esto permitirá comprobar si los contornos limpios facilitan la identificación de las figuras al evitar interferencias, o si, por el contrario, las superficies sólidas ofrecen una percepción más clara al proporcionar mayor consistencia al explorar las formas. El objetivo es determinar qué enfoque ayuda a distinguir mejor los elementos principales sin saturar la información táctil. En la Figura 102 se puede observar la versión maciza, y junta a ella la versión en perfil.

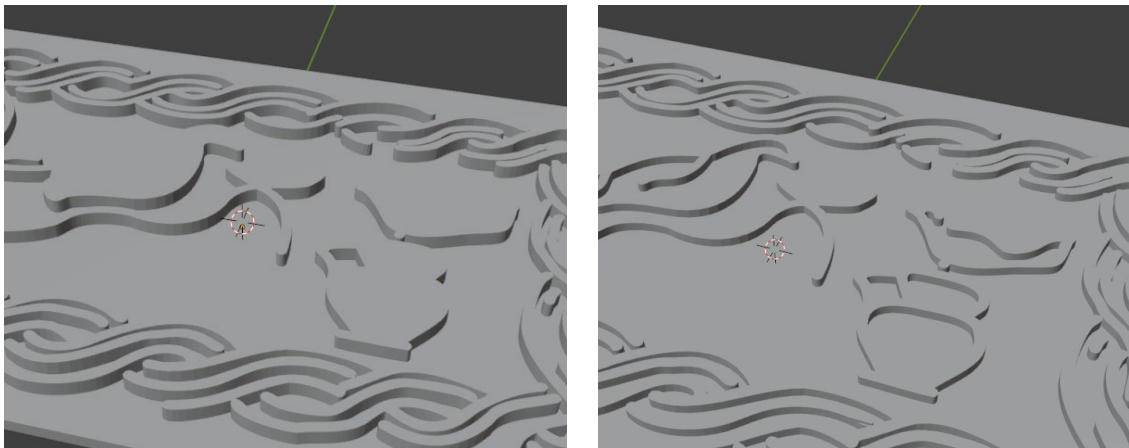


Figura 102. Mosaico de pájaros del Faro de Torrox: a) Perfil macizo, b) Perfil hueco.

5.2.3 Textura

Para facilitar la identificación de los colores mediante el tacto, se ha implementado un sistema de texturas basado en la codificación heráldica tradicional, asignando a cada tonalidad un patrón táctil distintivo. El sistema heráldico es un lenguaje visual codificado que surgió en la Europa medieval para identificar linajes, territorios e instituciones a través de escudos y emblemas. Este enfoque busca evaluar si la asociación entre texturas y colores mejora la comprensión de la composición artística. Los colores utilizados son (Figura 103)

- Azul (azur): líneas horizontales.
- Rojo (gules): líneas verticales.

- Verde (sinople): líneas diagonales de derecha a izquierda.
- Púrpura (balaje): Línea diagonales de izquierda a derecha.
- Negro (sable): líneas verticales y horizontales cruzados.

Además, se ha utilizado dos texturas extras. Según la fuente investigada, la textura aparece con un nombre distinto, es por ello por lo que simplemente se ha decidido quedarse con la textura. Estas texturas extras son círculos de color sobre fondo blanco, y rectángulos que alternan entre orientaciones verticales y horizontales.

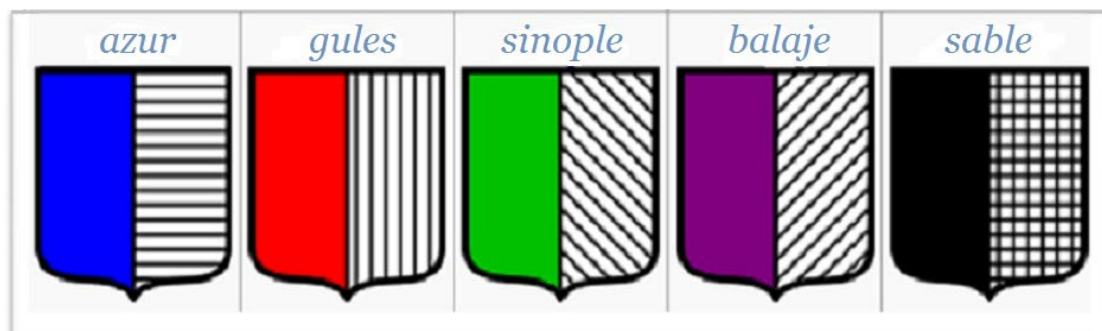


Figura 103. Sistema de colores heráldicos.

Para implementar las texturas basadas en la simbología heráldica, se utilizó la herramienta Motivo en Adobe Illustrator. Esta herramienta permite crear y aplicar patrones vectoriales repetitivos de forma precisa y personalizada. Esta función funciona definiendo un patrón base que, al convertirse en motivo, se replica automáticamente formando una textura uniforme y sin discontinuidades. En la Figura 104 se puede observar como a partir de la generación de un círculo base (situado dentro del cuadrado azul), tras crear el motivo se consigue el patrón deseado. En el panel de Opciones de motivo, se puede determinar diferentes parámetros para la generación del patrón, siendo el más importante el espaciado dejado entre cada replica.

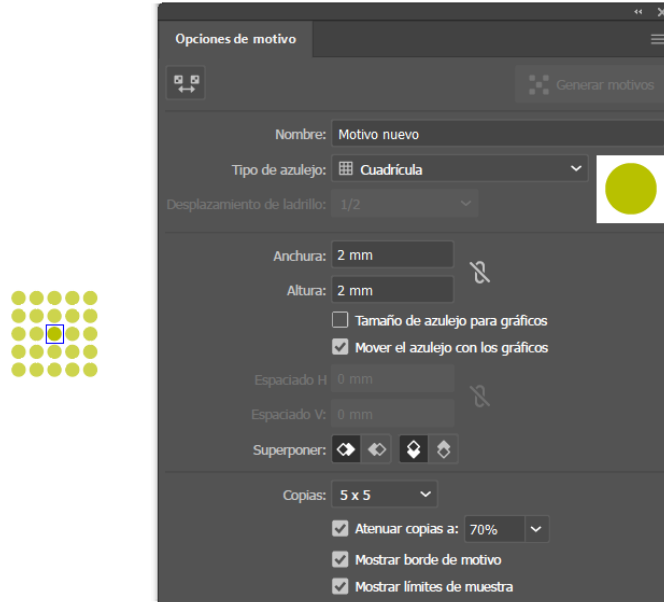


Figura 104. Motivo en Illustrator.

El proceso ha consistido en diseñar cada patrón para que estos diseños se generasen como motivos personalizados en la biblioteca de Illustrator, lo que permitió aplicarlos rápidamente a las áreas de color del cuadro adaptado (Figura 105). Esta metodología no solo agiliza la producción de relieves texturizados, sino que también asegura que los patrones sean escalables y adaptables a diferentes superficies.

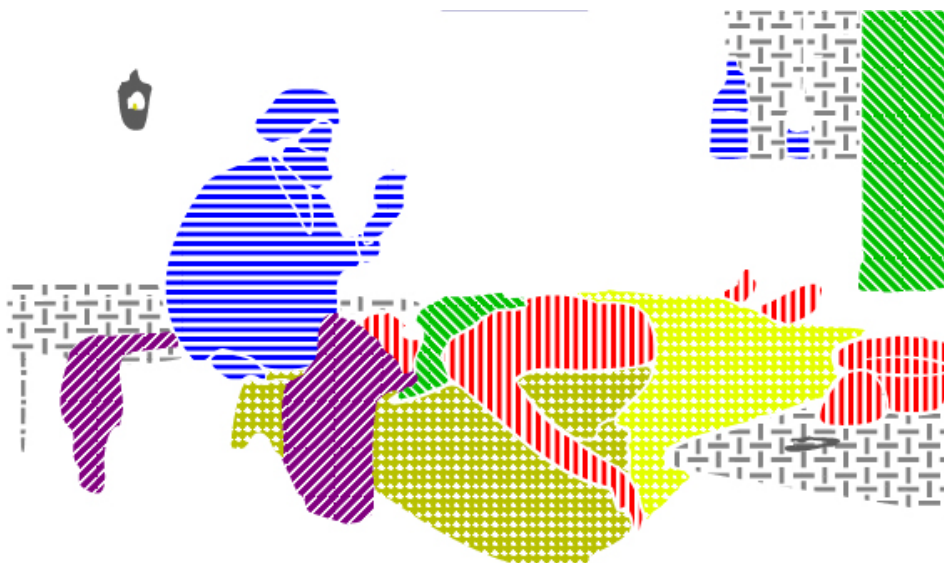


Figura 105. Versión Y tenía corazón relleno a partir de textura heráldica.

Sin embargo, al aplicar estos motivos como texturas planas en Illustrator, se ha generado una superficie unificada donde los elementos del patrón han quedado integrados en un solo objeto rasterizado, en lugar de conservarse en entidades vectoriales independientes. Esto supone un problema al exportar el diseño a formato SVG, ya que la textura se interpreta como una imagen única, imposibilitando la extrusión individual de cada elemento del patrón. Para resolverlo, ha sido necesario utilizar la herramienta Calco de imagen para vectorizar la textura aplicada, descomponiendo el motivo en elementos editables y separados (Figura 106).



Figura 106. Vectorización textura heráldica.

Para el diseño del modelo tridimensional, el espaciado entre los elementos de cada patrón es un factor crítico para garantizar su correcta percepción. Si la separación entre las formas es demasiado reducida, existe el riesgo de que el usuario no distinga los relieves individualmente. Para evitar esto, se ha tomado como referencia la normativa sobre texto en braille, la cual especifica de manera rigurosa las distancias mínimas requeridas entre puntos. A partir de la Figura 107, se han extraído en la Tabla 2 las medidas mínimas requeridas, siendo la separación mínima de 2.5 mm.

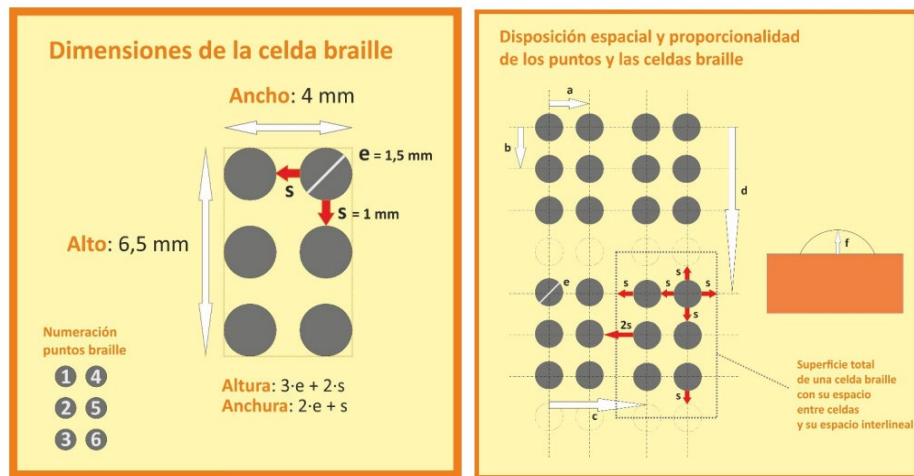


Figura 107. Normativa Braille.

Tabla 2. Dimensiones mínimas Braille.

| a | b | c | d | e | s | Alto celda | Ancho celda |
|-----|-----|---|----|-----|---|------------|-------------|
| 2,5 | 2,5 | 6 | 10 | 1,5 | 1 | 6,5 | 4 |

5.3. Impresiones

Este apartado detalla el proceso de impresión 3D realizado para materializar los diseños vectoriales, tomando como caso de estudio el Mosaico de pájaros del Faro de Torrox. Como explicado en apartados anteriores, se han producido dos variantes del modelo para evaluar su eficacia táctil: una versión de perfil (Figura 108) y otra maciza. Los resultados de estas impresiones, junto con su evaluación por parte de usuarios con discapacidad visual, servirán para validar la idoneidad del método en términos de legibilidad táctil, durabilidad y eficiencia en la producción de recursos accesibles.

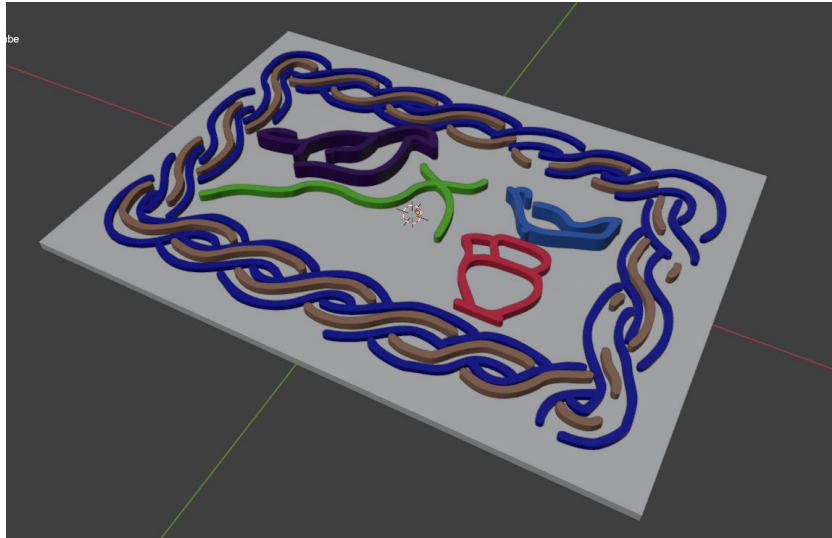


Figura 108. Mosaico de pájaros del Faro de Torrox con siluetas delineadas con solo el perfil.

El primer paso para la impresión 3D consiste en importar el archivo STL (formato estándar que define la geometría del modelo tridimensional) en el software de laminado (Figura 109), en este caso IdeaMaker (versión 5.2.3). Un software de laminado sirve para segmentar el modelo en capas horizontales (con un grosor configurable) y generar las instrucciones (G-code) necesarias para que la impresora imprima el modelo capa a capa. El modelo del Mosaico de pájaros se ha configurado con unas dimensiones de 200 mm de ancho por 140 mm de largo, y 5.5 mm de altura máxima.

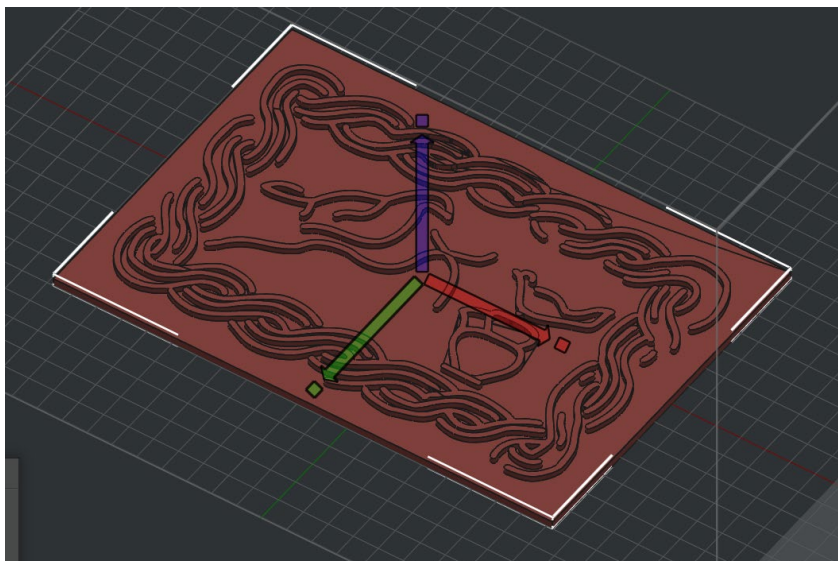


Figura 109. Modelo importado en IdeaMaker.

Una vez importado el modelo al laminador, el segundo paso consiste en definir los ajustes específicos para la impresión. Se debe seleccionar el modelo de la impresora en la que se pretende imprimir (en este caso Raise3D E2). A continuación, se especifica el tipo de material en el que se pretende fabricar. Para esta ocasión el filamento escogido ha sido PLA de 1.75 mm de diámetro (color rojo) por su equilibrio entre facilidad de impresión y resistencia. Adentrándose en ajustes más específicos, se ha configurado una altura de capa de 0.3 mm, un valor óptimo para equilibrar calidad superficial y tiempo de fabricación, junto con un patrón de relleno del 30% para garantizar rigidez sin exceso de material. Aunque no se requirieron soportes debido a la geometría del diseño, se activó la balsa de impresión. Este ajuste fabrica una base adicional previa al modelo y sobre la que se va a imprimir, para mejorar la adhesión a la cama caliente y evitar deformaciones debido a una mala calibración de la cama de impresión. En la Figura 110 se puede apreciar la balsa, de color amarillo, situada en la parte inferior de los contornos exteriores del modelo. Por otro lado, las temperaturas de impresión han sido fijadas en 210°C para el extrusor, asegurando una correcta fluidez del material, y 60°C para la cama, favoreciendo la adherencia inicial de las primeras capas.

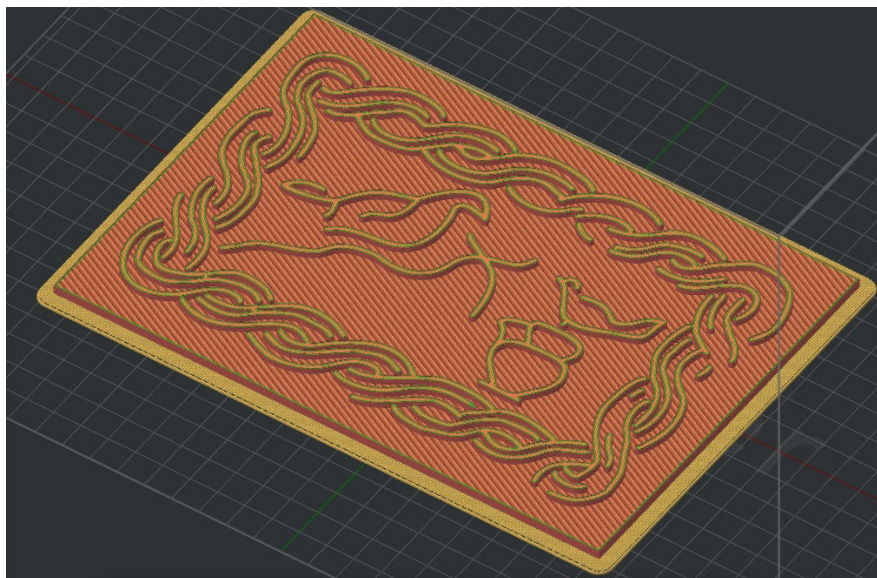
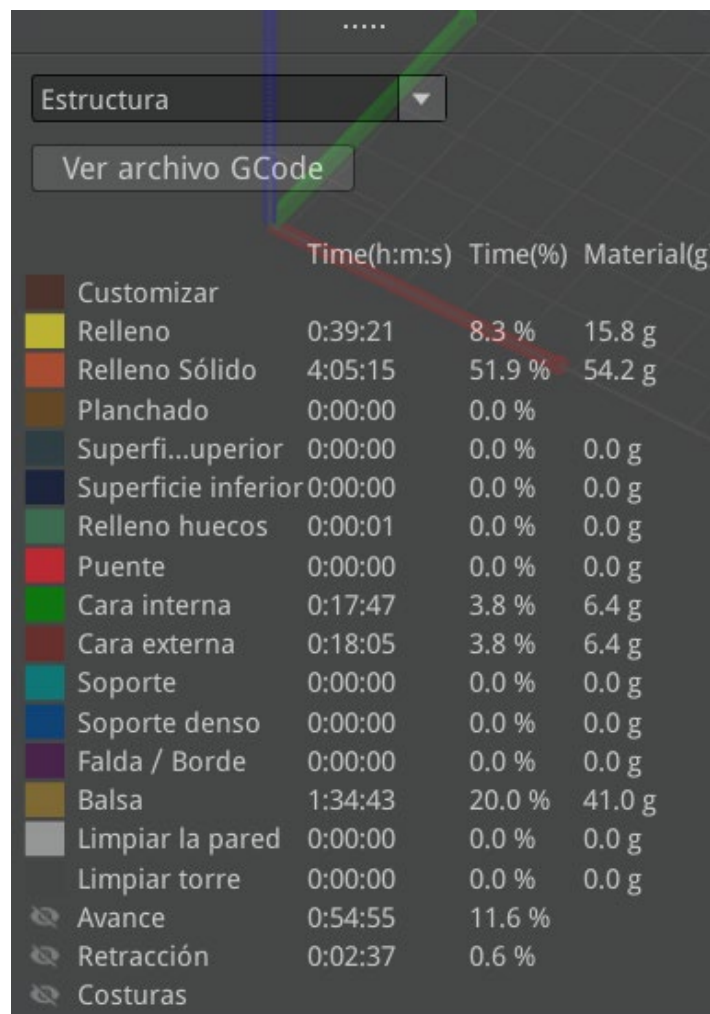


Figura 110. Modelo laminado y previsualizado.

Según el laminador, la impresión completa del modelo requiere de 7 horas y 52 minutos para ser impresa, con un consumo estimado de 123.8 gramos de filamento PLA. El proceso se estructura en 23 capas de 0.3 mm de altura cada una, totalizando los 5.5 mm de altura del diseño. Como detalla la Figura 111, la

distribución del tiempo y material durante una impresión está dividida por diferentes etapas. La fase de "Relleno Sólido" absorbe el 51.9% del tiempo (4h 05m) y el 43.7% del material (54.2 g), evidenciando su papel crítico en la consolidación estructural interna. Le sigue la "Balsa de impresión" (20% del tiempo, 41 g). Otras etapas como el "Relleno básico" (8.3% tiempo) y las caras interna y externa (3.8% cada una) completan el proceso con contribuciones menores.



| | Time(h:m:s) | Time(%) | Material(g) |
|---------------------|-------------|---------|-------------|
| Customizar | | | |
| Relleno | 0:39:21 | 8.3 % | 15.8 g |
| Relleno Sólido | 4:05:15 | 51.9 % | 54.2 g |
| Planchado | 0:00:00 | 0.0 % | |
| Superfi...uperior | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Superficie inferior | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Relleno huecos | 0:00:01 | 0.0 % | 0.0 g |
| Puente | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Cara interna | 0:17:47 | 3.8 % | 6.4 g |
| Cara externa | 0:18:05 | 3.8 % | 6.4 g |
| Soporte | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Soporte denso | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Falda / Borde | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Balsa | 1:34:43 | 20.0 % | 41.0 g |
| Limpiar la pared | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Limpiar torre | 0:00:00 | 0.0 % | 0.0 g |
| Avance | 0:54:55 | 11.6 % | |
| Retracción | 0:02:37 | 0.6 % | |
| Costuras | | | |

Figura 111. Datos tiempo impresión.

Como se aprecia en la Figura 112 y en la Figura 113, la impresión 3D del Mosaico de pájaros del Faro de Torrox ha permitido materializar con éxito las dos variantes diseñadas: el modelo de perfil y la versión maciza. Ambas variantes, impresas en PLA rojo con los parámetros descritos anteriormente, muestran una fidelidad

notable a los detalles geométricos originales. La ausencia de deformaciones y la precisión en los bordes validan la eficacia de la configuración empleada, particularmente el uso de la balsa de impresión para garantizar la adhesión inicial. Este apartado demuestra que la tecnología FFF, cuando se ajusta adecuadamente, es capaz de producir recursos táctiles funcionales y duraderos, cerrando así el ciclo desde el diseño digital hasta el objeto físico accesible. Los resultados obtenidos servirán como base para la evaluación por usuarios en futuras etapas del proyecto.



Figura 112. Mosaico macizo.



Figura 113. Mosaico perfil.



6. Evaluación de los modelos. Encuesta y resultados.

Con el objetivo de evaluar la eficacia y usabilidad de los recursos táctiles desarrollados, se diseñó y realizó una encuesta presencial a 15 personas con discapacidad visual afiliadas a la ONCE Málaga. El estudio buscaba validar no solo la calidad general del sistema, sino también comparar cuatro variables claves implementadas en diferentes cuadros. Se evaluó los efectos de la variación de altura en los relieves, la comparación entre modelos de perfil y macizos, la aplicación de texturas heráldicas específicas para mejorar el reconocimiento de elementos simbólicos, y por último se evaluó el uso de distintos materiales de impresión para evaluar su influencia.

6.1. Encuesta

En este apartado se presenta el diseño detallado de la encuesta realizada para validar los recursos táctiles desarrollados. El cuestionario se ha estructurado en varias secciones organizadas, comenzando por tomar datos generales sobre los participantes, después se evalúan los diferentes modelos, para finalizar con una valoración global del sistema. Esta división permite recopilar información tanto contextual como específica sobre la usabilidad y eficacia de los modelos.

La sección inicial de la encuesta recoge datos esenciales para caracterizar a los participantes (Figura 114). Se incluyen preguntas sobre edad, género y nivel de visión, con opciones como ceguera total, baja visión u otras condiciones, así como el momento de pérdida visual (nacimiento, infancia, adolescencia o adultez). Estos datos permiten contextualizar las respuestas posteriores según las experiencias individuales. Además, esta parte incorpora dos preguntas de valoración en una escala del 1 al 5 (siendo 1 muy poco y 5 mucho). La primera pregunta evalúa el grado de atención al tacto para identificar detalles, y la segunda mide el interés personal por la pintura y el arte. Esta información base resulta crucial para interpretar adecuadamente las preferencias y percepciones expresadas en las siguientes secciones de la encuesta.

| Información General | | | | | |
|---|---|----------|---|----------|----------|
| Edad: | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: | | | Edad en la que perdió la capacidad visual: | | |
| <input type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | | <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | |

Figura 114. Información General, Encuesta.

La valoración de cada obra adaptada sigue una estructura sistemática diseñada para analizar comparativamente las diferentes variables estudiadas. Para cada cuadro, se presentan dos versiones táctiles alternativas (por ejemplo, perfil frente a macizo), evaluándose siempre bajo el mismo esquema. En la primera fase, se entrega al participante la versión A del modelo y se le solicita que lo explore táctilmente, describiendo al entrevistador qué elementos ha identificado y qué cree que representa la obra. A continuación, debe valorar del 1 al 5 su grado de comprensión bajo la pregunta: ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? La segunda fase repite este proceso con la versión B del mismo cuadro, valorando de nuevo del 1 al 5 la comprensión.

En la tercera fase, se proporciona una audioguía (Anexo V) específicamente diseñada para la encuesta, la cual explica el contexto de la obra, sus elementos clave y técnicas recomendadas para su exploración táctil. El participante recibe ambas versiones físicas del modelo y puede elegir libremente cuál usar mientras escucha la narración. Finalmente, se plantea una pregunta final adaptada a la variable estudiada en ese cuadro concreto, cerrando así un ciclo de evaluación que combina percepción autónoma, percepción guiada y comparación crítica.

El primer cuadro evaluado ha sido la Carpeta de la Tauromaquia (Figura 115). La variable estudiada en este modelo ha sido la variación de altura. Para la encuesta se generaron dos modelos, un modelo con todas las figuras a un mismo nivel de altura, y una segunda versión donde las figuras tienen variación de altura en función de la posición que ocupan en el espacio del cuadro. En el primer paso se le ofrece al participante la versión con todas las figuras a un mismo nivel, y en el segundo la versión con variación de altura en las figuras. Para la última pregunta del paso 3, a los encuestados se les pregunta si bajo su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entender mejor la obra. La audioguía utilizada para esta obra se puede encontrar transcrita en el Anexo V.

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |

Figura 115. Cuadro 1: Carpeta de la Tauromaquia, Encuesta.

La segunda obra encuestada ha sido Mosaico de pájaros del Faro de Torrox (Figura 116). La variable estudiada en este modelo ha sido la diferencia en la percepción háptica en modelos con siluetas macizas o solo delineadas por un perfil. Para la encuesta se generaron dos modelos, un modelo con todas las figuras rellenas (Figura 112), y una segunda versión donde las figuras estaban delineadas por su perfil únicamente (Figura 113). En el primer paso se le ofrece al participante la versión con las figuras macizas, para en el segundo paso ofrecer la versión en perfil. Para la última pregunta del paso 3, a los encuestados se les pregunta si bajo su opinión, la versión con las figuras delineadas por el perfil ayuda a entender mejor la obra. La audioguía utilizada para esta obra se puede encontrar transcrita en el Anexo V.

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |

Figura 116. Cuadro 2: Mosaico de Pájaros del Faro de Torrox, Encuesta.

La tercera obra evaluada ha sido Y tenía corazón (Figura 117). La variable estudiada en este modelo ha sido la textura heráldica. Para la encuesta se generaron dos modelos, un modelo con las figuras texturizadas (Figura 105), y una segunda versión donde las figuras se situaban a una misma altura y carecían de textura. En el primer paso se le ofrece al participante la versión sin las texturas, para en el segundo paso ofrecer la versión con textura. Para la última pregunta del paso 3, a los encuestados se les pregunta si bajo su opinión, consideran que la textura ayuda a entender mejor la obra. La audioguía utilizada para esta obra se puede encontrar transcrita en el Anexo V.

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |

Figura 117. Cuadro 3: Y tenía corazón, Encuesta.

La cuarta obra evaluada ha sido Autorretrato (Figura 118). La variable estudiada en este modelo ha sido el material utilizado (ver Tabla 1). Para la encuesta se generaron dos modelos, un modelo impreso en PLA, y una segunda versión impresa en TPU. En el primer paso se le ofrece al participante la versión impresa en PLA, para en el segundo paso ofrecer la versión impresa en TPU. Para la última pregunta del paso 3, a los encuestados se les pregunta si bajo su opinión, consideran que el material ayuda a entender mejor la obra. La audioguía utilizada para esta obra se puede encontrar transcrita en el Anexo V.

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</i> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| <i>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</i> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| <i>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</i> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | |

Figura 118. Cuadro 4: Autorretrato, Encuesta.

La última parte del cuestionario se ha centrado en obtener una perspectiva global sobre la efectividad del sistema y su potencial aplicabilidad. En primer lugar, se solicitó a los participantes que jerarquizaran las cuatro características principales evaluadas en los cuadros (variación de altura, perfil- macizo, texturas heráldicas y materiales), ordenándolas según su capacidad para facilitar la comprensión táctil de las obras. Esta pregunta permitió identificar qué elementos resultaban más intuitivos y accesibles desde la perspectiva de usuarios con discapacidad visual, proporcionando datos valiosos para priorizar características en futuros desarrollos. Además, se abrió un espacio para recoger propuestas de mejora, donde los participantes pudieron compartir observaciones sobre aspectos a optimizar.

Para concluir, se incluyó un bloque de cuatro preguntas de valoración cuantitativa, todas ellas utilizando una escala del 1 al 5 (siendo 1 muy poco y 5 mucho). La primera pregunta se centra sobre el interés personal para que existieran más



modelos como los evaluados, midiendo así el grado de aceptación general del sistema. La segunda cuestionaba si estos modelos pudieran fomentar el interés por las obras de arte entre personas con discapacidad visual, explorando su potencial educativo y cultural. La tercera pregunta evaluaba si la inclusión de estos recursos en museos podría aumentar el número de visitantes. Finalmente, la última pregunta pide una valoración global del proyecto, sintetizando todas las experiencias previas en una puntuación integral que reflejara tanto la calidad técnica de los prototipos como su utilidad percibida.

Este apartado ha permitido recopilar no solo datos comparables estadísticamente, sino también percepciones cualitativas y sugerencias concretas, ofreciendo así una visión completa sobre los aspectos a mantener, mejorar o reconsiderar en futuras iteraciones del proyecto.

| Valoración final | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|--|--------------------|--|---------|---|------------------|---|---|---|
| <i>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</i> | | | | | | | | | | |
| | Variación de altura | | Perfilado o macizo | | Textura | | Tipo de material | | | |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | | | | | | |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | | | | | | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | | | | | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | | | | | | |

Figura 119. Valoración final, Encuesta.

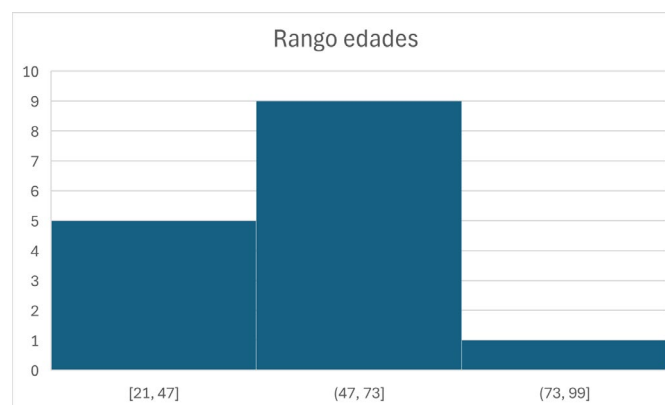


6.2. Resultados

En este apartado se estudiarán los resultados obtenidos en la encuesta realizada. El análisis de los datos obtenidos en la encuesta ha revelado información valiosa sobre la efectividad de los diferentes enfoques táctiles evaluados. Los participantes pertenecientes a la ONCE Málaga, han proporcionado respuestas que han permitido identificar patrones claros en cuanto a preferencias y comprensión de las obras adaptadas. Toda la información recogida se encuentra disponible para su consulta en el Anexo VI, donde se incluyen las 15 hojas originales de respuestas correspondientes a cada participante. Estos datos han sido posteriormente organizados y transcritos en una hoja de cálculo, que puede consultarse en el Anexo VII, facilitando así su tratamiento estadístico y la extracción de tendencias generales. La sistematización de esta información en formato digital ha permitido realizar comparaciones cuantitativas y cualitativas entre las diferentes variables estudiadas, asegurando una base sólida para las conclusiones presentadas en este trabajo. A continuación, se estudiarán los datos obtenidos en cada fase de la encuesta.

6.2.1 Análisis de los datos de información general

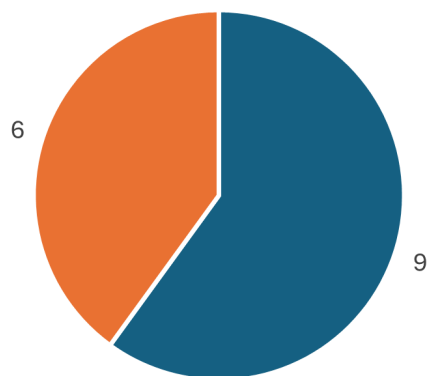
La muestra estudiada (N=15) presenta una notable heterogeneidad en edad, género, nivel de visión y momento de pérdida visual. La distribución abarca desde jóvenes (21 años) hasta mayores de 80 años (82 años), con una concentración en personas de alrededor de los sesenta años (media \approx 53 años) (Gráfica 1).



Gráfica 1. Rango de edades.

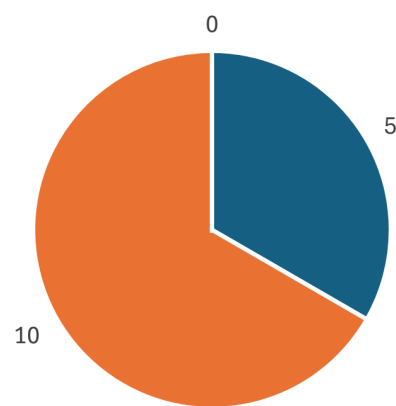
En cuanto al género (Gráfica 2 a), se ha intentado evaluar a la misma cantidad de personas en función del género, siendo el 60% mujeres (total 9) y el 40% hombres (total 6). Respecto a la capacidad visual (Gráfica 2 b), dos tercios de los participantes presentan ceguera total, 10 casos, mientras el tercio restante (5 casos) conserva baja visión. No ha habido ningún otro caso de visión a especificar.

Población en función del género



■ Mujer ■ Hombre

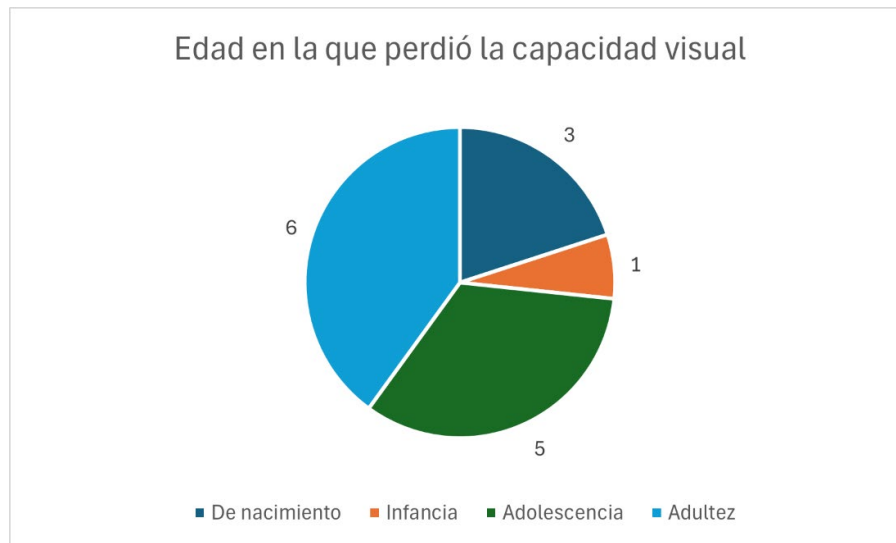
Tipo de visión



■ Baja visión ■ Ceguera Total ■ Otro

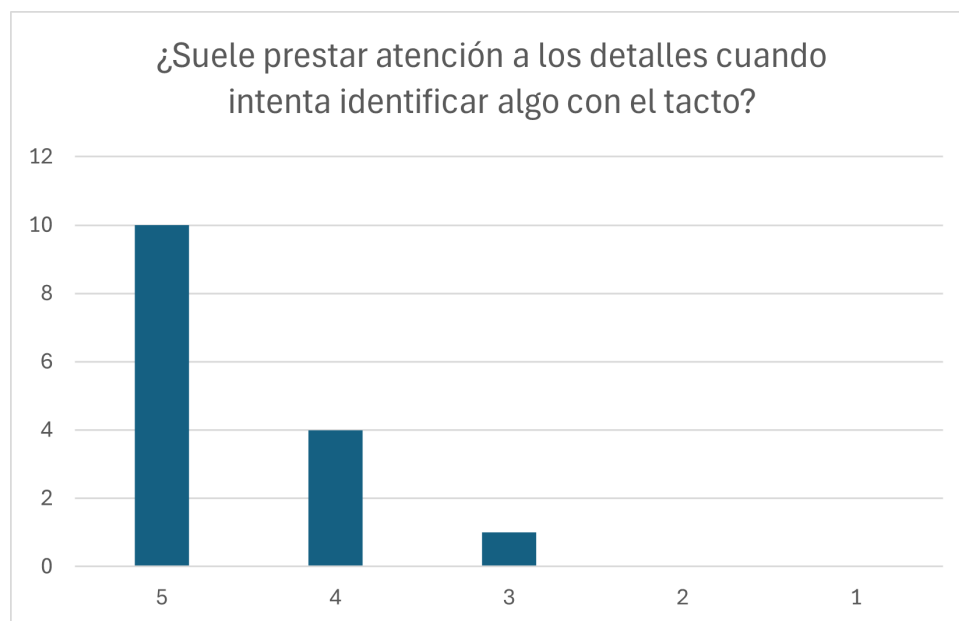
Gráfica 2. a) Población en función del género, b) Tipo de visión.

El momento de pérdida visual revela un patrón significativo (Gráfica 3): solo el 20% (3 individuos) son congénitos ("de nacimiento"), contrastando con el 80% (12 casos) que perdieron la visión posteriormente. Entre estos últimos, solo un caso la ha perdido en la infancia (0 a 12 años), en la adolescencia la perdió un total de 5 personas, seguido por la adultez con 6 casos. Esta distribución sugiere que la mayoría desarrolló memoria visual antes de la pérdida, factor que podría influir en la percepción háptica. La coexistencia de perfiles visuales diversos (baja visión/ceguera total) junto a diferentes edades a las que se ha perdido visión, configura una muestra representativa heterogénea.



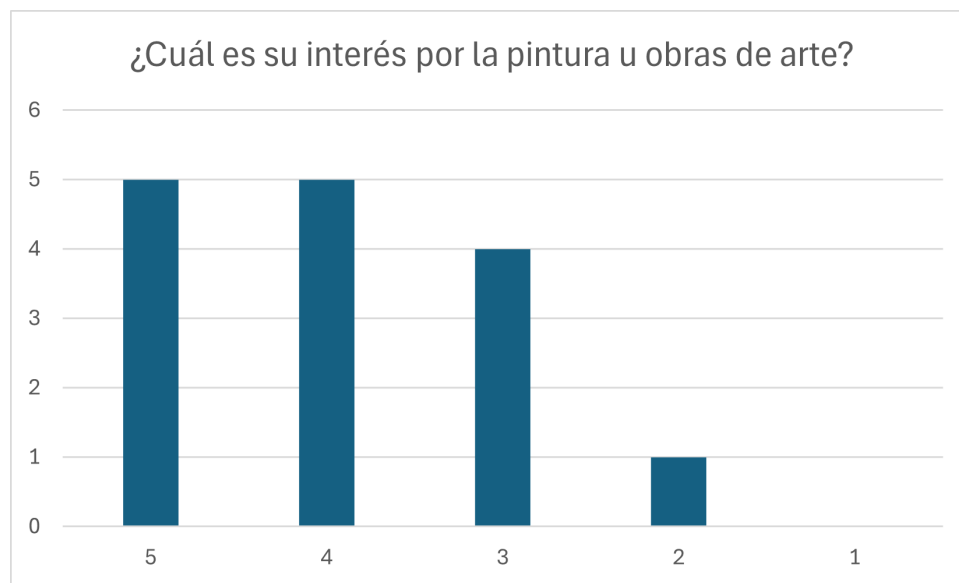
Gráfica 3. Edad en la que perdió la capacidad visual.

En la primera pregunta de información general (Figura 114); ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto?, se observa una marcada tendencia hacia valores elevados: diez participantes asignaron la máxima puntuación (5), cuatro otorgaron un 4, y solo un individuo reportó un nivel moderado (3). Esta distribución evidencia una elevada capacidad de interpretación háptica en la mayoría de la muestra, sugiriendo que los sujetos procesan información táctil con precisión.



Gráfica 4. ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto?

En contraste con la primera pregunta, el interés por la pintura u obras de arte no presenta valores tan elevados. Si bien la mayoría de las valoraciones (dos tercios) han sido altas, siendo cinco respuestas un 4 y cinco un 5, emergen puntuaciones inferiores donde cuatro participantes indicaron interés moderado (3) y uno reportó un nivel bajo (2).

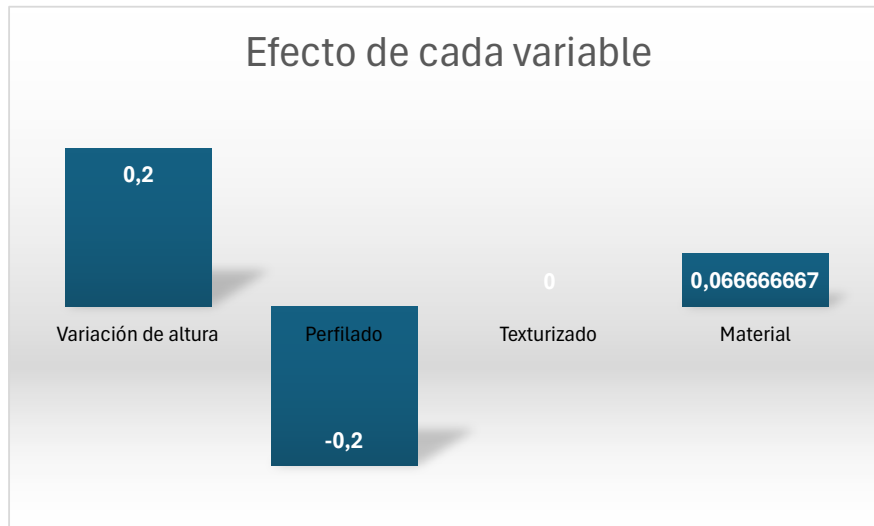


Gráfica 5. ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte?

6.2.2 Resultados de las variables en función de toda la población

En este apartado se estudiará los resultados obtenidos de las cuatro variables respecto a la totalidad de la muestra (N=15). En un primer análisis, se ha estudiado el efecto de cada variable en función de los dos modelos que existen por cuadro. Para ello se ha obtenido el valor promedio de cada modelo y se ha calculado si existe mejora con la variable (Gráfica 6). La modificación de altura ha demostrado un efecto positivo discreto con un incremento promedio de +0,20 puntos en la interpretabilidad. El promedio obtenido de la versión de la Carpeta de la Tauromaquia sin variación de altura es de 2,6, y el promedio obtenido del modelo con la variación de altura es de 2,8. Contrariamente, la alteración del perfil ha generado un efecto negativo, reduciendo la comprensión táctil en -0,20 puntos (promedio del macizo: 2,67, promedio del perfil: 2,47). La variable textura ha mostrado neutralidad absoluta, con una diferencia de 0 puntos, indicando que su

presencia o ausencia no modificó la percepción (1,93 en ambos casos). Finalmente, la variación de material ha mostrado una práctica neutralidad aumentando en +0,06 puntos la interpretabilidad, mostrando que el cambio de material no afecta en la interpretabilidad (PLA: 3, TPU: 3,06).

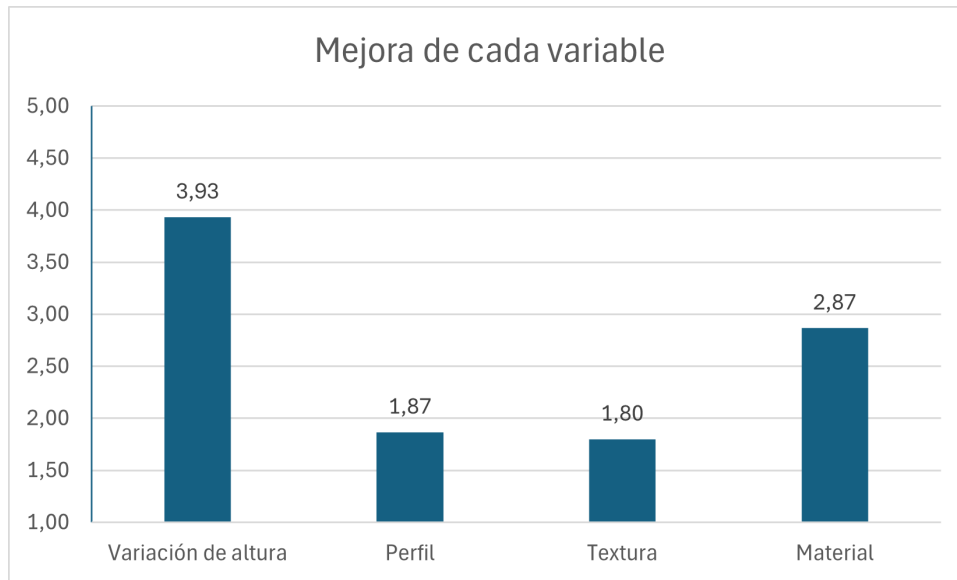


Gráfica 6. Efecto de cada variable.

Estos hallazgos sugieren que no todas las modificaciones morfológicas mejoran la accesibilidad táctil, y que la eficacia depende críticamente del tipo de variable implementada. La superioridad de la variación de alturas frente a otras alteraciones podría relacionarse con su capacidad para generar contrastes más discernibles, facilitando la construcción de modelos mentales espaciales.

Los resultados cuantitativos del efecto de cada variable (Gráfica 6) encuentran un sólido respaldo mediante la evaluación de la pregunta del paso 3; En su opinión, ¿considera que la variable estudiada ayuda a entender mejor la obra? (Gráfica 7) Para la variación de altura, la valoración media de 3,93 (próxima a 4, "ayuda bastante") corrobora la mejora objetiva registrada (+0.20), confirmando que los usuarios perciben esta variable como un facilitador significativo en la interpretación táctil. Por otro lado, los resultados muestran coherencia entre ambas métricas para el cambio de material. La mejora objetiva fue mínima (+0.06) y la valoración subjetiva se situó en 2.87 ("indiferente", 3), confirmando que esta variable no impacta significativamente en la interpretación táctil. Esta consistencia refuerza que, aunque el cambio de material no perjudica la comprensión, tampoco la mejora de forma relevante según la percepción de los usuarios. Para las variables de perfil y textura, la coherencia es absoluta. Ambas reciben valoraciones de 1,87 y 1,80

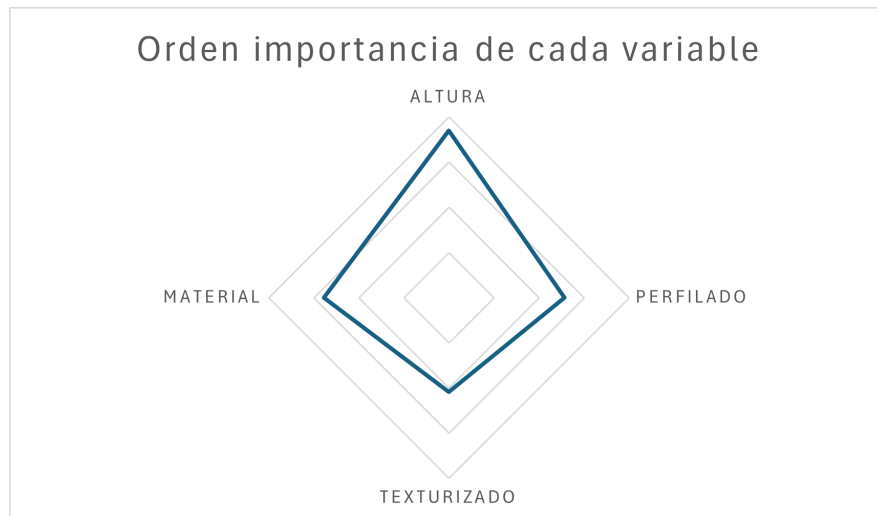
respectivamente, ubicándose en "ayuda poco" (2), lo que concuerda con su impacto nulo o negativo en los datos objetivos (-0.20 y 0.00).



Gráfica 7. Mejora de cada variable, toda la población.

Los resultados de preferencia por los participantes en la Gráfica 8. Orden de importancia de cada variable, vienen a reforzar y confirmar los resultados obtenidos en las evaluaciones previas. Al analizar el orden de importancia asignado a cada variable, donde la primera posición recibía un punto y la cuarta cuatro puntos, se observa un claro patrón que corrobora las conclusiones anteriores. La variación de altura emergió como la característica más valorada, con una puntuación total notablemente inferior (27 puntos) respecto a las demás variables, lo que evidencia su reconocimiento como el factor más determinante para mejorar la interpretación táctil.

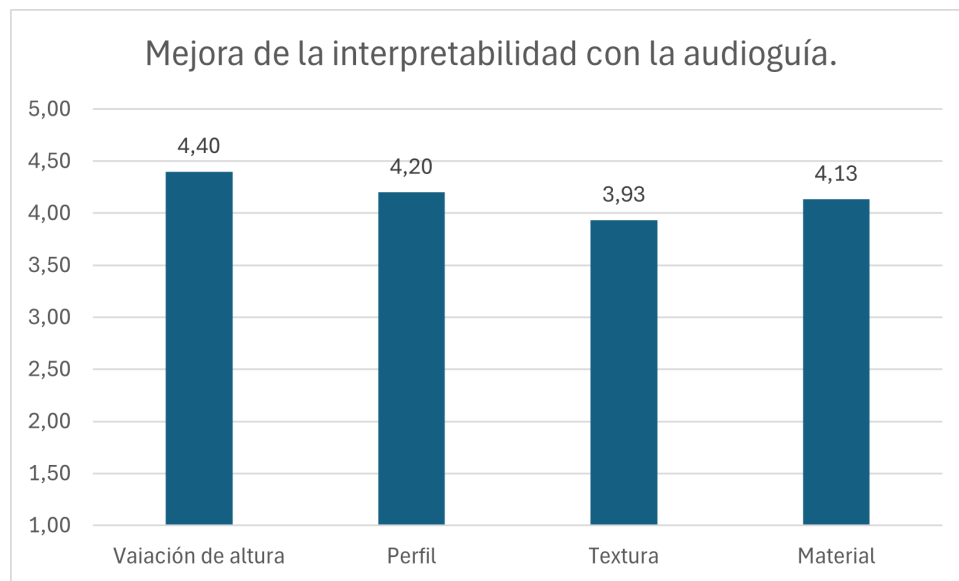
Esta jerarquía de preferencias muestra una coherencia significativa con los datos cuantitativos y cualitativos recogidos previamente. El perfil (39 puntos) y el material (36 puntos) ocupan posiciones intermedias, reflejando su menor impacto en la experiencia de usuario, lo que concuerda perfectamente con los resultados obtenidos en las fases anteriores de evaluación. Por último, la textura, con la puntuación más elevada (48 puntos), se confirma como la variable menos relevante, ratificando así su escasa utilidad práctica demostrado tanto con las mediciones objetivas como la percepción subjetiva de los participantes.



Gráfica 8. Orden de importancia de cada variable

La convergencia de estos tres resultados proporciona una base sólida para establecer recomendaciones fundamentadas sobre el diseño de representaciones táctiles. Los resultados demuestran de manera consistente que la variación de altura constituye el elemento más eficaz para mejorar la accesibilidad háptica, mientras que otras modificaciones muestran efectos limitados o incluso contraproducentes, particularmente en el caso de la textura.

Los datos revelan de manera concluyente que el uso de audioguía mejora significativamente la interpretación de las representaciones táctiles en todos los casos analizados (Gráfica 9). Las puntuaciones, notablemente altas en todas las variables (desde 3,93 para textura hasta 4,40 en variación de altura), demuestran que este recurso auditivo permite a los usuarios comprender los cuadros con mucha mayor precisión, independientemente de las características táctiles específicas de cada obra. Estos resultados confirman que la audioguía no solo complementa, sino que potencia sustancialmente la interpretación háptica, posicionándose como un elemento indispensable para garantizar la accesibilidad efectiva en museos y espacios culturales.



Gráfica 9. Mejora de la interpretabilidad con la audioguía.

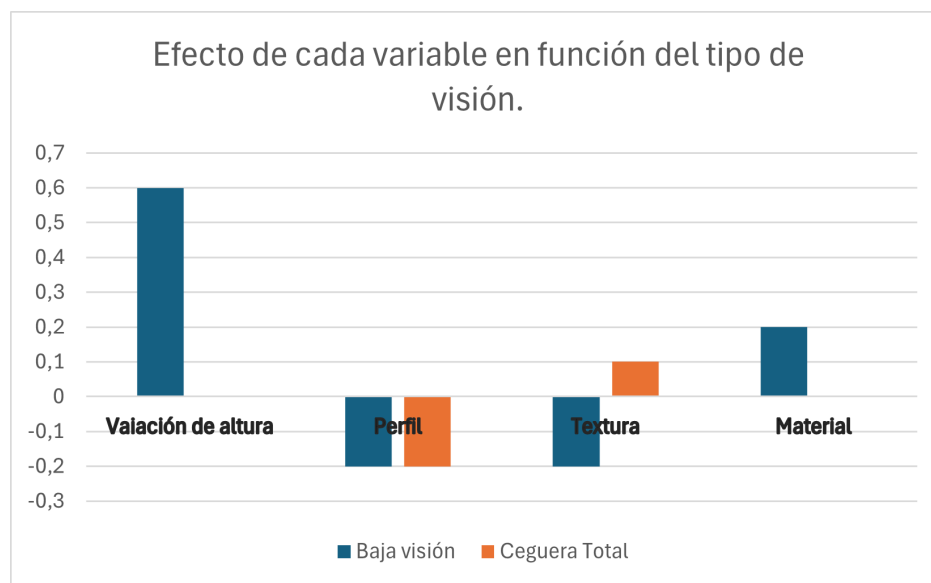
6.2.3 Resultados de las variables en función del tipo de visión

En este apartado se ha examinado el impacto de las variables táctiles diferenciando entre participantes con baja visión ($n=5$) y aquellos con ceguera total ($n=10$). Esta segmentación permite identificar cómo cada modificación afecta de manera distinta según el grado de visión residual, ofreciendo así nuevas perspectivas para el diseño de recursos accesibles (Gráfica 10).

Los resultados muestran patrones claramente diferenciados entre ambos grupos. En el caso de la variación de altura, se observa una mejora marcada de 0,6 puntos para usuarios con baja visión, mientras que en personas con ceguera total no se registra ningún beneficio (0,00). Esta divergencia crea una hipótesis donde se plantea que las variaciones de altura son más útiles cuando existe cierta capacidad visual residual, probablemente debido a que facilitan la creación de referencias espaciales.

Respecto al perfil, los datos revelan un efecto ligeramente negativo pero consistente en ambos grupos (-0,2 puntos en ambos), lo que sugiere que esta variable resulta ineficaz indistintamente del grado de visión. La textura, por su parte, muestra resultados dispares: mientras empeora ligeramente la interpretación en

baja visión (-0,2), tiene un efecto casi neutro en ceguera total (0,1). Finalmente, el cambio de material presenta un impacto positivo, aunque modesto en baja visión (0,2) y nulo en ceguera total (0,0), lo que indica que su utilidad depende nuevamente de la capacidad visual del usuario. Esta diferencia también puede deberse a los colores de los modelos. Mientras el modelo en PLA estaba fabricado en color rojo, el modelo en TPU está en amarillo, generando posiblemente una mejora en el contraste con la versión en amarillo frente a la roja en los individuos de baja visión.



Gráfica 10. Efecto de cada variable en función del tipo de visión.

Al contrastar los datos globales obtenidos en el apartado anterior con los segmentados por tipo de discapacidad visual en este apartado, se revelan matices importantes sobre la efectividad real de cada variable (Tabla 3). En el caso de la variación de altura, el resultado global (0,2) enmascara una realidad diferente: mientras los usuarios con baja visión experimentan una mejora notable (0,6), aquellos con ceguera total no perciben beneficio alguno (0). Esto explica por qué el promedio general resulta modesto, ya que en realidad solo un segmento de la población (los de baja visión) está contribuyendo positivamente a este resultado.

La situación del perfil muestra coherencia ya que tanto en el análisis global (-0,2) como en ambos grupos por separado (-0,2 en cada caso) se confirma su efecto negativo consistente. Esta uniformidad en los resultados refuerza la conclusión de

que se trata de una modificación que, lejos de ayudar, dificulta la interpretación táctil con independencia del grado de visión del usuario.

Para la textura, el dato global (0) resulta de compensar el efecto ligeramente negativo en baja visión (-0,2) con la mínima mejora en ceguera total (0,1). Por otro lado, el material presenta un promedio general de +0,06 el cual surge de la mejora en baja visión (0,2), pero disminuye la media mediante la ineficacia en personas con ceguera (0). Esto puede ocurrir por la hipótesis de contraste de color anteriormente descrita.

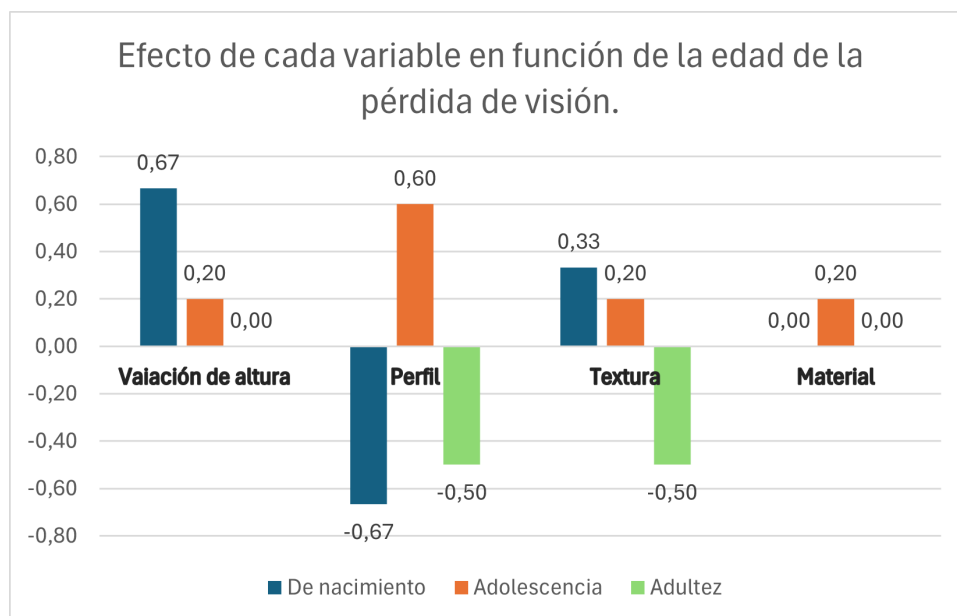
Tabla 3. Efecto de cada variable en función del tipo de visión frente a toda la población muestreada.

| | Baja visión | Ceguera total | Todos |
|---------------------|-------------|---------------|-------|
| Variación de altura | 0,6 | 0 | 0,2 |
| Perfil | -0,2 | -0,2 | -0,2 |
| Textura | -0,2 | 0,1 | 0 |
| Material | 0,2 | 0 | 0,06 |

6.2.4 Resultados de las variables en función de la edad de la pérdida de visión

Una vez visto que los datos globales están altamente influidos por el tipo de visión, se ha de estudiar si los efectos de las variables están influidos por otros motivos. Es por ello que en este apartado se va a estudiar el efecto de las variables en función de la edad de la pérdida de visión. Este nuevo enfoque busca determinar si las personas que perdieron la visión a mayor edad muestran resultados diferentes en la interpretación, posiblemente debido a la conservación de referentes visuales más recientes en su memoria. Al segmentar la muestra según este criterio; pérdida desde el nacimiento, en infancia, adolescencia o adultez, se podrá evaluar si la experiencia visual acumulada condiciona la capacidad de interpretación, aportando así una perspectiva complementaria a los análisis previos por tipo de visión actual. La población estudiada se divide en 3 personas que han perdido la visión desde el nacimiento. Una única persona la ha perdido en la infancia (0-12 años), por lo que al ser una muestra tan pequeña no se va a tener en consideración para este estudio. Continuando por adolescencia (12-17 años), se ha discernido un total de 5 personas, y en la adultez un total de 6.

Los datos promedios de cada segmento muestran valores muy dispares. Como se puede observar en la Gráfica 11, en muchas ocasiones los valores dan resultados contrarios en función de la edad de la pérdida, lo cual imposibilita sacar conclusiones claras. El único efecto medianamente homogéneo se puede encontrar en la variable material, donde tanto las personas que perdieron la visión en el nacimiento, como las que la han perdido en la adultez, comparten una misma indiferencia hacia esta variable (0). Sin embargo, las personas que han perdido la visión en la adolescencia presentan una mejora de 0,20 puntos.



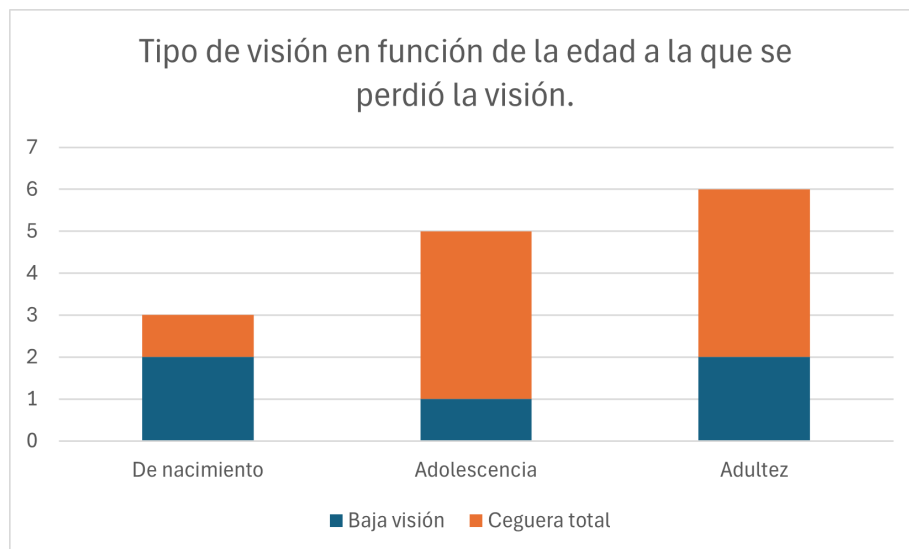
Gráfica 11. Efecto de cada variable en función de la edad de la pérdida de visión.

Cuando esta disparidad de datos es comparada con el promedio global (Tabla 4), se refuerza la hipótesis por la cual se determina que la edad en la que se ha perdido la visión no es influyente. La Tabla 4 posee una distribución de colores para visualizar de manera rápida y sencilla los datos. Con esto se puede ver como no existe ningún rango de edad que se asemeje al efecto conseguido en el promedio global. Esta diferencia respecto a la homogeneidad encontrada en la segmentación por tipo de visión esclarece la nula importancia de la edad de la pérdida de visión.

Tabla 4. Efecto de cada variable en función de la edad de pérdida de visión frente a toda la población muestreada.

| | De nacimiento | Adolescencia | Adulthood | Total |
|---------------------|---------------|--------------|-----------|-------|
| Variación de altura | 0,67 | 0,20 | 0,00 | 0,20 |
| Perfil | -0,67 | 0,60 | -0,50 | -0,20 |
| Textura | 0,33 | 0,20 | -0,50 | 0,00 |
| Material | 0,00 | 0,20 | 0,00 | 0,07 |

Como se puede apreciar en la Gráfica 12, los efectos de las variables en función de la edad de la pérdida de visión tienen que ver más con el tipo de visión. Esto se puede apreciar comparando la Tabla 4 con la Tabla 3, donde el efecto de variable la variable de variación de altura presenta un aumento de +0,67 en edad de pérdida, nacimiento, frente al +0,6 puntos de la baja visión. Esta relación se mantiene debido a que 2 de las 3 personas que han perdido la visión en el nacimiento, tienen baja visión.

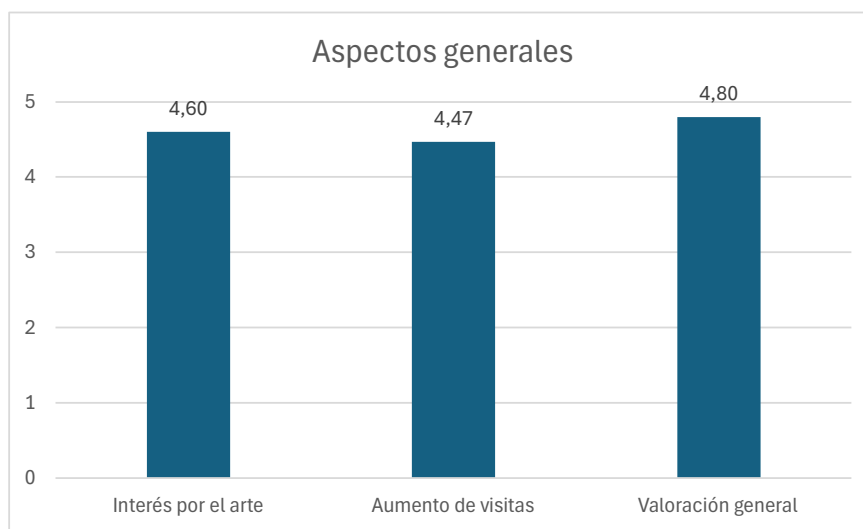


Gráfica 12. Tipo de visión en función de la edad a la que se perdió la visión.

6.2.5 Análisis de la valoración final

Los resultados demuestran un interés generalizado por la implementación de más modelos accesibles como los evaluados. De los 15 participantes, 13 otorgaron la máxima puntuación (5) y los 2 restantes un 4, lo que refleja una demanda clara de este tipo de adaptaciones.

Respecto al impacto potencial de estos modelos, los participantes confirmaron su utilidad en diferentes aspectos (Gráfica 13). Los encuestados consideran que estos modelos fomentarían el interés por el arte (4,6/5), aumentarían las visitas a museos (4,47/5) y, en general, valoraron la iniciativa con un 4,8 sobre 5. Estas puntuaciones excepcionales, cercanas al máximo, respaldan que las adaptaciones táctiles no solo mejoran la accesibilidad, sino que podrían dinamizar la inclusión cultural, atrayendo a nuevos públicos y enriqueciendo la experiencia museística para todos.



Gráfica 13. Aspectos generales.



7. Conclusiones

7.1. Conclusión

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado ha sido contribuir al desarrollo de herramientas para la adaptación de obras museísticas mediante fabricación aditiva. En este sentido, se ha desarrollado una metodología digital para la segmentación de obras y la generación de modelos digitales aptos para ser fabricados mediante FFF.

La metodología final desarrollada consiste en un flujo de trabajo digitalizado que combina la segmentación mediante inteligencia artificial (basado en el modelo SAM, propiedad de Meta) y un refinamiento manual mediante calco de imagen en Illustrator (propiedad de Adobe). Aunque el código desarrollado (inteligencia artificial) ha demostrado gran capacidad para identificar elementos clave, su implementación actual aún requiere intervención manual para corregir segmentaciones erróneas, por lo que es necesario simplificar algunos de los contornos mediante herramientas vectoriales. La metodología final permite transformar obras complejas en formas simplificadas que preservan únicamente las figuras clave, eliminando elementos distractorios y facilitando su interpretación háptica. Los diseños resultantes son convertidos en modelos digitales mediante software 3D para su posterior fabricación en FFF.

En el trabajo se han estudiado otras formas de procesar las obras. Por un lado, se ha intentado aproximar a través del calco de imagen mediante colores. Este método ha demostrado viabilidad únicamente en obras de extrema simplicidad cromática y geométrica (Figura 57), fracasando sistemáticamente en piezas con paletas cromáticas complejas o superposiciones de figuras, como en el Autorretrato o el Mosaico de Torrox (Figura 56, Figura 45 y Figura 56). Su inflexibilidad ante la variedad del patrimonio pictórico ha descartado esta aproximación.

Por otro lado, el calco monocromático simple solo ha funcionado si la obra presenta condiciones ideales para su correcta segmentación (alto contraste, trazos definidos y ausencia de fondos texturizados). Si bien ha permitido crear vectorizaciones rápidas en casos muy específicos (Figura 60), la mayoría de las



obras probadas incumplían estos requisitos iniciales, evitando el procesamiento de estas. Esta necesidad ha llevado a probar el calco monocromático pero esta vez convirtiendo obras policromáticas a monocromáticas de alto contraste. Esta técnica ha procesado con éxito obras inicialmente problemáticas (Autorretrato, Figura 63), así como piezas sin trazos negros (El sueño, Figura 66) o con complejidad tonal (Guernica, Figura 70), convirtiéndose en la principal metodología para la segmentación mediante herramientas vectoriales manuales.

Al mismo tiempo, se ha intentado procesar las imágenes mediante el empleo algoritmos de delineación de contornos basados en Python para conseguir una automatización del sistema. Para este método se ha probado dos aproximaciones; una mediante simplificación angular y otra mediante relleno de huecos, pero ninguna ha logrado resultados satisfactorios. La primera se equivoca al interpolar puntos no deseados, generando distorsiones, mientras la segunda aproximación ha producido bordes desproporcionados, desdibujando detalles esenciales de las obras. Solo en obras de simplicidad extrema se han obtenido resultados marginalmente útiles, confirmando la inviabilidad de estos enfoques para la segmentación del patrimonio pictórico.

Para la validación del sistema se ha realizado un estudio con usuarios de la ONCE Málaga que, si bien cuenta con una muestra limitada (N=15) para extraer conclusiones estadísticamente robustas, revela correlaciones significativas entre las variables evaluadas, dotando de cierta validez al sistema. Los usuarios han confirmado el potencial y la usabilidad del sistema. Además, los resultados destacan que:

- La variación de altura en los relieves es crucial para personas con baja visión, ya que el contraste complementa su percepción visual residual.
- El contraste cromático visto en los diferentes materiales utilizados sugiere que esta propiedad puede ayudar a usuarios con baja visión (aunque irrelevante para ceguera total) ya que son capaces de distinguir mejor las siluetas.
- Las variables estudiadas como texturas o perfiles/macizos han mostrado un menor impacto en la comprensión frente a la altura y el color.
- Las audioguías han resultado ser imprescindibles. Los resultados muestran que la totalidad de los participantes consideran una mejora de la interpretabilidad gracias a ellas. Las audioguías han resultado ser



necesarias para contextualizar la exploración táctil, sugiriendo que el acceso al arte requiere de un enfoque multisensorial para estas personas.

A pesar de la limitación muestral, la encuesta ha revelado consensos significativos. El 93% ha valorado muy positivamente la iniciativa, el 87% considera que esta iniciativa fomentaría el interés por el arte, y el 80% ha afirmado que aumentaría las visitas a museos en caso de ser implementado este sistema. A pesar de las buenas valoraciones del sistema desarrollado, es preciso seguir desarrollando la metodología para solventar los problemas presentes, y que en un futuro este trabajo sirva como base para sistemas implementados en museos y centros educativos.

7.2. Líneas futuras de investigación

Este trabajo sienta las bases para el proyecto Artacto, una propuesta de investigación del departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y Fabricación, Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación. El proyecto pretende profundizar en la optimización y aplicación práctica de este sistema (Anexo VIII). Uno de los aspectos centrales del proyecto será el desarrollo de un software especializado para la detección automática de contornos significativos en obras pictóricas. Esta herramienta, será distribuida libremente bajo licencia MIT a través del grupo iFAB. Este programa permitirá a museos, centros educativos y entidades culturales generar recursos táctiles sin depender de soluciones comerciales cerradas o intervención manual intensiva.

Paralelamente, se explorarán otras vías de innovación:

- Uso de diferentes tecnologías de fabricación como la estereolitografía para lograr mayores resoluciones superficiales, combinadas con modificaciones de texturas mediante grabado láser.
- Uso de materiales que integren pigmentos de alto contraste para usuarios con baja visión.
- Integración del sistema para el termoformado, donde el software generaría moldes maestros impresos en 3D, permitiendo producir réplicas táctiles en serie con plásticos duraderos, reduciendo sus costes actuales.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Otra línea posible de investigación puede ser la adaptación de patrones cerámicos, tales como vasijas griegas, azulejos andalusíes, geoglifos culturales (Nazca), etc. Ampliando así su impacto en la preservación y divulgación del patrimonio cultural no pictórico. Estas líneas, articuladas desde un enfoque interdisciplinar, convertirán la metodología aquí presentada en un estándar abierto y escalable para la accesibilidad universal en entornos culturales.



BIBLIOGRAFÍA

Chacón, J.M. *et al.* (2017) 'Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection', *Materials & Design*, 124, pp. 143–157. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>.

Cultura División de Estadística Estudios, M. (2024) *Encuesta de Hábitos y Prácticas Culturales en España 2024-2025. Avance de resultados 2024*. Available at: <https://cpage.mpr.gob.es>.

Cultural Policies (2025) *Bulgaria Cultural Participation and Consumption*. Available at: <https://www.culturalpolicies.net/> (Accessed: 7 June 2025).

Duncan F. Cameron (1971) 'The Museum, a Temple or the Forum', *The Brooklyn Museum* [Preprint].

EBU (2022) *EBU good practice for accessibility 2021-2022. Museums and cultural heritage sites*.

Francis, D. (2015) 'Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2013). The Museum Experience Revisited. Walnut Creek, CA: Left Coast Press. 416 pages. ISBN: 978-1-61132-044-2 (hbk), USD \$94.00; ISBN: 13-978-1611320459 (pbk), USD \$29.95; ISBN: 978-1-61132-562-1 (eBook), USD \$29.95.', *Visitor Studies*, 18(1), pp. 121–123. Available at: <https://doi.org/10.1080/10645578.2015.1016375>.

García, M. (2022) 'Percepción táctil en usuarios ciegos: Evaluación de maquetas en museos españoles.'

Gibson, I., Rosen, D. and Stucker, B. (2014) *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer New York. Available at: <https://books.google.es/books?id=OPGbBQAAQBAJ>.

Helmut K. Anheier *et al.* (2017) *Cultural Participation and Inclusive Societies. A thematic report based on the Indicator Framework on Culture and Democracy*.

ICOM (2025) *Nueva definición de museo*. Available at: <https://www.icom-ce.org/> (Accessed: 7 June 2025).



Kopar, M. and Yildiz, A. (2023) 'Experimental investigation of mechanical properties of PLA, ABS, and PETG 3-d printing materials using fused deposition modeling technique', *Materials Testing*, 65. Available at: <https://doi.org/10.1515/mt-2023-0202>.

Manfredini, F. (2020) *Cultural participation in Italy What are the factors influencing museums' attendance?*

Ministerio de cultura y Deporte, E. (2019) *Encuesta de Hábitos y Prácticas Culturales en España, Estadística 2018/19*. Available at: www.culturaydeporte.gob.es (Accessed: 7 June 2025).

Ministerio de Derechos Sociales, C. y A. 2030, E. (2023) '2º Plan Nacional de Accesibilidad Universal, España País Accesible'. Available at: <https://cpage.mpr.gob.es/> (Accessed: 7 June 2025).

Museo del Prado (2025) *Hoy Toca el Prado*. Available at: <https://www.museodelprado.es/> (Accessed: 7 June 2025).

Nora, P. (1984) *Les Lieux de mémoire*. Gallimard. Available at: www.trilce.com.uy.

ONCE (2024) *Annual Report on Adaptive Technologies in Spanish Museums*.

ONCE (2025) *Museo Tiflológico de Madrid*. Available at: <https://museo.once.es/> (Accessed: 7 June 2025).

Pan American Health Organization (2024) *Social Determinants of Health*. Available at: <https://www.paho.org/> (Accessed: 7 June 2025).

Pierre Bourdieu (1984) *Distinction. A social Critique of the Judgement of Taste*. Cambridge: Harvard University Press.

Rajpurohit, S. and Dave, H. (2018) 'Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part', *Rapid Prototyping Journal*, 24. Available at: <https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2017-0134>.

Redwood, B., Schöffner, F. and Garret, B. (2017) *The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications*. 3D Hubs B.V. Available at: <https://books.google.es/books?id=R3OvswEACAAJ>.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



United Nations (2006) *United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities*. Available at: <http://www.un.org/esa/socdev/enable/rights/convtexte.htm>.

United Nations (2022a) *Article 30 – Participation in cultural life, recreation, leisure and sport*. Available at: <https://www.un.org/> (Accessed: 7 June 2025).

United Nations (2006b) *Convention on the Rights of Persons with Disabilities and Optional Protocol*.

World Cities Culture Forum (2025) *World Cities Museums Data*. Available at: <https://worldcitiescultureforum.com/> (Accessed: 7 June 2025).

Zolfagharian, A. *et al.* (2016) *3D printed hydrogel soft actuators*. Available at: <https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848433>.



Anexo I

Delineación de objetos mediante ángulos

```
import cv2
import numpy as np
import math

# Función para calcular el ángulo entre tres puntos
def calcular_angulo(p1, p2, p3):
    v1 = np.array([p2[0] - p1[0], p2[1] - p1[1]])
    v2 = np.array([p3[0] - p2[0], p3[1] - p2[1]])

    # Producto punto
    dot_product = np.dot(v1, v2)

    # Magnitudes de los vectores
    mag_v1 = np.linalg.norm(v1)
    mag_v2 = np.linalg.norm(v2)

    # Evitar la división por cero
    if mag_v1 == 0 or mag_v2 == 0:
        return 0

    # Cálculo del ángulo en radianes
    cos_theta = dot_product / (mag_v1 * mag_v2)

    # Asegurarse de que el valor esté en el rango adecuado [-1, 1]
    cos_theta = np.clip(cos_theta, -1.0, 1.0)

    # Convertir a grados
    angulo = np.arccos(cos_theta) * (180.0 / np.pi)
```



```
return angulo

# Función para suavizar el contorno si el ángulo es mayor a un umbral
def suavizar_contorno(contorno, umbral_angulo):
    contorno_suavizado = [contorno[0][0]] # Inicializar con el primer
punto

    for i in range(1, len(contorno) - 1):
        p1 = contorno[i - 1][0]
        p2 = contorno[i][0]
        p3 = contorno[i + 1][0]

        angulo = calcular_angulo(p1, p2, p3)

        # Si el ángulo es menor que el umbral, mantener el punto
        if angulo < umbral_angulo:
            contorno_suavizado.append(p2)
        else:
            # Suavizar el punto interpolando o eliminando el punto intermedio
            # Aquí lo interpolamos
            p_suavizado = [(p1[0] + p3[0]) // 2, (p1[1] + p3[1]) // 2]
            contorno_suavizado.append(p_suavizado)

    contorno_suavizado.append(contorno[-1][0]) # Agregar el último punto

    return np.array(contorno_suavizado).reshape((-1, 1, 2))

# Cargar la imagen en escala de grises
imagen = cv2.imread('Las señoritas a2.jpg', 0)
```



```
# Aplicar un filtro de suavizado a la imagen
suavizada = cv2.GaussianBlur(imagen, (5, 5), 0)

# Convertir la imagen a binaria (blanco y negro)
_, umbralizada = cv2.threshold(suavizada, 50, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# Encontrar los contornos en la imagen
contornos, _ = cv2.findContours(umbralizada, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

# Crear una imagen en blanco para dibujar los contornos suavizados
imagen_contornos = np.zeros_like(imagen)

# Definir el umbral de ángulo
umbral_angulo = 50 # Umbral en grados

# Aumentar la distancia entre los puntos del contorno con cv2.approxPolyDP
epsilon_factor = 0.000001 # Factor de aproximación para reducir la cantidad
de puntos

# Simplificar y suavizar los contornos
for contorno in contornos:
    # Simplificar el contorno para reducir la cantidad de puntos
    epsilon = epsilon_factor * cv2.arcLength(contorno, True)
    contorno_simplificado = cv2.approxPolyDP(contorno, epsilon, True)

    # Suavizar el contorno basándonos en el ángulo
    contorno_suavizado = suavizar_contorno(contorno_simplificado,
umbral_angulo)

    # Dibujar el contorno suavizado
    cv2.drawContours(imagen_contornos, [contorno_suavizado], -1, (255), 2)
```



```
# Guardar la imagen con contornos suavizados
cv2.imwrite('Las señoritas a2 angulo.png', imagen_contornos)

# Mostrar la imagen con contornos suavizados
cv2.imshow('Contornos Suavizados', imagen_contornos)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```



Anexo II

Delineación de objetos mediante grosor

```
import cv2
import numpy as np

# Cargar la imagen en escala de grises
imagen = cv2.imread('Las señoritas a4.jpg', 0)

# Convertir la imagen a binaria (blanco y negro)
_, umbralizada = cv2.threshold(imagen, 127, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# Invertir la imagen para que los huecos sean blancos
umbralizada_invertida = cv2.bitwise_not(umbralizada)

# Encontrar los contornos en la imagen
contornos, _ = cv2.findContours(umbralizada_invertida, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

# Crear una máscara para rellenar los huecos
mascara = np.zeros_like(umbralizada)

# Rellenar los huecos encontrados
for contorno in contornos:
    cv2.drawContours(mascara, [contorno], 0, 255, -1) # Rellenar contorno

# Aplicar la transformación de distancia
distancia_transformada = cv2.distanceTransform(mascara, cv2.DIST_L2, 5)

# Definir el intervalo de distancias
```



```
distancia_minima = 0.5 # Rellenar solo huecos con una distancia mayor que
este valor
distancia_maxima = 2.0 # Rellenar solo huecos con una distancia menor que
este valor

# Crear una máscara basada en el intervalo de distancias
mascara_intervalo = np.zeros_like(mascara)
mascara_intervalo[(distancia_transformada >= distancia_minima) &
(distancia_transformada <= distancia_maxima)] = 255

# Aplicar dilatación solo a los huecos que están dentro del intervalo
kernel = np.ones((3, 3), np.uint8) # Ajustar el tamaño del kernel si es
necesario
mascara_dilatada = cv2.dilate(mascara_intervalo, kernel, iterations=1)

# Invertir nuevamente la máscara para mantener el fondo negro
mascara_invertida = cv2.bitwise_not(mascara_dilatada)

# Crear una imagen con 4 canales (RGBA), inicializada en cero (transparente)
alto, ancho = mascara_invertida.shape
imagen_rgba = np.zeros((alto, ancho, 4), dtype=np.uint8)

# Definir los colores
color_rojo = [0, 0, 255, 255] # Rojo en formato BGR + Alpha (transparente)

# Convertir el fondo blanco a transparente y la figura negra a roja
for i in range(alto):
    for j in range(ancho):
        if mascara_invertida[i, j] == 255: # Si el pixel es blanco (255
en escala de grises)
            imagen_rgba[i, j] = [0, 0, 0, 0] # Hacerlo transparente
        else:
            imagen_rgba[i, j] = color_rojo # Cambiar a rojo
```



```
# Guardar la imagen resultante en formato PNG con transparencia
cv2.imwrite('Las señoritas b4.png', imagen_rgba)

# Mostrar la imagen con fondo transparente
cv2.imshow('Imagen con Fondo Transparente', imagen_rgba)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```



Anexo III

Segmentación SAM

```
import cv2
import numpy as np
import svgwrite
from segment_anything import sam_model_registry, SamPredictor
import base64

# Define SVG creation function FIRST
def create_svg(output_path, original_image, mask):
    # Create SVG drawing
    dwg = svgwrite.Drawing(output_path,
                           size=(f"{original_image.shape[1]}px",
                                  f"{original_image.shape[0]}px"))

    # Find contours of the mask
    contours, _ = cv2.findContours(mask.astype(np.uint8),
                                   cv2.RETR_EXTERNAL,
                                   cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    # Create SVG path for the mask
    path_data = []
    for contour in contours:
        if len(contour) > 1:
            path_data.append(f"M {contour[0][0][0]} {contour[0][0][1]}")
            for point in contour[1:]:
                path_data.append(f"L {point[0][0]} {point[0][1]}")
            path_data.append("Z")

    # Add solid mask path (no transparency, no strokes)
```



```
dwg.add(dwg.path(
    d=" ".join(path_data),
    fill="rgb(255,0,0)",    # Solid red
    fill_opacity="1.0"    # Full opacity
))

dwg.save()

# Load the SAM model
sam_checkpoint = "C:/Users/Lázaro/Desktop/segment-anything/sam_vit_h_4b8939.pth"
model_type = "vit_h"

# Initialize model and predictor
sam = sam_model_registry[model_type](checkpoint=sam_checkpoint)
predictor = SamPredictor(sam)

# ----- Image Loading & Setup -----
image = cv2.imread("C:/Users/caballos.jpg")
image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
scale_percent = 100
width = int(image.shape[1] * scale_percent / 100)
height = int(image.shape[0] * scale_percent / 100)
resized_image = cv2.resize(image, (width, height),
interpolation=cv2.INTER_LINEAR)
predictor.set_image(resized_image)

# ----- Display Setup -----
display_scale = 0.5
display_image = cv2.resize(resized_image, (0, 0), fx=display_scale,
fy=display_scale, interpolation=cv2.INTER_AREA)
working_display = display_image.copy()
```



```
# ----- Mouse Handling -----
clicks = []
def click_event(event, x, y, flags, param):
    if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
        proc_x = int(x / display_scale)
        proc_y = int(y / display_scale)
        clicks.append((proc_x, proc_y))
        cv2.circle(working_display, (x, y), 5, (0, 255, 0), -1)
        cv2.imshow("Image", cv2.cvtColor(working_display,
cv2.COLOR_RGB2BGR))

cv2.namedWindow("Image", cv2.WINDOW_NORMAL)
cv2.setMouseCallback("Image", click_event)

# ----- Main Interaction Loop -----
print("INSTRUCTIONS: Click -> Q to process -> 1/2/3 to select")
while True:
    cv2.imshow("Image", cv2.cvtColor(working_display, cv2.COLOR_RGB2BGR))
    key = cv2.waitKey(100)
    if key == ord('q'): break
    elif key == ord('r'):
        clicks = []
        working_display = display_image.copy()
    elif key == 27:
        cv2.destroyAllWindows()
        exit()

# ----- Mask Prediction & Selection -----
if clicks:
    input_points = np.array(clicks)
```



```
input_labels = np.ones(len(clicks))

    masks, scores, _ = predictor.predict(point_coords=input_points,
point_labels=input_labels, multimask_output=True)

# Show all 3 masks and let user choose
if len(masks) > 0:
    selected_mask = None
    windows = []

    # Create display windows for all masks
    for i, (mask, score) in enumerate(zip(masks, scores)):
        # Create overlay at DISPLAY SCALE
        display_base = cv2.resize(cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR),
                                (0, 0),
                                fx=display_scale,
                                fy=display_scale)

        # Resize mask to display scale
        mask_display = cv2.resize(mask.astype(np.uint8), (0, 0),
                                fx=display_scale, fy=display_scale,
                                interpolation=cv2.INTER_NEAREST)

        # Create colored overlay (red)
        display_base[mask_display > 0] = [0, 0, 255]

        # Add text
        cv2.putText(display_base, f"Mask {i+1} | Score: {score:.2f}", (10,
30),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0), 2)

    # Show mask
```



```
window_name = f"Mask {i+1} (Press {i+1} to select)"
cv2.namedWindow(window_name, cv2.WINDOW_NORMAL)
cv2.imshow(window_name, display_base)
windows.append(window_name)

# Instructions
print("Press 1, 2 or 3 to select mask")
print("Press ESC to cancel")

# Wait for selection
selected_idx = -1
while True:
    key = cv2.waitKey(0)
    if key in [ord('1'), ord('2'), ord('3')]:
        selected_idx = key - ord('1')
        if selected_idx < len(masks):
            break
    elif key == 27: # ESC
        break

# Close all mask windows
for window in windows:
    cv2.destroyWindow(window)

# Export if selected
if 0 <= selected_idx < len(masks):
    selected_mask = masks[selected_idx]
    output_svg_path = "output.svg"
    output_png_path = "output_preview.png" # NEW LINE 1

    create_svg(output_svg_path,
```



```
cv2.cvtColor(resized_image, cv2.COLOR_RGB2BGR),
selected_mask)

# Show final selected mask WITH TRANSPARENT OVERLAY AND CONTOURS
# Create display version with mask
final_display = cv2.resize(cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR),
(0, 0),
fx=display_scale,
fy=display_scale)

# Create overlay with transparency
overlay = final_display.copy()

# Resize mask to display scale
mask_display = cv2.resize(selected_mask.astype(np.uint8), (0, 0),
fx=display_scale, fy=display_scale,
interpolation=cv2.INTER_NEAREST)

# Add semi-transparent red overlay
overlay[mask_display > 0] = [0, 0, 255]
cv2.addWeighted(overlay, 0.3, final_display, 0.7, 0, final_display)

# Add green contours
contours, _ = cv2.findContours(mask_display, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cv2.drawContours(final_display, contours, -1, (0, 255, 0), 2)

# Add click markers (convert coordinates to display scale)
for (x, y) in clicks:
display_x = int(x * display_scale)
display_y = int(y * display_scale)
```



```
cv2.circle(final_display, (display_x, display_y), 5, (0, 255,
0), -1)

# Add text
cv2.putText(final_display, f"Exported Mask {selected_idx+1}", (10,
30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0), 2)

# NEW LINES 2-3 (save PNG after creating final_display)
cv2.imwrite(output_png_path, final_display)
print(f"Exported Mask {selected_idx+1} to:\n- SVG:
{output_svg_path}\n- PNG: {output_png_path}")

# Show result
cv2.imshow("Exported Mask Preview", final_display)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

else:
    print("No clicks recorded!")
```



Anexo IV

Segmentación SAM interactiva

```
import cv2
import numpy as np
import svgwrite
from segment_anything import sam_model_registry, SamPredictor
import base64

# Define SVG creation function FIRST
def create_svg(output_path, mask):
    """Export mask as solid red SVG without background"""
    dwg = svgwrite.Drawing(output_path,
                           size=(f"{mask.shape[1]}px",
                                  f"{mask.shape[0]}px"))

    contours, _ = cv2.findContours(mask.astype(np.uint8),
                                    cv2.RETR_EXTERNAL,
                                    cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    path_data = []
    for contour in contours:
        if len(contour) > 1:
            path_data.append(f"M {contour[0][0][0]} {contour[0][0][1]}")
            for point in contour[1:]:
                path_data.append(f"L {point[0][0]} {point[0][1]}")
            path_data.append("Z")

    dwg.add(dwg.path(
        d=" ".join(path_data),
        fill="rgb(255,0,0)",
```



```
        fill_opacity="1.0"
    ))
    dwg.save()

# Load the SAM model
sam_checkpoint = "C:/Users/Lázaro/Desktop/segment-anything/sam_vit_h_4b8939.pth"
model_type = "vit_h"

# Initialize model and predictor
sam = sam_model_registry[model_type](checkpoint=sam_checkpoint)
predictor = SamPredictor(sam)

# ----- Image Loading & Setup -----
image = cv2.imread("imagenes/caballos.jpg")
image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
scale_percent = 100
width = int(image.shape[1] * scale_percent / 100)
height = int(image.shape[0] * scale_percent / 100)
resized_image = cv2.resize(image, (width, height),
interpolation=cv2.INTER_LINEAR)
predictor.set_image(resized_image)

# ----- Display Setup -----
display_scale = 0.5
display_image = cv2.resize(resized_image, (0, 0), fx=display_scale,
fy=display_scale, interpolation=cv2.INTER_AREA)
working_display = display_image.copy()

#----- Object Tracking -----
objects = [] # List to store all objects
current_obj = {
```



```
'clicks': [],          # Click coordinates for current object
'color': (0, 255, 0),  # Default color (green)
'mask': None,         # Will store the final mask
'label': 1            # 1=foreground, 0=background
}

colors = [(0, 255, 0), (255, 0, 0), (0, 0, 255)] # Color cycle for objects
#pedir colores  funcion

# ----- Mouse Handling -----
def click_event(event, x, y, flags, param):
    if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
        # Convert to processing coordinates
        proc_x = int(x / display_scale)
        proc_y = int(y / display_scale)
        current_obj['clicks'].append((proc_x, proc_y))

        # Cuando se pulsa boton central se obtienen las coordenadas
        #Añadir boton eliminar puntos
        #El problema puntos desplazados puede ser, porque no lo pilla
        #bien, o porque no lo muestra bien

        # Draw in DISPLAY coordinates (original x, y)
        color = current_obj['color'] if current_obj['label'] == 1 else (0,
0, 255)
        cv2.circle(working_display, (x, y), 5, color, -1) # Use original
x,y
                cv2.imshow("Image",      cv2.cvtColor(working_display,
cv2.COLOR_RGB2BGR))

print("INSTRUCTIONS:")
print("- Click: Add point to current object")
print("- N: New object (cycle color)")
print("- R: Refine current object")
```



```
print(" - Left-click adds foreground points")
print(" - Right-click adds background points (helps remove unwanted
areas)")
print(" - ENTER: Finish refinement")
print(" - ESC: Cancel refinement")
print("- Q: Process all objects")
print("- ESC: Exit")

# Register mouse callback here
cv2.namedWindow("Image", cv2.WINDOW_NORMAL)
cv2.setMouseCallback("Image", click_event)

while True:
    cv2.imshow("Image", cv2.cvtColor(working_display, cv2.COLOR_RGB2BGR))
    key = cv2.waitKey(100)

    if key == ord('n'): # New object
        if current_obj['clicks']:
            objects.append(current_obj)
            new_color = colors[len(objects) % len(colors)]
            current_obj = {
                'clicks': [],
                'color': new_color,
                'mask': None,
                'label': 1
            }
        working_display = display_image.copy()
        for obj in objects:
            for (x, y) in obj['clicks']:
                display_x = int(x * display_scale)
                display_y = int(y * display_scale)
```



```
        cv2.circle(working_display, (display_x, display_y),
                    5, obj['color'], -1)

elif key == ord('r'): # Refine current object
    if current_obj['clicks']:
        # Create preview window and setup
        preview_ref = [cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR).copy()] # Changed to list
        preview_window = "Refinement Preview (Click to add points |
ENTER to finish)"
        cv2.namedWindow(preview_window, cv2.WINDOW_NORMAL)

        # Temporary storage for refinement clicks
        refine_clicks = {'points': [], 'labels': []}

        def refine_click(event, x, y, flags, param):
            """Mouse callback for refinement window"""
            if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
                refine_clicks['points'].append((x, y))
                refine_clicks['labels'].append(1)
                update_preview()
            elif event == cv2.EVENT_RBUTTONDOWN:
                refine_clicks['points'].append((x, y))
                refine_clicks['labels'].append(0)
                update_preview()

        def update_preview():
            """Update the preview with current clicks and mask"""
            # Combine original clicks with refinement clicks
            combined_points = np.array(current_obj['clicks'] + [
                (x / display_scale, y / display_scale)
                for (x, y) in refine_clicks['points']
```



```
    ])
    combined_labels = np.array(
        [current_obj['label']] * len(current_obj['clicks'])
+ # Fixed label array
        refine_clicks['labels']
    )

    # Generate new mask
    masks, scores, _ = predictor.predict(
        point_coords=combined_points,
        point_labels=combined_labels,
        multimask_output=True
    )
    best_mask = masks[np.argmax(scores)]

    # Update preview
    preview_ref[0] = cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR).copy()
    preview_ref[0][best_mask] = [0, 0, 255] # Red mask

    # Draw all points
    for (x, y), label in zip(refine_clicks['points'],
refine_clicks['labels']):
        color = (0, 255, 0) if label == 1 else (0, 0, 255)
        cv2.circle(preview_ref[0], (x, y), 5, color, -1)

    # Show updated preview
    resized_preview = cv2.resize(preview_ref[0], (0,0),
                                fx=display_scale,
                                fy=display_scale)
    cv2.imshow(preview_window, resized_preview)
```



```
# Set mouse callback for refinement window
cv2.setMouseCallback(preview_window, refine_click)
update_preview()

# Refinement loop
while True:
    key = cv2.waitKey(100)
    if key == 13 or key == 10: # ENTER key
        break
    elif key == 27: # ESC
        refine_clicks = {'points': [], 'labels': []}
        break

# Save refinement clicks to main object (convert coordinates)
current_obj['clicks'].extend([
    (int(x / display_scale), int(y / display_scale))
    for (x, y) in refine_clicks['points']
])
cv2.destroyWindow(preview_window)

# Update main display
working_display = display_image.copy()
for obj in objects + [current_obj]:
    for (x, y) in obj['clicks']:
        display_x = int(x * display_scale)
        display_y = int(y * display_scale)
        cv2.circle(working_display, (display_x, display_y),
                    5, obj['color'], -1)

elif key == ord('q'):
    if current_obj['clicks']:
```



```
        objects.append(current_obj)
    break

    elif key == 27: # ESC
        cv2.destroyAllWindows()
        exit()

# ----- Final Processing -----

# Initialize all_masks
all_masks = []

# Check for clicks in any object (including current)
has_clicks = any(len(obj['clicks']) > 0 for obj in objects) or
len(current_obj.get('clicks', [])) > 0

if has_clicks:
    # Add current object if it has clicks
    if current_obj['clicks']:
        objects.append(current_obj)

# Process all objects
for obj in objects:
    if obj['clicks']:
        input_points = np.array(obj['clicks'])
        input_labels = np.array([obj['label']] * len(obj['clicks']))

        # Generate masks
        obj_masks, scores, _ = predictor.predict(
            point_coords=input_points,
            point_labels=input_labels,
```



```
        multimask_output=True
    )

    # Store best mask
    best_idx = np.argmax(scores)
    obj['mask'] = obj_masks[best_idx]
    obj['score'] = scores[best_idx]
    all_masks.append(obj['mask'])

# Show masks if any were generated
if all_masks and len(all_masks) > 0:
    selected_mask = None
    windows = []

    # Create a SINGLE composite image with all objects
    composite_display = cv2.resize(cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR),
                                   (0, 0),
                                   fx=display_scale,
                                   fy=display_scale)

    # Apply all masks with their colors
    for i, mask in enumerate(all_masks):
        # Resize mask to display scale
        mask_display = cv2.resize(mask.astype(np.uint8), (0, 0),
                                   fx=display_scale, fy=display_scale,
                                   interpolation=cv2.INTER_NEAREST)

        # Get object's color (convert RGB->BGR for OpenCV)
        color_rgb = objects[i]['color']
        color_bgr = (color_rgb[2], color_rgb[1], color_rgb[0]) # RGB to
BGR
```



```
# Apply color to composite
composite_display[mask_display > 0] = color_bgr

# Add header text
cv2.putText(composite_display, "All Selected Objects", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0), 2)

# Show composite
cv2.imshow("All Objects - Composite", composite_display)
windows = ["All Objects - Composite"] # Track this window

# Instructions
print("Press 1, 2 or 3 to select mask")
print("Press ESC to cancel")

# Wait for selection
selected_idx = -1
while True:
    key = cv2.waitKey(0)
    if key in [ord('1'), ord('2'), ord('3')]:
        selected_idx = key - ord('1')
        if selected_idx < len(all_masks):
            break
    elif key == 27: # ESC
        break

# Close all mask windows
for window in windows:
    cv2.destroyWindow(window)
```



```
# ===== Export Composite Image =====
output_svg_path = "composite_mask.svg"
output_png_path = "composite_preview.png"

# Create full-resolution composite
full_res_composite = cv2.cvtColor(resized_image,
cv2.COLOR_RGB2BGR).copy()

# Apply all masks with their colors
for i, mask in enumerate(all_masks):
    color_rgb = objects[i]['color']
    color_bgr = (color_rgb[2], color_rgb[1], color_rgb[0]) # Convert
to BGR
    full_res_composite[mask] = color_bgr

# Add click markers and text
for obj in objects:
    for (x, y) in obj['clicks']:
        color = obj['color'][::-1] # RGB to BGR
        cv2.circle(full_res_composite, (x, y), 5, color, -1)

cv2.putText(full_res_composite, "Composite Image", (10, 30),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.8, (0, 255, 0), 2)

# Save outputs
cv2.imwrite(output_png_path, full_res_composite)
create_svg(output_svg_path, np.any(all_masks, axis=0)) # Combined mask
print(f"Exported:\n- SVG: {output_svg_path}\n- PNG: {output_png_path}")

# Show preview
final_display = cv2.resize(full_res_composite, (0,0),
                            fx=display_scale,
```



```
        fy=display_scale)
cv2.imshow("Composite Preview", final_display)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

else:
    print("No clicks recorded!")
```



Anexo V

Transcripciones de las audioguías

Carpeta de la Tauromaquia

Pablo Picasso, uno de los artistas más influyentes del siglo XX, creó esta obra como parte de su serie, La tauromaquia. El grabado representa una escena de una corrida de toros. La composición se dispone en un formato rectangular horizontal. En la parte inferior central se encuentra la figura dominante del toro. El toro aparece en actitud de embestida con la cabeza baja, las patas separadas y el cuerpo compacto y robusto. Está representado de perfil, con líneas firmes imágenes y marcadas que refuerzan su fuerza y presencia. Frente a él, hacia la derecha, se sitúa la figura del torero, cuyo cuerpo adopta una postura activa con una pierna adelantada. La capa que sostiene se extiende hacia la izquierda en una curva amplia, creando una unión visual con la figura del toro. La silueta del torero es alargada y angulosa, lo que contrasta con la solidez del animal. A la izquierda de la escena se encuentran dos figuras humanas adicionales. Una está en primer plano, de pie y erguida, con la cabeza ligeramente inclinada hacia adelante y los brazos relajados a ambos lados del cuerpo. Esta figura puede interpretarse como un segundo torero o miembro del equipo. Más atrás se aprecia otra figura de menor tamaño y porciones más estilizadas que podría representar a un picador u otro ayudante.

En la parte superior del grabado se distribuyen numerosas formas pequeñas y dispersas que sugieren la presencia del público en las gradas. Estas formas siguen un patrón curvado, evocando la disposición circular de una plaza de toros. Algunos trazos adicionales completan la composición, dando la sensación de espacio y profundidad mediante la disposición equilibrada de figuras y vacíos. La obra muestra con claridad la tensión y el dinamismo de la escena, utilizando solo formas geométricas, siluetas bien definidas y espacios intermedios. La capacidad de sintetizar el movimiento y el dramatismo de la escena sin recurrir a detalles innecesarios es una de las características esenciales de este grabado de Picasso.



Mosaico de Pájaros en el Faro de Torrox.

Este mosaico romano pertenece a la villa de Torrox. El mosaico, de forma rectangular, muestra una escena central sencilla enmarcada por un diseño geométrico. En el centro de la composición se observa un motivo de aves. A la derecha destaca un pájaro posado sobre lo que parece ser un vaso o recipiente, representado mediante una forma ovalada con líneas que sugieren su contorno. La silueta del ave muestra un cuerpo compacto y redondeado, con una cabeza pequeña y pico orientado hacia la izquierda. A la izquierda del vaso, otra figura de ave se sitúa sobre una rama o tallo, representada de manera aún más esquemática, con trazos curvos y simples que evocan su forma y postura. El borde del mosaico está delimitado por un cordón trenzado que recorre todo el contorno rectangular, formando un motivo continuo de líneas onduladas y entrelazadas. Este diseño sirve de marco para la escena principal, separándola del resto de la superficie. Este tipo de muy común en los mosaicos del bajo Imperio romano y se utilizaba frecuentemente para decorar suelos de viviendas. La elección de un tema sencillo como aves y elementos vegetales refleja la intención decorativa y ornamental característica de estos pavimentos domésticos, que combinaban funcionalidad y estética en los espacios cotidianos de la vida romana.



Y tenía corazón

Enrique Simonet, pintor español de finales del siglo XIX y principios del XX, es el autor de esta obra titulada *Y tenía corazón*. La pintura presenta una escena solemne en el interior de una sala de autopsias. La composición se desarrolla en un formato rectangular horizontal. En el centro del cuadro se encuentra el cuerpo sin vida de una mujer joven, desnuda de cintura para arriba, tendida sobre una mesa cubierta por una sábana que cae hacia los laterales. Su cabeza descansa la estirada hacia la izquierda y su cabello largo y ondulado se extiende por la mesa. Su brazo izquierdo cae relajadamente hacia afuera del borde de la mesa, mientras que su brazo derecho permanece junto a su cuerpo. Las piernas están estiradas hacia la parte derecha de la composición. A la izquierda de la escena se sitúa la figura de un hombre mayor, de pie, vestido con una túnica o bata oscura. Tiene barba y cabello largo, lo que le confiere un aspecto venerable. Con una mano sostiene un objeto que parece ser el corazón de la mujer, al que observa con detenimiento. La expresión de su rostro muestra concentración y recogimiento sin dramatismo exagerado. En la parte superior derecha de la pintura se encuentra una ventana rectangular, por la que se filtran algunos rayos de luz que iluminan la estancia.

Sobre el alféizar de la ventana reposan varias botellas de diferentes formas y tamaños. En la esquina inferior derecha se observa una mesa auxiliar sobre la que se encuentran algunos instrumentos quirúrgicos alineados, un recipiente y una esponja. El espacio es sobrio, sin elementos superfluos, lo que refuerza la solemnidad y el respeto hacia la escena representada. La composición de Simonet destaca por su precisión en la disposición de las figuras y objetos, así como por la capacidad de transmitir serenidad y reflexión ante la presencia de la muerte y la ciencia.



Autorretrato

Pablo Picasso, uno de los artistas más influyentes del siglo XX, es el autor de este autorretrato. La obra presenta la imagen de un hombre representado desde el busto hacia arriba, situado de frente, pero con la cabeza ligeramente girada hacia su derecha. La composición se estructura de forma vertical y centrada. El rostro del personaje es el elemento dominante y ocupa la mayor parte del espacio. Los rasgos faciales se han simplificado y geometrizado en un estilo que recuerda la influencia del arte africano y la búsqueda de formas esenciales. Los ojos son grandes, redondeados y prominentes, con párpados marcados y cejas acentuadas que refuerzan la expresividad de la mirada. La nariz aparece alargada y recta, con líneas que definen de forma clara su estructura. La boca, en la parte inferior del rostro, está formada por un trazo sencillo y recto. Las orejas están reducidas a formas básicas y se sitúan en el lateral izquierdo de la cabeza. El cabello se presenta liso y peinado hacia un lado, cubriendo parte de la frente. El cuello es ancho y robusto y sobre él descansa la solapa abierta de una chaqueta o abrigo representada mediante líneas gruesas y angulosas que destacan la geometría de la prenda.

Bajo la chaqueta se distingue la forma esquemática de una camisa. El fondo de la imagen no contiene detalles y mantiene un tratamiento uniforme, lo que refuerza la concentración de la atención en el rostro y en los contornos marcados del retrato. La obra transmite una fuerte carga introspectiva a través de la combinación de formas simplificadas y una disposición clara de líneas y volúmenes que definen la silueta del autor.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Anexo VI

Encuesta ONCE

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 43 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input type="checkbox"/> Ceguera total <input checked="" type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | X | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | X | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | X | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | X | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

*Pregunta x variación de color

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | X | | |

* Con el título se sabe que es

→ Más por el título q por el cuadro

| Valoración final | | | | | |
|--|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 2 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| Contraste color baja visión. Poner Título - Con audogoría perfecta | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | X | |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | X | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | X | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | X | |

→ Tanto 2 com 3 prácticamente igual

* La altura está bien

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 29 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: | | Edad en la que perdió la capacidad visual: | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total | | <input type="checkbox"/> De nacimiento | | | |
| <input type="checkbox"/> Baja visión | | <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) | | | |
| <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | <input checked="" type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) | | | |
| | | <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | | X |

*La his: disminuir
albre y no hace falta tanto
-Preferir el perfilado en perfil.*

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

**Ve sombras y luces.
x no hace falta tanta altura*

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| | Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Valoración final | | | | | | | |
|---|------------------------------|---|--------------------|---|---------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | | | |
| 4 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 2 | Textura | 1 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | | | |
| <p>Menor alturas. Al no usó. 10.</p> <p>Por lo que: perfil + macizo</p> <p>Autopsia: solo perfil.</p> | | | | | | | |
| | Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| | | | | | | X | |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | X | | | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | X | | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | | X | |

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Edad: 63 | Género: <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | X |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

se le da bien identificar los cuadros

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | X |

→ Realmente le ayuda, sería más,

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| X | Variación de altura | | Perfilado o macizo | | Textura |
| | | | | | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| <p>X</p> <p>X</p> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | |

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 30 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: | | Edad en la que perdió la capacidad visual: | | | |
| <input type="checkbox"/> Ceguera total <input checked="" type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | <input checked="" type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | X | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | X | | |

| Valoración final | | | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|---------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 4 | Textura | 2 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | | | |
| Poco Textura y mat. en el mismo medio. | | | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X | | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | | | X |

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Edad: 60 | Género: <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input checked="" type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | X |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

Creo que es abstracto sin audio guía

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| X | | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| X | | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| X | | | | | |

Audio guía

Lo Des ha costado encontrar mejor

YT corazón

↳ El jabalillo es a lo primer

→ Audio guía mejorable

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 2 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| Mismo elemento q tenga diferentes alturas | | | | | |
| Adaptar cuadro a como piensa | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | |
| | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | |
| | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | |
| | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | |
| | | | | | X |

→ 2ª Definición topográfica

→ S tiene una cara de perfil, el perfil está inclinado, le falta tridimensionalidad.

→ El cuerno del toro es muy pequeño, hacerlo más grande

Más información relieve

No ha sacado apenas figuras

Cuando escuche audio no toca

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 60 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

Empezó a adolescencia pero perdió a adulta

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 2 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 3 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| Textura PLA más agradable | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

Para alguien q tiene mucha tacto la impresión 3D tiene textura y le molest

Audiogui =

La lista q no ha dicho pies a la derecha. no lo ha ubicado. Eso tiene que ser lo primero

Aug: se enteran por la audio guía no por el cuadro

La audigui describe bn pero no lo encuentran en el impreso

Audiogui =

Al principio situar más las cosas para que se ubiquen

No le sacado apenas figuras cuando escuche audio no toca

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 67 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input type="checkbox"/> Ceguera total <input checked="" type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | X |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | X |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | X | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 2 | Perfilado o macizo | 3 | Textura |
| | | | | 4 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| No | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

10

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 21 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input checked="" type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | X | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | X | | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | X | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

Decí- cosas q no lo encuentran

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | X | X | X |

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | |
| 3 | Variación de altura | 4 | Perfilado o macizo | 2 | Textura |
| | | | | 1 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| <p>Más evidente las cosas andragnia cuadro Poner relleno informativo. Ej: relleno pelo</p> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

Encarni

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 60 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | X | | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | X |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | X | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | X | |

El pelo que tenga una textura del hombre

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Valoración final | | | | | |
|--|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 2 | Textura |
| | | | | 4 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| ordena las Texturas | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|---|
| Edad: 82 | Género: <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | | |
| Nivel de visión: <input type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input checked="" type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | | |
| Ve luces y figuras | | Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | X | | |

Apenas
 foca, lo
 ve simplemente
 ↓
 le cuesta
 pero
 ve

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|--|--|---|--|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|--|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | X |

→ Ve mejor con rojo

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | |
| 2 | Variación de altura | 1 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 3 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | X | |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | X | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

Juan

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|
| Edad: 55 | Género: <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input checked="" type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | X | | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | X | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | | |
|---|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro de PLA</u> | | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo</u> | | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | X | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | X | | | | |

| Valoración final | | | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|---------|---|------------------|
| <u>De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto</u> | | | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 2 | Textura | 4 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | | | |
| ordena Texturas para identificar mejor | | | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | | | X |

Jesé Antonio Padilla

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Edad: 28 | Género: <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total <input type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input checked="" type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | X | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | | X |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | X | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

Contra más tiempo + interpretación
Alta línea
Ser bueno con resultados mejor futuro

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | X |

| Valoración final | | | | | |
|--|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| 3 | Variación de altura | 1 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 2 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| No | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

Leonor

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Edad: 58 | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input type="checkbox"/> Ceguera total <input checked="" type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adulthood (+18) | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | | X |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | X | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | X | | |

| Valoración final | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| 2 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 4 | Textura |
| | | | | 2 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

Mari Carmen

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|---|---|--|---|---|
| Edad: <u>73</u> | Género: <input type="checkbox"/> Hombre <input checked="" type="checkbox"/> Mujer | | | | |
| Nivel de visión: <input type="checkbox"/> Ceguera total <input checked="" type="checkbox"/> Baja visión <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | | Edad en la que perdió la capacidad visual: <input type="checkbox"/> De nacimiento <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | X | |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | | X | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | X | X | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | | | X |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | X | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | X | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| <u>Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas</u> | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | |
| <u>Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo</u> | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| <u>Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro</u> | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | | | | X |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | X |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | X |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | X |

→ Lo ve mejor

| Valoración final | | | | | |
|--|---------------------|---|--------------------|---|------------------|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | |
| 4 | Variación de altura | 3 | Perfilado o macizo | 2 | Textura |
| | | | | 1 | Tipo de material |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | |
| | | | | | |
| Donde 1 es poco y 5 es mucho | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | X |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | X |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | X |

CUESTIONARIO DE VALORACIÓN

| Información General | | | | | |
|--|----|---|---|---|---|
| Edad: | 59 | Género: | <input checked="" type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer | | |
| Nivel de visión: | | Edad en la que perdió la capacidad visual: | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Ceguera total | | <input type="checkbox"/> De nacimiento | | | |
| <input type="checkbox"/> Baja visión | | <input type="checkbox"/> Infancia (0-12) | | | |
| <input type="checkbox"/> Otro (especificar) | | <input type="checkbox"/> Adolescencia (13-17) | | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> Adultez (+18) | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | | | | | X |
| ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | | | X | | |

| Cuadro 1: La Tauromáquia | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro que se encuentran todos al mismo nivel | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con diferencias de altura e informar de la variación de altura | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | | X |
| En su opinión, la variación de altura en los elementos ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | | | X | | |

| Cuadro 2: Mosaico | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro que está relleno | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro que está perfilado el contorno y el interior hueco. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | | | | X | |
| En su opinión, considerar el perfil ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

| Cuadro 3: Y tenía corazón | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro que está relleno sin texturas | | | | | |
| <i>Donde 1 es poco y 5 es mucho</i> | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | X | | | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con texturas. Informarlo | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | | | | |
| | X | | | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | | |
| | X | X | | | |
| En su opinión, considera que la textura ayuda a entenderlo mejor | | | | | |
| | X | | | | |

Recuerdo dice que no vale para nada.

| Cuadro 4: Autorretrato | | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|---|---|---|
| Paso 1: Dar el cuadro de PLA | | | | | | |
| | Donde 1 es poco y 5 es mucho | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ¿Entiende bien lo que representa el cuadro? | | X | | | | |
| Paso 2: Entregar el cuadro con material flexible. Informarlo | | | | | | |
| Con este segundo modelo, valore de nuevo el cuadro | | X | | | | |
| Paso 3: Poner el audio con la descripción del cuadro | | | | | | |
| Ahora, valore de nuevo si entiende bien el cuadro | | | | X | | |
| En su opinión, considera que el material ayuda a entenderlo mejor | | | | | X | |

→ Es muy complejado

| Valoración final | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------|---|---------|---|------------------|---|---|---|
| De las cuatro características diferentes que se han considerado en los cuadros, indique de mayor a menor cual es la que facilita más entender un cuadro por el tacto | | | | | | | | | | |
| 1 | Variación de altura | 2 | Perfilado o macizo | 3 | Textura | 4 | Tipo de material | | | |
| ¿Tiene alguna propuesta para mejorar estos modelos? | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | | | | | | | | | | X |
| ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | | | | | | | | X | | |
| La inclusión de estos modelos en un museo aumentaría el número de visitas | | | | | | X | | | | |
| Valore de forma general esta iniciativa | | | | | | | | X | | |

→ Notegustan → El cuadro es complejo.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Anexo VII

Recolección de datos de la encuesta



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Resultados en función del tipo de visión

| | | Baja Visión | Ceguera Total |
|---------------------------|--|-------------|---------------|
| Información General | ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | 4,75 | 4,6 |
| | ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | 3,5 | 4 |
| Cuadro 1: La tauromaquia | Paso 1, mismo nivel | 3,125 | 2,3 |
| | Paso 2, diferencia de altura | 3,875 | 2,3 |
| | Paso 3, audio | 4,75 | 4,3 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 4,125 | 3,8 |
| Cuadro 2: Mosaico | Paso 1, relleno | 2,875 | 2,6 |
| | Paso 2, perfil | 2,375 | 2,4 |
| | Paso 3, audio | 4,25 | 4,1 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 2 | 1,8 |
| Cuadro 3: Y tenía corazón | Paso 1, sin texturas | 2,5 | 1,8 |
| | Paso 2, con texturas | 2,75 | 1,9 |
| | Paso 3, audio | 4,25 | 4 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 2,375 | 1,7 |
| Cuadro 4: Autoretrato | Paso 1, PLA | 4,25 | 2,6 |
| | Paso 2, TPU | 4,375 | 2,6 |
| | Paso 3, audio | 4,625 | 4 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 4 | 2,6 |

| | | | |
|------------------|--|-------|-----|
| Valoración final | Variación de altura | 1,875 | 1,8 |
| | Perfilado o macizo | 1,875 | 2,7 |
| | Textura | 3,625 | 3,1 |
| | Tipo de material | 2,625 | 2,4 |
| | Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | 4,375 | 5 |
| | ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | 4,25 | 4,7 |
| | La inclusión de estos modelos en un museo aumentarían el número de visitas | 4,625 | 4,5 |
| | Valore de forma general esta iniciativa | 4,875 | 4,8 |



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Resultados en función de la edad a la que se perdió la visión

| | | De nacimiento | Adolescencia | Adulterez |
|---------------------------|--|---------------|--------------|-----------|
| Información General | ¿Suele prestar atención a los detalles cuando intenta identificar algo con el tacto? | 4,67 | 4,60 | 4,50 |
| | ¿Cuál es su interés por la pintura u obras de arte? | 2,67 | 4,20 | 4,33 |
| Cuadro 1: La tauromaquia | Paso 1, mismo nivel | 2,00 | 2,20 | 3,33 |
| | Paso 2, diferencia de altura | 2,67 | 2,40 | 3,33 |
| | Paso 3, audio | 4,33 | 4,40 | 4,67 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 3,67 | 4,20 | 4,00 |
| Cuadro 2: Mosaico | Paso 1, relleno | 2,33 | 2,40 | 3,17 |
| | Paso 2, perfil | 1,67 | 3,00 | 2,67 |
| | Paso 3, audio | 4,33 | 4,00 | 4,50 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 1,33 | 2,60 | 1,67 |
| Cuadro 3: Y tenía corazón | Paso 1, sin texturas | 2,00 | 1,60 | 2,33 |
| | Paso 2, con texturas | 2,33 | 1,80 | 1,83 |
| | Paso 3, audio | 4,00 | 4,20 | 3,67 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 2,00 | 1,20 | 1,83 |
| Cuadro 4: Autoretrato | Paso 1, PLA | 3,67 | 2,20 | 3,50 |
| | Paso 2, TPU | 3,67 | 2,40 | 3,50 |
| | Paso 3, audio | 4,67 | 3,60 | 4,33 |
| | Paso 3, mejor con paso 2 | 4,00 | 2,20 | 3,17 |
| Valoración final | Variación de altura | 2,00 | 2,00 | 1,67 |
| | Perfilado o macizo | 2,67 | 2,40 | 2,67 |
| | Textura | 3,33 | 3,60 | 3,00 |
| | Tipo de material | 2,00 | 2,00 | 2,67 |
| | Indique su interés personal de que existan más modelos como estos | 4,67 | 4,80 | 5,00 |
| | ¿Considera que estos modelos fomentarían el interés en las obras de arte? | 4,33 | 4,60 | 4,67 |
| | La inclusión de estos modelos en un museo aumentarían el número de visitas | 4,67 | 4,40 | 4,33 |
| | Valore de forma general esta iniciativa | 5,00 | 4,80 | 4,67 |



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Anexo VIII

Proyecto de investigación Artacto

ARTACTO

Cátedras de Tecnologías Accesibles

Convocatoria: GENERAL

Universidad Solicitante: Universidad de Málaga

Autor (nombre completo): Sergio Martín Béjar

Correo electrónico de contacto: smartinb@uma.es

Fecha: Junio de 2025

Contenido

| | |
|--|---|
| <u>1. Resumen del proyecto</u> | 3 |
| <u>2. Descripción técnica del proyecto</u> | 4 |
| <u>3. Responsabilidad, adecuación técnica y sostenibilidad económica</u> | 5 |
| <u>4. Carácter innovador</u> | 6 |
| <u>5. Impacto, Alcance y sostenibilidad</u> | 7 |
| <u>6. Otras cuestiones a valorar</u> | 8 |

1. Resumen del proyecto

Accesibilidad táctil al arte mediante tecnologías de fabricación aditiva / ARTACTO

El proyecto *Artacto* surge con el objetivo de ofrecer una solución tecnológica innovadora que permita a las personas ciegas o con baja visión acceder al arte de manera autónoma y significativa. Para ello, se propone el diseño y desarrollo de un sistema integral que combina software de código abierto, tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D), texturizado láser y audiodescripción especializada para generar modelos tridimensionales táctiles de obras de arte pictóricas. Esta solución permitirá a los museos adaptar parte de su patrimonio visual al un soporte táctil y sonoro, facilitando la comprensión de las obras por parte de la comunidad usuaria con discapacidad visual sin necesidad de mediación constante.

El desarrollo del proyecto parte de la experiencia de un Trabajo Fin de Grado en la escuela de ingenierías industriales de la Universidad de Málaga, y se proyecta como una línea de acción continua a medio y largo plazo, mediante la realización de futuros Trabajos Fin de Grado y Fin de Máster orientados al desarrollo de nuevos modelos táctiles, estrategias de representación y mejoras tecnológicas. Se trabajará en colaboración con el Museo de Málaga, que ha confirmado su interés en implementar y exponer los modelos desarrollados, y con el Grupo Social ONCE, que ofrecerá asesoramiento y validación de los resultados desde el punto de vista de personas con discapacidad visual.

El proyecto será desarrollado por el grupo de investigación iFAB de la Universidad de Málaga, un grupo especializado en ingeniería de procesos de fabricación. iFAB cuenta con una sólida experiencia en investigación aplicada a tecnologías de producción, especialmente en el ámbito de la fabricación aditiva, donde ha desarrollado múltiples estudios, publicaciones y colaboraciones con empresas e instituciones. Esta experiencia garantiza la solvencia técnica del equipo para abordar tanto el desarrollo del software como la validación de los modelos físicos.

Uno de los aspectos clave de *Artacto* es el desarrollo de un software propio que permita la detección automática de contornos significativos en las obras pictóricas, aplicando técnicas de procesamiento de imagen que filtren y extraigan la información visual más relevante para su posterior transformación en geometrías tridimensionales. Este software será distribuido libremente bajo licencia MIT a través de la página web del grupo iFAB, para que cualquier museo, centro educativo o entidad cultural pueda utilizarlo sin restricciones. A partir de los contornos extraídos, se generarán modelos tridimensionales en formato STL, adaptados para impresoras 3D y sistemas de laminado comúnmente disponibles, permitiendo su reproducción física de forma rápida, económica y descentralizada.

El sistema incluirá además elementos de audiodescripción desarrollados con apoyo del personal especializado del Museo de Málaga, quienes facilitarán la redacción de los textos explicativos de cada obra y su locución. Esta combinación de tacto y sonido refuerza la comprensión de la información visual por parte de las personas con discapacidad visual, alineándose con principios de diseño universal y accesibilidad cognitiva. Así mismo, los modelos físicos incorporarán rotulación en braille que facilite la autonomía durante su exploración.

Para la consecución del objetivo general del proyecto, se establecen un conjunto de objetivos específicos:

- Desarrollar un software libre capaz de detectar y procesar contornos clave de cuadros;
- Validar la utilidad de distintos tipos de representación táctil en función de la obra original, los materiales y los niveles de relieve;
- Crear una biblioteca inicial de modelos accesibles basada en obras expuestas en el Museo de Málaga;
- Establecer un flujo de trabajo reproducible que permita a cualquier museo implementar esta tecnología con recursos propios;

- Generar una comunidad técnica y social que favorezca la difusión y mejora continua del sistema propuesto.

En cuanto a los resultados esperados, se contempla la entrega de una herramienta funcional de software de código abierto, la fabricación de al menos 5 modelos accesibles validados por quienes atienden el servicio de ONCE, la creación de audiodescripciones vinculadas, y la disponibilidad de todos los contenidos en la web del grupo iFAB. Se realizará también una comunicación científica en un congreso internacional, y se divulgará el proyecto a través de redes sociales, vídeos y cartelera.

Artacto representa una mejora significativa respecto a soluciones actuales, que suelen requerir escaneo 3D, moldes o tecnologías costosas no disponibles en la mayoría de los museos. Al centrarse en la fabricación aditiva y emplear equipamiento de coste reducido, el proyecto democratiza la accesibilidad táctil, haciendo viable su implementación en instituciones de mediano y pequeño formato. Además, su carácter abierto y modular facilita su adaptación y ampliación por parte de otras entidades.

La contribución a la inclusión de personas con discapacidad se manifiesta en dos niveles: primero, al fomentar el acceso igualitario a espacios culturales y por tanto a la vida social y profesional; segundo, al generar nuevos perfiles y oportunidades de participación en tareas de validación, mediación cultural, diseño accesible y formación en tecnologías inclusivas.

Por último, el proyecto prevé dejar una estructura permanente para la generación de nuevos modelos, mantenida mediante el trabajo de estudiantes e investigadores del ámbito de ingeniería. También se creará una biblioteca digital de obras en dominio público, sin restricciones de reproducción, que sirva de base a futuras implementaciones, ampliando progresivamente el catálogo de modelos disponibles para su uso educativo y cultural.

En conjunto, Artacto propone una transformación realista y escalable de la relación entre el arte y la discapacidad visual, combinando innovación tecnológica con compromiso social y sostenibilidad operativa.

[Extensión estimada 2 págs.]

2. Descripción técnica del proyecto

El proyecto Artacto se fundamenta en la aplicación de tecnologías de fabricación aditiva, procesamiento de imagen y texturizado láser para generar modelos táctiles de obras pictóricas que faciliten la accesibilidad al arte para personas ciegas o con baja visión. El desarrollo técnico del proyecto se articulará en torno a la creación de un software de código abierto capaz de procesar imágenes digitales de cuadros y extraer contornos clave para su conversión en geometrías tridimensionales, listas para ser impresas mediante tecnologías de extrusión de material (impresoras 3D). Este software estará disponible libremente, junto con los modelos generados y las instrucciones de uso para facilitar su implementación autónoma por parte de cualquier museo o institución cultural.

El sistema que se propone no se limita a la obtención de un modelo físico, sino que plantea una solución integral de accesibilidad sensorial. Para ello, además del software de extracción de contornos, se contempla una etapa de diseño digital donde se validarán estrategias para representar visualmente elementos clave del cuadro como los personajes, elementos arquitectónicos, paisajes, etc., en versiones simplificadas pero comprensibles mediante el tacto. Este diseño considerará proporciones, profundidades y jerarquías compositivas para preservar el sentido general de la obra original. No se pretende reproducir la pintura de forma exacta, sino adaptarla a un lenguaje accesible que mantenga su valor artístico, narrativo y pedagógico.

A continuación, se realizará la conversión de dichos diseños a modelos digitales compatibles con sistemas de fabricación aditiva. En particular, los equipos de extrusión de material presentan una amplia disponibilidad, facilidad de uso y bajo coste, lo que permitirá la escalabilidad futura del sistema. Para mejorar la riqueza táctil, se empleará un módulo láser de alta resolución que permitirá aplicar texturizados diferenciados sobre la superficie del modelo, asignando texturas específicas a materiales como el cielo, agua, piel, telas, suelos, vegetación, etc. Esta diferenciación mejorará significativamente la interpretación táctil, respaldada por investigaciones previas que demuestran el beneficio de incorporar rugosidades codificadas para personas con discapacidad visual.

Para la finalización de los modelos, se integrará un sistema de audiodescripción elaborado con la supervisión del personal especializado del Museo de Málaga, que ayudará a generar contenidos verbales comprensibles, descriptivos y culturalmente adecuados para cada una de las obras seleccionadas. Estas audiodescripciones se asociarán a cada modelo mediante códigos QR u otros sistemas que permitan su reproducción por el visitante desde su dispositivo móvil o mediante dispositivos provistos por el museo. Además, se incorporará rotulación en braille para dar mayor autonomía a la comunidad usuaria durante su experiencia de exploración.

Se establecen cinco fases técnicas interrelacionadas, diseñadas para garantizar un flujo de desarrollo progresivo, iterativo y validado por los usuarios:

Fase 1: Desarrollo del software de detección de contornos y diseño inicial

Durante esta fase se desarrollará una herramienta de software basada en bibliotecas de código abierto, que permita aplicar filtros, detectar bordes, simplificar geometrías y generar contornos útiles para el diseño 3D. Se explorarán distintos métodos de segmentación y se incluirán interfaces sencillas para que el software pueda ser utilizado sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados. De forma paralela, se comenzará con el diseño 3D de modelos táctiles a partir de las imágenes extraídas, utilizando software de libre acceso. En esta fase también se definirá el conjunto inicial de obras seleccionadas del Museo de Málaga, priorizando cuadros de dominio público o sin restricciones de reproducción.

Fase 2: Fabricación de prototipos y experimentación con materiales

Una vez validados los primeros diseños digitales, se procederá a su fabricación física mediante impresión 3D. Se utilizarán distintos tipos de filamento para evaluar su respuesta táctil y resistencia, y materiales con textura o relleno especial. Además, se utilizará un sistema láser para aplicar patrones de superficie codificados, empleando distintos parámetros de potencia, velocidad y enfoque. Se documentarán los tiempos de impresión, consumo de material, costes

y comportamiento físico de las piezas. Esta fase también incluirá el estudio de sistemas de fijación de piezas, formatos de base, mecanismos de protección, ergonomía y escalabilidad.

Fase 3: Validación práctica y recogida de feedback

En coordinación con el Grupo Social ONCE, se organizarán sesiones de testeo con personas ciegas o con baja visión. Estas pruebas permitirán validar la comprensibilidad de los modelos, la utilidad de las texturas aplicadas, la legibilidad de los relieves y la claridad de la audiodescripción. La valoración inicial se realizará mediante entrevistas estructuradas, cuestionarios adaptados y observación directa. Esta participación activa de las personas usuarias finales es una de las piedras angulares del proyecto y garantizará su pertinencia y aplicabilidad real. Los resultados obtenidos servirán como base para la mejora de las fases siguientes.

Fase 4: Mejora iterativa y documentación del sistema

En función de la información recogida en la fase anterior, se rediseñarán los modelos para corregir errores, mejorar contrastes táctiles, ajustar escalas, simplificar zonas confusas y añadir elementos orientadores. Se generará una guía técnica paso a paso que documente todo el proceso: desde la selección de la obra pictórica, el uso del software, la edición de modelos 3D, la impresión, el acabado con láser y la integración de elementos adicionales. Este documento facilitará que cualquier entidad pueda replicar el proceso con autonomía y será complementado con vídeos explicativos, fichas técnicas y ejemplos de uso.

Fase 5: Publicación, difusión y evaluación final

La fase final contempla la subida del software a la web del grupo iFAB con su correspondiente repositorio accesible, la publicación de los modelos STL generados y los audios en formato abierto. Asimismo, se elaborará un informe de resultados que será presentado en al menos un congreso científico de carácter internacional. Se activará también una campaña de divulgación en redes sociales del grupo (LinkedIn, Instagram, YouTube y Facebook), con la publicación periódica de avances, prototipos, entrevistas y vídeos. Todo este material tendrá licencia libre para su uso no comercial.

El equipamiento principal del proyecto será una impresora 3D Bambu Lab Serie H equipada con doble boquilla, módulo láser intercambiable (10 W/40 W), calibración óptica de 5 µm y calefacción activa de la cámara. Este equipo permitirá realizar impresiones multimaterial de alta precisión, texturizados mediante láser y producción de modelos de tamaño adecuado.

El desarrollo completo del proyecto cubrirá 12 meses, con una planificación alineada con los recursos humanos disponibles y la experiencia ya acumulada. Desarrollo de cada una de las fases queda representado en el siguiente cronograma:

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| F1 | Desarrollo del software de detección de contornos y diseño inicial | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| F2 | Fabricación de prototipos y experimentación con materiales | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| F3 | Validación práctica y recogida de feedback | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| F4 | Mejora iterativa y documentación del sistema | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| F5 | Publicación, difusión y evaluación final | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

Como entregables finales se contempla: el software de detección de contornos y edición de modelos (código y ejecutable), la colección inicial de cuadros accesibles (al menos 4 obras), las audiodescripciones correspondientes, una guía técnica de replicación y la memoria completa del proyecto. Todos estos resultados estarán disponibles de forma libre y gratuita.

[Extensión estimada 2 págs.]

3. Responsabilidad, adecuación técnica y sostenibilidad económica

El proyecto Artacto será desarrollado y coordinado por el grupo de investigación iFAB (Innovación en Fabricación) de la Universidad de Málaga, un equipo multidisciplinar especializado en procesos de fabricación, diseño de producto, accesibilidad e innovación tecnológica. El grupo está adscrito al área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación y cuenta con una sólida trayectoria en investigaciones aplicadas al ámbito industrial, cultural y educativo. En el marco del presente proyecto, iFAB liderará tanto la concepción y ejecución técnica como la validación y difusión de los resultados.

La responsabilidad general del proyecto recaerá en el profesor **Dr. Sergio Martín Béjar**, que actuará como Investigador Principal (IP) y coordinador del proyecto. El profesor Martín Béjar posee una amplia experiencia en proyectos de innovación tecnológica aplicados a la ingeniería de fabricación, así como en la dirección de Trabajos Fin de Grado y Máster relacionados con impresión 3D, accesibilidad y diseño funcional. Su función abarcará la gestión global del proyecto, la supervisión técnica de cada una de las fases y la interlocución con las entidades colaboradoras.

El equipo técnico estará compuesto, además, por los siguientes docentes e investigadores:

- **Dra. Carolina Bermudo Gamboa**, especialista en diseño de producto y simulación avanzada, así como en la fabricación aditiva. Su experiencia en entornos CAD y modelado paramétrico será fundamental para la optimización de los modelos tridimensionales y la validación geométrica de las piezas impresas.
- **Dr. Lorenzo Sevilla Hurtado**, con una sólida formación en materiales poliméricos y análisis de comportamiento mecánico. Su participación se centrará en la selección y validación de materiales de impresión, asegurando que los modelos fabricados cumplan con los requisitos de resistencia, textura y durabilidad necesarios para su uso público.
- **Dr. Fermín Bañón García**, experto en tecnologías de procesamiento láser y caracterización de superficies. Estará a cargo de la configuración del sistema de texturizado láser y de la definición de patrones hápticos diferenciables, claves para enriquecer la experiencia táctil de los usuarios.
- **Dr. Jose Andrés López Fernández**, con experiencia en dispositivos de interacción. Colaborará en la integración de sistemas complementarios como el uso de códigos QR, balizas NFC o sistemas de activación sonora que permitan complementar la accesibilidad del sistema mediante audiodescripciones.
- **Dr. Francisco Javier Trujillo Vilches**, especializado en tecnologías del aprendizaje y accesibilidad digital. Su función principal será garantizar que el diseño del sistema responda a los principios del diseño universal y que los resultados se ajusten a estándares de accesibilidad reconocidos a nivel internacional.

El equipo contará con la participación activa del alumno **Lázaro Guerrero Losada**, que actualmente está desarrollando su Trabajo Fin de Grado (TFG) que es la base para el planteamiento del proyecto Artacto. La implicación del estudiante permitirá reforzar la dimensión formativa del proyecto y sentar las bases para que futuras investigaciones se integren en trabajos académicos adicionales y la colaboración de más estudiantes.

Además del equipo docente y del alumnado, el proyecto cuenta con la colaboración del **Museo de Málaga**, que colaborará cediendo imágenes digitales de sus obras, asesorando en la selección de cuadros, y participando en la elaboración de las audiodescripciones junto a su personal experto. Esta colaboración asegura que los modelos desarrollados tengan una aplicación real y directa en un entorno museístico concreto, lo que refuerza el impacto del proyecto y su aplicabilidad práctica.

Igualmente, se ha establecido una colaboración formal con el **Grupo Social ONCE**, entidad referente en la atención a personas con discapacidad visual. ONCE aportará su experiencia

para asesorar sobre los requisitos de accesibilidad, organizará sesiones de validación y respaldará el diseño del sistema desde la perspectiva de las personas usuarias finales. La ONCE, como entidad del tercer sector sin ánimo de lucro, será además beneficiaria de una parte del presupuesto del proyecto conforme a las bases de la convocatoria, lo cual refuerza su implicación activa en el desarrollo y transferencia del resultado.

En cuanto a la adecuación técnica, el equipo cuenta con el equipamiento y las competencias necesarias para llevar a cabo todas las fases del proyecto sin necesidad de subcontrataciones externas. Entre los recursos disponibles se encuentran laboratorios de impresión 3D, escaneado y postprocesado, estaciones de trabajo para modelado y simulación, y el uso previsto de una impresora de última generación (Bambu Lab Serie H) que integra impresión multimaterial con módulo láser intercambiable. Este equipo permite fabricar piezas de gran calidad, con texturas diferenciadas y tamaños adecuados para su exploración táctil.

Desde el punto de vista económico, el proyecto está diseñado para ser sostenible, tanto durante su ejecución como en su etapa posterior. El uso de tecnologías de bajo coste como las impresoras 3D y el software libre, garantizan que la solución pueda ser replicada por cualquier institución con una inversión mínima. El desarrollo del software bajo licencia MIT permitirá que otras universidades, museos, entidades públicas o asociaciones puedan acceder al código, adaptarlo y seguir generando modelos nuevos sin restricciones comerciales ni legales.

El presupuesto del proyecto se ha ajustado rigurosamente a los límites establecidos por la convocatoria (20.000 €) e incluye partidas destinadas a la adquisición del equipo principal de fabricación, consumibles, materiales fungibles, difusión de resultados y presentación de comunicaciones en congresos científicos. La gestión económica se realizará desde la Universidad de Málaga, conforme a las normas internas de gestión y supervisión de proyectos de investigación y transferencia.

| Partida | Importe | Justificación breve |
|--|----------------|--|
| Equipo de fabricación aditiva y láser | 4.300 € | Adquisición de impresora 3D Bambu Lab H2D con módulo láser de 40W. Fundamental para el texturizado de los modelos. |
| Licencias de software | 1.700 € | Software específico para edición de audio y generación de audiodescripciones. |
| Material fungible y consumible general | 3.500 € | Filamento, soportes, adhesivos, herramientas de limpieza, y accesorios para la fabricación aditiva de múltiples modelos. |
| Mantenimiento de equipos | 800 € | Lubricantes, recambios, limpieza y calibración del equipo de impresión y corte láser. |
| Gastos de difusión y publicaciones | 4.000 € | Participación en congresos científicos, maquetación, tasas de publicación y edición de informes. |
| Material divulgativo | 1.200 € | Cartelería, folletos, paneles informativos para la exposición de resultados y promoción del proyecto en museos y redes sociales. |
| Aportación a entidad del tercer sector | 2.000 € | Transferencia económica al Grupo Social ONCE por su papel de asesoramiento, testeo y validación. |
| Costes indirectos del proyecto | 2.500 € | Gastos generales electricidad, uso de instalaciones, soporte técnico. |

La multidisciplinariedad del equipo, la experiencia previa en proyectos de accesibilidad, el contacto directo con personas con discapacidad visual y la proyección internacional de la universidad garantizan la ejecución adecuada y rigurosa del proyecto. Además, la implicación de la ONCE añade un componente de compromiso que refuerza la viabilidad y pertinencia de la propuesta.

Por último, la estructura organizativa del proyecto prevé reuniones periódicas de seguimiento técnico, coordinación interna entre los miembros del equipo, elaboración de actas de avances, y documentación de cada fase. Esta metodología de trabajo colaborativa permitirá una toma de decisiones ágil, transparente y basada en la evidencia.

[Extensión estimada 2 págs.]

4. Carácter innovador

El proyecto Artacto se distingue por su marcada orientación a la innovación tecnológica y social. En un contexto donde el acceso al arte por parte de personas ciegas o con baja visión sigue estando limitado, esta iniciativa propone una solución que no solo es técnica y funcionalmente viable, sino también original, escalable y alineada con los principios del diseño universal. Artacto no replica soluciones existentes, sino que las trasciende al integrar varios niveles de innovación en un único sistema: desde el procesamiento de imágenes artísticas y la generación automatizada de modelos 3D accesibles, hasta la incorporación de texturas diferenciadas mediante láser y la implementación de audiodescripción asistida en colaboración con museos.

En el análisis del estado del arte, es posible identificar iniciativas previas que han abordado la representación táctil de obras de arte, muchas de ellas centradas en técnicas de relieve tradicional, impresión 3D básica o adaptación manual de obras. Sin embargo, la mayoría de estas propuestas presentan limitaciones importantes: requieren intervención humana especializada, tienen altos costes de producción, dependen de empresas externas o se limitan a proyectos piloto sin continuidad estructural. Artacto, en cambio, propone una metodología automatizable, replicable y documentada que permite a cualquier museo generar sus propios modelos con recursos asequibles.

Uno de los elementos más innovadores del proyecto es la creación de un software libre para la detección y procesamiento de contornos artísticos. Este software, diseñado específicamente para obras pictóricas, se apoyará en bibliotecas de visión por computador, pero adaptará sus algoritmos para lograr una interpretación semántica de la obra que permita representar sus elementos clave sin saturar de información la percepción táctil. Este nivel de automatización, ajustado a las necesidades de accesibilidad, no tiene precedentes en el ámbito de la museografía inclusiva.

Además, Artacto incorpora un enfoque multisensorial, combinando modelos físicos con audiodescripciones accesibles generadas con el apoyo del personal experto del Museo de Málaga. Esta integración permite no solo “ver con las manos”, sino también escuchar, generando una experiencia rica, inmersiva y autónoma. El sistema se complementa con rotulación en braille y tecnologías de activación como códigos QR o NFC, dotando de autonomía a la persona ciega durante su visita al museo.

Otra dimensión de la innovación del proyecto es la apuesta por el texturizado láser. A diferencia de las técnicas convencionales de impresión 3D que generan superficies homogéneas, el uso de un módulo láser permite grabar patrones sobre la superficie de los modelos con precisión micrométrica. Esta técnica permite representar diferentes zonas pictóricas o elementos narrativos mediante variaciones hápticas fácilmente distinguibles. De esta forma, es posible que quien visite el museo pueda identificar un personaje, una columna, una nube o un árbol por su textura diferenciada, lo que amplía notablemente el potencial comunicativo del modelo. Esta estrategia ha sido poco explorada en el contexto de accesibilidad táctil al arte y representa un campo con gran potencial.

Desde el punto de vista del diseño metodológico, Artacto también introduce innovaciones en el proceso de producción y validación. La cocreación con usuarios finales, especialmente con personas ciegas, se realizará no solo en la fase de testeo, sino también en las fases iniciales de diseño y conceptualización. Esto permite adaptar las decisiones técnicas a criterios reales de usabilidad y comprensibilidad, asegurando una correspondencia efectiva entre el contenido artístico y la representación táctil. Esta lógica participativa convierte a la persona usuaria en parte activa del diseño, y no simplemente en una persona receptora pasiva del producto final.

El proyecto también plantea una innovación en el modelo de transferencia tecnológica y social. A diferencia de otros desarrollos que quedan limitados a entornos universitarios o centros especializados, Artacto está pensado para que pueda ser adoptado por cualquier museo, escuela o entidad cultural sin depender de entidades proveedoras externas. Gracias a su enfoque open-source y a su documentación detallada (guías técnicas, vídeos, tutoriales), se construye una herramienta de democratización tecnológica que puede multiplicar su impacto sin barreras geográficas ni presupuestarias.

Asimismo, Artacto propone la creación de una biblioteca digital de modelos 3D accesibles de cuadros sin restricciones de derechos de autoría, que estará alojada en la web del grupo iFAB. Esta biblioteca será un recurso abierto para que otras instituciones puedan descargar, adaptar o imprimir modelos de forma autónoma. En un contexto en el que la digitalización del patrimonio avanza, pero aún sin enfoque inclusivo, esta biblioteca se convierte en un referente pionero.

La propuesta también explora un modelo de bajo coste con alto impacto. Al emplear impresoras 3D, materiales ampliamente disponibles y software gratuito, se eliminan las barreras económicas que suelen limitar la accesibilidad tecnológica. Esto no solo permite su uso en grandes museos, sino también en pequeños centros culturales, asociaciones locales, centros escolares y espacios de educación especial. Esta versatilidad es clave para expandir su impacto territorial y su sostenibilidad.

Desde la perspectiva de la innovación educativa, Artacto constituye también una herramienta didáctica de alto valor. El uso de modelos táctiles en el aula permite enseñar arte e historia a estudiantes con discapacidad visual, pero también sensibilizar a estudiantes sin discapacidad sobre la diversidad sensorial. La combinación de impresión 3D, diseño inclusivo y narrativas multisensoriales convierte este proyecto en una plataforma educativa transversal que puede integrarse en programas formativos de múltiples niveles.

El carácter innovador del proyecto se refuerza además con la vinculación académica a través de Trabajos Fin de Grado y Máster que permitirán seguir desarrollando nuevos modelos y metodologías dentro del marco universitario. Este modelo académico-productivo garantiza continuidad, renovación de ideas y transferencia constante de conocimiento entre el entorno académico y la sociedad.

En comparación con trabajos anteriores, Artacto destaca por su enfoque integral. No se limita a diseñar un modelo táctil aislado, sino que articula todo un sistema que incluye software, fabricación, validación, documentación y difusión. Esta visión sistémica es clave para que el impacto sea sostenible, replicable y escalable.

Por último, es importante subrayar que el proyecto se enmarca en una línea de investigación aplicada a la accesibilidad y la democratización del patrimonio, lo cual constituye una dimensión estratégica de innovación social. La inclusión cultural es todavía un reto en muchas instituciones, y proyectos como Artacto contribuyen a transformar los modelos tradicionales de museo, acercándolos a públicos históricamente excluidos.

En resumen, el carácter innovador de Artacto puede sintetizarse en los siguientes aspectos:

- Desarrollo de software libre específico para generar modelos táctiles de cuadros.
- Integración de técnicas de fabricación aditiva con texturizado láser para enriquecer la percepción táctil.
- Diseño metodológico centrado en la experiencia del consumidor final desde fases iniciales.
- Modelo de transferencia tecnológica abierto, documentado y replicable.
- Generación de una biblioteca digital de cuadros accesibles.
- Reducción significativa de costes frente a sistemas comerciales equivalentes.
- Aplicación en entornos educativos y culturales con enfoque multisensorial.

- Enlace con investigación universitaria mediante trabajos académicos.

Este conjunto de innovaciones, articuladas en una estrategia coherente y orientada a la inclusión efectiva, convierte al proyecto Artacto en una propuesta singular, alineada con las metas de la convocatoria y con una clara proyección de futuro.

[Extensión estimada 2 págs.]

5. Impacto, Alcance y sostenibilidad

El proyecto Artacto tiene el potencial de generar un impacto significativo y transformador en el acceso a la cultura por parte de personas ciegas o con baja visión, promoviendo una experiencia autónoma, enriquecedora e inclusiva en espacios museísticos. En primer lugar, el número de personas beneficiarias no puede determinarse con precisión, ya que no se trata de un colectivo cerrado, sino que está abierto a todas aquellas personas con discapacidad visual que visiten un Museo o accedan a los modelos publicados online. No obstante, se estima que la iniciativa tendrá un alcance considerable, especialmente en el contexto local y regional.

El impacto directo se medirá a través de las sesiones de validación y prueba organizadas en colaboración con el Grupo Social ONCE. Estas sesiones, que se realizarán tanto durante como después de la ejecución del proyecto, permitirán evaluar la usabilidad, comprensión y satisfacción de las personas usuarias finales. Además, se prevé la posibilidad de recoger feedback estructurado que permitirá perfeccionar los modelos y establecer criterios de mejora continua.

Desde el punto de vista del alcance, el proyecto está diseñado para ser replicable en cualquier otro museo, centro cultural o institución educativa que disponga de una impresora 3D. Gracias a la publicación libre de los modelos en formato STL y del software desarrollado bajo licencia MIT en la página web del grupo iFAB, cualquier entidad interesada podrá descargarlos y adaptarlos a su contexto. Esto abre la puerta a una expansión progresiva del sistema.

Esta replicabilidad también contempla la posibilidad de internacionalización. Aunque el proyecto se circunscribe inicialmente al ámbito local (Málaga), la disponibilidad online de los recursos y su carácter multilingüe permitirán que puedan ser utilizados en otros países. Las herramientas, documentos técnicos y tutoriales estarán disponibles en español e inglés, y se ofrecerá asistencia inicial para su adaptación a otros contextos museísticos o educativos.

Uno de los aspectos más importantes del impacto del proyecto es su sostenibilidad a medio y largo plazo. Artacto no es un proyecto cerrado, sino que se estructura como una plataforma de desarrollo continuo. Los modelos de cuadros se seguirán generando más allá de los 12 meses de duración oficial, gracias a la incorporación del proyecto en las líneas de TFGs y TFM de grupo iFAB. Esto garantizará un flujo constante de nuevos modelos, mejoras técnicas y actualizaciones del software, promoviendo así una comunidad activa de innovación y producción.

En términos de sostenibilidad operativa, el mantenimiento del repositorio web, la validación de nuevos modelos y la atención a la comunidad usuaria serán asumidos por el equipo de investigación y personal universitario adscrito al grupo. Esta estrategia se apoya en la experiencia previa del grupo iFAB en gestión de proyectos de medio plazo y en su capacidad para atraer talento joven con interés en temas de accesibilidad e ingeniería aplicada.

Por otro lado, el proyecto contribuirá también a generar un impacto institucional al servir como modelo de buenas prácticas en innovación inclusiva. Se promoverá su difusión entre otros museos andaluces, redes de innovación social, asociaciones de personas con discapacidad y redes universitarias. En ese sentido, se contempla la presentación de al menos una comunicación científica internacional que recoja los resultados del proyecto, lo que permitirá posicionar a la Universidad de Málaga como un referente en este ámbito.

El plan de comunicación y difusión incluye además la elaboración de materiales divulgativos en formato impreso y digital, así como la utilización de las redes sociales institucionales del grupo (LinkedIn, Instagram, YouTube, Facebook) para dar visibilidad a los avances, hitos y resultados del proyecto. Esta estrategia permitirá alcanzar a públicos diversos, incluyendo profesionales del sector cultural, profesorado, estudiantado y personas usuarias con discapacidad visual.

6. Otras cuestiones a valorar

El proyecto Artacto se fundamenta en una colaboración activa y comprometida con entidades públicas y sociales que desempeñan un papel clave en el ámbito de la inclusión y la difusión del patrimonio cultural. En este sentido, una de las principales fortalezas del proyecto es su orientación a ser aplicado en el Museo de Málaga, un museo público dependiente de la Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta institución aporta un espacio real de aplicación para los modelos táctiles desarrollados. La aplicabilidad en el Museo de Málaga refuerza el carácter público del proyecto, facilita el acceso a colecciones artísticas de relevancia y garantiza una implementación directa de los resultados en un entorno museístico profesional y accesible.

La participación del Grupo Social ONCE aporta una dimensión esencial al proyecto. Como organización sin ánimo de lucro con una dilatada trayectoria en el ámbito de la discapacidad visual, ONCE actuará como entidad asesora y evaluadora de los modelos desarrollados. Su intervención no solo contribuirá a validar los diseños desde el punto de vista de la usabilidad y la comprensión táctil, sino que también facilitará la organización de sesiones de testeo con participantes reales. Como muestra de esta colaboración, se destinará una partida presupuestaria de 2.000 €, correspondiente al 10 % de los fondos para entidades del tercer sector, al Grupo Social ONCE, como reconocimiento a su implicación y apoyo técnico.

Uno de los principales valores del proyecto reside en la universalidad de la solución propuesta. Al emplear tecnologías accesibles y económicas como la impresión 3D y software libre, cualquier museo, biblioteca, institución educativa o centro social podrá implementar de forma autónoma los modelos generados. La filosofía de código abierto y distribución gratuita permitirá replicar la experiencia más allá del Museo de Málaga, promoviendo la creación de redes de colaboración cultural inclusiva en otros contextos territoriales.

El impacto laboral y social de Artacto se refleja tanto en la mejora de la accesibilidad cultural para personas con discapacidad visual como en la formación de nuevos profesionales comprometidos con la inclusión. El proyecto fomentará la participación activa del estudiantado universitario a través de Trabajos Fin de Grado (TFG) y Trabajos Fin de Máster (TFM) enfocados al diseño y fabricación de modelos táctiles, lo que redundará en una formación técnica con sensibilidad social y valores de responsabilidad pública.

El potencial de transferencia directa a la sociedad es muy elevado, dado que los resultados del proyecto serán accesibles a través de la página web del grupo iFAB. Allí se publicará el software libre desarrollado bajo licencia MIT, junto con modelos en formato STL listos para imprimir, documentación técnica, guías de uso y materiales complementarios. Esta estrategia permitirá a cualquier entidad interesada implementar de forma autónoma soluciones de accesibilidad táctil en sus propias colecciones o espacios expositivos.

El proyecto cuenta, además, con un desarrollo inicial que ha permitido explorar la viabilidad técnica, definir los primeros prototipos y establecer los contactos iniciales con las instituciones colaboradoras. Aunque no ha recibido financiación económica directa, representa una inversión previa relevante en tiempo, conocimiento y estructura de trabajo.

En cuanto a la visibilidad y difusión del proyecto, se aprovecharán los canales institucionales del grupo iFAB (redes sociales como LinkedIn, Instagram, YouTube y Facebook) para dar a conocer los avances y resultados. Además, se contempla la presentación de al menos una comunicación en un congreso científico internacional, lo que contribuirá a posicionar a la Universidad de Málaga como agente promotor de la accesibilidad y la innovación en el patrimonio cultural.

Con esta combinación de respaldo institucional, implicación asociativa, viabilidad técnica y orientación pública, Artacto se configura como un modelo replicable, sostenible y con un fuerte compromiso social, que aspira a transformar la experiencia museística de las personas ciegas y fomentar una cultura verdaderamente inclusiva.

Avda. de Bruselas, 35
28108 Alcobendas
Madrid, Spain
T +34 91 480 50 00

indracompany.com





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

