UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGÍA EN EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

DANILO GILBERTO OVIEDO CRUZ

NELSON ALEXIS VÁSQUEZ VÁSQUEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DIRECTORA INTERINA:

MSC. JEANNETTE ELIZABETH SÁNCHEZ DE POCASANGRE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título :

DISEÑO DE UN MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGÍA EN EL SALVADOR

Presentado por:

DANILO GILBERTO OVIEDO CRUZ
NELSON ALEXIS VÁSQUEZ VÁSQUEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. FRANCISCO ORLANDO REYES CONTRERAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. FRANCISCO ORLANDO REYES CONTRERAS

Agradecimientos

Finalizar este trabajo de grado me llena de satisfacción, paz interior, me enorgullece y llena mi corazón de una inmensa gratitud, he sido testigo del amor de Dios y sus dones, sin él no hubiese sido posible tantas noches llenas de creatividad y disciplina.

A mi familia, a quienes quiero dedicar este logro, a quienes debo tanto y agradezco infinitamente. Mateo Cruz mi hermano quien ha sido siempre mi auxilio confiable y mi cómplice leal, mi amada madre Silvia Elizabet Cruz Rojas quien de manera objetiva puedo decir que es una mujer fuerte, inteligente y amorosa quien ha sido siempre mi fuente de vida, de inspiración, de motivación y sabiduría, mi querida tía Dina, quien ha sido mi segunda madre, y pues claro, mi querida prima Jazmín, a mi abuelo Gilberto, tío Romeo y tía Gladis, quienes partieron antes de celebrar este triunfo conmigo y que siempre confiaron con que lo finalizaría exitosamente, a mi querido tío Jonny por sus oraciones constantes, a todos mis tías, tíos, primas y primos, y a los que ya he mencionado, quiero expresar mi más sincero agradecimiento, soy quien soy gracias a todos ellos, alcanzo mi triunfo gracias a ellos y continuo mejorando gracias a ellos.

También quiero expresar mi agradecimiento a mis amigas y amigos de la universidad y mi pueblo, quienes me ayudaron constante y amablemente, especialmente a Nelson Vásquez con quien hemos trabajado arduamente para finalizar esta tesis.

Agradezco a todas las personas que me han acompañado en mis noches de desvelo, quienes me escucharon quejarme, que celebraron cada pequeño logro y que siempre me animaron y dieron palabras de sabiduría. Estoy agradecido con el camino que he recorrido, quiero motivar a toda persona a que se esfuerce por sus sueños, que se arriesguen, que no teman al fracaso, que no teman innovar y ser creativos.

Danilo Gilberto Oviedo Cruz

Agradecimientos

“Deléitate asimismo en Jehová, Y él te concederá las peticiones de tu corazón” (Salmos 34:7). Primero agradezco infinitamente la gracias, la misericordia, la ayuda y el amor que Dios ha tenido hacia mi familia y mi persona; sin duda alguna culminar esta etapa ha sido su voluntad, pues no solo preparó las bendiciones en el camino, sino también me dio las fuerzas, la sabiduría y la inteligencia necesaria para afrontar cada reto en el camino.

Culminar esta etapa no solo es mi logro, es el empeño y el sacrificio de mi hermana que con mucho cariño le llamo Lilo, ella ha sido el pilar en todo mi crecimiento y desarrollo académico, nunca le dijo no al sueño de un joven de 15 años que quería desarrollarse académica y profesionalmente, aun con todas las dificultades en el camino. Yo no estaría redactando estas palabras si no fuera por las oraciones elevadas por mi abuela, mi madre y mi tía (a quien recuerdo con mucho amor desde su partida), ellas siempre confiaron en que esto se lograría y que sin lugar a duda Dios abría puertas, aunque pareciera difícil, sin duda alguna agradezco todos los buenos deseos de mi familia para que reto que parecía imposible se lograra.

Nunca imaginé que este reto académico me dejaría no solo aprendizajes en mi formación profesional, sino también valiosas experiencias de vida. Durante mi paso por la universidad, tuve la fortuna de conocer a personas extraordinarias, cuya amistad y apoyo fueron fundamentales en este camino. A todos ellos, quienes con su inteligencia, carácter único y compañía alegraron este trayecto, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Sin ustedes, este logro no habría sido posible, quiero que sepan que cada uno de ustedes tiene un lugar importante en mi corazón. ¡Gracias infinitas por ser parte de esta aventura!

Agradezco en una manera especial a nuestro asesor ingeniero Orlando Reyes, quien con sus concomimientos nos orientó para lograr las metas en el desarrollo de la investigación, personalmente agradezco la ingeniera Karen Chanta a quien pude asistir como auxiliar de

catedra y me mostro su apoyo en el desarrollo de mis conocimientos académicos, dando aperturas a consultas que nos permitieran desarrollar de mejor manera este proyecto.

El desarrollar este trabajo que me otorga el titulo como ingeniero, no lo habría podido lograr sin un excelente equipo que en el periodo de los últimos años de carrera trabajamos de manera excelente y profesional, agradezco a mi compañera y amiga Michelle que apoyo en los inicios del estudio y sin lugar a duda muestro mis más sinceros agradecimientos para Danilo con quién culminamos este trabajo y a quien considero no solo compañero sino un amigo, resaltó sus profesionalismos e inteligencia que lo caracterizan y agradezco infinitamente la paciencia y el apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Dedico este trabajo no solo a mi crecimiento personal, sino también a todas las personas que han sido mi apoyo incondicional y me despido con una fase muy especial: "El futuro pertenece a aquellos que creen en la belleza de sus sueños." – Eleanor Roosevelt; Todo es posible si creemos en Dios y nos centramos en lo que soñamos.

Nelson Alexis Vásquez Vásquez

Índice

1. Introducción 1

2. Objetivos Del Modelo 2

2.1. Objetivo General 2

2.2. Objetivos Específicos 2

3. Alcances Y Limitaciones 3

3.1. Alcances 3

3.2. Limitaciones 4

4. Importancia 5

5. Justificación 6

6. Metodología General 8

7. Planificación De La Investigación 9

8. Marco Contextual 10

8.1. Marco Teórico 10

8.1.1. La Revolución Industrial 10

8.1.2. La Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0) 12

8.1.3. La Fabricación Digital Y Sus Ventajas 14

8.1.4. Sistemas De La Fabricación Digital 16

8.1.5. Tipos De Fabricación Digital 18

8.1.6. La Impresión 3d 26

8.1.7. La Relación De La Impresión 3d En La Planeación Pre Operatoria 27

8.2. Marco Conceptual 33

8.2.1. Términos Relacionados Con La Ingeniería Industrial 33

8.2.2. Términos Relacionados Con La Medicina 40

8.3. Marco Legal 59

8.3.1. Propiedad Intelectual Y Derechos De Autor En El Salvador 59

8.3.2. Propiedad Industrial 60

8.3.3. Patente 61

8.3.4. Modelo De Utilidad 61

8.3.5. Diseños Industriales 62

8.3.6. Marcas *62*
8.3.7. Autoridades Encargadas De Velar Por La Integridad De La Propiedad Intelectual E Industrial *64*
8.3.8. Base Legal Hospitalaria En El Salvador *65*
8.4. Antecedentes 72
8.4.1. Antecedentes De La Fabricación 3d *72*
8.4.2. Desarrollo Tecnológico En El Sistema Medico De El Salvador *74*
8.4.3. La Impresión 3d En El Campo Medico De El Salvador *80*
8.4.4. Relación De La Fabricación Digital Y La Ingeniería Industrial *84*
8.4.5. El Hospital Nacional De Niños "Benjamín Bloom" *88*
8.4.6. Hospital Nacional Especializada "Rosales" *89*
8.4.7. Antecedentes Sobre Enfermedades Cardiovasculares En El Salvador *91*
8.4.8. Carga De Enfermedades Cardiovasculares *94*
8.4.9. Servicios De Apoyo En El Área De Cardiología *96*
8.4.10. Servicios Ofertados Por La Fabricación Digital A La Medicina *99*
8.4.11. Estadísticas De Cardiopatías Congénitas En El Salvador *100*
8.4.12. Proceso De Operación General. *103*
8.4.13. Diseño De Un Modelo De Fabricación Digital *128*
9. Diagnóstico 130
9.1. Objetivo General 130
9.2. Objetivos Especifico 130
9.3. Metodología General De La Etapa De Diagnostico 131
9.3.1. Esquema De La Metodología *131*
9.3.2. Definición Del Tipo De Investigación *132*
9.4. Determinación Del Universo Y La Muestra 136
9.4.1. Universo Del Estudio *136*
9.4.2. Definición De La Muestra De La Red Hospitalaria De El Salvador *137*
9.4.3. Determinación De La Muestra Poblacional *142*
9.4.4. Caso De Estudio: Hospital De Niños Benjamín Bloom *144*
9.5. Definición De La Hipótesis De Trabajo 145
9.6. Matriz De Operacionalización De Variables 146
9.7. Técnicas A Emplear En La Investigación De Campo 152

9.7.1. La Encuesta. *152*
9.7.2. La Entrevista. *153*
9.7.3. Diseño De Los Instrumentos *154*
9.8. Análisis De Resultados De La Recopilación De La Situación Actual 167
9.8.1. Análisis De Las Entrevistas A Profesionales De La Salud *167*
9.8.2. Análisis De Profesionales En El Uso De Impresión 3D *182*
9.8.3. Tabulación Y Análisis De Los Resultados De La Encuesta A La Población *189*
9.8.4. Análisis Grupal De Los Resultados De Investigación *212*
9.9. Análisis Para Validación De La Hipótesis De Trabajo 220
9.10. Determinación De La Problemática De La Situación Actual 224
9.10.1. Metodología Del Marco Lógico *224*
9.10.2. Planteamiento De La Problemática *231*
10. Diseño Detallado 234
10.1. Objetivo General 234
10.2. Objetivos Específicos 234
10.3. Metodología 236
10.4. Conceptualización Del Diseño La Propuesta De Solución 237
10.4.1. Esquema De Conceptualización Del Diseño De La Propuesta De Solución *238*
10.4.2. Descripción De Los Componentes De La Propuesta De Solución *239*
10.5. Áreas, Personal Y Procesos Claves Para El Modelo 241
10.5.1. Procesos Claves Y Personal Involucrado *241*
10.5.2. Áreas Involucradas. *245*
10.5.3. Operatividad Para El Diseño Del Modelo *262*
10.6. Plan De Sensibilización Y Compromiso 265
10.7. Ingeniería Del Modelo 292
10.7.1. Tamaño De La Capacidad A Instalar Para El Modelo *292*
10.7.2. Elementos De La Ingeniería Del Modelo. *332*
10.7.3. Manual Técnico Del Modelo *432*
10.8. Plan De Capacitaciones 569
10.9. Modelo De Enseñanza Sobre La Fabricación Digital En La Medicina 589

10.10. Guía Para La Selección Del Tipo De Hospital Donde Se Puede Ejecutar El Modelo. 604
10.11. Plan De Implementación 612
10.11.1. Objetivo General ... *613*
10.11.2. Objetivos Específicos ... *613*
10.11.3. Alcance De La Implementación ... *614*
10.11.4. Limitación Del Plan De Implementación ... *614*
10.11.5. Generalidades Para La Implementación ... *615*
10.11.6. Estructura De Descomposición Del Trabajo (Edt) ... *620*
10.11.7. Diccionario Edt ... *633*
10.11.8. Red Del Proyecto ... *648*
10.11.9. Calendario De Trabajo Para La Implementación ... *653*
10.11.10. Organización Para La Implementación ... *654*
11. Evaluación Del Modelo ... 656
11.1. Objetivo General 656
11.2. Objetivos Específicos 656
11.3. Metodología Para Las Evaluaciones Del Proyecto 656
11.4. Características Del Modelo Como Proyecto Social 657
11.5. Inversión Inicial Del Modelo 659
11.5.1. Inversión Tangible ... *661*
11.5.2. Inversión Intangible ... *663*
11.5.3 Inversión Mínima Por Componente ... *666*
11.6. Capital De Trabajo 667
11.7. Determinación De Los Costos Operativos Del Servicio 674
11.7.1. Métodos Para Determinar Los Costos Operativos Del Servicio ... *674*
11.7.2. Selección De Los Métodos Para El Cálculo De Costos De Operaciones ... *677*
11.7.3. Depreciación De Equipos ... *681*
11.7.4. Determinación Del Costo De Servicio De Modelado Virtual ... *682*
11.7.5. Determinación Del Costo De Servicio De Impresión 3d ... *688*
11.7.6. Costo De Los Servicios ... *693*
11.8. Beneficios De Los Servicios Del Modelo 696
11.8.1. Demanda De Cirugías ... *697*

11.8.2. Reducción De Tiempos De Cirugías ... *697*
11.8.3. Proyección De Tiempos De Cirugías ... *704*
11.8.4. Establecimiento De Costos De Cirugía ... *705*
11.8.5. Proyección De Ahorros En Cirugías ... *706*
11.8.6. Estado De Flujo De Efectivo ... *707*
11.9. Evaluación Económica 710
11.9.1. Tasa De Descuento ... *710*
11.9.2. Valor Presente Neto (Vpn) ... *713*
11.9.3. Tasa Interna De Retorno (Tir) ... *714*
11.9.4. Análisis Beneficio – Costo ... *716*
11.9.5. Análisis De Sensibilidad ... *718*
11.10. Evaluación Social 726
11.10.1. Panorama Económico Del Sistema De Salud ... *727*
11.10.2. Población Beneficiada Por El Proyecto ... *734*
11.10.3. Análisis De Los Beneficios Y Escenarios Económicos De La Aplicación ... *739*
11.10.4. Perspectiva De Los Servicios Ofertados En Un Sistema De Salud Publico Contra El Sistema De Salud Privado ... *742*
11.10.5. Aumento En La Capacidad De Pacientes Por Atender ... *745*
12. Conclusiones ... 748
13. Recomendaciones ... 751
14. Bibliografía ... 754
15. Anexos ... 768

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Metodología general 8
Ilustración 2: Cronograma de la ejecución de la investigación de diagnóstico. 9
Ilustración 3: Cronología de la revolución industrial 12
Ilustración 4: Dimensiones de la industria 4.0. 13
Ilustración 5: Equipo de impresión en 3D, Escuela de ingeniería Industrial Universidad de El Salvador 18
Ilustración 6: Cortadora Láser cortando chapa de metal 18
Ilustración 7: fresadora vertical. 18
Ilustración 8: Impresora 3D, Escuela de Ingeniería Industrial Universidad de El Salvador 19
Ilustración 9: Métodos de fabricación aditiva 22
Ilustración 10: Fricación digital, sustractiva. 25
Ilustración 11: Fabricación Adictiva. 25
Ilustración 12: Tomografía computarizada preoperatoria. 28
Ilustración 13: Tomografía computarizada preoperatoria 29
Ilustración 14: Modelo cardíaco 3D preoperatorio 29
Ilustración 15: Comparación del modelo cardíaco 3D preoperatorio y postoperatorio. 29
Ilustración 16: Comparación de impresión 3D contra anatomía real 32
Ilustración 17: Ejemplo de diseño asistido por computadora (CAD). 37
Ilustración 18: Ejemplo de ingeniería asistida por computadora (CAE) 38
Ilustración 19: Ejemplo de manufactura asistida por computadora 39
Ilustración 20: Ejemplo de tomografía computarizada. 41
Ilustración 21: Ejemplo de angiografía TAC o Angiotac 42
Ilustración 22: Ejemplo de aplicación del material de contraste 43
Ilustración 23: Sistema cardiovascular 53
Ilustración 24: Corazón humano. 54
Ilustración 25: Arteria aorta 55
Ilustración 26: Artículos de Ley de propiedad intelectual. 60
Ilustración 27: Logo POLICOM 64
Ilustración 28: Logo CNR. 64
Ilustración 29: Logo FGR 65
Ilustración 30: La primera impresora SLS a laser por el Dr. Carl Deckard y el Dr. Joe Beaman 73
Ilustración 31: Charles Hull aplicando la Estereolitografía. 73
Ilustración 32: Proyecto Rerap máquina impresora auto reproducible 74

Ilustración 33: Competencias del ingeniero industrial.....88
Ilustración 34: Modelo 3D de paciente elaborado en el FIA LAB de la UES. 89
Ilustración 35: Fotografías de la jornada de cirugías cardiovasculares en el Hospital Rosales..90
Ilustración 36: Modelos 3D de aortas generados en colaboración con el hospital de Vicenza...90
Ilustración 37: Tasas ajustadas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en 2015. ...92
Ilustración 38: Tasa de habitantes que sufren enfermedades cardiovasculares. 95
Ilustración 39:Servicios ofertados a través de la aplicación del modelo 99
Ilustración 40: Clasificación de estado físico de la American Society of Anesthesiologists (AsA). 104
Ilustración 41: Esquema procedimental de la evaluación prequirúrgica segura en cirugía de emergencia. 110
Ilustración 42: Esquema procedimental de la evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva. 114
Ilustración 43: Programación de cirugía electiva 118
Ilustración 44: Preparación y abastecimiento del quirófano.....121
Ilustración 45: Atención integral del paciente en el acto quirúrgico.....127
Ilustración 46: Metodología de diagnóstico. 131
Ilustración 47: Secuencia de los tipos de investigación. 132
Ilustración 48: Tipo de investigación seleccionada. 135
Ilustración 49: Muestra n Unidades a observar 136
Ilustración 50: Representación gráfica pregunta 1 189
Ilustración 51: Representación gráfica de la pregunta 2. 190
Ilustración 52: Representación gráfica de la pregunta 3. 192
Ilustración 53: Representación gráfica de la pregunta 4. 193
Ilustración 54: Representación gráfica de la pregunta 5. 194
Ilustración 55: Representación gráfica de la pregunta 6. 196
Ilustración 56: Representación gráfica de la pregunta 7. 197
Ilustración 57: Representación gráfica de la pregunta 8. 198
Ilustración 58: Representación gráfica de la pregunta 9. 199
Ilustración 59: Elaboración propia. 200
Ilustración 60: Representación gráfica de la pregunta 11. 200
Ilustración 61: Representación gráfica de la pregunta 12.....201
Ilustración 62: Representación gráfica de la pregunta 13. 202
Ilustración 63: Representación gráfica de la pregunta 14. 203

Ilustración 64: Representación gráfica de la pregunta 15. 204
Ilustración 65: Representación gráfica de la pregunta 16. 205
Ilustración 66: Representación gráfica de la pregunta 17. 205
Ilustración 67: Representación gráfica de la pregunta 18. 206
Ilustración 68: Representación gráfica de la pregunta 19. 207
Ilustración 69: Representación gráfica pregunta 20. 208
Ilustración 70: Representación gráfico de la pregunta 21. 209
Ilustración 71: Representación gráfica de la pregunta 22. 210
Ilustración 72: Representación gráfica de la pregunta 23. 211
Ilustración 73: Análisis de árbol de problemas....229
Ilustración 74: Análisis de árbol de objetivos. 230
Ilustración 75: Caja negra de la situación problemática identificada y el estado que se busca alcanzar. 231
Ilustración 76: Metodología del diseño detallado. 236
Ilustración 77: Esquema de conceptualización del diseño de la propuesto de solución....238
Ilustración 78: Mapa de Procesos del Ministerio de Salud; Acuerdo Ministerial de Oficialización N°637, 12 febrero 2021. 242
Ilustración 79: Proceso para la evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva. 243
Ilustración 80: Esquema para la representación la funcionalidad del modelo basado en las áreas relacionadas con el mismo. 246
Ilustración 81: Operatividad para el diseño del modelo. 262
Ilustración 82: Esquema de organización para la implementación. 275
Ilustración 83: Cronograma del plan de sensibilización y compromiso. 289
Ilustración 84:Grafica representativa de las anomalías congénitas cardiacas. 294
Ilustración 85: Filamento ABS para impresión 3D. 298
Ilustración 86: Filamento PLA para impresión 3D. 299
Ilustración 87: Ejemplo de impresión 3D con material PETG. 301
Ilustración 88: Ejemplo de impresión con material TPE. 303
Ilustración 89: Ejemplo de impresión con material TPU. 305
Ilustración 90: Técnico de prácticas cardiológicas. 314
Ilustración 91: Referencia de profesionales de imagenología, fuente diario público. 315
Ilustración 92: Referencia de técnico en impresión 3D. 316
Ilustración 93: Factores a considerar para el tamaño del proyecto. 318
Ilustración 94:Grafíca del comportamiento de los egresados de radiología e imagen 332

Ilustración 95: Entradas y salidas del servicio de modelado virtual. 336
Ilustración 96: Entradas y salidas del servicio de impresión 3D. 342
Ilustración 97: Entradas y salidas del servicio de formación profesional.....344
Ilustración 98: Relación y secuencia de los 3 servicios del modelo. 348
Ilustración 99: Mapa de proceso general.....350
Ilustración 100: Proceso del servicio de impresión de modelos 3D. 355
Ilustración 101: Proceso del servicio de modelado virtual. 356
Ilustración 102: Proceso del servicio de formación profesional. 360
Ilustración 103: Ejemplo de ilustración de extrusor de impresión 3D (CAM).....363
Ilustración 104: Funcionamiento de fabricación 3D con la tecnología FDM.....366
Ilustración 105: Ejemplo de creación de soportes estructurales para una impresión 3D. 366
Ilustración 106: Comparación de inclinaciones paras las que se requiere estructura de soporte. 367
Ilustración 107: Proceso de fabricación 3D con la tecnología SLA. 367
Ilustración 108: Proceso de fabricación 3D con tecnología SLS. 369
Ilustración 109: Comparación del acabado superficial de impresión 3D en FDM, SLA y SLS..372
Ilustración 110: Diagrama de operaciones de la fabricación digital. 373
Ilustración 111: Tiempos y actividades de operaciones de la fabricación digital. 374
Ilustración 112: Diagrama hombre - máquina del modelo. 375
Ilustración 113: Gráfica del resumen de diagrama hombre - máquina. 377
Ilustración 114: Metodología de planificación de la producción. 380
Ilustración 115: Dimensiones y configuración de modelado para impresión 3D. 387
Ilustración 116: Diagrama de balance de materiales de año 1. 389
Ilustración 117: Organigrama del departamento de modelado y fabricación digital anatómica. 395
Ilustración 118: Organigrama para departamento de imágenes médicas. 396
Ilustración 119: Impresora 3D de tecnología SLA de dimensiones mínimas de escritorio. 403
Ilustración 120: Máquina de lavado de tecnología SLA, dimensiones de escritorio. 405
Ilustración 121: Máquina de curado de tecnología SLA, dimensiones de escritorio. 406
Ilustración 122: Equipo computacional para el diseño asistido por computadora. 407
Ilustración 123:Softwares libres de modelado virtual para imágenes médicas. 408
Ilustración 124:Softwares de paga de modelado virtual para imágenes médicas. 408
Ilustración 125: Dispositivo UPS. 417
Ilustración 127: Diagrama de relación de actividades.....421

Ilustración 128: Diagrama SLP del área de trabajo 424
Ilustración 129: Propuesta 1 de distribución en bloques.....426
Ilustración 130: Propuesta 2 de distribución en bloques.....426
Ilustración 131: Asignación de códigos de proximidad en el cuadro adimensional del área. ...427
Ilustración 132: Diagrama de bloques adimensional. 427
Ilustración 133: Diagrama de bloque adimensional y recorrido de trabajo.....428
Ilustración 134: Distribución en planta propuesta para el modelo.....429
Ilustración 135: Vista superior de distribución de trabajo para el modelo. 430
Ilustración 136: Vista del área de almacenamiento, impresión 3D, mesas de trabajo y mesas de corte y limpieza.....431
Ilustración 137: Vista de área de lavado y post curado de impresión 3D.....431
Ilustración 138: Vista del área de modelado 3D y apoyo formativo. 431
Ilustración 139: Área de administración. 432
Ilustración 140: Área de esterilización y entrega de producto terminado.....432
Ilustración 141: Conceptualización de la solución. 618
Ilustración 142: Estructura De Descomposición Del Trabajo (EDT).....620
Ilustración 143: Organización con la incorporación de la nueva área. 621
Ilustración 144: Diagrama de bloques adimensionales con flujo de fabricación 3D. 625
Ilustración 145: Área de trabajo de esterilización y empaque.....626
Ilustración 146: Área de trabajo de limpieza y corte, vista superior. 626
Ilustración 147: Área de trabajo de mesa de trabajo general, vista superior.....627
Ilustración 148: Área de trabajo, mesa de trabajo general, vista lateral.....627
Ilustración 149: Área de trabajo de imagen y modelado 3D, vista superior.....628
Ilustración 150:Área de trabajo de imagen y modelado 3D, vista lateral. 628
Ilustración 151: Área de trabajo de impresión 3D, vista superior. 629
Ilustración 152: Área de trabajo de impresión 3D, vista lateral. 629
Ilustración 153: Área de trabajo de lavado, vista superior. 630
Ilustración 154: Área de trabajo de lavado, vista lateral. 630
Ilustración 155: Área de trabajo de post curado, vista superior. 631
Ilustración 156: Área de trabajo de post curado, vista lateral. 631
Ilustración 157: Área de almacenamiento, vista superior.....632
Ilustración 158: Área de almacenamiento, vista lateral.....632
Ilustración 159: Esquema de diccionario EDT. 633
Ilustración 160: Red de trabajo y ruta crítica. 651

Ilustración 161: Calendario de trabajo de implantación. 653
Ilustración 162: Organización para la implementación del proyecto. 654
Ilustración 163: Metodología de la evaluación del modelo 657
Ilustración 164: Metodología de la determinación de los ahorros en costos. 697
Ilustración 165: TIR vs Tasa de descuento - Análisis de sensibilidad.....725
Ilustración 166: VPN - Análisis de sensibilidad. 726
Ilustración 167: Grafica del comportamiento del presupuesto al área de salud en los últimos 4 años. 729
Ilustración 168: Grafica del comportamiento de las inversiones en bienes muebles. 730
Ilustración 169: Grafica del comportamiento de las inversiones en intangibles últimos 4 años. 731
Ilustración 170: comportamiento de las inversiones en infraestructura para el sector salud. ...732
Ilustración 171: comportamiento de las inversiones para el capital humanos.....733
Ilustración 172: Grafica del comportamiento del índice de natalidad en el país.....735
Ilustración 173: Pirámide de población de El Salvador en 2024. 737

Índice de tabla

Tabla 1: Descripción de las revoluciones industriales, fuente propia. 11
Tabla 2: Importancia e impacto de la cuarta revolución industrial. 13
Tabla 3: Proceso y materiales en la fabricación aditiva. 22
Tabla 4: Procesos y materiales de la fabricación sustractiva. 24
Tabla 5: Fabricación aditiva vrs fabricación sustractiva. 26
Tabla 6: Competencias de la ingeniería industrial en el contexto de las nuevas tecnologías. 86
Tabla 7: Atención por grupos etarios en la especialidad Cardiología 2022. 93
Tabla 8: Representación de pacientes de la especialidad de cardiología a nivel nacional por sexo. 93
Tabla 9: Servicios brindados por la red hospitalaria del país para cardiologías, fuente: diseño propio. 96
Tabla 10: Definición de los servicios de cardiología, fuente: diseño propio. 96
Tabla 11: Servicios brindados en cardiología del 2017 al 2021, Fuente: Portal de transparencia de El Salvador. 98
Tabla 12: Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas 100
Tabla 13: Anomalías cardiacas congénitas registradas en hojas de vigilancias de anomalías congénitas del SNIS 2017-2020 102
Tabla 14: Causa básica de mortalidad infantil (menores de 1 año) por anomalías cardiovasculares del SNIS 2017-2020 102
Tabla 15: Procedimiento de Evaluación prequirúrgica segura en cirugía de emergencia. 106
Tabla 16: Procedimiento Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva. 111
Tabla 17: Procedimiento de Programación de cirugía electiva. 115
Tabla 18: Preparación y abastecimiento del quirófano. 119
Tabla 19: Atención integral del paciente en el acto quirúrgico. 122
Tabla 20: Tipos de investigaciones y sus características. 133
Tabla 21: Modalidad de aplicación de instrumento a sujetos muestrales institucionales. 141
Tabla 22: Matriz de distribución de sujetos muestrales por hospital y especialidad. 142
Tabla 23 Población de pacientes del área de cardiología. 143
Tabla 24 Cálculo de muestra de pacientes. 143
Tabla 25: Declaración de variables. 146
Tabla 26: Matriz de operacionalización de variables a equipo 147
Tabla 27: Matriz de operacionalización de variables para los potenciales usuarios de procesos quirúrgicos planeados con ayuda de la fabricación digital. 150

Tabla 28: Descripción de la encuesta a emplear. 152
Tabla 29: Descripción de las entrevistas a emplear. 153
Tabla 30: Ficha técnica de encuesta a la población (pacientes). 154
Tabla 31: Ficha técnica de entrevista dirigida a profesionales de la salud. 159
Tabla 32: Ficha técnica de la entrevista a profesionales de impresión 3D. 164
Tabla 33: Análisis individual de las respuestas de la sección 1 sobre el proceso de planeación pre operatoria en las entrevistas a profesionales de la salud. 167
Tabla 34: Análisis individual de las respuestas de la sección 2 sobre el proceso quirúrgico en las entrevistas a profesionales de la salud. 176
Tabla 35: Análisis individual de las respuestas de la sección 3 sobre el proceso post quirúrgico en las entrevistas a profesionales de la salud. 178
Tabla 36: Análisis individual de las respuestas de las entrevistas a los profesionales en impresión 3D. 182
Tabla 37: Cantidad de respuestas de encuesta por cada lugar de aplicación. 189
Tabla 38: Características de las personas que respondieron la encuesta. 190
Tabla 39: Rango de edades de las personas que respondieron la encuesta. 191
Tabla 40: Sexo de las personas que respondieron la encuesta. 192
Tabla 41: Distribución de personas que respondieron la encuesta por departamento. 193
Tabla 42: Distribución de personas que respondieron la encuesta por municipio. 194
Tabla 43: Cantidad de encuestados con hijos. 197
Tabla 44: Rango de ingresos estimados de los encuestados. 198
Tabla 45: Ocupación de los encuestados. 199
Tabla 46: Cantidad de encuestados con trabajo formal. 199
Tabla 47: Cantidad de encuestados que ya fueron sometidos a cirugía. 200
Tabla 48: Cantidad de encuestados que afirman haber recibido una explicación de parte del doctor. 201
Tabla 49: Cantidad de encuestados que desean una explicación con nuevas tecnologías. 202
Tabla 50: Lugar en el que los encuestados fueron operados. 202
Tabla 51: Medios utilizados por los doctores para explicar los padecimientos a los pacientes. 203
Tabla 52: Cantidad de encuestados que entendieron la explicación del doctor. 204
Tabla 53: Cantidad de encuestados que desean una ampliación de las explicaciones médicas. 205
Tabla 54: Cantidad de encuestados que desean un diagnóstico con nuevas tecnologías 206

Tabla 55: Cantidad de encuestados que conocían la aplicación de la tecnología 3D en medicina. 207
Tabla 56: Valoración de aplicación de la tecnología 3D en el análisis pre quirúrgico. 208
Tabla 57: Cantidad de encuestados dispuestos a pagar por el uso de la fabricación 3D. 209
Tabla 58: Monto estimado de pago por el uso de impresiones 3D. 210
Tabla 59: Cantidad de encuestados dispuestos a participar en análisis pre quirúrgicos que incorporen impresiones 3D. 211
Tabla 60: Profesionales de cardiología entrevistados. 212
Tabla 61: Pacientes entrevistados. 218
Tabla 62: Análisis de la variable calidad de imágenes de las anatomías únicas. 221
Tabla 63: Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital .221
Tabla 64: Nivel de comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico 222
Tabla 65: Aplicación de la fabricación digital 223
Tabla 66: Matriz de análisis de involucrados. 225
Tabla 67: Criterios para la valoración de las alternativas parciales de solución. 232
Tabla 68: Descripción de los componentes de la conceptualización del diseño de la solución propuesta. 239
Tabla 69: descripción de las áreas relacionadas con el modelo. 248
Tabla 70: Descripción de los tipos de procesos. 263
Tabla 71: Tipos de público de meta para sensibilización 284
Tabla 72: Temas de descripción de contenido para sensibilización 285
Tabla 73: Estrategias, actividades y responsables de comunicación 287
Tabla 74: Anomalías cardiacas congénitas registradas en hojas de vigilancias 293
Tabla 75: Tendencia de los pacientes atendidos 294
Tabla 76: Factores determinantes para los periodos de proyección 296
Tabla 77: Pronostico de casos a atender en los próximos 4 años 297
Tabla 78: comparación entre los distintos materiales TPU y TPE 306
Tabla 79: Características técnicas de variantes de resinas LCD y DLP 310
Tabla 80: Criterios y ponderación para seleccionar el tamaño del modelo 318
Tabla 81: Relación entre criterios y factores. 320
Tabla 82: Método de puntuación 321
Tabla 83: Evaluación de los factores 321
Tabla 84: ponderación de los factores y selección del factor principal 322
Tabla 85: Pronostico de casos a atender en los próximos 4 años 324

Tabla 86: Imprevistos para el funcionamiento del modelo 325
Tabla 87: Ponderación de los imprevistos 327
Tabla 88: Valoración de los improvistos en el tiempo 328
Tabla 89: Establecimiento de la capacidad anual 328
Tabla 90: Variables considerada en la definición de la demanda del servicio de modelado virtual 329
Tabla 91: Egresados de imagen y radiología en instituciones del país 331
Tabla 92: proyección de egresados de radiología e imagen 332
Tabla 93: Secuencia de pasos para los servicios 345
Tabla 94: Descripción de servicio de modelado virtual e impresión 3D 351
Tabla 95: Descripción del servicio de formación profesional.....357
Tabla 96: Tipos de sistemas de producción 362
Tabla 97: Comparación de tecnologías de impresión 3D.....369
Tabla 98: Resumen de diagrama hombre - máquina. 376
Tabla 99: Suplementos de tiempo asociados al TROA 382
Tabla 100: Proyección de la demanda por año.....385
Tabla 101: Proyección de la producción por año 386
Tabla 102: Planificación de los materiales en función del pronóstico de la producción.....388
Tabla 103: Requerimiento de materiales en función del pronóstico de la producción anual 390
Tabla 104: Análisis de requerimiento de materiales (Resina) 391
Tabla 105: Análisis de requerimiento de materiales (Alcohol).....391
Tabla 106: Análisis de requerimiento de materiales (Amonio) 391
Tabla 107: Requerimiento de Maquinaria y equipo.....394
Tabla 108: Puestos de trabajo para la estructura organizacional del departamento 397
Tabla 109: Cantidad de personas en cada puesto de trabajo y justificación 398
Tabla 110: Especificaciones técnicas de impresora 3D 402
Tabla 111: Especificación técnica de máquina de lavado 404
Tabla 112: Especificaciones técnicas de máquina de post curado.....405
Tabla 113: Especificaciones técnicas de equipo computacional 406
Tabla 114: Especificaciones de software de modelado.....409
Tabla 115: Intervalos de temperatura y humedad idóneos 414
Tabla 116: Especificaciones técnicas del dispositivo UPS 417
Tabla 117: Áreas de trabajo del departamento de modelado y fabricación digital anatómica...419
Tabla 118: Carta de actividades relacionadas. 420

Tabla 119: Tabla de códigos y colores de líneas asociados. 421
Tabla 120: Criterios de proximidad. 421
Tabla 121: Tabla de relación de actividades 422
Tabla 122: Tabla de resumen de grados de relación por área de trabajo....423
Tabla 123: Hoja de requerimiento de áreas 424
Tabla 124: Puntuación de importancia de la mayor a la menor 425
Tabla 125: Nuevos servicios a ofertar 615
Tabla 126: Requerimiento de Maquinaria y equipo....619
Tabla 127: Planificación de los materiales en función del pronóstico de la producción....619
Tabla 128: Cantidad de personas en cada puesto de trabajo y justificación 622
Tabla 129: Intervalos de temperatura y humedad idóneos 624
Tabla 130: Entregables y sub entregables de la implementación del estudio. 633
Tabla 131: Definición de actividades por sub entregables. 637
Tabla 132: Precedencias y duración de actividades para Red del proyecto. 648
Tabla 133: Presentación de actividades de la ruta critica 652
Tabla 134: Puestos y funciones para la organización de la implementación....654
Tabla 135: Clasificación de la inversión inicial del modelo....661
Tabla 136: Inversión de activo fijos....661
Tabla 137: Inversión en activos diferidos. 663
Tabla 138: Tiempo de trabajo de personal de administración del plan de implantación 664
Tabla 139: Inversión en administración del plan de implantación del proyecto 665
Tabla 140: Inversión total del proyecto 665
Tabla 141: Inversión mínima por cada componente del modelo. 666
Tabla 142: Porcentaje de cada componente con respecto a la inversión....667
Tabla 143: Mano de obra directa en capital de trabajo. 668
Tabla 144: Unidades de compra de materiales e insumos según precio de mercado....669
Tabla 145: Demanda anual de impresiones 3D 670
Tabla 146: Proyección de compra de material directo 670
Tabla 147: Proyección de compra de Alcohol isopropílico. 671
Tabla 148: Proyección de compra de Amonio cuaternario. 671
Tabla 149: Proyección de compra de Caja traslucida de celofán. 671
Tabla 150: Proyección de consumo de energía eléctrica medio anual 672
Tabla 151: Costo en concepto de servicio de electricidad medio anual 673
Tabla 152: Proyección total de Capital de trabajo para los próximos 5 años 674

Tabla 153: Métodos para definir los costos operativos de los servicios 674
Tabla 154: Depreciación de los activos fijos del modelo 682
Tabla 155: Actividades del servicio de modelado virtual 683
Tabla 156: Asignación de elementos de costo del servicio de modelado virtual 684
Tabla 157: Elementos de costo servicio de modelado virtual.....686
Tabla 158: Establecimiento del costo de servicio de modelado 687
Tabla 159: Definición de los costos para el servicio de impresión 689
Tabla 160: Costos en base a la medida del modelo 692
Tabla 161: Costo del servicio de impresión 693
Tabla 162: Proyección estimada de costos de impresión 3D 694
Tabla 163: Proyección estimad del costo de modelado virtual.....695
Tabla 164: Proyección estimada del costo total de los servicios de modelado virtual e impresión 3D. 696
Tabla 165: Demanda de impresiones 3D.....697
Tabla 166: Tiempo de cirugía de pacientes con y sin impresión 3D en dos grupos. 698
Tabla 167: Tiempos de cirugías, Grupo ventricular balanceado. 699
Tabla 168: Porcentaje de reducción de tiempos de cirugías.....699
Tabla 169: Justificación de porcentaje de ahorro en tiempos de cirugía en El Salvador 701
Tabla 170: Evaluación y comparación de aspectos en el área de la Salud.....703
Tabla 171: Proyección de tiempos para cirugías relacionadas con procedimiento aortic cross-clamp 705
Tabla 172: Valor de cirugía / hora.....706
Tabla 173: Proyección de costos normales, con impresión 3D y ahorros de cirugías. 707
Tabla 174: Estado de flujo de efectivo 709
Tabla 175: Tasa de interés nominal promedio en El Salvador.....711
Tabla 176: Inflación media anual en El Salvador desde 2019 a 2023.....712
Tabla 177: Resumen de flujo de efectivo del proyecto.....713
Tabla 178: Resumen de ingresos, costos, capital trabajo del modelo.....717
Tabla 179: Inversión en activos tangibles con inflación 720
Tabla 180: Aumento en depreciaciones.....721
Tabla 181: Tasa de inflación para los próximos 5 años.....722
Tabla 182: Capital de trabajo con aumento debido a la tasa de inflación 722
Tabla 183: Ahorros en costos en función de porcentaje de reducción de tiempos de cirugías.723
Tabla 184: Resultados de análisis de sensibilidad.....724

Tabla 185: Montos presupuestados en los últimos años para el sector salud.....728
Tabla 186: Comportamiento de los presupuestos en bienes muebles últimos 4 años. 731
Tabla 187: Inversiones en los últimos años en intangibles. 732
Tabla 188: Inversión enfocada en infraestructura 732
Tabla 189: inversiones en capital humano.....733
Tabla 190: Costos de los nuevos servicios.....743
Tabla 191: Precios del servicio en instituciones publicas.....743
Tabla 192: Número de casos a abordar con uso de nuevas tecnologías. 746

1. Introducción

La fabricación digital ha revolucionado diferentes sectores al ofrecer soluciones avanzadas para el diseño y creación de componentes personalizados. En el ámbito de la planificación quirúrgica, esta tecnología ha abierto nuevas oportunidades para el desarrollo científico, permitiendo un enfoque más preciso y eficiente en la preparación de procedimientos complejos. Al incorporar herramientas como el modelado virtual y la impresión 3D de anatomías complejas y propias de cada paciente, los cirujanos pueden simular y prever los resultados de intervenciones con una exactitud sin precedentes. Esta integración no solo reduce tiempos y costos de cirugías, si no que mejora la seguridad y eficacia de las operaciones, fomenta la innovación en técnicas quirúrgicas y en la formación de los profesionales de la salud en tecnologías de vanguardia. Así, el presente modelo explora la relación entre la fabricación digital y la planificación quirúrgica, analizando sus beneficios, inversiones y el impacto de su implementación en la sociedad salvadoreña.

El contexto anterior, impulsa el diseño de este modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en el área de cardiología, el cual entre su contenido medula contiene marco contextual, diagnostico, diseño detallado y la evaluación del mismo modelo.

El marco contextual está sustentado por información secundaria que muestra el panorama de la fabricación digital en cuando sus conceptos básicos y su relación con la planeación pre operatoria, el marco legal relacionado y los antecedentes internacionales y nacionales en cuanto a la aplicación de la impresión 3D. Seguidamente, se presenta el diagnostico el cual muestra el diseño de la investigación de campo realizada, el establecimiento de supuestos de investigación y variables relacionadas, la tabulación y análisis de los resultados de la investigación, lo que resulta en la identificación de un problema central.

Posteriormente, se observa el diseño detallado del modelo, el cual describe como materializar y poner en marcha el modelo en un hospital tipo seleccionado que para este caso es el Hospital Nacional Especializado de Niños “Benjamín Bloom”, a través de un plan de sensibilización y compromiso, el diseño de la ingeniería del modelo, el establecimiento de un plan de capacitaciones dirigido al personal operativo del área de cardiología y la propuesta de un sub modelo de enseñanza sobre la fabricación digital en la medicina para estudiantes, médicos internistas y residentes, y finalmente complementado por el plan de implementación que describe quien, con qué y cómo implantar el modelo.

Finalmente se presenta un estudio económico el cual es representado por la determinación de la inversión inicial y capital de trabajo requerido, los costos de los servicios y los beneficios o ahorros en costos del modelo, lo que finaliza con el flujo de efectivo del proyecto, siguiendo con la evaluación económica y social del modelo con lo cual se concluye en el gran valor e impacto de la incorporación de la fabricación digital en la pre-operación quirúrgica en el área de cardiología. Con base en lo anterior, se cierra con las conclusiones y recomendaciones relacionados a los cuatro elementos descritos y el tema en general.

2. Objetivos Del Modelo

2.1. Objetivo General

Desarrollar el diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital, como un apoyo innovador en la estructuración del plan de intervención quirúrgica que los doctores ejecutan actualmente, al atender a pacientes del área de cardiología en cirugías electivas de los hospitales de El Salvador.

2.2. Objetivos específicos

- Definir el marco contextual del estudio de investigación, que permita dar referencia de información secundaria, que sustenta el estudio a través de los enfoques teóricos,

conceptuales, legales y el desarrollo histórico, que establece la relación de la fabricación digital y el enfoqué de innovación en la medicina.

- Conocer la situación actual en los procedimientos de diagnóstico, que contribuyen en la estructuración del plan de intervención quirúrgico de cirugías electivas, en el área de cardiología de los hospitales de El Salvador, para identificar la situación problemática en dicha área.
- Establecer la conceptualización del diseño de la solución que contribuya a la mejora de la problemática identificada, teniendo en cuentas los elementos que se relacionan e interactúan directamente en el modelo de aplicación de la fabricación digital en la medicina.
- Establecer como ejecutar el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área cardiología para pacientes en proceso de cirugías electivas.
- Definir los niveles de inversión necesarios, para la aplicación del modelo de aplicación de la fabricación digital, tomando como referencia el diseño del modelo de aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología.
- Aplicar las evaluaciones requeridas para garantizar la factibilidad de la aplicación del diseño del modelo de aplicación de la fabricación digital, en el área de cardiología, tomando en cuenta los diversos factores involucrados.

3. Alcances Y Limitaciones

3.1. Alcances

- El estudio establecerá un diseño para el modelo de la aplicación de fabricación digital, como apoyo al cuerpo médico del área de cardiología en la estructuración del plan de intervención y practica quirúrgica de anomalías cardiacas complejas en pacientes del área para las cirugías electivas.

- Desarrollar un modelo de aplicación de la fabricación digital para el área de cardiología de carácter flexible, para que sea replicable en otros hospitales y en otras ramas de la medicina.
- El diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital permitirá a los estudiantes que se especializan en cardiología aprender con modelos tangibles de anotomías complejas que se intervienen en los hospitales de tercer nivel de El Salvador.

3.2. Limitaciones

- El nivel de conocimiento que los médicos del área de cardiología poseen sobre la fabricación digital y el uso de esta durante el análisis de los procesos preoperatorios, teniendo en cuenta la necesidad de visualizar el sistema a intervenir de una manera más clara.
- Los datos que servirán de referencia para el estudio partirán de una base histórica de los niveles de pacientes atendido en la red medica del país, en cuanto a el área de cardiología, por lo que puede presentar discrepancias en cuanto a los pacientes atendidos en la actualidad.
- Poco conocimiento de los investigadores, respecto a temas relacionadas al área de medicina, por lo que se necesita de la disponibilidad de tiempo de asesores pertenecientes a la rama, para realizar consultas y recibir retro alimentación del progreso de la investigación.
- El acceso a las instalaciones de los hospitales del país se puede ver limitada debido a las normas de seguridad de estos, teniendo en cuenta las políticas internas establecidas para seguridad de los pacientes.
- La disponibilidad del cuerpo médico involucrado en el estudio presentara limitantes debido al tiempo que estos mismos poseen, para poder contribuir al desarrollo del estudio.

4. Importancia

Según la OPS, en El Salvador las enfermedades no transmisibles, es decir las enfermedades crónicas, que pueden producidas por uno o la combinación de factores del tipo genéticos, fisiológicos, ambientales y de comportamiento; fueron el 52.9% del total de muertes entre el año 2018 y 2021, de las cuales el 25.6%, se encontró que correspondían a enfermedades cardiovasculares. Mientras que en un estudio del MINSAL, se encontró que, en 2020, el porcentaje de muertes por ENT fue del 37.6%, de las cuales, las enfermedades cardiovasculares representaron el 44%, siendo un incremento importante, considerando que las muertes por ENT habían disminuido con respecto al otro estudio mencionado.

De acuerdo con un estudio del 2000 al 2019 de la OPS, El Salvador se encuentra en el quintil 1, con una tasa de carga de enfermedades cardiovasculares es de 116,8 por cada 100,000 habitantes. Lo que pudiera parecer que es poco por estar entre los países de lo más bajo de la lista. Pero al verificar que los países que le anteceden le sobrepasan por varias veces en tamaño territorial y tamaño poblacional, se puede ver la gravedad. Como es el caso de Panamá con 119,2; Estados Unidos de América con 128,0; Colombia con 130,4; Guatemala con 142, 1 y México con 153,6. Y al identificar que la menor tasa la posee Perú con 73,5 por cada 100,000 habitantes; es una realidad que el país necesita una intervención en el modelo de abordaje de este tipo de enfermedades. En consecuencia, la realización del estudio sobre el diseño de un modelo de aplicación de fabricación digital en el marco de las actividades de pre operación en los hospitales nacionales, nace de la necesidad de una mejora planeación y emulación de una intervención quirúrgica para solucionar problemas principalmente congénitos cardiovasculares complejos, lo que para el paciente representa una mayor probabilidad de supervivencia y menos inversión en de días hospitalización, liberando habitaciones, camas, servicios de enfermeros y en resumen liberando o ahorrando costos relacionado a la estancia de pacientes en el hospital, y agilizando los tiempos de operación para que los doctores puedan dedicarse a otros casos.

Además, actualmente hay un creciente desarrollo de laboratorios de fabricación digital en las universidades y negocios privados, lo que representa un el desarrollo de infraestructura tecnológica y acceso más democratizado a la impresión 3D, por lo tanto, existe una oportunidad latente de explotación de dicho equipo, y aplicarlas en el área médica de cardiología.

La aplicación del modelo de fabricación digital en la red hospitalaria del país, es carácter relevante y representa un beneficio, pues muchos de los pacientes que hacen uso de estos servicios, son parte de la población de escasos recursos, en consecuencia tendrían que invertir menos en su recuperación y aunque el estudio se enfocará en las anomalías cardiovasculares, el desarrollo del modelo podrá ser extrapolada a otro tipo de necesidades, como intervenciones quirúrgicas, como en orto pediatría y odontológicas, entre otras, las cuales también son de carácter contante en los hospitales.

5. Justificación

La aplicación de software de diseño asistido por computadora y las tecnologías de fabricación digital, como la impresión 3D se ha generalizado a diferentes áreas sin limitarse a la producción, ahora también se utiliza en la educación, fabricación de calzado y ropa, construcción, robótica, diseño de productos y prótesis. Por lo tanto, se puede notar que tienen un relevante potencial para ser utilizadas en beneficio de los pacientes cardiológicos en la red hospitalaria del país; a través de la facilitación del estudio preoperatorio de los pacientes, al tener un modelo tangible y preciso del caso, brindando una vista previa real sin tener que haber intervenido quirúrgicamente.

En El Salvador, hay una creciente utilización de las máquinas 3D, principalmente con fines de sano esparcimiento, pero son cada vez más los usos con fines tecnológicos que estéticos, como para el reemplazo de piezas en máquinas o como para utilizar modelos a escala de objetos. Algunas de las principales universidades del país están equipadas con laboratorios de fabricación

3D, como en el caso de la Universidad de El Salvador con el FIA LAB, la Universidad Don Bosco, con el CIDIM y la Universidad Tecnológica de El Salvador con el 3DLAB. Por lo que se puede ver que, así como la adquisición de equipo está creciendo, también las personas que se están especializando de forma técnica en esta rama, es decir hay mayor mano de obra calificada de la que se puede apalancar un proyecto como el presente.

Adicionalmente, como aporte de investigaciones científicas, en el área de la cardiología y la medicina vascular, se encontró que durante la aplicación de la impresión 3D a corto plazo, la tasa de mortalidad global fue del 4,3% con un caso de muerte. En el grupo ventricular balanceado, 6 casos recibieron impresión 3D para evaluación preoperatoria. En el grupo ventricular desequilibrado 4 casos recibieron impresión 3D. La evaluación preoperatoria y la simulación quirúrgica con un modelo de impresión 3D ayudaron a reducir el tiempo de derivación (método usado evitar una parte estrechada u obstruida de los vasos sanguíneos grandes) en el grupo equilibrado ($p < 0,05$) y redujeron el tiempo de derivación y pinzamiento de la aorta en el grupo desequilibrado ($p < 0,05$). Todos los pacientes presentaron una gran función cardíaca en el período de seguimiento". Lo que evidencia que el beneficio primario es la reducción de tiempo, y en segundo lugar y más importante, aumento de la probabilidad de supervivencia.[1]

En este caso, se llegó al veredicto que la técnica de impresión 3D, fue clave para encontrar el mejor procedimiento para la conversión biventricular y redujo significativamente el tiempo de cirugía. La conversión biventricular en pacientes seleccionados condujo a resultados clínicos prometedores, aunque resultados a largo plazo no son verificados.

[1] Jeenchen Chen R. (21 de diciembre de 2021). Impacto de la impresión 3D a corto plazo, resultados de Biventricular. Un estudio de casos de la revista frontiers in cardiovascular medicine. Consultado el 22 de septiembre de 2022, en https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcvm.2021.801444/full

6. Metodología General

El diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la planificación quirúrgica del área de cardiología se desarrolla a través de la siguiente metodología general.

Ilustración 1: Metodología general

1. Elaborar marco contextual	a) Investigación y elaboración de los marcos teórico, conceptual y legal b) Investigación de antecedentes de aplicación de la fabricación digital en cardiología
2. Diseñar investigación de diagnostico	a) Selección el tipo de investigación a realizar b) Establecimiento de hipótesis y variables de investigación c) Determinación de las técnicas de investigación a emplear d) Ejecución de la investigación de campo e) Tabulación y análisis de la información f) Comprobación de hipótesis g) Establecimiento del problema central h) Elaboración de la conceptualización del diseño de la solución
3. Elaboración del diseño detallado de la solución	a) Delimitar áreas, personal y procesos claves b) Creación del plan de sensibilización y compromiso c) Elaboración de la ingeniería del modelo, estableciendo capacidad instalada, recursos, procedimientos, manuales técnicos y estructura organizacional. d) Diseño del plan de capacitación e) Establecer modelo de enseñanza sobre la fabricación digital en la medicina f) Elaboración del plan de implantación
4. Evaluaciones del modelo	a) Establecer la inversión inicial y capital de trabajo b) Determinar los costos de los servicios del modelo c) Determinar los beneficios monetarios del modelo d) Elaborar estados de flujo de efectivo e) Realización de las evaluaciones del modelo f) Generar conclusiones y recomendaciones

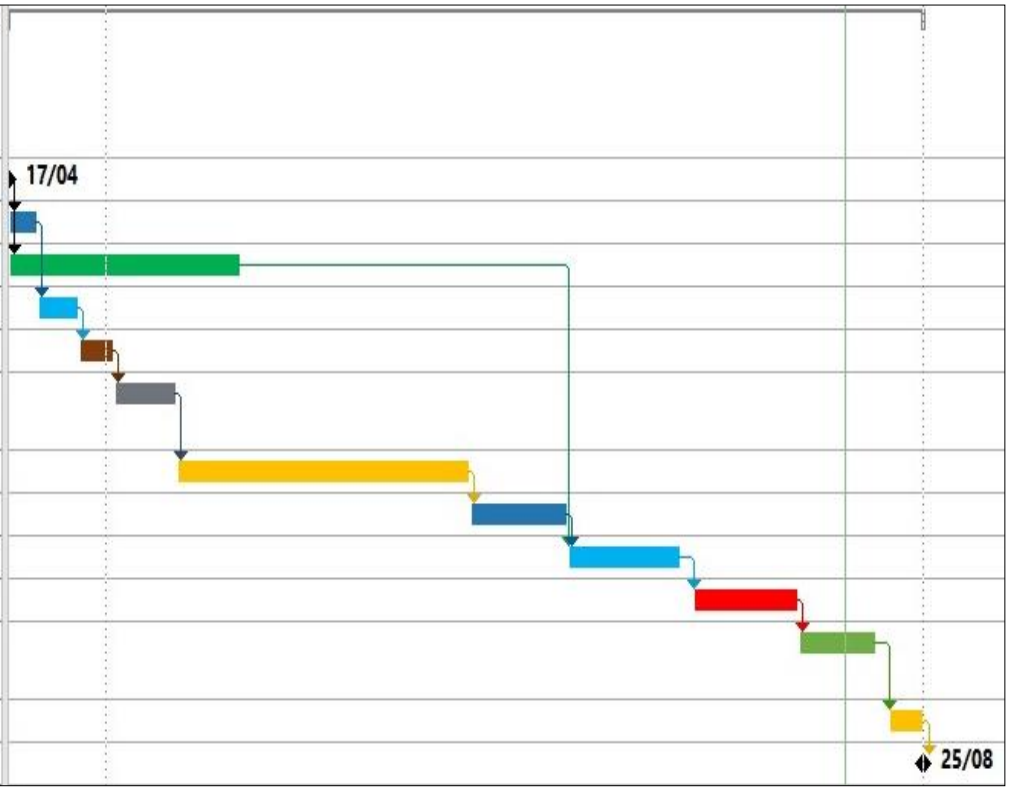
Fuente: Elaboración propia

7. Planificación De La Investigación

La planificación de la investigación es representada por medio de un diagrama Gantt, en el que se establecen las actividades a realizar, su duración, y la fecha prevista para inicio y finalización.

Ilustración 2: Cronograma de la ejecución de la investigación de diagnóstico.

Planificación para el Diagnostico de la aplicación de la fabricación digital en el área de cirugía cardíaca en los hospitales de El Salvador	95 días	lun 17/04/23	vie 25/08/23
INICIO	0 días	lun 17/04/23	lun 17/04/23
Seleccionar tipo de investigación	4 días	lun 17/04/23	jue 20/04/23
Conformación del Marco Contextual	25 días	lun 17/04/23	vie 19/05/23
Establecimiento del universo	4 días	vie 21/04/23	mié 26/04/23
Calculo de la muestra	3 días	jue 27/04/23	lun 01/05/23
Establecimiento de la técnica y diseño de intrumentos de investigación	7 días	mar 02/05/23	mié 10/05/23
Ejecución de la investigación	30 días	jue 11/05/23	mié 21/06/23
Tabulación de datos	10 días	jue 22/06/23	mié 05/07/23
Analisis e interpretación de la información	12 días	jue 06/07/23	vie 21/07/23
Establecimiento del problema detectado	11 días	lun 24/07/23	lun 07/08/23
Conceptualización del diseño de la solución	9 días	mar 08/08/23	vie 18/08/23
Elaboración de documento	5 días	lun 21/08/23	vie 25/08/23
FIN	0 días	vie 25/08/23	vie 25/08/23



Fuente: Elaboración Propia

8. Marco Contextual

8.1. Marco Teórico

En este apartado se abordarán temas, que son relevantes en la determinación de la base teórica necesaria para la ejecución del estudio; teniendo en cuenta todos los elementos que intervienen de manera directa o que son fundamentales, para la toma de decisiones principal en el futuro del estudio; estos temas se desarrollaran en los apartados siguientes.

8.1.1. La Revolución Industrial

Se conoce como Revolución Industrial al proceso de crecimiento económico que, entre las últimas décadas del siglo XVIII y mediados del XIX, experimentaron Gran Bretaña, primero, y, luego, Francia, Bélgica y Alemania. El proceso tuvo dos características hasta entonces desconocidas: el aumento de la renta per cápita alcanzó una magnitud superior a cualquier otro anterior en la Historia y se convirtió en sostenido.[2]

La palabra revolución indica un cambio no solo profundo, sino también rápido, de manera que el término Revolución Industrial, que comenzó a utilizarse en el siglo XIX, no es el más adecuado para definir un período largo y de transformaciones en toda la economía y no únicamente en la industria, pero lo cual se empleando en el sentido de transformación profunda.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se debe de especificar que en la historia se ha desarrollado alrededor de cuatro revoluciones industriales; teniendo en cuenta el periodo actual, se puede mencionar que cada una de ellas ha dado un giro importante a la forma de ver las cosa, es por ellos que en el siguiente cuadro se expresas las importancias que sean dado en cada una de estas etapas:

[2] La Revolución Industrial: Una nueva era, Antonio Escudero

Tabla 1: Descripción de las revoluciones industriales, fuente propia.

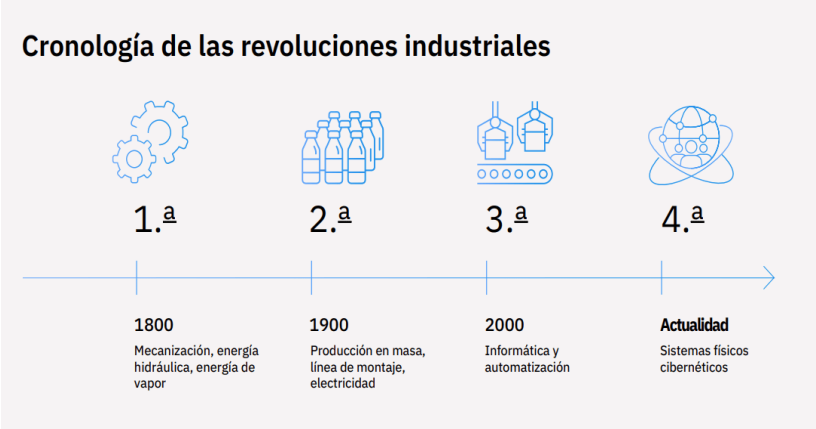
Revolución industria	Descripción
1° Revolución industrial	Surgió a mediados del siglo XVIII y tuvo su origen en Inglaterra, país que se convirtió durante mucho tiempo en el primer productor de bienes industriales del mundo. Esta revolución generó consecuencias tanto económicas como sociales, culturales e, incluso, ambientales. La máquina de vapor, cuyo combustible era el carbón mineral, fue la base sobre la que se asentó todo el desarrollo. Esto permitió la sustitución de las viejas herramientas artesanales por maquinaria más productivas, y la energía animal y humana por la máquina.
2° Revolución industrial	Inicia entre los años 1850 y 1870 y se extiende hasta 1914, coincidiendo con el inicio de la Primera Guerra Mundial. Esta vez, los avances industriales se produjeron en Francia, Alemania, Bélgica, Japón y Estados Unidos. En esta época comienzan a aparecer nuevas formas de energía, como el petróleo que reemplazó al carbón, y la electricidad. También se puede mencionar a la máquina de Watt, de las turbinas o de la industria del gas. La modernización de los medios de transporte fue otra de las importantes consecuencias tecnológicas. El ferrocarril fue el medio de transporte símbolo de esta nueva época.
3° Revolución industrial	Aunque no existe una fecha exacta de su inicio, se puede afirmar que la Tercera Revolución Industrial comienza en la segunda mitad del siglo XX. Esta vez, los líderes son Estados Unidos, Japón y países europeos. Esta revolución está estrechamente relacionada con el concepto de “sociedad de la información”. Esto se debe a que la Tercera Revolución Industrial se asienta sobre nuevas tecnologías de la información y la comunicación, en especial con la aparición de Internet.
4° Revolución industrial	La primera vez que se mencionó a la Cuarta Revolución Industrial fue en 2011; y actualmente se está viviendo esta revolución. El elemento clave de la Cuarta Revolución Industrial es la innovación para una mayor adaptabilidad a las necesidades de la producción y una mejora en la eficiencia de los recursos.

Revolución industria	Descripción
	También conocida como la revolución industrial 4.0, desde el punto de vista de IBM (empresa multinacional especializada en soluciones tecnológicas innovadoras) indican que es producto de la combinación sinérgica de las tecnologías operativas (TO) y las tecnologías de la información (TI), la cual ha dado lugar a sistemas y máquinas inteligentes, interconectadas y autónomas.

Fuente: Elaboración propia

La evolución que la industria ha experimentado en el pasar de los años, ha dejado grandes cambios en la forma de ver las cosas, por lo cual se debe de considerar que día a día la ciencia y la tecnología evoluciona, por lo que mucho de lo que en la actualidad implica una gran transformación en su momento pasará hacer algo que tendrá un nivel de obsolescencia.

Ilustración 3: Cronología de la revolución industrial



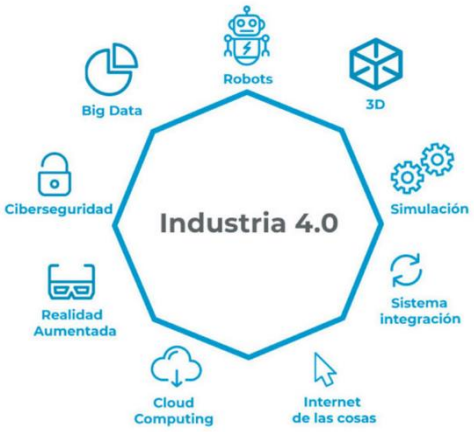
Fuente: Soles

8.1.2. La Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0)

Cuando se habla de la cuarta revolución industrial, se hace referencia a aquella revolución que está marcada por la aparición de nuevas tecnologías como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y el Internet of Things (IOT), entre otros. Las organizaciones deben identificar las tecnologías que mejor satisfacen sus

necesidades para invertir en ellas. Si las empresas no comprenden los cambios y oportunidades que trae consigo la Industria 4.0, corren el riesgo de perder cuota de mercado[3].

Ilustración 4: Dimensiones de la industria 4.0.



Fuente: Sitio Tu Dashboard, posted on enero 7, 2019

La Industria 4.0 implica la promesa de una nueva revolución que combina técnicas avanzadas de producción y operaciones con tecnologías inteligentes que se integrarán en las organizaciones, las personas y los activos. Para los líderes tradicionales, acostumbrados a los datos y las comunicaciones lineales, el cambio que supone esta nueva revolución industrial -proporcionando acceso en tiempo real a los datos y la inteligencia de negocio- transformará la forma en que llevan a cabo sus negocios.

Para comprender un poco más de la cuarta revolución industrial, a continuación, se presenta un cuadro, donde se describe la importación de esta y el impacto que genera.

Tabla 2: Importancia e impacto de la cuarta revolución industrial.

Importancia	Impacto
El potencial de la cuarta revolución industrial no solo afectará a los procesos de fabricación. Su alcance es	Los impactos de la Industria 4.0 pueden sentirse en múltiples niveles: en grandes ecosistemas, a

[3] ¿Qué es la industria 4?: Deloitte España (2018) Deloitte Spain. Disponible en: https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html (Accedido: febrero 27, 2023).

Importancia	Impacto
mucho más amplio, afectando a todas las industrias y sectores e incluso a la sociedad. La industria 4.0 puede mejorar las operaciones de negocio y el crecimiento de los ingresos, transformado los productos, la cadena de suministro y las expectativas de los clientes. Es probable que dicha revolución cambie la forma en que hacemos las cosas, pero también podría afectar cómo los clientes interactúan con ellas y las experiencias que esperan tener mientras interactúan con las empresas. Más allá de eso, podría generar cambios en la fuerza laboral, lo que requeriría nuevas capacidades y roles. Además, las tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 también pueden conducir a productos y servicios completamente nuevos. El uso de sensores y dispositivos portátiles, el análisis y la robótica, entre otros, permitirán mejoras en los productos de diversas maneras, desde la creación de prototipos y pruebas hasta la incorporación de conectividad a productos previamente desconectados. Estos cambios en los productos se traducen, a su vez, en cambios en la cadena de suministro y, consecuentemente, en los clientes.	nivel organizacional y a nivel individual (en empleados y clientes): **Ecosistemas.** Además del cambio en el que las empresas operan y en la producción de bienes, la Industria 4.0 afecta a todos los agentes del ecosistema (los proveedores, los clientes, las consideraciones regulatorias, los inversores, terceros y otros). Estas tecnologías permiten interacciones entre cada punto de una red. **Organizaciones.** La capacidad de ajustarse y aprender de los datos en tiempo real puede hacer que las organizaciones sean más receptivas, proactivas y predictivas. Asimismo, permite a la organización reducir sus riesgos en materia de productividad. **Individuos.** La Industria 4.0 puede significar diferentes cosas para cada uno. Por ejemplo, para los empleados puede significar un cambio en el trabajo que van a realizar, mientras que para los clientes significaría una mayor personalización en los productos y servicios que satisfagan mejor sus necesidades.

Fuente: elaboración propia

8.1.3. La Fabricación Digital Y Sus Ventajas

Cuando se habla de fabricación digital, se puede conceptualizar de una manera sencilla, teniendo de referencia que este se puede definir como “La digitalización de los procesos de fabricación” pero no es simplemente esto; el termino es mucho más amplio ya que en el conviven un amplio abanico de herramientas y conceptos: desde la precisión nanométrica a máquinas capaces de la autorreplicación, hasta lenguajes de programación para los más pequeños, la

fabricación digital es una realidad y lo más probable es que directa e indirectamente, cambie la vida de todos.

Establecida la definición de los que es la fabricación digital, se puede considerar el hablar sobre las ventajas, que ofrece este método al desarrollo de los procesos actuales en diferentes áreas, para ello se definen lo siguiente:

- Permite asociar, visualizar y someter a procesos de cambio información sobre los productos, los procesos, las plantas y los recursos, con un enfoque coherente y completo del diseño de la producción.
- Permite optimizar los procesos de fabricación de las piezas dentro de un entorno gestionado, con el objetivo de generar instrucciones de trabajo flexibles y capaces de mostrar información de la pieza en 2D/3D, juntamente con instrucciones sobre el mecanizado y las herramientas.
- Reduce los costes de la puesta en marcha gracias a la simulación mediante la validación virtual de programas de robótica y automatización.
- Ayuda a crear modelos de fábrica más rápido y garantiza que se estén utilizando con una estructura, un flujo de materiales y un rendimiento óptimos antes del aumento de la producción.
- Es compatible con Six Sigma y las iniciativas de optimización, gracias a la oferta de un entorno gráfico para el análisis de la variación dimensional.
- Facilita el uso compartido de los datos de calidad en toda la organización gracias a la generación de programas de inspección de máquinas basados en CAD completos y verificables para máquinas de medición por coordenadas (CMM) y máquinas-herramienta de control numérico (NC).
- Ejecuta procesos de producción con un acceso en tiempo real a los datos del ciclo de vida.

Por lo antes mencionado se puede considerar, que en el momento que un objeto se torna digital, todos los conceptos, valores y asociaciones con el mundo físico se ponen en cuestión en favor de nuevas éticas de producción y consumo. Se acerca el momento en el que las cosas se puedan fabricar allí donde son requeridas, en la cantidad requerida y con las adaptaciones o personalizaciones que sean necesarias.

Considerando el ritmo evolutivo de como las cosas se desarrollan en la actualidad, se pueden mencionar que la era de información actual, ha establecido nuevos retos en todas las áreas. Muchas veces se ha considerado que los mayores retos de la actualidad dentro del avance tecnológico están enfocados en términos de diseño, pero esto no es así ahora en día estos retos se orientan a la fabricación y manufactura de los productos, así como el apoyo para el desarrollo de muchas áreas donde no, se ven enfoca en la productividad como masa, sino más bien como la ayuda a ver panoramas más claros para el desarrollo operativo de sus funciones.

8.1.4. Sistemas De La Fabricación Digital

Sin duda alguna la fabricación digital no ha surgido de la nada, esta ha sido permitida gracias a el avance de diferentes sistemas operativos y la metamorfosis que los sistemas informáticos han experimentado a lo largo del tiempo; por lo mencionado se presentan los sistemas y tecnologías con las cuales se apoya la fabricación digital:

Sistemas integrados: un sistema integrado es un hardware electrónico diseñado específicamente para llevar a cabo una o unas pocas tareas predefinidas. La mayoría de los electrodomésticos que se diseñan llevan sistemas integrados, son similares a un ordenador doméstico, pero con funcionalidad reducida. Un ejemplo podría ser una impresora de papel. Las impresoras llevan un sistema electrónico integrado que utilizan para controlar los motores paso a paso que alimentan el papel, recibir información de los sensores que detectan el nivel de tóner

restante o que mandan al cabezal de impresión las instrucciones sobre qué color y en qué cantidad es necesario aplicarlo.

Sistemas CNC (Computer Numeric Control - control numérico computarizado): el control numérico es un sistema de automatización que se utiliza para controlar diferentes máquinas herramienta; máquinas que dan forma a un material bruto generalmente por sustracción. Este sistema de automatización de máquinas ha revolucionado la industria gracias a la simplificación del software de diseño en conjunto con los lenguajes de programación. Esencialmente, un sistema CNC es cualquier sistema que utiliza un ordenador para controlar los movimientos de una herramienta.

Software CAD (Computer Aided Design - diseño asistido por ordenador): un sistema CAD es esencialmente un programa de ordenador que sirve para la creación, edición, análisis y visualización de modelos tridimensionales. Estos programas no solamente sirven para hacer visualizaciones en tres dimensiones de los objetos a fabricar, sino que además son capaces de hacer simulaciones. Estas pueden ser de estrés mecánico o aerodinámico, pero también del propio proceso de fabricación como puede ser visualizar una simulación del orden de corte y velocidad de una fresa CNC.

Internet: Los programas CAD actuales también disponen de herramientas de trabajo colaborativo en red, de esta manera se define el producto y el proceso de fabricación de forma simultánea. El intercambio de información a tiempo real entre el equipo de diseño y el de fabricación es clave para la creación eficiente de productos.

Teniendo en cuenta los sistemas y tecnologías aplicables a la fabricación digital, se presentan los siguientes ejemplos de herramientas de fabricación digital de control numérico CNC:

- Cortadora láser para ensamblar estructuras 3D a partir de piezas planas (2D)

- Fresadora para hacer piezas medianas de muebles
- Cortadora de vinilo para fabricar circuitos flexibles, antenas o rótulos
- Fresadora de precisión para fabricar moldes y troqueles tridimensionales
- Tornos para crear piezas mecanizadas de sección redonda
- Impresoras 3D para la creación de prototipos físicos

Ilustración 5: Equipo de impresión en 3D, Escuela de ingeniería Industrial Universidad de El Salvador



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6: Cortadora Láser cortando chapa de metal



Fuente: Sitio Rapid direct

Ilustración 7: fresadora vertical.



Fuente: Sitio haascnc

8.1.5. Tipos De Fabricación Digital

Para abordar la fabricación digital, es necesario definir cuáles son los tipos de fabricación digital que son utilizadas, para lo cual se define los siguientes apartados, que buscan abordar los tipos de fabricación digital y los elementos utilizados para este; teniendo en cuenta las necesidades para su aplicación y ejecución de los mismos; esto tiene como finalidad definir los

métodos por los cuales se ejecuta la fabricación digital y brinde un panorama de amplitud en el diseño a desarrollar[4].

Fabricación aditiva

La fabricación aditiva es el nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D, se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material en vez de sustracción. En impresión 3D, partiendo de un archivo digital (modelo 3D), se utilizan diferentes procesos aditivos en los que se aplican capas sucesivas de materia para crear un objeto tangible. Existen diferentes formas de abordar el problema y cada tecnología tiene sus virtudes e inconvenientes.

Cuando se habla de habla de impresión 3D, se puede mencionar que, una impresora 3D no entiende de diferencias en cuanto a la complejidad de una forma, le cuesta el mismo esfuerzo fabricar un simple prisma de 6 caras que algo que desde un punto de vista humano se considera mucho más complejo como la réplica de un adorno barroco de la fachada de una iglesia. Esta libertad de creación no tiene precedentes en la historia ya que hasta ahora para fabricar objetos hemos dependido siempre de las limitaciones de forma que imponen el uso de moldes o herramientas de corte y desbaste como una fresadora.

Ilustración 8: Impresora 3D, Escuela de Ingeniería Industrial Universidad de El Salvador



Fuente: Elaboración propia

[4] • ¿Fabricación Sustractiva o aditiva? ¡Descubra Estos procesos! (2022) ¿Fabricación aditiva o sustractiva? 3DZ. Disponible en: https://3dz.es/fabricacion-aditiva-o-sustractiva/ (Accedido: March 8, 2023).

Una característica que es importante de resaltar es que una impresora 3D no solo es capaz de fabricar formas complejas, sino que también es capaz de fabricar un objeto dentro de otro, como por ejemplo fabricar un silbato con la bola dentro. Esto significa que una impresora 3D es capaz de fabricar objetos complejos que no requieren de pasos posteriores de ensamblaje. Es decir, fabricar una llave inglesa ya terminada y ensamblada: el cuerpo de la llave, el diente y la rosca todos impresos a la vez, totalmente ensamblados y funcionales.

El tipo de fabricación digital adictiva fue inventada en 1986 por Charles Hull con el proceso de estereolitografía,[5] esta es ahora en día una tecnología utilizada en múltiples sectores. Ya sea en la industria automotriz, aeronáutica, médica o de bienes de consumo, la impresión 3D se ha vuelto esencial en la vida. Además, las numerosas patentes registradas desde su invención también han permitido desarrollarla más aún y hacerla aplicable en diferentes mercados. La fabricación aditiva ofrece a los usuarios varias ventajas en comparación con los métodos de fabricación tradicionales, sobre todo en términos de flexibilidad, reducción de costes y ahorro de tiempo, y desde 1986 ha atraído a muchos profesionales. Esto se debe a los múltiples procesos disponibles en el mercado, así como a los materiales existentes.

Los materiales en la fabricación aditiva

Si bien existen muchos procesos de fabricación aditiva, todos comienzan con el mismo paso: el modelo digital se convierte a formato STL mediante un software CAD, antes de ser utilizado por la impresora 3D. Dependiendo de la tecnología, los materiales utilizados por las impresoras 3D varían.

Los más populares son sin duda los termoplásticos, compatibles con procesos como FDM, estereolitografía o sinterización láser. Estos utilizan respectivamente el material en forma

[5] La estereolitografía es un proceso, conocido como SLA (estereolitografía), utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensible a los rayos UV. Esto se solidifica mediante el paso de una láser capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos hechos con estas tecnologías

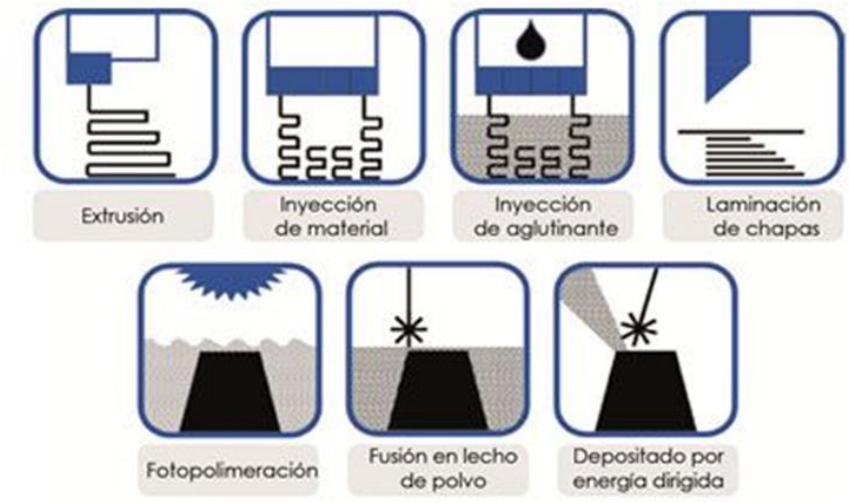
de filamento, resina líquida y polímero en polvo. También se encuentran otros materiales, como el metal, utilizado en el proceso de fusión por láser de lecho de polvo, o la cerámica.

El PEEK y PEKK, por ejemplo, se consideran termoplásticos de alto rendimiento y tienen características mecánicas similares a los metales. Con el tiempo, las empresas descubren nuevos materiales aplicables en el proceso de fabricación aditiva, como materiales compuestos o biológicos.

Las libertades de las que disfruta esta tecnología unida a la democratización y acceso universal que se está produciendo tanto con los programas de modelado como con la impresión 3D a través de servicios online, fablabs o makespaces indican que la fabricación aditiva supondrá un antes y un después para el mundo de la fabricación. Literalmente se está hablando de acercar y exponer el mundo del diseño y la fabricación a un amplio espectro de público. Esto quizá no tiene tanto interés para aquellos que ya tienen conocimientos o experiencia en el sector, pero sí que supone un cambio significativo para el público no especializado.

Esto significa que millones de personas que anteriormente nunca habrían pensado en experimentar con la creación de algún objeto ahora tienen la posibilidad de probar, experimentar y por tanto aportar alguna innovación. La velocidad con la que se soluciona cualquier problema depende directamente de la cantidad de personas que hay pensando en soluciones para ello. Está acercando a nuevos tiempos para el diseño objetual, más personas involucradas supone más y mejores soluciones para todos.

Ilustración 9: Métodos de fabricación aditiva



Fuente: ISO/ASTM (Fraunhofer IGCV (9)).

Teniendo en cuanta lo descrito y mencionado con anterior, se puede decir que la fabricación aditiva abarca lo siguiente:

Tabla 3: Proceso y materiales en la fabricación aditiva.

PROCESO	MATERIALES
Estereolitografía (SLA)	Variedades de resina (plásticos termo endurecibles), de alta resistencia, rígidas, flexibles, resistentes al calor, fundibles (similares a la cera)
Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos para ingeniería, como el nailon
Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos estándar, como el ABS, el PLA y sus diversas mezclas
Inyección de material	Variedades de resina (plásticos termo endurecibles)
Inyección de aglutinante	Yeso (a todo color), metales
Fusión selectiva por láser (SLM) o sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Metales duros y blandos
Fusión por haz de electrones (EBM)	Metales duros y blandos

Fuente: Elaboración propia

La fabricación sustractiva

Este término hace referencia a una técnica utilizada en la fabricación de piezas, donde dichas piezas se consiguen a partir de un bloque sólido al que se le va eliminando el material sobrante, hasta conseguir el resultado deseado. Hoy por hoy, la fabricación sustractiva es el método más recurrente, sobre todo, al trabajar con materiales como el metal o la madera. Y puede realizarse de forma manual, o bien por medio del mecanizado por control numérico computarizado, es decir, el mecanizado CNC, siendo esta última opción la más eficiente.[6]

Se debe mencionar que son numerosos los procesos que se pueden utilizar para este fin, esto teniendo en cuenta cuál va a ser la forma deseada para la pieza: tornos, sierras, fresadoras, cortadoras, taladros, y otros. Y también podría considerarse el corte por láser, o el mecanizado de descarga eléctrica (EDM), como métodos de fabricación sustractiva.

¿El resultado? La obtención de piezas con un acabado perfecto, resistentes, duraderas, con mayor tolerancia, y suaves acabados. Y, entre los principales beneficios, destaca por ser una técnica más efectiva y productiva frente a grandes producciones.

Los procesos de fabricación sustractiva se usan típicamente para crear piezas de plástico o metales para la creación de prototipos o la fabricación de utillaje o piezas de uso final. Son ideales para aplicaciones que requieren tolerancias escasas y geometrías difíciles de moldear, fundir o producir con métodos tradicionales de fabricación. Se debe de considerar que la fabricación sustractiva ofrece diversos materiales y procesos de acabado; los materiales más blandos son más sencillos de mecanizar para darles la forma deseada, pero se gastan más rápido. Por lo tanto, se puede mencionar que la fabricación digital a través del método sustractivo puede poseer los siguientes procesos y materiales.

[6] https://grumeber.com/fabricacion-sustractiva/ Dic 17, 2020 | Mecanizado CNC

Tabla 4: Procesos y materiales de la fabricación sustractiva.

PROCESO	MATERIALES
Mecanizado CNC (torneado, taladrado, perforación, fresado, escariado)	Termoplásticos duros, plásticos termo endurecibles, metales blandos, metales duros (maquinaria industrial)
Mecanizado por electroerosión (EDM)	Metales duros
Corte por láser	Termoplásticos, madera, acrílicos, tejidos, metales (maquinaria industrial)
Corte por chorro de agua	Plásticos, metales blandos y duros, piedra, vidrio, compuestos

Fuente: Elaboración propia

Por lo antes descrito, se puede mencionar que la fabricación sustractiva es un término general que engloba a varios procesos controlados de mecanizado y eliminación de materiales. Estos procesos comienzan con bloques, barras o varas sólidos de metal o de plástico a los que se les da forma retirando material de ellos mediante procesos de corte, perforación y amolado.

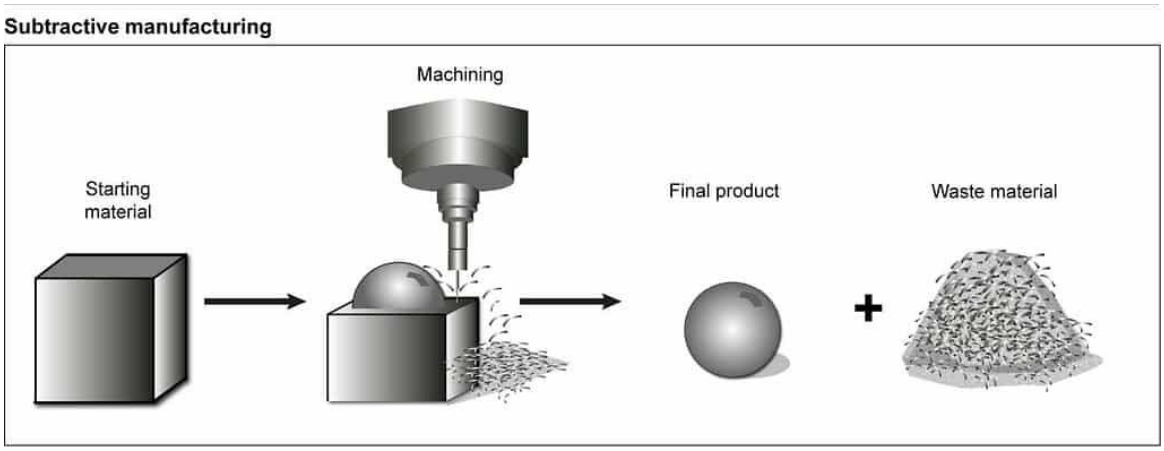
Diferenciación entre la fabricación sustractiva y adictiva.

Aunque existen diferencias fundamentales, la fabricación sustractiva y la fabricación aditiva no se excluyen mutuamente. De hecho, a menudo se utilizan juntas y en diferentes etapas del desarrollo y producción del producto.

Por ejemplo, el proceso de creación de prototipos se basa a menudo en herramientas aditivas y sustractivas. Los primeros modelos y prototipos son generalmente más baratos y rápidos de producir con procesos de fabricación de plástico aditivos, como la estereolitografía (SLA) o la sinterización selectiva por láser (SLS). Sin duda, la impresión 3D ofrece una amplia gama de materiales para la creación de prototipos funcionales de piezas de plástico. Las tecnologías de aditivos son generalmente más adecuadas para piezas pequeñas y proyectos muy complejos.

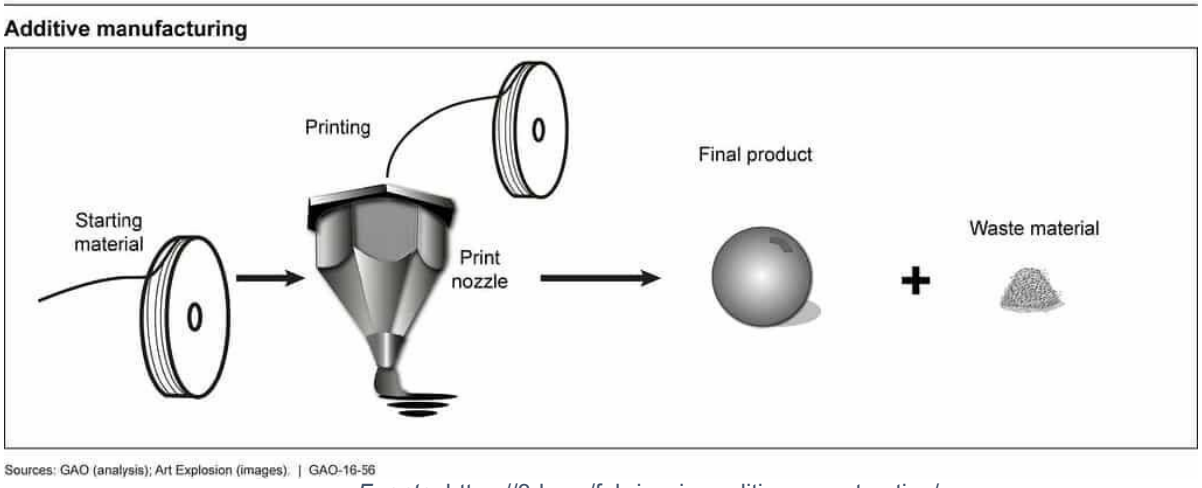
En forma sencilla, se puede mencionar que la mayor diferencia entre la fabricación digital de tipo aditivo y sustractivo radica en la ejecución del proceso y las tecnologías abordas en cada una de ellas, a continuación, se presenta una figura que puede ayudar a diferenciar entre estas.

Ilustración 10: Fricación digital, sustractiva.



Fuente: https://3dz.es/fabricacion-aditiva-o-sustractiva/.

Ilustración 11: Fabricación Adictiva.



Fuente: https://3dz.es/fabricacion-aditiva-o-sustractiva/.

Las tecnologías aditivas y sustractivas tienen muchos factores de forma, con una amplia gama de costes y capacidades, desde máquinas de escritorio a grandes máquinas industriales.

Al final, las entidades u organismos deben de elegir la tecnología que más se ajuste a las necesidades de tu negocio y a las aplicaciones que tengas planeadas.

Tabla 5: Fabricación aditiva vrs fabricación sustractiva.

	Fabricación aditiva	Fabricación sustractiva
Formación	Las impresoras de escritorio son fáciles de usar, ya que requieren solo formación básica sobre la configuración de impresiones, el mantenimiento, el uso de la máquina y el acabado. Los sistemas industriales de fabricación aditiva requieren un personal específico y formación exhaustiva.	Las máquinas CNC pequeñas requieren una formación moderada sobre el software, el mantenimiento, el uso de la máquina y el acabado. Los sistemas industriales de fabricación sustractiva requieren un personal específico y formación exhaustiva.
Requisitos de las instalaciones	Los equipos de escritorio son adecuados para la oficina y los de trabajo lo son para un taller con más espacio. Las impresoras 3D industriales suelen necesitar un espacio o habitación propios con control de climatización.	Las máquinas CNC pequeñas son adecuadas para talleres. Los sistemas industriales necesitan un espacio propio y más grande.
Equipo auxiliar	Herramientas y sistemas de limpieza (algunos automáticos) para la limpieza, el lavado, el post curado y el acabado, en función del proceso.	Diversos elementos de utillaje. Los sistemas más avanzados automatizan procesos como el cambio de utilajes, la limpieza y manipulación de virutas y la gestión del refrigerante.

Fuente: Elaboración propia

8.1.6. La Impresión 3D

De una forma muy esencial la impresión 3D nos brinda una posibilidad que no ofrece ninguna otra tecnología de la que dispone el hombre, nos permite tocar con la mano aquello que

en principio es digital o etéreo. Si una impresora 3D es una máquina capaz de materializar objetos a partir de un archivo digital, esto quiere decir dos cosas; la primera que la clave estaría en aprender a hablar el mismo lenguaje, es decir, aprender a modelar objetos en tres dimensiones usando cualquier software. La segunda es que una vez lo hagamos, seremos capaces de traer al mundo nuevos objetos y herramientas que anteriormente no existían

Es importante tener en cuenta que este tipo de ahorro se produce cuando uno tiene acceso directo a una impresora y también capacidad de representar los diseños en 3D. Actualmente, si tenemos que encargar el proceso completo de diseño e impresión del catadióptrico a una empresa que ofrezca estos servicios nos costará aproximadamente lo mismo que la pieza original. De modo que el ejemplo es interesante pero solamente será viable para determinadas situaciones y tipos de piezas.

8.1.7. La Relación De La Impresión 3D En La Planeación Pre Operatoria

La impresión 3D se ha convertido en una importante aliado para las cirugías, su principal apoyo se enfoca en dos ramas importantes, la primera es la preparación de la intervención quirúrgica, y la segunda es la producción de instrumental personalizado y específico para una intervención única. Debido al tema de esta investigación, la búsqueda de información estará enfocada en la primera rama de aplicación.

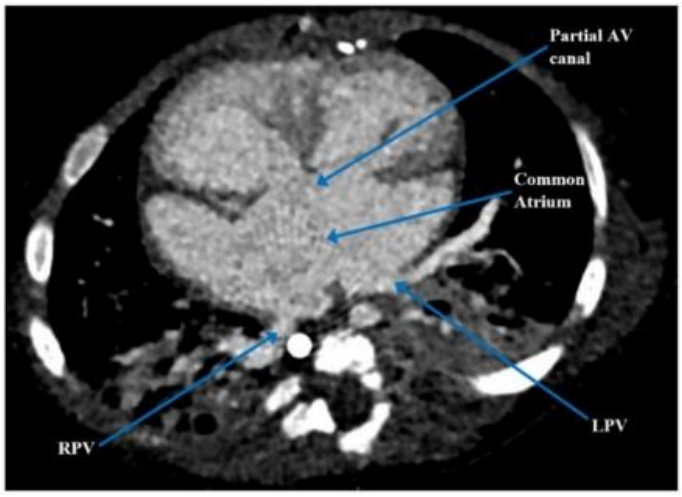
La primera aplicación, se centra en la creación de réplica de órganos específicos de un paciente, que los cirujanos pueden utilizar para practicar previo a realizar una cirugía compleja, esto con la finalidad de acelerar la intervención y minimizar el trauma físico de los pacientes.

En un artículo titulado la utilidad del modelo impreso tridimensional en la reparación biventricular de defectos cardíacos congénitos complejos: informe de caso y revisión de la literatura, (1 de febrero de 2022), afirman que “Con el fin de minimizar la incertidumbre en la definición de la anatomía del paciente, utilizamos un modelo cardíaco impreso en 3D para la

planificación prequirúrgica y nos familiarizamos con los procedimientos a realizar".[7] (Lauren Gabriel Betancourt, 2022)

Para tal investigación, presentan el caso de un infante varón de apenas 5 meses de vida, quien fue diagnosticado "con múltiples anomalías congénitas que incluyen síndrome de heterotaxia, polisplenia, malrotación intestinal, ausencia de tabique pelúcido, labio leporino y paladar hendido, riñón izquierdo pequeño con hidronefrosis y hernia inguinal derecha al nacer", dado su complejo historial médico y anatomía cardíaca, se utilizó un modelo cardíaco impreso tridimensional (3D) para delinear aún más su anatomía cardíaca y determinar el plan más seguro para la intervención quirúrgica.

Ilustración 12: Tomografía computarizada preoperatoria.



Fuente: Niños 2022, 9(2), 184; https://doi.org/10.3390/children9020184

[7] Lauren Gabriel Betancourt, S. H. (1 de Febrero de 2022). *MDPI*. (S. A. Children's Hospital of San Antonio, Productor) Obtenido de MDPI: https://www.mdpi.com/2227-9067/9/2/184

Ilustración 13: Tomografía computarizada preoperatoria

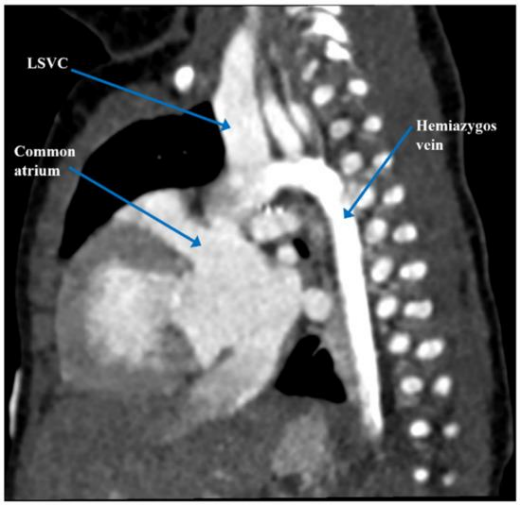
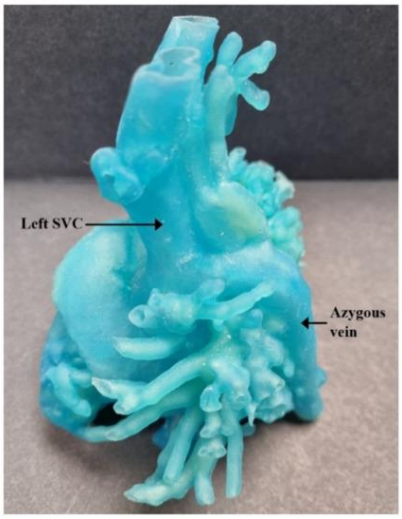


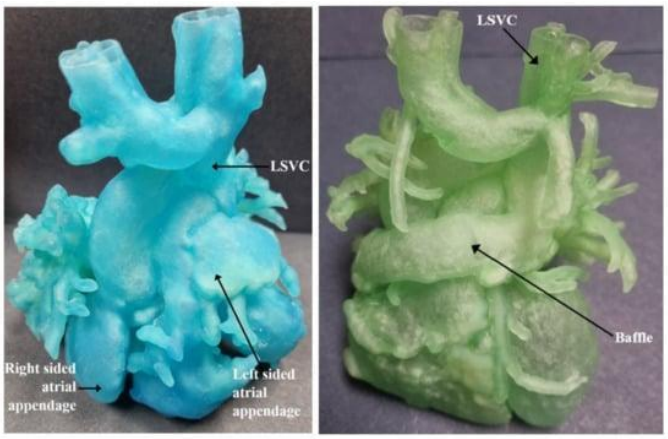
Ilustración 14: Modelo cardíaco 3D preoperatorio



Fuente de ilustraciones: Niños 2022, 9(2), 184; https://doi.org/10.3390/children9020184.

Con el modelo fue realizado una planeación preoperatoria, por medio de estudio y emulación de la técnica quirúrgica a utilizar, en el artículo medico se detalla el procedimiento técnico especifico aplicado sobre el paciente de 5 meses. Finalmente, se realiza una comparación de la anatomía cardíaca 3D preoperatoria y la anatomía cardíaca 3D postoperatoria para demostrar la efectividad del proceso apoyado por la fabricación digital.

Ilustración 15: Comparación del modelo cardíaco 3D preoperatorio y postoperatorio.



Fuente: Niños 2022, 9(2), 184; https://doi.org/10.3390/children9020184.

Al cierre del articulo los autores indican que “Históricamente, los pacientes con heterotaxia han tenido malos resultados quirúrgicos asociados con alta morbilidad y mortalidad debido a anomalías estructurales de las conexiones venosas sistémicas y pulmonares, mayor incidencia de fisiología del ventrículo único, obstrucción del flujo de salida pulmonar y aórtica, arritmias e infecciones asociadas con disfunción esplénica”.

Ante dicho contexto añade “En los últimos años, la impresión 3D se ha utilizado cada vez más en el campo quirúrgico, especialmente para cirugías reconstructivas en cráneo maxilofacial, ortopedia y cardiopatías congénitas para minimizar las complicaciones quirúrgicas. En la cirugía de defectos cardíacos congénitos, específicamente para reparaciones ventriculares, los modelos cardíacos impresos en 3D, junto con otras modalidades de imágenes, han ayudado en la planificación prequirúrgica”. “Esto es crucial para determinar la viabilidad de un abordaje quirúrgico biventricular. Los modelos cardíacos impresos en 3D también han desempeñado un papel fundamental en el cambio del plan quirúrgico”.

En cuanto al informe de casos y revisión de literatura, el articulo describe la utilización de la impresión 3D para el estudio prequirúrgico para pacientes con anatomía cardiaca compleja, afirmando que, además, ayuda a simplificar las decisiones relacionadas con las opciones quirúrgicas. En cuanto a revisión de casos exponen diferentes equipos médicos que publicaron como utilizaron la impresión 3D, y describen que “El equipo encontró que los modelos cardíacos 3D son muy útiles para educar y preparar a los cirujanos jóvenes sin experiencia previa”. En la revisión de casos reparación biventricular, es la técnica que más se ha visto beneficiada con la utilización de la impresión de modelos 3D.

El articulo además de exponer las bondades de la fabricación digital, también expone los principales obstáculos, pues mencionan que “A pesar de los beneficios de la impresión 3D, los altos costos involucrados en la configuración inicial pueden evitar el uso generalizado de la tecnología. El uso de la impresión 3D también es limitado debido al largo tiempo de

procesamiento necesario para imprimir un modelo. Esto depende del tipo de impresora, la disponibilidad de materiales y la complejidad de la patología a imprimir. En términos de limitaciones técnicas, los modelos cardíacos impresos en 3D no muestran los cambios dinámicos que ocurren durante un ciclo cardíaco, lo cual es esencial para la comprensión de la fisiopatología en las cardiopatías congénitas. También puede haber casos en que las estructuras internas como las válvulas auriculoventriculares, las válvulas semilunares o los músculos papilares no se capturen adecuadamente debido a la acumulación de sangre y las limitaciones de la tecnología de imágenes, lo que resulta en modelos que son difíciles de analizar. Por último, los materiales utilizados actualmente para producir modelos cardíacos 3D no pueden replicar la textura del tejido y las propiedades de las capas del corazón, lo que limita la experiencia de la simulación quirúrgica"

Al final del artículo, concluyen que "Utilidad del modelo impreso tridimensional en la reparación biventricular de defectos cardíacos congénitos complejos: informe de caso y revisión de la literatura".

Por otra parte, en un articulado llamado "Prototipos tridimensionales virtuales e impresos en cirugía cardíaca congénita y pediátrica compleja: una experiencia multidisciplinaria de aprendizaje en equipo", los autores exponen beneficios y obstáculos con los que se encontraron al aplicar la fabricación digital en estudios pre operatorias para problemas anatómicos cardiacos complejos.[8] Dicho estudio se llevó a cabo en Sheikh Khalifa Medical City (SKMC), un hospital universitario propiedad del gobierno en los Emiratos Árabes Unidos.

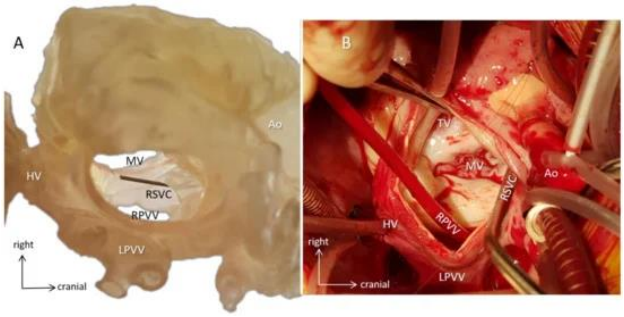
En dicho artículo, describen aspectos técnicos del proceso de fabricación de los modelos 3D, "La creación e impresión de prototipos 3D específicos para pacientes en esta serie implicó

[8] Kiraly, L., Shah, C. d., Abdullah, O., Al-Ketan, O., & Rowshan, R. (16 de Noviembre de 2021). *MDPI*. Obtenido de Biomoleculas: https://www.mdpi.com/2218-273X/11/11/1703

la adquisición de datos (de angiografía por TC) y la segmentación por 2-4 h de trabajo informático con software y experiencia especiales. El proceso de impresión requirió 4-6 h adicionales dependiendo del tamaño y la complejidad del modelo. En la fase inicial del proyecto, por la falta de hardware e infraestructura establecidos, la externalización de las fases de producción a una empresa de renombre internacional (Materialise, Lovaina, Bélgica) parecía una solución viable”

Además, en cuanto a la precisión y funcionalidad de las impresiones 3D describen lo siguiente “La precisión de los modelos virtuales 3D mostró una coincidencia exacta con el conjunto de datos CT en el que se basaron. La precisión dependía de dos factores, la segmentación manual para el modelo virtual y la resolución impresa en 3D para el modelo impreso, que siempre era mejor que la resolución de imagen. Los modelos impresos en 3D se validaron comparando los diámetros de la vena cava inferior y la aorta ascendente de la tomografía computarizada y comparándolos con los del modelo impreso en 3D de volumen sanguíneo (los datos se extrapolaron para los prototipos a escala). No se encontraron diferencias significativas entre las tomografías computarizadas, los modelos virtuales e impresos en 3D”.

Ilustración 16: Comparación de impresión 3D contra anatomía real



Fuente: Biomoléculas 2021, 11, 1703. https://doi.org/10.3390/biom11111703

En la ilustración se aprecia: una simulación quirúrgica. A) Un modelo hueco impreso en 3D visto desde la orientación del cirujano parado en el lado izquierdo del paciente demuestra la anatomía intracardiaca. B) Representación intraoperatoria de la misma anatomía.

En lo relacionado a los materiales de impresión y las impresoras indican que lo deseable son modelos hechos de material flexible y hueco, sin embargo, eso representa costos más altos, pues están relacionados con impresoras únicas y materiales especiales, en el artículo describen lo siguiente “La impresión 3D de modelos de volumen de sangre "rígidos" es relativamente barata debido a las técnicas disponibles y al material único y económico (típicamente ácido poli láctico, PLA). Sin embargo, imprimir un modelo "hueco" con material flexible que imita el recipiente / cámara es una tarea costosa y difícil porque requiere capacidades de impresión avanzadas que solo ofrecen un puñado de impresoras 3D (como la impresora multijet Stratasys J750, Tratases, Eden Prairie, MN, EUA), utilizando materiales especiales hechos de múltiples resinas.”

En cuanto a los beneficios de la experiencia describen “Se observó un rápido aprendizaje de la compleja anatomía cardíaca entre los ingenieros clínicos apoyados por la participación de los médicos. Los ensayos del equipo contribuyeron significativamente a establecer un modelo mental compartido y un plan operativo gradual con escenarios alternativos y responsabilidades respectivas entre los miembros del equipo operativo”.

8.2. Marco Conceptual

8.2.1. Términos Relacionados Con La Ingeniería Industrial

Revolución Industrial

Este conjunto de términos suele tener una sola definición de carácter histórico, pues es generalmente relacionada a un suceso histórico que tuvo lugar en Inglaterra entre 1760 y 1840, que marco cambios importantes en muchos ámbitos de la vida humana. Fernández, Tomás y Tamaro, Elena en su publicación “La revolución industrial” lo definen desde el enfoque histórico como “el conjunto de cambios económicos y tecnológicos que transformó la sociedad agraria y artesanal del Antiguo Régimen en las modernas sociedades industriales, dotadas de una dinámica de crecimiento económico sostenido”.

Otro autor, lo define como un punto de cambio en la línea de tiempo, que trae consigo cambios que marcan el desarrollo del futuro, tal como se muestra:

La Revolución Industrial marcó un antes y un después en la historia de la humanidad. Especialmente porque su impacto se extendió a todos los ámbitos de la sociedad. En resumen, significó la creación de innovaciones tecnológicas y científicas que supusieron una ruptura con las estructuras socioeconómicas existentes hasta el momento. (Selva Belén V, López J. F, 2016)

Se concluye que una revolución industrial, representa un cambio innovador y sostenido en la forma de fabricar o hacer los bienes y servicios, que, por ende, trae consigo transformaciones económicas, sociales, culturales y claramente, cambios tecnológicos.

Además, los autores coinciden que la revolución industrial es un evento que se repite, y que por lo tanto, se enuncian cuatro grandes revoluciones, la primera es la relacionada con la mecanización (máquina de valor y energía hidráulica), la segunda conlleva la producción en masa, cadena de montaje y electricidad, la tercera es la informática (autorización, tecnologías de la información y la comunicación llamadas TIC) y la última nombras, la cuarta revolución o industria 4.0, la de la digitalización (internet de las cosas, la nube, coordinación digital, sistemas ciber físicos y robótica).

Industria 4.0

Como primer paso, este concepto es definido de manera sencilla en la publicación “¿Qué es la Industria 4?0?”, (s.f.), en el sitio web Argentina.gob.ar, donde lo explican brevemente como, “refiere a una nueva manera de producir mediante la adopción de tecnologías 4.0, es decir, de soluciones enfocadas en la interconectividad, la automatización y los datos en tiempo real”

Paralelo a ello, otros autores definen la industria 4.0 o cuarta revolución industrial por medio de que los elementos que la componen y que son representativos de dicha industria, en el sitio web Deloitte, en su artículo “¿Qué es la Industria 4?0?”, (s.f.), menciona:

Esta revolución está marcada por la aparición de nuevas tecnologías como la robótica, la analítica, la inteligencia artificial, las tecnologías cognitivas, la nanotecnología y el Internet of Things (IOT), entre otros. Las organizaciones deben identificar las tecnologías que mejor satisfacen sus necesidades para invertir en ellas. (¿Qué es la Industria 4?0?, s.f.)

Finalmente, la gran empresa tecnológica IBM, en su sitio web, resume los beneficios de la industria 4.0, en su publicación “Cómo las tecnologías de la Industria 4.0 están cambiando la fabricación”, (s.f.), donde afirma que “Estas tecnologías digitales conducen a una mayor automatización, al mantenimiento predictivo, a la optimización automática de las mejoras de procesos y, sobre todo, a un nivel de eficiencia y capacidad de respuesta a los clientes que antes no era posible”.

Por lo tanto, la industria 4.0 o cuarta revolución industrial, es un nuevo cambio tecnológico en la forma de fabricar los bienes, y la forma de proveer los servicios, por lo que representa nuevos pilares tecnológicos. La industria 4.0 busca conectar el mundo físico y el digital, habilita sistema inteligentes y autónomos, por medio de las muchas y nuevas tecnologías que se apoyan del internet de las cosas, la nube y la inteligencia artificial.

Fabricación Digital

Según la página web formas, en su publicación “introducción a la fabricación digital” se define el termino como “La fabricación digital es un proceso de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador). El producto del software CAM son datos que dirigen una herramienta específica fabricación aditiva y sustractiva, como una impresora 3D o una fresadora CNC”. En la definición se destacan dos elementos de importancia enorme, el primero, es el termino CAD el cual es el diseño asistido por computadora y el segundo es la fabricación asistida por ordenador (CAM), además, existe un término el cual está en el

medio de ambos, que, en orden cronológico, es el segundo paso, el cual es la ingeniería asistida por computadora (CAE) el cual referencia a un análisis de ingeniería asistido por computadora.

Diseño Asistido Por Computadora (CAD)

Consiste en el uso de programas de ordenador para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto. (SIEMENS, 2022).

La naturaleza de los softwares CAD, los inclinan a ser parte del trabajo de los profesionales de las diferentes ingenierías, es por eso por lo que SIEMENS (2022) detalla los beneficios de los programas CAD en la ingeniería “El CAD se utiliza a lo largo de todo el proceso de ingeniería, desde el diseño de productos conceptual y la estructura pasando por el análisis de ensambles hasta la definición del método de fabricación. El CAD permite a los ingenieros probar de forma interactiva las variantes de diseño con el número mínimo de prototipos físicos, con el objetivo de: Reducir los costes de desarrollo de productos, ganar velocidad, mejorar la productividad, asegurar la calidad y reducir el tiempo de lanzamiento al mercado

El CAD permite: Agilizar el proceso de diseño, mejorar la visualización de los subensambles, de las piezas y del producto final, obtener una documentación más sólida y sencilla del diseño, que incluye geometrías, dimensiones y listas de materiales, reutilizar fácilmente los datos de diseño y las mejores prácticas, y lograr una mayor precisión para reducir los errores”.

La empresa AUTODESK (2022), la cual es un líder mundial en distribución de softwares de diseño y creación menciona bondades del diseño asistido por computadora, “Con los programas CAD 2D o 3D, puedes realizar diferentes tareas, como crear un modelo 3D de un

diseño, aplicar materiales y efectos de iluminación y documentar el diseño con cotas y otras anotaciones".

Ilustración 17: Ejemplo de diseño asistido por computadora (CAD).



Fuente: Sitio Dreamstime

Ingeniería Asistida Por Computadora (CAE)

Es el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación.

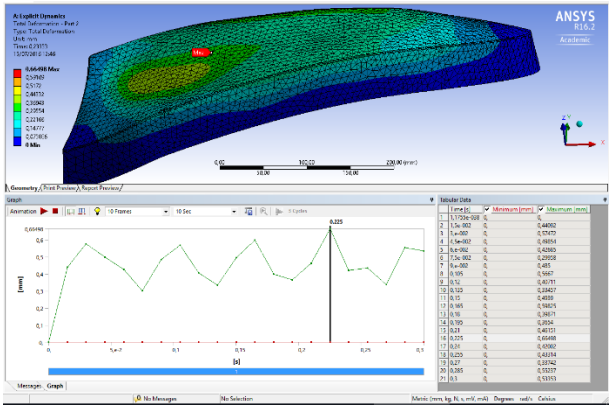
Un proceso típico de CAE consta de una serie de pasos de preprocesamiento, resolución y post procesamiento. En la fase de preprocesamiento, los ingenieros modelan la geometría (o una representación del sistema) y las propiedades físicas del diseño, así como el entorno en forma de cargas o limitaciones aplicadas. (SIEMENS, 2022).

Entre sus beneficios para los profesionales de la ingeniera y en general, SIEMENES (2022) enlista los siguientes aspectos "Análisis de tensión y de dinámicas en componentes y ensambles mediante el análisis de elementos finitos (FEA), optimización del producto o proceso, análisis térmicos y de fluidos mediante la dinámica computacional de fluidos

en 3D (CFD). y simulación de procesos de fabricación como la fundición, el moldeo o el troquelado por prensa.

Entre los beneficios de la CAE se encuentran la reducción de los costes y del tiempo de desarrollo del producto, con una mejora de la calidad y de la durabilidad del producto. Las decisiones de diseño se pueden tomar sobre la base de su impacto en el rendimiento. Los diseños se pueden evaluar y perfeccionar gracias a las simulaciones por ordenador en lugar de realizar pruebas con prototipos físicos, lo cual permite un ahorro de tiempo y dinero. CAE puede proporcionar información sobre el rendimiento en etapas más tempranas del proceso de desarrollo, cuando resulta más económico efectuar cambios en el diseño. CAE ayuda a los equipos de ingeniería a gestionar el riesgo y a comprender las implicaciones en el rendimiento de sus diseños. La gestión integrada de datos y procesos de CAE amplía la capacidad de utilizar de forma efectiva la información sobre el rendimiento, así como de mejorar los diseños para una comunidad más amplia. Los problemas relativos a la garantía se reducen gracias a la identificación y a la eliminación de posibles problemas. Si se integra correctamente en el desarrollo de productos y de la fabricación, la CAE puede permitir una resolución más temprana de los problemas, lo que puede reducir significativamente los costes asociados con el ciclo de vida del producto".

Ilustración 18: Ejemplo de ingeniería asistida por computadora (CAE)



Fuente: Sitio grupocarman

Manufactura Asistida Por Computadora (CAM)

CAM representa los softwares que transmiten un modelo diseñado con ayuda de softwares CAD y CAE, a una maquina destinada a la fabricación, tal como lo define SIEMENS (2022), “Consiste en el uso de aplicaciones de software de control numérico (NC) con el objetivo de crear instrucciones detalladas (código G) que impulsen las máquinas-herramienta de control numérico por ordenador (CNC) para las piezas de fabricación. Las fabricantes de sectores muy diferentes dependen de las funciones de la CAM para fabricar piezas de alta calidad.

Una definición más amplia de la CAM puede incluir el uso de las aplicaciones de ordenador para definir un plan de fabricación para el diseño de herramientas, el diseño asistido por ordenador (CAD), la preparación de modelos, la programación NC, la programación de inspección de máquinas de medición por coordenadas (CMM), la simulación de máquina-herramienta o el post procesamiento”.

Ilustración 19: Ejemplo de manufactura asistida por computadora



Fuente: Sitio Dreamstime

Impresión 3D

El termino impresión 3D posee una variedad abundante de definición de muchos autores, pues su estudio y aplicación es basta y global, debido a su principal beneficio, que permite crear de forma eficiente piezas únicas, verdaderamente complejas, que solo son posibles con la impresión 3D.

Para este caso, iniciaremos con la definición de la empresa Autodesk, la cual a la fecha de esta investigación en su página web define la impresión 3D como aquella “llamada manufactura por adición, es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo”.

8.2.2. Términos Relacionados Con La Medicina

Tomografía Computarizada

Es uno de los términos más usados en las publicaciones que relacionan la fabricación digital y el sector médico, NIE[9] (2022) lo define como “tomografía computarizada, o TC, se refiere a un procedimiento computarizado de toma de imágenes con rayos X en el que se proyecta un haz angosto de rayos X a un paciente y se gira rápidamente alrededor del cuerpo, produciendo señales que son procesadas por la computadora de la máquina para generar imágenes transversales, o "cortes". Estos cortes se llaman imágenes tomográficas y pueden brindar al médico información más detallada que las radiografías convencionales. Una vez que la computadora de la máquina recopila varios cortes sucesivos, estos se pueden "apilar" digitalmente para formar una imagen tridimensional del paciente que permite identificar más fácilmente las estructuras básicas, así como posibles tumores o anomalías”.

La tomografía computarizada se utiliza con múltiples objetivos y provee de muchos beneficios a los doctores y pacientes, Mayo Clinic Press (2022) defines eso como “Una tomografía computarizada se puede utilizar para visualizar casi todas las partes del cuerpo y diagnosticar enfermedades o lesiones, así como para planificar tratamientos médicos, quirúrgicos o de radiación (Mayo Clinic, 2022).

[9] National institute of biomedical imaging and bioengineering

Generalmente se utiliza para: Diagnosticar trastornos musculares y óseos, como tumores óseos y fracturas. Precisar la ubicación de un tumor, una infección o un coágulo sanguíneo. Guiar procedimientos, como cirugías, biopsias y radioterapia. Detectar y controlar enfermedades y afecciones, como cáncer, enfermedades cardíacas, nódulos pulmonares y tumores de hígado. Controlar la efectividad de determinados tratamientos, como el tratamiento para el cáncer. Detectar lesiones y sangrado internos”

Ilustración 20: Ejemplo de tomografía computarizada.

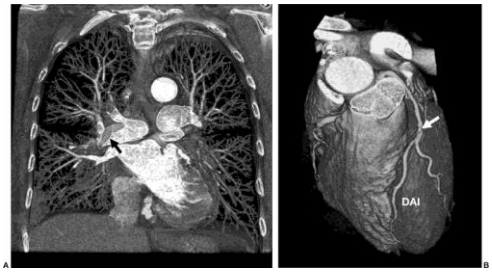


. *Fuente: Sitio Maayo Clinic*

La tomografía computarizada (TAC) es una prueba de diagnóstico por imágenes utilizada para crear imágenes detalladas de los órganos internos, los huesos, los tejidos blandos y los vasos sanguíneos. Las imágenes de secciones transversales generadas durante la exploración por TAC pueden ser reordenadas en múltiples planos, e incluso pueden generar imágenes en tres dimensiones que se pueden ver en un monitor de computadora, imprimir en una placa o transferir a medios electrónicos. La exploración por TAC es, por lo general, el mejor método para detectar varios tipos de cánceres, ya que las imágenes le permiten a su médico confirmar la presencia y determinar el tamaño y ubicación de un tumor. La TC es rápida, indolora, precisa, y no es invasiva. En casos de emergencia, puede identificar lesiones y hemorragias internas lo suficientemente rápido como para ayudar a salvar vidas (Radiología info. 2022).

Angiografía Computarizada

Ilustración 21: Ejemplo de angiografía TAC o Angiotac



- *Fuente: Sitio Acerca de ScienceDirect*

Este es otro término utilizado en las investigaciones relacionadas con la planeación quirúrgica y las impresiones 3D. Su principal característica es la aplicación de materiales de contraste al interior del cuerpo, tal como lo explica el sitio web RadiologyInfo (2022):

La angiografía por tomografía computarizada (ATC o TAC) utiliza una inyección de material de contraste en sus vasos sanguíneos y la tomografía computarizada para ayudar a diagnosticar y evaluar enfermedades de los vasos sanguíneos o condiciones relacionadas, tales como los aneurismas o bloqueos. La ATC se lleva a cabo generalmente en el departamento de radiología o en un centro especializado en imágenes.

Los médicos utilizan la angiografía para diagnosticar y tratar enfermedades de los vasos sanguíneos. Los exámenes angiográficos producen imágenes de los vasos sanguíneos principales a lo largo del cuerpo. En algunos exámenes se utiliza un material de contraste.

Los médicos utilizan la angio tomografía computarizada para diagnosticar y evaluar varias enfermedades de los vasos sanguíneos y condiciones relacionadas tales como: Aneurismas, bloqueos, coágulos de sangre, anormalidades congénitas (de nacimiento) del sistema cardiovascular, incluyendo el corazón, vasos sanguíneos desorganizados (tales como las malformaciones vasculares), lesiones, tumores y ruptura o desgarro de vasos.

Material De Contraste

Son substancias que cambian temporariamente la forma en que los rayos X y otras herramientas de imagenología interactúan con el cuerpo. Cuando se los introduce adentro del cuerpo antes del examen por imágenes, los materiales de contraste hacen que ciertas estructuras o tejidos del cuerpo aparezcan en las imágenes de forma diferente de lo que lo harían si no se hubiera administrado el material de contraste. Los materiales de contraste ayudan a distinguir o "contrastar" áreas seleccionadas del cuerpo de los tejidos circundantes. Esto ayuda a los médicos a diagnosticar condiciones médicas y a mejorar la visualización de órganos específicos, vasos sanguíneos o tejidos. Los compuestos yodados y los de sulfato de bario son usados en los exámenes por imágenes de rayos X y tomografía axial computada (TC). RadiologyInfo (2022).

Ilustración 22: Ejemplo de aplicación del material de contraste



Fuente: Video de YouTube canal Jesús morales

Por su parte el sitio web Mayo Clinic (2022), define el material de contrate de manera más directa “En algunas tomografías computarizadas (TC) es necesario utilizar un tinte especial denominado “material de contraste” para resaltar las áreas del cuerpo que se examinarán. El material de contraste bloquea los rayos X y se observa de color blanco en las imágenes, lo que puede ayudar a destacar los vasos sanguíneos, los intestinos y otras estructuras”.

Por lo general su administración al cuerpo es por medio de inyección, vio oral o mediante un enema. Su beneficio es la de contrastar la región del cuerpo de interés, del resto del cuerpo, lo cual beneficia a un modelado 3D, su edición y fabricación digital, por lo tanto, una excelente definición, contribuye a una mejor impresión 3D.

Procedimiento Quirúrgico

Los procedimientos e intervenciones quirúrgicas son cirugías invasivas o no invasivas realizadas por un médico cirujano, con el fin de mejorar y resolver cualquier tipo de lesión o enfermedad que se encuentre aquejando al paciente. (Fisio online)

La definición establecida en el sitio web fisio online sobre el procedimiento quirúrgico, tiene poca o nula diferencia con la definición general de una cirugía, dando lugar a concluir que al unir la palabra con procedimiento, hace referencia a la gama de opciones que un especialista cirujano tiene para abordar los diferentes problemas que sufre un paciente, pues el sitio web enlista los siguientes procedimiento: Vertebroplastia, artroplastia, artrodesis, infiltración y otras, todas relacionadas al sistema óseo y articulaciones.

Así mismo, el sitio web fisio online añade “Para determinar con precisión un diagnóstico médico, es necesario que al paciente se le realizan varias pruebas, estudios y exámenes diagnósticos que den veracidad y comprueben la lesión o enfermedad”.

Cirugía

En las diferentes fuentes, la cirugía es principalmente definida como dos enfoques, en el primero lo hacen como una rama de la medicina curar por medio de una operación sobre la parte afectada del cuerpo, en el segundo enfoque lo hace como un procedimiento que busca diagnosticar o combatir enfermedades o tumores. Dicho termino, también es conocido como operación.

Como una primera definición general, en un sitio web llamado concepto definición, el autor Rodríguez, Dáncelo (septiembre, 2021) define como:

Desde el punto de vista etimológico proviene del griego jeir que significa mano, unido al término érgon que hace referencia al trabajo, es decir, hace referencia al trabajo manual. El término cirugía se utiliza para referirse a cualquier intervención de tipo quirúrgica con fines de restablecer la estructura y función de alguna parte del cuerpo o simplemente para la extirpación de alguna porción con la intención de devolver el estado de salud a un individuo. Esta se puede dividir de manera general en tres tipos principales, la mayor, la menor y la de tipo ambulatoria, las cuales se diferencian en el nivel de complejidad y por lo tanto en el tiempo y las técnicas utilizadas en cada una.

Rama de la medicina que se encarga de los procedimientos de tipo quirúrgicos, por medio del trabajo manual y la utilización de un instrumental especializado, el cual puede tener como objetivo el tratamiento, diagnóstico e incluso pronóstico de alguna patología en general. (Rodríguez, Dangeolo, 2021).

Como se aprecia en dicho texto, se define de forma general el termino, estableciendo que se trata de un trabajo manual, actualmente sabido que se refiere a un trabajo de precisión y pericia; además indica que su finalidad es la de reestablecer la estructura o/y función de un órgano o uno de sus elementos en específico, y nos comparte la clasificación de general de la cirugía en función del grado de complejidad que representa. Finalmente, al mismo termino se le da la connotación de rama de la medicina que aplica los procedimientos quirúrgicos por medio de trabajo manual y con el apoyo de instrumentos, y por supuesto, de técnicas y otras herramientas tecnológicas propias de la actualidad.

El sitio web NIH[10] define la cirugía como un procedimiento que busca satisfacer más de un fin, pues lo especifica como “Procedimiento para extirpar o reparar una parte del cuerpo, o para determinar si hay una enfermedad. La cirugía además es la rama de la medicina que se especializa en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades o afecciones mediante operaciones. También se llama operación”.

Cirugía Mayor

Sobre un artículo que define la cirugía, Mohabir, P. K., & Coombs, A. V, (s.f.) explican que la cirugía mayor es:

La cirugía mayor conlleva casi siempre la apertura de una de las principales cavidades del cuerpo: abdomen, tórax o cráneo. La cirugía mayor puede comprometer órganos vitales. Generalmente, la intervención se lleva a cabo con anestesia general en un quirófano y por parte de un equipo especializado de médicos.

Además, sobre añaden que es posible realizar una cirugía de tipo mayor en condiciones ambulatorias, tal como lo explican:

Por lo general, después de una cirugía mayor se requiere una estancia de una noche como mínimo, pero en la actualidad algunos procedimientos quirúrgicos mayores se realizan de forma segura en un entorno ambulatorio, ya sea en un hospital o en un centro de cirugía ambulatoria independiente. Los médicos consideran muchos factores para determinar si un procedimiento quirúrgico mayor se puede realizar de forma ambulatoria, incluyendo la salud general de la persona y el riesgo de complicaciones, la complejidad de la cirugía y la presencia de un hospital cercano en caso de que la persona necesite ser trasladada. (Mohabir, P. K., & Coombs, A. V., s.f.)

[10] NIH: Instituto Nacional del Cáncer, un sitio oficial del gobierno de Estados Unidos.

La cirugía de tipo mayor, por lo tanto, está relacionado con un nivel de complejidad mayor, lo que requiere médicos especialistas, instrumentos y apoyos tecnológicos, debido a que son invasivas y sobre grandes e importantes cavidades del cuerpo. Además, indican que una cirugía de este tipo requiere como mínimo una noche de recuperación posterior en el hospital, por lo que, en casos de mayor complejidad y delicada salud del paciente, se valoren más noches de recuperación en un hospital.

Cirugía Ambulatoria

La cirugía ambulatoria tiene diferentes interpretaciones, pues son diversos factores que la definen, como el tipo de anestesia, y la cantidad de tiempo de recuperación que tiene el paciente. En la publicación realizada en el sitio web Clínica Hospital San Fernando, el Dr. Martínez E, J. E (s.f.). define la cirugía ambulatoria como:

Todo procedimiento quirúrgico que se lleve a cabo sin internación, independientemente se trate de una cirugía mayor o menor, o se practique con anestesia general, regional o local. Esto se entiende en tres dimensiones: cirugía menor ambulatoria, cirugía mayor ambulatoria y cirugía con corta estancia.

En cuanto a la ambulatoria de tipo menor, explica que:

“Se refiere a aquellos procedimientos quirúrgicos que se llevan a cabo con anestesia local, sin internación y que no necesitan ningún cuidado post operatorio especial, lo que le permite al paciente retornar a su entorno una vez finalice el mismo”. (Martínez E, J. E, s.f.)

Para continuar complementando su definición sobre la cirugía ambulatoria, y específicamente la de tipo mayor, añade:

“Aquellos procedimientos quirúrgicos que se llevan a cabo con anestesia local, regional o general y requieren cuidados post operatorios inmediatos, pero sin internación, permitiéndosele

al paciente el retorno a su hogar pocas horas después de realizada la cirugía". (Martínez E, J. E, s.f.)

Con base a las anteriores definiciones, la cirugía ambulatoria es el tipo de cirugía que se caracteriza generalmente por ser poco invasiva, esto significa que no requieren cortes (incisiones) grandes, por lo tanto, son rápida y de bajo costo, son realizadas consultorios, y el paciente es dado de alto inmediatamente a la finalización de la operación, o bien pueden internarse durante una noche.

Cirugía Menor

Esta clasificación de cirugía tiene un parecido a la ambulatoria, por lo tanto, algunos autores se expresan de las operaciones como las de tipo mayo y las menores, y otros como las mayores y ambulatorias. Mohabir, P. K., & Coombs, A. V, (s.f.) explican que:

En la cirugía menor no hay apertura de las cavidades mayores del cuerpo. Se puede requerir el uso de anestesia local, regional o general, y se puede llevar a cabo en un servicio de urgencias, en centros de cirugía ambulatoria o en la propia consulta del médico. No suele afectar a órganos vitales, por lo que este tipo de cirugía puede ser llevada a cabo por un solo médico, que puede ser cirujano o no. En general, la persona puede volver a su domicilio el mismo día de la intervención quirúrgica menor.

En dicha definición se aprecia que la principal característica de este tipo es que son operaciones que no afectan órganos vitales, por lo que es realizada por un único médico, sea este cirujano o no, donde el paciente es dado de alta de inmediato. Por otro lado, en las ambulatorias, al finalizar la operación, al paciente se da de alta inmediatamente o no, dando lugar a horas o días de internación para recuperación.

Cirugía Cardio Torácica

Según la universidad de Guadalajara en México, en su publicación sobre “Especialidad en cirugía cardiotorácica” (s.f.) define:

La cirugía cardiotorácica (también conocida como cirugía torácica) es el campo de la medicina involucrado en el tratamiento quirúrgico de los órganos dentro del tórax (el tórax), generalmente el tratamiento de afecciones del corazón (enfermedad cardíaca) y de los pulmones (enfermedad pulmonar). En la mayoría de los países, la cirugía cardíaca (que involucra el corazón y los grandes vasos) y la cirugía torácica general (que involucra los pulmones, el esófago, el timo, etc.). (Cardiotorácica, E. en C., s.f.)

En el artículo titulado “¿Qué es un cirujano especializado en cirugía cardiotorácica o torácica?”, (s/f), publicado por The society of thoracic surgeons, la cirugía torácica es definida desde el enfoque de un médico especializado en dicha área, y explica:

Un cirujano de cirugía cardiotorácica es un médico que se especializa en los procedimientos quirúrgicos del corazón, los pulmones, el esófago, y otros órganos del tórax. Incluye cirujanos que se especializan en cirugías cardíacas, cirugías cardiovasculares, cirugías torácicas generales, y cirugías para defectos congénitos del corazón. (¿Qué es un cirujano especializado en cirugía cardiotorácica o torácica?, s/f)

Por lo tanto, este tipo de operaciones se centran en las intervenciones quirúrgicas sobre la región del tórax, sobre órganos como el corazón, defectos congénitos de corazón, arterias y vasos principales, pulmones y esófago, entre otros.

Cirugía Cardio Pediátrica

Esta es una rama específica de la gran gama de líneas que posee la cirugía, en el artículo llamado “Cardiocirugía pediátrica”. (s/f), en el sitio web Medline Plus, lo define como:

La cardiocirugía pediátrica se lleva a cabo para reparar defectos cardíacos con los que nació un niño (defectos cardíacos congénitos) y cardiopatías que el niño presenta después del nacimiento y que necesitan cirugía. La cirugía es necesaria para el bienestar del niño.

Además, se añade lo siguiente:

Hay muchos tipos de defectos cardíacos. Algunos son menores y otros son más serios. Los defectos pueden ocurrir dentro del corazón o en los vasos sanguíneos grandes por fuera de este. Algunos defectos cardíacos pueden necesitar cirugía inmediatamente después de que el bebé nazca. En otros casos, su hijo puede esperar semanas, meses, o años sin problema hasta que lo operen. Una cirugía puede ser suficiente para reparar el defecto cardíaco, pero algunas veces se necesita una serie de procedimientos. (Cardiocirugía pediátrica, s/f).

Por lo tanto, las cirugías cardio pediátricas, son aquellas que específicamente se centran en niños reciente nacidos y durante sus primeros años, se realizan sobre su corazón y arterias, con el fin de reparar defectos cardiacos congénitos, propios durante su gestación y nacimiento, así como para reparar cardiopatías, las cuales de desarrollaron posterior al nacimiento, durante los primeros años de vida del niño.

Cardiocirujano Pediátrico

Ante el contexto de la cirugía, específicamente de la cirugía cardio pediátrica, es necesario definir entonces que tipo de profesional de la medicina es el ideal para ese trabajo, en el la publicación web “¿Qué es un cardiocirujano pediátrico?”, (2016) definen cual es el objetivo de un cirujano cardio pediátrico, donde se establece que, “Los cardiocirujanos pediátricos ofrecen la atención especial necesaria para corregir problemas cardíacos congénitos (existentes al momento del nacimiento) y adquiridos en los niños”.

Además, el sitio web añade:

Los cardiocirujanos pediátricos tratan defectos cardíacos congénitos complejos en recién nacidos, niños y adolescentes, al igual que en adultos. Los defectos cardíacos congénitos son muy diferentes de los tipos de cardiopatías que son comunes en los adultos. La reparación de corazones en cuerpos pequeños representa un reto adicional. Los cardiocirujanos pediátricos tienen las destrezas especiales para proporcionar la atención más segura, incluso para los pacientes más jóvenes y pequeños que necesiten una cirugía del corazón.

Los cardiocirujanos pediátricos suelen operar para: Corregir afecciones como orificios entre las cavidades del corazón, problemas de válvulas y vasos sanguíneos anormales. Reparar lesiones en el corazón. Corregir otros defectos cardíacos congénitos y adquiridos. Realizar trasplantes de corazón, pulmón y corazón/pulmón. (¿Qué es un cardiocirujano pediátrico?, 2016)

Esto indica que el profesional encargado de realizar operaciones en la región torácica en niños menores es llamado cardiocirujano pediátrico, y se enfrentan a la dificultad de realizar operaciones en espacios reducidos, por medio de su destreza y conocimiento.

Morbilidad

Es un indicador que permite conocer la incidencia o prevalencia, ocurrencia de una enfermedad, lesión o discapacidades en una población de interés. Principalmente se puede conocer a través de encuestas y otras investigaciones de campo, o a través de información secundaria como registros hospitalarios o información histórica de grandes organizaciones internacionales. (OPS, 2018)[11]

Como en todo dato estadístico, se puede ver afectada la exactitud y precisión de debido a los siguientes factores:

- Calidad de la información no es la adecuada

[11] OPS. (2018). *Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos*. Organización Panamericana de la Salud. https://doi.org/10.37774/9789275320051

- Validez de los instrumentos de medición
- Gravedad de la enfermedad, lesión o discapacidad
- Normas culturales
- Confidencialidad
- Sistemas de información de la salud

$$índice\ de\ morbilidad = \frac{\#\ Número\ de\ fallecidos\ por\ "x"\ causa}{Población\ total\ de\ interés\ en\ riesgo}\ x1000$$

Mortalidad

Es un indicador que cuantifica los problemas de salud de una población, a través de las pérdidas humanas que puede provocar, estableciendo puntos de chequeo y objetivos de salud para poder combatirla, o por lo menos entender la relevancia de la enfermedad, lesión o discapacidad.[12]

En la actualidad, la mayoría de los países se rige por la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE), para organizar las causas de muerte de su población, lo que contribuye a tener datos más ordenados que pueden ser utilizados en estudios o hacer comparativas entre los países.

Este es un indicador que se lleva de manera obligatoria en todos los países, ya que es una medida básica para conocer las causas de defunción en la población. A tal grado que la OMS ha presentado sus propias recomendaciones sobre lo que debe contener un certificado de defunción, como variables, secuencias y un sistema de codificación para la correcta clasificación de las causas de muerte.

Aún con estas recomendaciones, siempre se tienen dificultades para constar de manera precisa las mortalidades de las enfermedades, lesiones o discapacidades; entre las razones se encuentran:

[12] OPS. (2018). *Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos*. Organización Panamericana de la Salud. https://doi.org/10.37774/9789275320051

- Leyes nacionales
- Veracidad y exactitud de las pruebas de diagnóstico, instrumentos, cobertura de los datos.
- Normas culturales que afectan el llenado del acta de defunción.
- Confidencialidad
- Correcta clasificación de la muerte

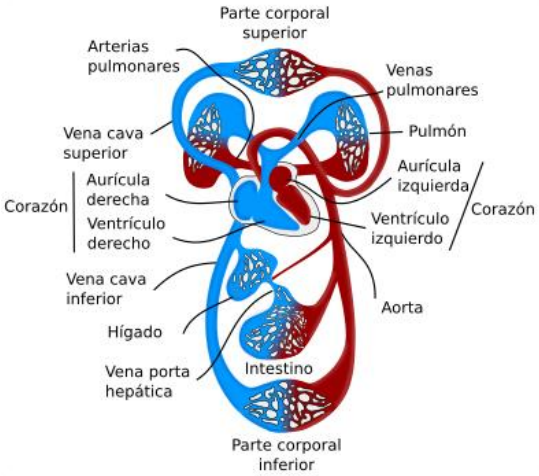
$$índice\ de\ mortalidad = \frac{\#\ Número\ de\ fallecidos\ por\ "x"\ causa}{Población\ total}\ x1000$$

Sistema Cardiovascular

Este sistema es el encargado de provisionar el oxígeno a todos los órganos del cuerpo, utilizando como medio a la sangre, iniciando su recorrido desde el bombeo de la sangre desde el corazón y de transportar el dióxido de carbono hacia su camino para desecharse a través de la respiración a través de los pulmones al resto del sistema respiratorio.

Se compone del corazón, los vasos sanguíneos, arterias, venas, vénulas, capilares y la sangre que es el medio de transporte de diversas sustancias importantes para el cuerpo, como lo es el oxígeno, nutrientes y desechos celulares.

Ilustración 23: Sistema cardiovascular



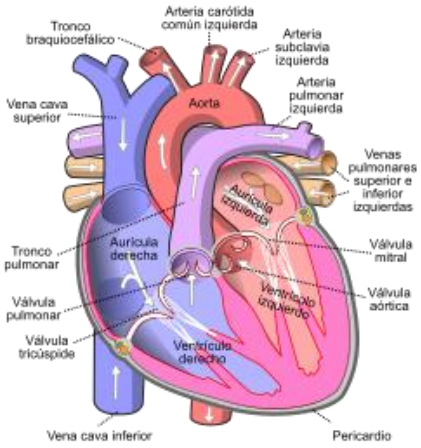
Fuente: Sitio Aula de anatomía

Corazón

Es un órgano del tipo muscular, que se compone de la aurícula izquierda y derecha, además tiene dos ventrículos´, uno izquierdo y derecho, ubicándose en la parte central del pecho, contando con tuberías que bombean la sangre a todo el cuerpo para distribuir el oxígeno, nutrientes y desechar algunos elementos.[13]

El funcionamiento del corazón comienza a partir del lado derecho con la sangre que no tiene oxígeno o que lo tiene presente en pocas cantidades, pasando por los pulmones para que expulsen el dióxido de carbono, luego llega al lado izquierdo, donde la sangre ya pasa oxigenada, impulsada por la vena aorta para abarcar todo el cuerpo.

Ilustración 24: Corazón humano.



Fuente: Corazón humano.

Vena

Se le conoce como “vena” a los vasos conductores de la sangre dispersada al cuerpo y que luego retorna al cuerpo. (RAE 2023)

[13] Sogacar. (2019, 26 abril). El sistema cardiovascular. Sogacar. Recuperado 3 de marzo de 2023, de https://www.sogacar.com/el-sistema-cardiovascular/

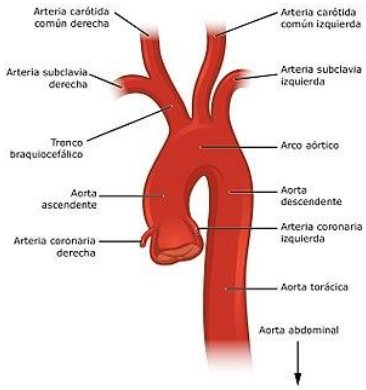
Arteria

Es un vaso sanguíneo cuya función es transportar la sangre desde el corazón al resto del cuerpo, pasando por todos los órganos. (Cancer, 2021)

Arteria Aorta

La arteria aorta es el vaso sanguíneo y artería de mayor tamaño, a partir de su formación surgen las demás ramificaciones de vías sanguíneas hacia el resto del cuerpo. Posee un gran tamaño, así como una pared engrosada y es muy elástica.[14]

Ilustración 25: Arteria aorta



Fuente: Sitio Aula de anatomía

Trayectos De La Aorta

Aorta ascendente: se encuentra en el orificio de la aorta en la base del ventrículo izquierdo. Es la parte de mayor proporción de la aorta.

Arco de la aorta: nace en la ramificación del tronco braquiocefálico, llegando hasta la parte anterior de la parte izquierda del pulmón. (Serrano 2023)

Aorta descendente: es la parte que continúa después del arco y da lugar a la aorta torácica y abdominal, las cuales se dividen por el diafragma.

[14] Serrano, C., & Nova, S. (2023, February 7). Anatomía del corazón. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/aorta-es

Aorta abdominal: Nace del orificio aórtico del diafragma, cerca de la vértebra 12 desde la parte posterior y a la izquierda de la columna vertebral hasta cubrir 10 centímetros en descenso (Serrano 2023)

Aorta Torácica Descendente

- Ramas viscerales: estas se componen de las arterias pericárdica, bronquial, esofágica, mediastínica
- Ramas parietales o arterias intercostales: arterias intercostales, subcostal y frénicas superiores. (Serrano 2023)

Aorta Abdominal

- Grupo anterior: tronco celíaco, arteria mesentérica superior, arteria mesentérica inferior
- Grupo lateral: arterias suprarrenales, arterias renales, arterias gonadales.
- Grupo dorsal: arterias frénicas inferiores, arterias lumbares, arteria sacra media.
- Ramas terminales: arteria ilíaca común izquierda, arteria ilíaca común derecha. (Serrano 2023)

Defectos cardiacos congénitas

Este tipo de problema cardiaco tiene que ver con el desarrollo de un bebe, tal como lo explica el sitio web Medline plus, en su publicación “Defectos cardíacos congénitos”, (2022):

Los defectos cardíacos congénitos son problemas con la estructura del corazón. "Congénito" significa que los problemas están presentes al nacer. Estos defectos ocurren cuando el corazón de un bebé no se desarrolla normalmente durante el embarazo. Los defectos cardíacos congénitos son el tipo más común de defecto de nacimiento.

Los defectos cardíacos congénitos pueden cambiar la forma en que el corazón bombea la sangre. Pueden hacer que la sangre fluya con demasiada lentitud, ir en la dirección contraria o bloquearla por completo.

Hay muchos tipos de defectos cardíacos congénitos. Pueden ocurrir en una o más partes del corazón. Los tipos más comunes son: Defectos septales, defectos de las válvulas cardíacas y defectos en los grandes vasos sanguíneos. (Defectos cardíacos congénitos, 2022).

Lo cual de manera sencilla indica que las enfermedades congénitas consisten en uno o más problemas en la estructura del corazón, que existen desde el nacimiento.

Cardiopatía

Según el sitio web policlina metropolitana, en su publicación "¿Qué es la cardiopatía y cómo detectarla a tiempo?" (s.f.), de manera directa define la cardiopatía como:

La cardiopatía es un tipo de enfermedad que afecta directamente al corazón y los vasos sanguíneos. Existen distintas afecciones que pueden ser conocidas como cardiopatías y que pueden verse afectadas por la mala alimentación, obesidad, falta de actividad física y estrés.

Además, el sitio web NIH, en su publicación "¿Qué es la cardiopatía coronaria?", (s.f.). lo define de la siguiente manera:

La cardiopatía coronaria es un tipo de cardiopatía en la que las arterias del corazón no pueden aportar suficiente cantidad de sangre oxigenada al corazón. Es la causa principal de muerte en los Estados Unidos. Alrededor de 18,2 millones de estadounidenses adultos tienen arteriopatía coronaria, lo que la convierte en el tipo más frecuente de enfermedad cardíaca. (¿Qué es la cardiopatía coronaria?, s.f.).

Por lo tanto, la cardiopatía se define como un estrechamiento de las arterias coronarias que suministran sangre y oxígeno al corazón. Esta enfermedad también se denomina arteriopatía coronaria.

Quirófano

El área de quirófano cuenta con 3 subdivisiones, las cuales son las siguientes:

Zona negra: Es la parte que comunica al quirófano con el resto del hospital, en esta zona se encuentra la parte administrativa. En ella se encuentra el área administrativa de las jefaturas, supervisión, control de operaciones, sala de reuniones, salas de espera, cuarto de limpieza, etc.

Zona gris: Esta zona se considera una zona estéril, pues aquí el personal se encuentra vestido con un uniforme quirúrgico y los materiales limpios están en buen estado y limpios antes de entrar al quirófano.

Unidad de recuperación: En esta parte se encuentra la oficina del anestesiólogo, área de recuperación posanestésica y la central de enfermeras, depósitos de ropa sucia y deshechos, baños del personal, almacén de equipos. Área de vestuarios y aseo: Almacén de ropa esterilizada, Vestidores y Almacén de camillas. Sala de estar de profesionales: En esta zona los miembros del equipo pueden tomar descansos.

Zona blanca: En este lugar se llevan a cabo las operaciones de cirugía cardiología, por lo que el acceso es restringido y solamente pueden ingresar los involucrados competentes para realizar la intervención. Debe contar con:

- El espacio suficiente para albergar toda la tecnología relacionada a la operación cardiovascular.
- Mesa de operaciones radiotransparente y móvil.
- Acondicionamiento para radioscopias para tener protección contra la radiación, trajes de protección contra la radiación.
- Los aparatos electrónicos deben poseer una toma de tierra, conexiones aisladas para evitar influencia en los resultados de los electrocardiogramas.

Cuidados postoperatorios: Esta zona debe ser un sitio cómodo para el paciente, además de eso debe contar con el equipo suficiente para estabilizar al paciente. Al ser una cirugía cardiovascular, la habitación debe contar con monitorización ECG y control arrítmico.

Duración de una intervención cardiovascular

La duración de una operación de este tipo pude variar por factores como el tipo de cirugía a practicar, edad, prioridad de la cirugía, es decir, si esta es de urgencia, emergencia, programada, etc.; función ventricular, pre-operación. Por lo tanto, las operaciones pueden durar tiempos diferentes entre sí. (Sac, 2018)

Duraciones comunes:

- Cirugía de conducto arterioso puede durar 2 horas. (*Operación a Corazón Abierto*, 2021)
- Cirugía triple by pass coronario con colocación de válvula aórtica puede durar hasta 5 horas. (*Operación a Corazón Abierto*, 2021)
- Cirugía abierta de válvula aórtica puede durar de 3 a 5 horas. (*Cirugía abierta de válvula aórtica*, s. f.)

8.3. Marco Legal

La fabricación digital es una forma de producción a partir de plásticos que se empaquetan en filamento, por lo que para generar las primeras fibras del modelo se debe derretir para depositar el material en la plancha de la impresora digital. Se puede fabricar cualquier tipo de modelo siempre y cuando se tengan los planos para darle los comandos a la máquina.

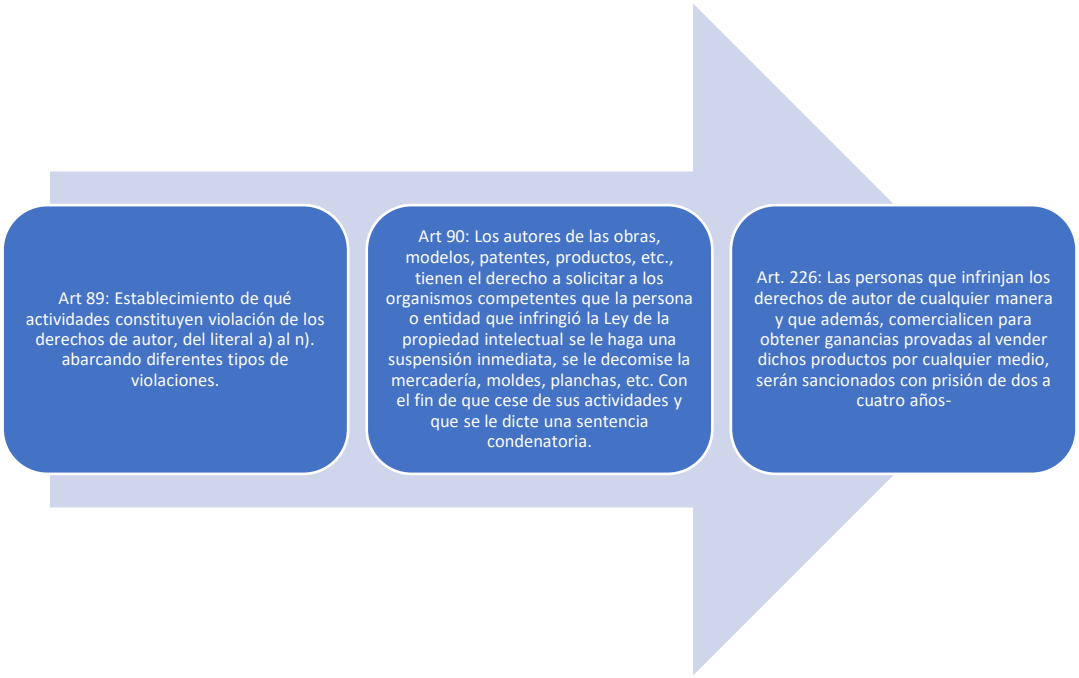
Al brindar las condiciones para la replicación de cualquier objeto, del cual se tengan las dimensiones o imágenes de referencia, la fabricación digital puede prestarse para realizar copias de modelos patentados, con licencias o derechos de autor que si se infringen podrían desenlazar consecuencias económicas o de un proceso penal.

8.3.1. Propiedad Intelectual Y Derechos De Autor En El Salvador

El marco legal de referencia del estudio ha sido la Ley de propiedad intelectual, en su artículo 89 y 90 y el código penal de El Salvador, se han tomado los artículos del 226 al 227. Al

contener vocabulario jurídico, que puede ser un poco complejo de asimilar, se ha rescatado lo siguiente para mejorar la comprensión de su contenido:

Ilustración 26: Artículos de Ley de propiedad intelectual.



Fuente: Elaboración Propia

Se pueden encontrar los artículos completos en los ANEXOS 1,2 y 3.

8.3.2. Propiedad Industrial

Se define de la siguiente manera: “La propiedad industrial se entiende en su acepción más amplia y se aplica no sólo a la industria y al comercio propiamente dichos, sino también al dominio de las industrias agrícolas y extractivas y a todos los productos fabricados o naturales, por ejemplo: vinos, granos, hojas de tabaco, frutos, animales, minerales, aguas minerales, cervezas, flores, harinas.” (Art 1.3 Convenio de París para la propiedad de la industria).

Por lo tanto, es un término que engloba los derechos que posee la actividad innovadora de los productos que salen al mercado o que son expuestos para el uso de un grupo, de tal manera que estos derechos sobre el distintivo son exclusivos, ya sea por el procedimiento de la fabricación, diseño o por la actividad mercantil como tal del producto. Protegiendo cualquier

innovación, ya sea material o inmaterial, de productos ya existentes o que sean nuevos en el mercado. Se apoya de las patentes y de los modelos de utilidad, diseños industriales, distintivos empresariales, marcas, denominaciones de origen, expresiones y otros.

8.3.3. Patente

Según la Real Academia Española, la patente de invención es “Documento en que oficialmente se le reconoce a alguien una invención y los derechos que de ella se derivan.”[15]

En dicho documento, se le conceden los derechos totales de explotación exclusiva por un tiempo de terminado, garantizando que durante ese tiempo ninguna otra entidad o individuo no podrán hacer uso de lo establecido. Sin embargo, el Estado otorgante, solicita que la patente sea lo más explícita, para que, pasado el tiempo, cualquiera que quiera reproducirla pueda hacerlo en su totalidad y sin problemas, con el fin de contribuir al conocimiento científico y desarrollo del país.

8.3.4. Modelo De Utilidad

Este es un derecho que se concede a los titulares para que puedan realizar todo el tipo de actividades que deseen con su creación, prohibiendo que cualquier otra entidad haga lo mismo. Este tiene una fecha de vencimiento, en caso de no pagar los derechos para su conservación, deberá ser divulgado de igual forma que las patentes, con propósitos de aumentar el conocimiento científico y la ciencia en general, brindando acceso público.

Base legal

- Convenio de París para la Protección de la Propiedad Industrial (1883)
- Tratado de Cooperación en materia de Patentes (1970).

[15] Real Academia Española. (s.f.). Patente. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 01 de marzo, 2023, de https://dle.rae.es/patente

- Tratado de Budapest sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos a los fines del Procedimiento en Materia de Patente (1977).
- Arreglo de Estrasburgo relativo a la Clasificación Internacional de Patentes (1971)
- Tratado sobre Derechos de Patentes (2000)

8.3.5. Diseños Industriales

Los diseños industriales son los derechos sobre características físicas totales o parciales que tiene un producto, estas pueden ser a nivel estético o a nivel funcional, ya que ambos otorgan distintivos, los cuales en caso de ser reproducidos por terceros podrá caer en un delito. En consecuencia, nadie podrá reproducir de manera total o parcial, crear productos similares, vender almacenar o hacer ningún tipo de actividad sin el consentimiento de la entidad que tiene los derechos sobre este tipo de propiedad industrial.

Base legal

- Arreglo de la Haya relativo al Registro Internacional de Dibujos y Modelos Industriales (1934).
- Arreglo de Locarno que establece una Clasificación Internacional para los Dibujos y Modelos Industriales (1968).

8.3.6. Marcas

Según la Real Academia Española, se refiere a “Señal que se hace o se pone en alguien o algo, para distinguirlos, o para denotar calidad o pertenencia”.[16] Por consecuencia, en el ámbito industrial, permite diferenciar a la empresa, productos, servicios, filosofías, procesos, entre otros para que nadie más los utilice. Los derechos inicialmente están fechados para durar 10 años,

[16] Real Academia Española. (s.f.). Marca. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 01 de marzo, 2023, de https://dle.rae.es/marca

pasado ese tiempo, se debe pagar derechos de renovación hasta que se desee cesar del privilegio.

Base legal

- Arreglo de Madrid relativo al Registro Internacional de Marcas (1891).
- Protocolo concerniente al Arreglo de Madrid relativo al Registro Internacional de Marcas (1989).
- Arreglo de Niza relativo a la Clasificación Internacional de Productos y Servicios para el Registro de las Marcas (1957).
- Acuerdo de Viena por el que se establece una Clasificación Internacional de los Elementos Figurativos de las Marcas (1973).
- Arreglo de Madrid relativo a la Represión de la Indicaciones de Procedencias Falsas o Engañosas en los Productos (1981).
- Tratado sobre el Derecho de Marcas (1994).

Secreto Industrial O Comercial

Será todo conocimiento exclusivamente reservado para el titular que es dueño, de forma que, el valor comercial o industrial que posea, sobre los distintos productos, ideas, procesos, procedimientos u otras formas de innovación, se mantendrán ocultos de forma legal para que nadie más pueda reproducirlo, convirtiéndolo en una ventaja competitiva sobre el mercado. La confidencialidad legal, recae sobre una patente, la cual otorga derechos para la conservación del secreto y en caso se vea infringido, se puede proceder por daños o perjuicios ocasionados, ya sea por individuos que se encontraban bajo contrato de relación laboral o un contrato que solicitaba reservar la información.

8.3.7. Autoridades Encargadas De Velar Por La Integridad De La Propiedad Intelectual E Industrial

- Ministerio de economía: Es el encargado de la definición y también de ejecutar la política comercial en el área de propiedad intelectual, la negociación, la inserción de los tratados internacionales en la materia, coordinación con otros organismos para velar el cumplimiento de los acuerdos.

Ilustración 27: Logo POLICOM



Fuente: Sitio POLICOM.

- Centro Nacional de Registros: Protege los derechos de la propiedad intelectual e industrial, por medio de los distintos tipos de formas legales en circulación, como lo son las patentes, marcas, registros, contratos de derechos de autor, etc., siempre aplicando las leyes nacionales e internacionales pertinentes

Ilustración 28: Logo CNR.



Fuente: Sitio CNR.

- Unidad de fiscal de delitos de patrimonio privado y propiedad intelectual: Se encarga de casos en los que se ha visto vulnerada la materia, resolviendo según sea competente y dependiendo del tipo de infracción y el tipo de propiedad intelectual o industrial violada.

Ilustración 29: Logo FGR



Fuente: Sitio FGR.

8.3.8. Base Legal Hospitalaria En El Salvador

a) Constitución de la República de El Salvador

Está base legal nace del artículo 1, de la Constitución de la República, donde se establece que:

"El Salvador reconoce a la persona humana como el origen y el fin de la actividad del Estado, que está organizado para la consecución de la justicia, de la seguridad jurídica y del bien común. ASIMISMO, RECONOCE COMO PERSONA HUMANA A TODO SER HUMANO DESDE EL INSTANTE DE LA CONCEPCION. (12)

En consecuencia, es obligación del Estado asegurar a los habitantes de la República, el goce de la libertad, la salud, la cultura, el bienestar económico y la justicia social."

Además, en su artículo 65 se tiene que:

"La salud de los habitantes de la República constituye un bien público. El Estado y las personas están obligados a velar por su conservación y restablecimiento."

Se pueden encontrar los artículos completos en los ANEXOS 4 y 5.

b) Código de Salud

En este documento legal, primero se inicia con las disposiciones generales para aclarar que el documento está enfocado en los principios constitucionales relacionados con la salud

pública y asistencia social de los habitantes de la República, mencionando a los organismos encargados de mantener el orden y la comunión, entre derechos, obligaciones, prohibiciones.

Entre los organismos que se mencionan en esta ley está el Consejo Superior de Salud Pública, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, entre otros que son encargados de servicios de salud privados.

En el capítulo VIII podemos encontrar las Obligaciones, Derechos y Prohibiciones, a manera de resumen tenemos que:

Obligaciones

Se puede encontrar en el artículo 33, lo siguiente:

- Atender de forma ideal a los pacientes que lleguen sin importar ningún distintivo que pueda tener la persona;
- Cumplir con la ética profesional;
- Cumplir con las disposiciones del Código de Salud y los reglamentos aplicables.
- Colaborar gratuitamente cuando sea necesario;
- Atender de manera inmediata emergencias si fuere necesario;
- Cumplir con las disposiciones sobre estupefacientes;
- Cumplir con otras obligaciones que se presenten en el código.

Derechos

Se puede encontrar en el artículo 34, lo siguiente:

- Tener un contrato convencional;
- Solicitar la intervención de la Junta correspondiente, en caso de ser necesario;
- Transferir pacientes si hay posibilidad de mejorar la atención;
- Velar por la superación del gremio.

Prohibiciones

Se puede destacar lo que se relaciona con la investigación en el artículo 35, lo siguiente:

- Anunciar características de los equipos o instrumentos que puedan inducir a errores o engaños;
- Anunciar la confección de aparatos protésicos exaltando sus virtudes, propiedades, término de su construcción, duración, tipos, características y precios;
- Expedir certificados en lo que se exalten o se elogien la calidad o cualidad de los instrumentos o productos elaborados;
- Publicar falsos éxitos profesionales, estadísticas ficticias, datos inexactos o cualquier otro engaño;

Se pueden encontrar los artículos completos en el ANEXO 5.

c) Ley de deberes y derechos de los pacientes y prestadores de servicios de la salud

- **Derechos del paciente**

Entre los derechos de los pacientes tenemos que:

- Derecho a la atención: los pacientes tienen derecho a ser atendidos de manera adecuada, eficiente, con calidad cuando necesite de los servicios, cubriendo esto aspectos como promoción, prevención, curación, rehabilitación de la salud y cuidados.
- Derecho a trato igualitario: esto conlleva trato digno, respecto, cortesía, sin importar las condiciones biológicas, ideológicas o físicas.
- Derecho a una atención calificada: los pacientes tienen derecho a atención conllevada con profesionales de la salud calificados, certificados, autorizados, etc.
- Derecho a la información: El paciente debe obtener de manera verbal y escrita la siguiente información:

a) Nombre completo del profesional de la salud que lo atenderá y su número de registro en la Junta de Vigilancia;

b) Su diagnóstico, tratamiento, alternativas, riesgo, evolución y pronóstico respectivo;

c) Recibir la información y explicación de manera oportuna y lo más clara posible de su diagnóstico, de sus exámenes de laboratorio, de su tratamiento, imágenes, biopsias; así como de los efectos secundarios de medicamentos y procedimientos;

d) Duración estimada de estadía en caso de hospitalización y tratamiento; en los casos que se puedan precisar;

e) Las posibilidades de éxito, riesgo y las consecuencias de rechazar o interrumpir un tratamiento; y,

f) En el ámbito privado el paciente tiene derecho a conocer, en cualquier momento, los costos estimados de su hospitalización, tratamiento y honorarios médicos, considerando las circunstancias de este.

- **Contenido del alta hospitalaria**

De acuerdo con el artículo 14, la siguiente información es obligatoria al momento de brindar de alta a un paciente:

“a) Nombre del médico responsable y su número de registro;

b) Su diagnóstico de ingreso y su diagnóstico de alta;

c) Resultados de los exámenes, los procedimientos efectuados relacionados a su diagnóstico principal. En esta parte podría entrar la información recabada y analizada en el análisis preoperatorio;

d) Tiempo de internamiento y el periodo de tratamiento;

e) Las indicaciones a seguir, de continuar con tratamiento ambulatorio; y

f) En caso de servicios privados, deberá proporcionarse también documentación sobre los costos, honorarios y procedimientos de cobro de las prestaciones de salud que fueron utilizadas durante el período de hospitalización.” Consultar el ANEXO 6 para más información.

- **Conocimiento de consentimiento informado**

En el artículo 15, encontramos que los procedimientos a los que vaya a ser intervenido el paciente deberán ser siempre acordado y hablado con el mismo paciente o su representante junto al profesional de la salud a cargo. Dicha información, al final de ser deliberada deberá ser presentada por escrito con las debidas firmas de autorización del paciente o representante para proseguir. Consultar el ANEXO 7 para más información.

- **Consentimiento informado en casos de investigación médica**

En el caso de los pacientes que vayan a ser objeto de estudio para una investigación del tipo médica, debe presentar por escrito su consentimiento para tal fin, además de que se le deberá proporcionar toda la información relacionada, la cual debe estar regida por lo siguiente:

“a) Su diagnóstico, pronóstico, alternativas terapéuticas, intervenciones quirúrgicas y pruebas diagnósticas invasivas y no invasivas;

b) Nombre de la investigación y objetivos de esta en el que participará;

c) Riesgos e inconvenientes presentes y futuros de participar en ese estudio, así como las molestias que pudieran generar;

d) Derechos, responsabilidades y beneficios como participante en ese estudio;

e) Recibir una copia de las normas éticas para investigaciones con sujetos humanos y pautas éticas internacionales para la investigación biomédica en seres humanos;

f) Confidencialidad y manejo de la información, es decir, en el escrito se debe garantizar que sus datos no podrán ser vistos o utilizados por otras personas ajenas al estudio, ni tampoco para propósitos diferentes a los que establece el documento que firma; y,

g) Retiro voluntario de participar en el estudio, sin que esta decisión repercuta en la atención que recibe en el instituto o centro en el que se atiende, por lo que no perderá ningún beneficio como paciente.” Consultar el ANEXO 8 para más información.

- **Derecho a la confidencialidad**

En el artículo 20, se tiene que, todo paciente tiene derecho a mantener la información de su expediente bajo confidencialidad, incluyendo información tal como el diagnóstico, tratamiento, estancia, pronósticos y datos de su

enfermedad o padecimiento, siempre y cuando se cuente con su consentimiento expreso escrito de lo contrario o que por razones de fuerza mayor se necesite divulgar la información. Consultar el ANEXO 9 para más información.

- **Derechos de los prestadores de servicios de salud**

Algunos de los derechos que le corresponde a este grupo, adicionales a los que se encuentran en el Código de Salud en el artículo 35, se encuentran los siguientes del artículo 31:

“a) El profesional de la salud de acuerdo con su experiencia, capacidad y recursos instalados, decidirá el mejor procedimiento de atención, respetando las normas, protocolos

institucionales y los reconocidos internacionalmente;

b) Obtener del paciente y los familiares, la colaboración necesaria para el mejor desempeño de sus funciones;

c) Dejar constancia por escrito de su negativa a efectuar actos ajenos a la naturaleza de su profesión, las funciones de su cargo y las condiciones acordadas con el paciente o la institución;

d) Contar con instalaciones apropiadas y seguras que garanticen el buen desempeño de sus labores; y,

e) Recibir de la autoridad competente la colaboración necesaria para el mejor desarrollo de sus funciones."

Del artículo 33, se puede destacar el inciso b), el cual versa de la siguiente manera: "Explicar a los pacientes y usuarios, de forma clara, concisa y detallada sobre la enfermedad o padecimiento que adolezcan, y su diagnóstico, tratamiento, medicación, duración y posibles efectos secundarios"

- **Deber de informar**

En el artículo 34, se puede destacar que los profesionales de la salud deben explicar de forma detallado todo lo establecido en el artículo 13 de la Ley de deberes y derechos de los pacientes y prestadores de servicios de la salud. Consultar el ANEXO 11 para más información.

- **Infracciones graves de los prestadores de la salud**

De entre las fracciones graves del artículo 42, que pueden tener relación al tema de investigación de la presente son los siguientes incisos:

"a) No estar debidamente acreditado, certificado y autorizado, para ejercer las profesiones relacionas con la salud;

f) Dar información, diagnóstico o tratamiento alterado intencionalmente a un paciente, que agrave su estado de salud;

h) Realizar un procedimiento o tratamiento médico sea o no invasivo sin el expreso consentimiento por escrito del paciente o en su defecto de su familiar cercano, o representante;

i) Someter a un procedimiento médico de investigación a un paciente, sin haber obtenido su consentimiento informado por escrito, en el que exprese conscientemente su voluntad de realizarlo;

l) Difundir públicamente la información médica y clínica del estado de salud de un paciente, la cual se haya obtenido en la atención médica brindada"

- **Fracciones menos graves**

Entre las acciones menos graves, se puede encontrar en el artículo 43 la siguiente información:

- No entregar la información de forma escrita de forma clara y oportuna sobre su estado de salud
- Publicar falsa información sobre el éxito de la intervención. Se puede encontrar la información completa sobre los artículos utilizados en el ANEXO 12.

8.4. Antecedentes

8.4.1. Antecedentes De La Fabricación 3D

Al realizar una cuenta de los principales acontecimientos según The Erasmus (2016), se tiene que, este tipo de fabricación nace en 1983 gracias al cofundador de sistemas 3D, inventor del primer sistema de impresión de este tipo, Chuck Hull. En primera instancia lo llamó estereolitografía. En su patente, la define como:

“Un método y aparato para hacer objetos sólidos ‘imprimiendo’ capas finas y sucesivas de material ultravioleta curable una encima de la otra”

A raíz de este hecho, también se le conoce como fabricación aditiva ya que es ir depositando material sobre material hasta conseguir la figura deseada en las instrucciones de los planos.

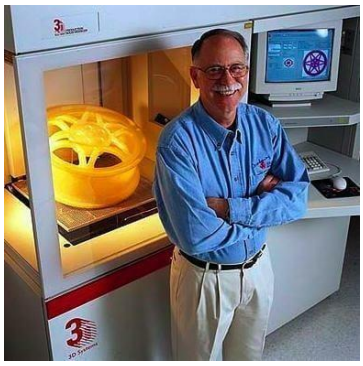
En la Universidad de Texas, en el año de 1986 se inventa la primera impresora SLS a laser por el Dr. Carl Deckard y el Dr. Joe Beaman. De la cual a partir de dibujos técnicos hacían las impresiones de los objetivos.

Ilustración 30: La primera impresora SLS a laser por el Dr. Carl Deckard y el Dr. Joe Beaman



Fuente: Reportaje del Dr. Carl Deckard y el Dr. Joe Beaman.

Ilustración 31: Charles Hull aplicando la Estereolitografía.

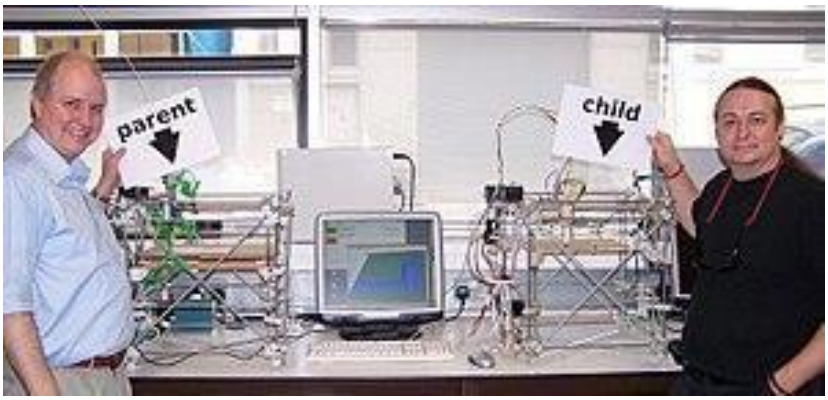


Fuente: Reportaje de Charles Hull aplicando la Estereolitografía.

En 1989 se funda y patenta la tecnología de Modelado por deposición fundida FDM, la cual ahora se conoce como Stratasys y se abrevia como FFF por la fabricación por filamentos fundidos.

Dada la amplia utilidad de las impresoras 3D, en la Universidad de Bath, se echa a andar el proyecto RepRap destinado a crear una impresora que fuera de bajo costo y que llegara al punto de poder replicarse. Comenzando en 2004, ya en 2008 el avance de la replicación llegó al 18% del total de las piezas que le conformaban.

Ilustración 32: Proyecto Rerap máquina impresora auto reproducible



Fuente: Sitio Acerca de/es

Este proyecto generó la oportunidad de que la impresión 3D se democratizará a través del mundo para darle usos domésticos, industriales y de comercialización a pequeña escala.

8.4.2. Desarrollo Tecnológico En El Sistema Medico De El Salvador

En cuanto a la infraestructura hospitalaria de El Salvador, según datos en el “Plan operativo institucional 2022”, (diciembre, 2021) publicado por el ministerio de salud del país, en términos generales:

El primer nivel de atención del Ministerio de Salud cuenta con 769 Unidades Comunitarias de Salud Familiar (UCSF), 2 Centros de Atención de Emergencias, 45 Casas de Salud, 32 Centros Rurales de Nutrición, 22 Hogares de Espera Materna y 12 Oficinas Sanitarias

Internaciones en las cuales se amplió el horario de atención a 24 horas. En el segundo y tercer nivel de atención se incluyen 11 Hospitales básicos, 14 Hospitales departamentales, 2 Hospitales regionales, 3 Hospitales de referencia nacional y 1 Hospital para pacientes COVID-19. También cuenta con 1 Centro de Radioterapia y 1 Centro Oftalmológico. (“Plan operativo institucional 2022”, 2021).

Además, añade, que, ante la inversión dirigida para el mejoramiento e innovación de los equipos de diagnóstico y procedimientos quirúrgicos, comparten lo siguiente:

Se ha sostenido una inversión para mejorar la infraestructura y fortalecer el equipamiento de todos los hospitales de la red, de acuerdo con las necesidades de cada uno, a fin de proveerles de instalaciones y tecnología adecuada para su funcionamiento, tanto para la prestación de servicios regulares como para seguir haciendo frente a la pandemia por COVID-19. A manera de ejemplo, en el Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom” se cuenta con cuatro nuevas áreas totalmente adecuadas y equipadas para la atención de la niñez salvadoreña, incluyendo una torre de laparoscopía 4k con diferentes aparatos de video que servirán para realizar diagnósticos médicos y procedimientos de cirugía, oncología, neonatología, urología y otorrinolaringología. Y en el marco de la política Crecer Juntos, el Hospital Nacional de Usulután ha sido fortalecido con equipos de ultrasonografía, de monitoreo de signos vitales y de monitoreo fetal electrónico. (“Plan operativo institucional 2022”, 2021).

Por lo tanto, según datos generados en el 2021, los planes de inversión del ministerio de salud de El Salvador, en cuanto la mejora de infraestructura y equipos en los tres tipos de nivel de atención medica es uno de sus objetivos claros y en ejecución, además, se detalla que, en cuanto a la interconectividad, esperar crear una red de comunicación entre todas la unidades, hospitales y oficinas para agilizar la atención a los pacientes. Por otra parte, para el 2021 contaban con 31,000 colaboradores, de entre los cuales 2,945 son médicos generales y 2,454

son médicos especialistas. Finalmente, el país cuenta con 31 hospitales nacionales, de los cuales, 2 son de tipo regional y 3 son hospitales de referencia nacional.

Hospitales de segundo y tercer nivel de El Salvador

La clasificación de hospitales es en función de la complejidad de los servicios que ofrecen a la población, por lo tanto, en el país se establecen tres niveles.

En primer lugar, se entiende como hospital de primer nivel aquel cercano a la población, o sea, el nivel del primer contacto. Está dado, en consecuencia, como la organización de los recursos que permite resolver las necesidades de atención básicas y más frecuentes, que pueden ser resueltas por actividades de promoción de salud, prevención de la enfermedad y por procedimientos de recuperación y rehabilitación. Es la puerta de entrada al sistema de salud. Se caracteriza por contar con establecimientos de baja complejidad, como consultorios, policlínicas, centros de salud

Los hospitales de segundo nivel son definidos como establecimientos donde se prestan servicios relacionados a la atención en medicina interna, pediatría, gineco-obstetricia, cirugía general y psiquiatría.

Luego, los hospitales de tercer nivel están conformados por profesionales de salud como: enfermeros, médicos y gran número de especialistas como cardiólogos, dermatólogos, neonatólogos, siquiatras, neurólogos y nefrólogos y demás personal capacitado, para brindar un servicio integral y de alta calidad.

Además, brindan servicios de atención especializada, exámenes especiales, laboratorio clínico y muchos más procedimientos bajo el manejo adecuado de especialistas con el fin de satisfacer las necesidades de los pacientes obteniendo el mayor grado de bienestar y seguridad.

A estos hospitales altamente especializados, llegan los pacientes remitidos de los hospitales de niveles inferiores, que no cuentan con los equipos, instrumentos y profesional apto para suplir el nivel de complejidad durante el manejo de los pacientes, como es el caso de los ACV, que requieren Tomografías Axiales Computarizadas, angiografías, y más exámenes tanto para el diagnóstico como su manejo.

En El Salvador los hospitales de segundo nivel de atención son, los hospitales nacionales generales y los hospitales nacionales regionales.

En este caso, los hospitales nacionales generales son definidos en el reglamento de la ley del sistema básico de salud integral como establecimientos para la atención de pacientes en las especialidades básicas, tales como cirugía general, gineco-obstetricia, medicina interna, pediatría, sus especialidades complementarias y servicios de apoyo que se prestan en las áreas de emergencia, atención ambulatoria y hospitalización.

En el mismo reglamento, los hospitales nacionales regionales son definidos como establecimientos de segundo nivel para pacientes que ameriten atención en los servicios de emergencia, atención ambulatoria y hospitalización; además, brindarán las atenciones especializadas a los pacientes referidos por los Hospitales Nacionales Generales correspondientes a su área geográfica de responsabilidad.

Los hospitales naciones generales, de segundo nivel de El Salvador son:

- Hospital Nacional General "Dr. Francisco Menéndez", Ahuachapán.
- Hospital Nacional General de Chalchuapa, Santa Ana.
- Hospital Nacional General "Arturo Morales", Metapán, Santa Ana.
- Hospital Nacional General "Dr. Jorge Mazzini Villacorta", Sonsonate.
- Hospital Nacional General "San Rafael", Santa Tecla, La Libertad.
- Hospital Nacional General "Dr. Luis Edmundo Vásquez", Chalatenango.

- Hospital Nacional General de Nueva Concepción, Chalatenango.
- Hospital Nacional General "Dr. Juan José Fernández", Zacamil, Mejicanos, San Salvador.
- Hospital Nacional General "Enfermera Angélica Vidal de Najarro", San Bartolo, San Salvador.
- Hospital Nacional General de Cojutepeque, Cuscatlán.
- Hospital Nacional General de Suchitoto, Cuscatlán.
- Hospital Nacional General de Ilobasco, Cabañas.
- Hospital Nacional General de Sensuntepeque, Cabañas.
- Hospital Nacional General "Santa Teresa", Zacatecoluca, La Paz
- Hospital Nacional General "Santa Gertrudis", San Vicente.
- Hospital Nacional General "San Pedro", Usulután.
- Hospital Nacional General "Dr. Jorge Arturo Mena", Santiago de María, Usulután.
- Hospital Nacional General de Jiquilisco, Usulután.
- Hospital Nacional General de Nueva Guadalupe, San Miguel.
- Hospital Nacional General "Monseñor Oscar Arnulfo Romero y Galdámez", Ciudad Barrios, San
- Miguel.
- Hospital Nacional General "Dr. Héctor Antonio Hernández Flores", San Francisco Gotera,
- Morazán.
- Hospital Nacional General de Santa Rosa de Lima, La Unión.
- Hospital Nacional General de La Unión, La Unión.
- Hospital Nacional General Psiquiátrico "Dr. José Molina Martínez", Soyapango, San Salvador.

- Hospital Nacional General de Neumología y Medicina Familiar, "Dr. José Antonio Saldaña"; San
- Salvador.

Los hospitales nacionales regionales, de segundo nivel de El Salvador son:

- Hospital Nacional Regional "San Juan de Dios", Santa Ana.
- Hospital Nacional Regional "San Juan de Dios", San Miguel.

Los hospitales de tercer nivel de El Salvador son:

- Hospital Nacional Especializado "Rosales", San Salvador. Especializado para la atención de la adultez y adolescencia, cuenta con la atención en especialidades médico-quirúrgicas, destinadas a la atención de la población mayor de doce años.
- Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom", San Salvador. De tipo pediátrico, el cual cuenta con especialidades médicas y quirúrgicas destinadas a la atención de la población de cero a doce años, y en casos especiales que defina un lineamiento especifico, hasta dieciocho de años.
- Hospital Nacional de La Mujer “María Isabel Rodríguez”. De tipo Gineco-Obstétrico, el cual cuenta con especialidades para la atención Materno-Neonatal y sus subespecialidades.

Por lo tanto, los hospitales de tercer nivel son los máximos representantes en cuanto a médicos especialistas y procedimientos quirúrgicos complejos. Es sabido, por ejemplo, que el hospital Benjamín Bloom, realiza operaciones al sistema cardio vascular de recién nacidos y menos de 5 años. En cuando al hospital Rosales, es un hospital que se dedica a las operaciones para adolescentes y mayores de edad.

Hospitales que atienden casos y cirugías cardiovasculares

- Hospital Nacional “San Juan de Dios” de Santa Ana.

- Hospital Nacional Rosales.
- Hospital Nacional “San Pedro” de Usulután.
- Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”.

8.4.3. La Impresión 3D En El Campo Medico De El Salvador

Primeramente, los estudios internacionales que describen la relación de la impresión 3D en el campo médico de las cirugías, explican que, entre los beneficios más importantes, está la reducción de tiempos, tal como lo explica Pérez-Mañanes, R., Calvo-Haro, J., Arnal-Burró, J., Chana-Rodríguez, F., Sanz-Ruiz, P., & Vaquero-Martín, J. (2016), quienes realizaron un estudio de la impresión 3D aplicada a la planeación quirúrgica en ortopedia y traumatología, en su estudio explican los siguiente:

La planificación preoperatoria como paso previo a la ejecución intraoperatoria es fundamental para el ahorro de tiempo quirúrgico. En todos los casos supuso un ahorro de tiempo quirúrgico únicamente con la inclusión del modelo 3D impreso en el proceso de planificación. Si añadimos la posibilidad de simular pasos de la intervención quirúrgica sobre la pieza impresa, como puede ser la disposición y conformación del material de osteosíntesis, el pre tallado de injertos óseos, o la calibración y mensuración de implantes, e incluso el diseño de guías de posicionamiento quirúrgico para la realización de osteotomías multiplanares o la colocación de sistemas de fijación, el ahorro de tiempo quirúrgico es indudable. En técnicas regladas como las osteotomías periarticulares de la rodilla para corrección de deformidades angulares, la impresión 3D ha supuesto un ahorro de tiempo quirúrgico del 30% respecto a los métodos convencionales. En otros procesos como las deformidades complejas del raquis o la cirugía oncológica, en los que la particularidad de los casos dificulta la homogeneidad de las muestras, resulta difícil diseñar un estudio en el que no se deba tener en cuenta dicho sesgo, aunque en la experiencia clínica se identifican tiempos de ahorro quirúrgico del 30%, similares a los publicados en las

osteotomías. (Pérez-Mañanes, R., Calvo-Haro, J., Arnal-Burró, J., Chana-Rodríguez, F., Sanz-Ruiz, P., & Vaquero-Martín, J., 2016).

Además, por medio de adecuaciones de visualización en las impresiones 3D, para realizar prácticas como parte de una planificación quirúrgica, afirman que es posible disminuir hasta en un 30% los tiempos de cirugía, con respecto a un promedio convencional, propio del contexto de los autores, sin embargo, no detallan una cifra.

Sin embargo, hay otro estudio que, si detallan un tiempo promedio para diferentes intervenciones, por ejemplo, Bejarano M, (2011), en su publicación “Evaluación cuantitativa de la eficiencia en las salas de cirugía”, explica sobre la medición de las variables de tiempo en cirugías de emergencia, y afirma que “La mediana de atención en cirugías de urgencia fue de 84 minutos”.

Por otro lado, no todas las cirugías tienen el carácter emergencia, las cirugías cardiacas con más complejas, pues requiere del uso de un bypass, llamado máquina corazón/pulmón, el cual asume la función del corazón y los pulmones durante la cirugía, por lo tanto, una cirugía cardiaca completa dura entre tres y cinco horas, incluido el tiempo de preparación, según el sitio web, en su publicación “Cirugía a corazón abierto”, (2019).

Específicamente en El Salvador, han sido pocas las aplicaciones reales que aprovechen los beneficios de la fabricación digital en la medicina, el área que más ha explotado la impresión 3D hasta la actualidad ha sido la odontología, con la fabricación de modelos de ambas mandíbulas, o bien, de una región especifica de la mandíbula.

Por otro lado, existen estudios y avances en teorías y modelos de impresión de férulas, para el apoyo de recuperación de después de una cirugía relacionado con una lesión ósea o muscular. Bajo este contexto, durante el 2018 al 2019 un grupo de estudiantes de ingeniería en electricidad realizaron su trabajo de grado titulado “Diseño, implementación de un sistema de impresión de férulas en 3D de bajo costo”, el cual fue dado a conocer por medio de un sitio web,

donde mencionan que, David Francisco Cárcamo, Moisés Antonio Bonilla y Wilbert Amílcar Aguilar, estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador (UES), han desarrollado un primer prototipo de férula con la tecnología de impresión 3D, y que en un futuro cercano podría utilizarse en centros asistenciales públicos y privados. En sus primeros pasos del proyecto han impreso una férula para atender una lesión de brazo. (Joma S, 2019).

Además, el mismo autor, cita algunas de las frases de los estudiantes durante la entrevista, tal como

Aseguran que le apostaron a trabajar con esta tecnología porque si bien es muy usada en otras naciones como Estados Unidos, México y Brasil, acá aún no está muy difundida ni explotada, mucho menos en el área de la Medicina, tal como ellos identificaron a través de un sondeo. “En los hospitales públicos, privados no se utiliza mucho esta tecnología”, cita Wilbert. (Joma S, 2019).

Finalmente, el autor menciona que:

Para imprimir su primera férula cuentan con la guía del ingeniero Saúl Guardado Peña, coordinador del Laboratorio de Fabricación Digital FIA LAB de la Escuela de Ingeniería Industrial de la UES. Para imprimir la férula han utilizado fibra de nylon porque es muy resistente, pero también posee cierta flexibilidad. (Joma S, 2019).

Esto indica que para el 2019, un trabajo de graduación sobre el diseño de férulas es primer aporte de la impresión 3D sobre los efectos de una cirugía. El objetivo de la aplicación era fabricar al menor costo, férulas con el fin de proteger el área del cuerpo dañada por una lesión.

Existen otros estudios al respecto, específicamente en el área de cardiología pediátrica, según Argueta Velázquez H. A., (2022), en su revisión bibliográfica titulada “Uso de modelos por impresión 3D en el planeamiento de corrección de cardiopatías congénitas”, establece el siguiente planteamiento problemático

Las malformaciones congénitas cardiacas se encuentran dentro de las primeras 10 causas de morbilidad consultada en el hospital nacional de niños Benjamín Bloom. Entre las más frecuentes podemos citar persistencia del conducto arterioso, defectos de tabique ventricular, defectos de tabique auricular, entre las más comunes; sin embargo, existen combinaciones de malformaciones tanto del corazón como de los grandes vasos que surgen de él, las cuales necesitan tratamientos que deben planearse cuidadosamente, procedimientos quirúrgicos complejos, cuidados postoperatorios especiales. (Argueta Velázquez H. A., 2022).

A lo que posteriormente añade:

En ese sentido la aplicación de impresiones en 3D que permiten la conversión de imágenes digitales a modelos palpables que ayudan a la evaluación espacial de todas las lesiones de una cardiopatía congénita compleja y nos permite tener el mejor entendimiento posible de esta y planear de mejor manera el procedimiento quirúrgico a realizar, además sirve como una herramienta para fabricar piezas anatómicas biocompatibles que pueden ser implantables. (Argueta Velázquez H. A., 2022).

Y finalmente, el autor concluye lo siguiente:

La impresión 3D es una tecnología transformativa que está impactando en aspectos clave de la medicina cardiovascular, especialmente en el área de las cardiopatías congénitas.

En aspectos como la planeación y la simulación ofrecen la promesa de cirugías más precisas con menores complicaciones. En el ámbito de la educación pueden reducir la curva de aprendizaje e incrementar la oportunidad para la práctica de procedimientos complejos a residentes de cirugía cardiovascular.

Facilitan la comunicación entre el equipo multidisciplinario, ayudando a la disminución de errores médicos, además mejora la comunicación con los padres y ayuda a la toma de decisiones conscientes sobre las cardiopatías de sus hijos.

No existen al momento de esta revisión estudios sobre el uso de impresión en 3D en cirugía cardiovascular en El Salvador, sin embargo, hay investigaciones en desarrollo entre el hospital nacional de niños Benjamín Bloom y la facultad de ingeniería de la universidad de El Salvador, a las cuales se dará seguimiento. (Argueta Velázquez H. A., 2022).

El autor reconoce la importancia y ventajas de la impresión 3D en el área de cardiología, y específicamente en las cirugías cardio pediátricas, señalando incluso, la posibilidad de la fabricación de prótesis bio compatibles en el cuerpo humano. También señala, haber realizado un seguimiento a la investigación entre el hospital Bloom y el laboratorio de fabricación digital de la escuela de ingeniería industrial de la Universidad de El Salvador, la cual se enfocó en impresiones 3D para cirugías cardio pediátricas.

8.4.4. Relación De La Fabricación Digital Y La Ingeniería Industrial

Para establecer un punto de partida entre lo que es la ingeniería industrial y la fabricación digital, se presenta a continuación que se entiende como ingeniería industrial, para lo cual se definir lo siguiente:

La **Ingeniería Industrial** integra prácticas y funciones de recursos humanos, materiales, sistemas financieros y de información, entre otras, para aumentar la productividad de una empresa. Dentro del universo de las ingenierías, existe la frase: “La Ingeniería Industrial está en todo”. Esto responde a que esta rama de la ingeniería es multidisciplinaria y se especializa en conocimientos de funciones importantes para el crecimiento de una empresa, como lo son la producción, la administración, las finanzas y la economía.

Al establecer una relación entre los términos antes mencionados, se debe de considera las revoluciones industriales, estas han sido protagonizadas por la industria y no se limitan solo a los cambios económicos, sino que constituyen cambios en la misma sociedad.

Como se ha mencionado con anterioridad, la fabricación digital está íntimamente relacionado con la revolución industrial 4.0, esta surge como el producto de la combinación sinérgica de las tecnologías operativas (TO) y las tecnologías de la información (TI). Por lo que la relación de la entre la industria y las tecnologías de la información son de importancias en la ejecución del tema.

Se puede mencionar que la ingeniería industrial y las tecnologías de información (IT) han sido durante muchos años complementos ideales uno del otro. En años recientes la mayor competitividad de los mercados, el elevar la calidad de los productos y servicios ofrecidos por las empresas y la necesidad de responder de manera ágil y eficiente a los cambios en el mismo, han incrementado esta unión. Tres aspectos que se han beneficiado de esto principalmente son: las cadenas de suministro (o de valor), la creación de “redes de competencias” y finalmente el permitir automatizar la supervisión de la productividad los puestos de trabajo de empleados en ambientes de manufactura. En conclusión, esta unión se ha convertido para muchas empresas en una parte vital de sus estrategias de negocios.

Establecida la necesidad de que en la actualidad tanto la ingeniería industrial como las tecnologías de la informática, debe de llevarse de la mano para asegurar una mejora en las eficiencia y productividad de las empresas; esto no lo limita para que su aplicabilidad que netamente en términos de industria y crecimiento económico, sino que este se puede extender a diferentes ramas de la sociedad donde se evalué la necesidad de incorporar innovación para mejorar los desempeños actuales.

Cuando se establece el termino de fabricación digital, se puede considera aun profesional de las tecnologías de la información, para emplear métodos de mejora en el desarrollo y aplicación de estas; pero no se debe de dejar de lado que el ingeniero industrial, también posee capacidades para el desarrollo y aplicación de estas, para establecer con claridad esto se presenta lo siguiente.

Competencias del ingeniero industrial en la Industria 4.0

El ingeniero industrial puede diagnosticar problemas empresariales y adoptar métodos científicos para resolver el problema; así como aumentar la eficiencia de la producción, mejorar la calidad del producto, reducir el costo del producto y aumentar los beneficios para la empresa. Es decir, la ingeniería industrial es una disciplina relacionada con la tecnología y la administración.

Debido a que la Industria 4.0 tiene como elemento central la manufactura inteligente, las operaciones de fabricación harán uso de la ciencia y de las tecnologías emergentes con el objetivo de mejorar en gran medida el diseño, la producción, la administración y la integración de todo el ciclo de vida de un producto. Por lo tanto, la manufactura inteligente representa un reto para el ingeniero industrial, ya que requiere de ciertas competencias genéricas y específicas para enfrentar el desafío de la Industria 4.0.

Teniendo en cuenta las necesidades que la industria en la actualidad, se puede evaluar las competencias que un ingeniero industrial, posee para hacer frente estos nuevos cambios, para ello se presenta el siguiente cuadro extraído de diversas fuentes[17]:

Tabla 6: Competencias de la ingeniería industrial en el contexto de las nuevas tecnologías.

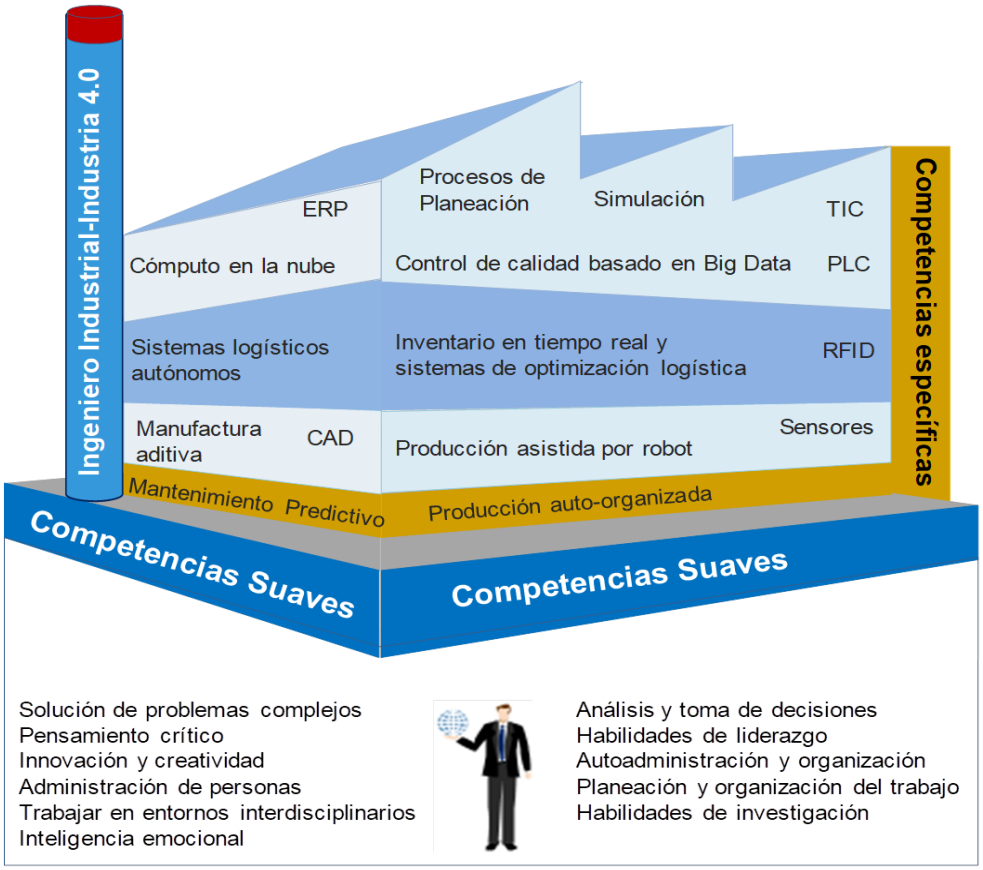
Fuente de información	Competencias
Sackey et al. (2017)	Ciencia de datos y analítica avanzada (big data), simulación avanzada y modelado de plantas virtuales, comunicación de datos y redes, automatización de sistemas, nuevas interfaces hombre-máquina, manufactura aditiva, sistemas de control/administración de calidad de procesos y productos integrados de circuito cerrado, inventario en tiempo real y sistemas de optimización logística.

[17] González-Hernández, I.J. and Granillo-Macías, R. (no date) Competencias del Ingeniero Industrial En La Industria 4.0, Revista electrónica de investigación educativa. Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigación y Desarrollo Educativo. Available at: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1607-40412020000100130&script=sci_arttext (Accessed: April 16, 2023).

Fuente de información	Competencias
Karre et al. (2017)	Las habilidades y conocimientos en TIC, procesamiento y análisis de datos, conocimiento estadístico, entendimiento organizacional, habilidades para interactuar con interfaces modernas, conocimiento administrativo, conocimiento interdisciplinario/genérico sobre tecnologías y organizaciones, conocimiento sobre seguridad informática y protección de datos, conocimientos especializados sobre actividades y procesos de fabricación, programación informática y habilidades de codificación, conocimientos especializados sobre tecnologías, conocimiento sobre ergonomía y comprensión de los asuntos jurídicos.
Coskun et al. (2019) y Sackey et al. (2017)	Big data y análisis de datos, nuevas interfaces hombre-máquina, tecnologías de transferencia digital a física, comunicación y redes de datos, sistemas de posicionamiento global, sistemas de radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), sistemas de planeación de recursos empresariales (ERP), la consigna electrónica (e-consignee), cómputo en la nube, realidad aumentada y sistemas logísticos autónomos.
Frank et al. (2019) y Zhong et al. (2017)	Identificaron que tecnologías como el internet de las cosas, cómputo en la nube, big data, análisis de datos, sistemas ciberfísicos y TIC se están utilizando para la manufactura inteligente.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33: Competencias del ingeniero industrial



Fuente Coskun et al. (2019); Foro Económico Mundial (2018a); Frank et al. (2019); Karre et al. (2017); Sackey y Bester (2016); Sackey et al. (2017); Zhong et al. (2017).

8.4.5. El hospital Nacional de Niños "Benjamín Bloom"

El hospital Nacional de Niños "Benjamín Bloom" es el pionero en El Salvador en aplicar impresiones 3D de situaciones patológicas en pacientes pediátricos, esto con ayuda de las radiologías y tomografías que se han estado compartiendo como referencia al laboratorio de impresión 3D de la Universidad de El Salvador, el FIA LAB.

Ilustración 34: Modelo 3D de paciente elaborado en el FIA LAB de la UES.



Fuente: FIA LAB – UES.

La colaboración inició durante el período de pandemia, en la que se necesitaba de estudiar un caso específico de cardiología, que sin la ayuda de un modelo palpable y manejable no habría sido posible darle una solución apropiada. La preparación de los modelos 3D pueden. La principal dificultad de la colaboración es que se brindan las angiografías tac con una mala calidad, en el área de los cortes, lo que genera contratiempos para imprimir el diseño. Tomar entre 5 y 1 día dependiendo del diseño a elaborar, lo que representa un tiempo relativamente.

8.4.6. Hospital Nacional Especializada “Rosales”

Por su parte, en el mes de abril de 2020 se desarrolló una serie de impresiones 3D en el Hospital Nacional Especializado "Rosales" con el apoyo del doctor Paolo Magagna, de origen italiano y del hospital de San Bartolo de Vicenza, a través de campañas de cirugías cardiovasculares para reconstrucciones 3D aorticas, las cuales se imprimen y se realiza el respectivo planeamiento quirúrgico.

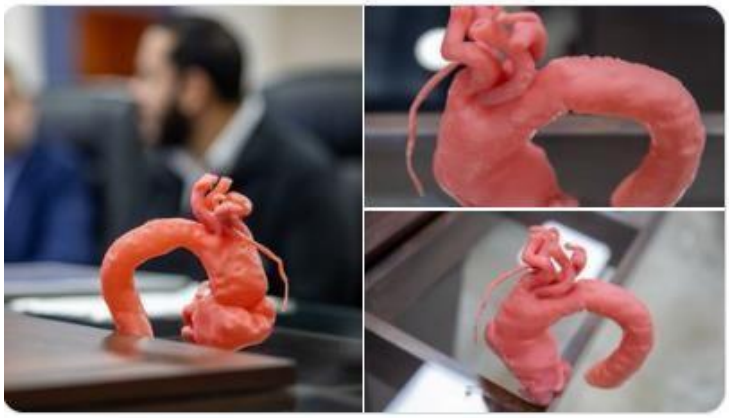
Ilustración 35: Fotografías de la jornada de cirugías cardiovasculares en el Hospital Rosales.



Fuente: Reportaje de la jornada de cirugías cardiovasculares en el Hospital Rosales.

En este proyecto se benefició a 15 pacientes para el desarrollo de las cirugías cardiovasculares. Este tipo de abordaje permitió que el personal médico pudiera tener una mejor compresión de la situación de salud del paciente y así mismo el paciente pudo tener un mejor entendimiento de su patología y la intervención a realizar.

Ilustración 36: Modelos 3D de aortas generados en colaboración con el hospital de Vicenza



Fuente: reportaje Modelos 3D de aortas generados en colaboración con el hospital de Vicenza.

Sin embargo, esta actividad fue nada más en el marco de ayuda momentánea de parte del hospital italiano mencionado, ya que de parte de El Salvador no se le dio una continuidad a

este tipo de análisis preoperativo. A pesar de ello, ahora ya se ha comprobado que este tipo de metodologías son muy beneficiosas y deberían seguir replicándose en este territorio.

El ministro de Salud actual dijo lo siguiente en referencia a la ayuda «Agradezco al Hospital San Bartolo de Vicenza, de Italia, y a la Embajada de Italia en El Salvador, por continuar impulsando proyectos en beneficio de los salvadoreños. Gracias a esto desarrollamos una nueva jornada de cirugía cardiovascular, en el Hospital Rosales».

8.4.7. Antecedentes sobre enfermedades cardiovasculares en El Salvador

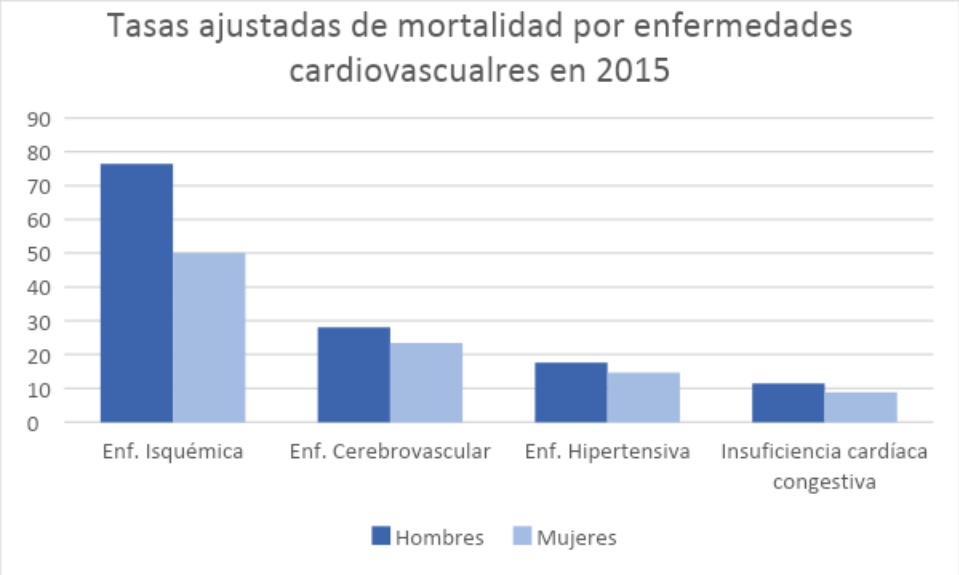
Las enfermedades no transmisibles son enfermedades que son causadas por infecciones ni por contacto de fluido de otras personas, más bien son enfermedades principalmente causadas por factores congénitos, biológicos, físicos, etc. Este tipo de enfermedades representan más de dos tercios de las enfermedades del mundo. Entre estas enfermedades se encuentran las enfermedades vasculares, cánceres, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas.

En El Salvador, según estadísticas de la OPS del año 2018 al 2021, se puede estimar que el 52.9 % de las muertas reportadas, es decir, 82,268, fueron ocasionadas por enfermedades no transmisibles. En cuanto a las enfermedades cardiovasculares, estas representaron el 25.6 % del total de las ENT. Siendo un número alto de enfermedades por una sola causa.

Sin embargo, si se toman en cuenta estudios realizados por el MINSAL, durante el año 2020 se puede notar que las enfermedades no transmisibles fueron la causa del 37.6 % de las muertes, siendo un estudio en personas de 30 a 69 años. De las cuales, para el grupo de adultos mayores, el 44 % fueron por enfermedades cardiovasculares.

A continuación, se presenta un gráfico que detalla las tasas ajustadas de mortalidad debido a las enfermedades cardiovasculares

Ilustración 37: Tasas ajustadas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en 2015.



Fuente: Informe de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en 2015.

Si se hace una comparación de datos con otros países durante el mismo periodo de estudio, se destaca la alta tasa de mortalidad con la que El Salvador se encuentra. Comparado con Colombia, que en el mismo periodo poseía una tasa de 95.6 cada 100 000 habitantes, pero si se revisa con México la tasa de mortalidad era de 292 por mil habitantes.

La situación de salud en la población, en cuanto a mortalidad en menores de 5 años. Para el período de enero a diciembre de 2020, a nivel nacional ocurrieron 999 defunciones en niñas y niños menores de 5 años, de las cuales 851 (85.2%) corresponden a menores de un año; y de ellos, 554 casos corresponden a neonatos, lo que representa el 65.1% de la mortalidad en menores de un año, un poco más de la mitad de todas las defunciones ocurridas en niños menores de 1 año, que siguen ocurriendo a predominio de prematuros, seguida de las malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas y asfixia perinatal. (“Plan operativo institucional 2022”, 2021).

Atención por grupos etarios en la especialidad Cardiología 2022

A continuación, se presenta la distribución por edad de las personas que padecen las enfermedades cardiovasculares. Se puede apreciar que, a medida avanza la edad, es mayor la cantidad de personas afectadas por este tipo de enfermedades:

Tabla 7: Atención por grupos etarios en la especialidad Cardiología 2022.

Grupos etarios	Total
< 1 año	1502
1-4	1461
5-9	1120
10 – 19	1916
20 – 29	1498
30 – 39	1554
40 – 49	2821
50 – 59	4982
60 a +	16668
Total	33, 522

Fuente: MINSAL

Tasa de pacientes de la especialidad de cardiología a nivel nacional por sexo

La distribución del total de personas que padecen enfermedades cardiológicas por sexo es la siguiente:

Tabla 8: Representación de pacientes de la especialidad de cardiología a nivel nacional por sexo.

Sexo	F	M	Total
Total	21, 936	11, 586	33, 522

Fuente: MINSAL

En términos porcentuales, tenemos que estas son las tasas que representa cada sexo:

Tasa F=65.43%

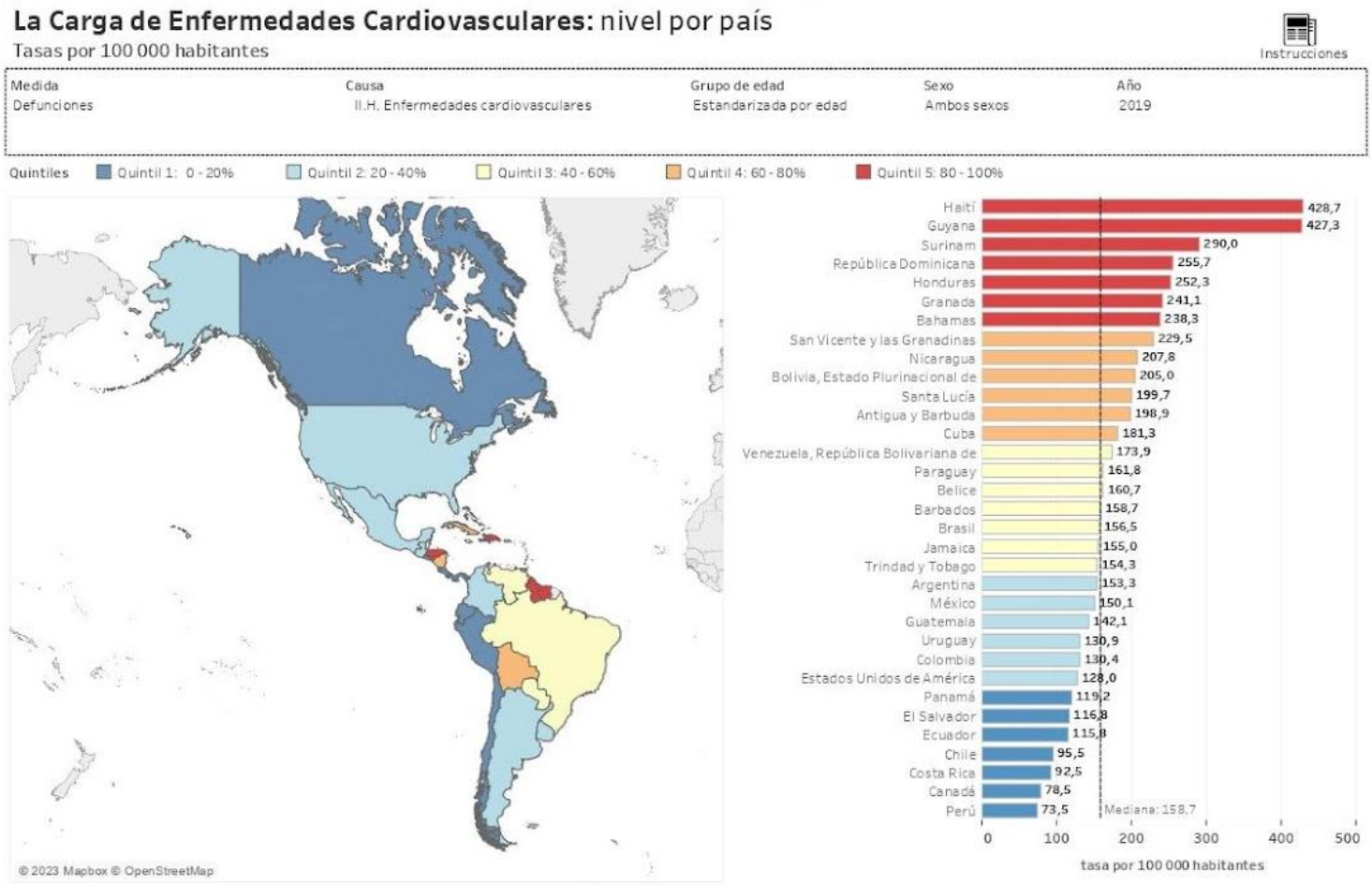
Tasa M=34.56%

Se puede apreciar que las mujeres son las mayormente afectadas y las que resultan ser más de la mitad de los pacientes. Para ver la fuente de información revisar el ANEXO 12.

8.4.8. Carga de enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares afectan de manera importante a la mayoría de la población del mundo, por ello es por lo que se lleva tan de cerca la investigación de estas enfermedades para tener un mejor control y entendimiento de la situación. En este caso, se presenta el gráfico de carga de enfermedades, elaborado por la OPS para ilustrar las tendencias de mortalidad y carga de este tipo de enfermedades.

Ilustración 38: Tasa de habitantes que sufren enfermedades cardiovasculares.



Fuente: Open Street Map.

Lo que se puede interpretar del gráfico es lo siguiente: Los países con mayor ECV son Haití, Guyana, Surinam, República Dominicana, Honduras, Granada, Bahamas. La edad puede influenciar el aumento de muertes por ECV. Las principales causas de mortalidad y discapacidad en América son la cardiopatía isquémica y el accidente cerebrovascular.

8.4.9. Servicios de apoyo en el área de cardiología

Para definir los servicios que se ven relacionados con el área de cardiología, se toma en cuenta las unidades de atención, que la red hospitalaria del país maneja bajo el enfoque del mejor servicio médico brindado a la población; teniendo en cuenta esto se detallas a continuación los servicio que se brindan departe del área de cardiología en la red de hospitales de el salvador.

Tabla 9: Servicios brindados por la red hospitalaria del país para cardiologías, fuente: diseño propio.

Servicios		Electivos	Urgencias	Ambulatorios	Hospitalización
Consultas internas			**X**		**X**
Consultas externas			**X**		
Sala de operación	Cirugía mayor			**X**	**X**
Emergencias	Cirugía mayor				**X**
	Cirugía menor				**X**
Ecocardiogramas		**X**	**X**	**X**	**X**
Electrocardiograma		**X**		**X**	
Prueba de esfuerzo		**X**		**X**	
Monitoreo de Holter		**X**		**X**	

Fuente: Elaboración propia

Teniendo claro los servicios básicos y de apoyo que se brindan ligados directamente con el área de cardiología, es necesario definir cada uso de estos para identificar las mejoras con la adaptación de nuevos servicios con el uso de la impresión 3D para que las cirugías electivas del área de cardiologías brinden un mejor panorama a los pacientes a abordar.

Tabla 10: Definición de los servicios de cardiología, fuente: diseño propio.

Servicios	Descripción
Consultas internas	Es aquella especialidad médica que se encarga de atender a los adultos en enfermedades que no son quirúrgicas, las patologías más comunes corresponden a problemas cardiovasculares, hipertensión, arterioesclerosis, diabetes, tiroides, entre otras.

Servicios	Descripción
Consultas externas	Es el área asistencial de mayor importancia en las especialidades médicas, se considera como el lugar idóneo donde diagnosticar y establecer la estrategia terapéutica de los pacientes enviados desde atención primaria. Por otra parte, la hospitalización debe ser únicamente un instrumento de apoyo, utilizable cuando fuera estrictamente necesario y durante el menor tiempo posible.
Cirugía mayor	La Clínica Universidad de Navarra de Madrid, define en su diccionario médico, el termino de cirugía mayor como los procedimientos quirúrgicos más complejos, con más riesgo, frecuentemente localizados con anestesia general o raquídea. Entre estas se puede considerar las cirugías de la cabeza, el cuello, el tórax (pecho) y algunas cirugías del abdomen. El tiempo de recuperación puede ser largo y exigir la permanencia en terapia intensiva o varios días en el hospital.
Cirugía menor	Este tipo de servicio se puede definir como el conjunto de técnicas quirúrgicas de corta duración que se aplican generalmente sobre estructuras superficiales. Suelen requerir la aplicación de anestesia local y su realización conlleva riesgo bajo y mínimas complicaciones.
Ecocardiogramas	Este es un servicio de apoyo que se enfoca en la realización de un examen que utiliza ondas sonoras para crear imágenes del corazón. Dicha imagen, y la información que produce, son mucho más detalladas que una radiografía simple.
Electrocardiograma	Un electrocardiograma (electrocardiografía) registra la señal eléctrica del corazón para detectar diferentes afecciones cardíacas. Se colocan electrodos en el pecho para registrar las señales eléctricas del corazón que provocan los latidos. Este también forma parte de los servicios de apoyo brindado al área de cardiología.
Prueba de esfuerzo	Es un servicio de apoyo que también puede ser conocida como ergometría, muestra cómo se comporta el corazón durante la actividad física. El ejercicio hace que el corazón bombee con más fuerza y más rápido. La prueba de esfuerzo puede indicar problemas con el flujo sanguíneo dentro del corazón
Monitoreo de Holter	Este es un servicio que se utiliza para determinar cómo responde el corazón a la actividad normal. El monitoreo también se puede utilizar: Después de un ataque cardíaco. Para diagnosticar problemas con el ritmo cardíaco que pueden estar causando síntomas tales como palpitaciones o síncope (pérdida de conciencia/desmayos)

Fuente: Elaboración propia

Establecidas las definiciones de los servicios brindados para el área de cardiología, se puede considerar el uso de estos a través de las estadísticas que el sistema de salud establece en base a la información manejada por el mismo, a continuación, se presenta el uso de los servicios de apoyo que se han brindado para el área de cardiología.

Tabla 11: Servicios brindados en cardiología del 2017 al 2021, Fuente: Portal de transparencia de El Salvador.

Servicios	**Servicios brindados**			
	Ecocardiogramas	**Electrocardiograma**	**Prueba de esfuerzo**	**Monitoreo de Holter**
2017	140197	17256	1104	2247
2018	159105	14495	3275	2579
2019	160399	14031	812	2587
2020	74506	5382	286	478
2021	92406	8503	40	838

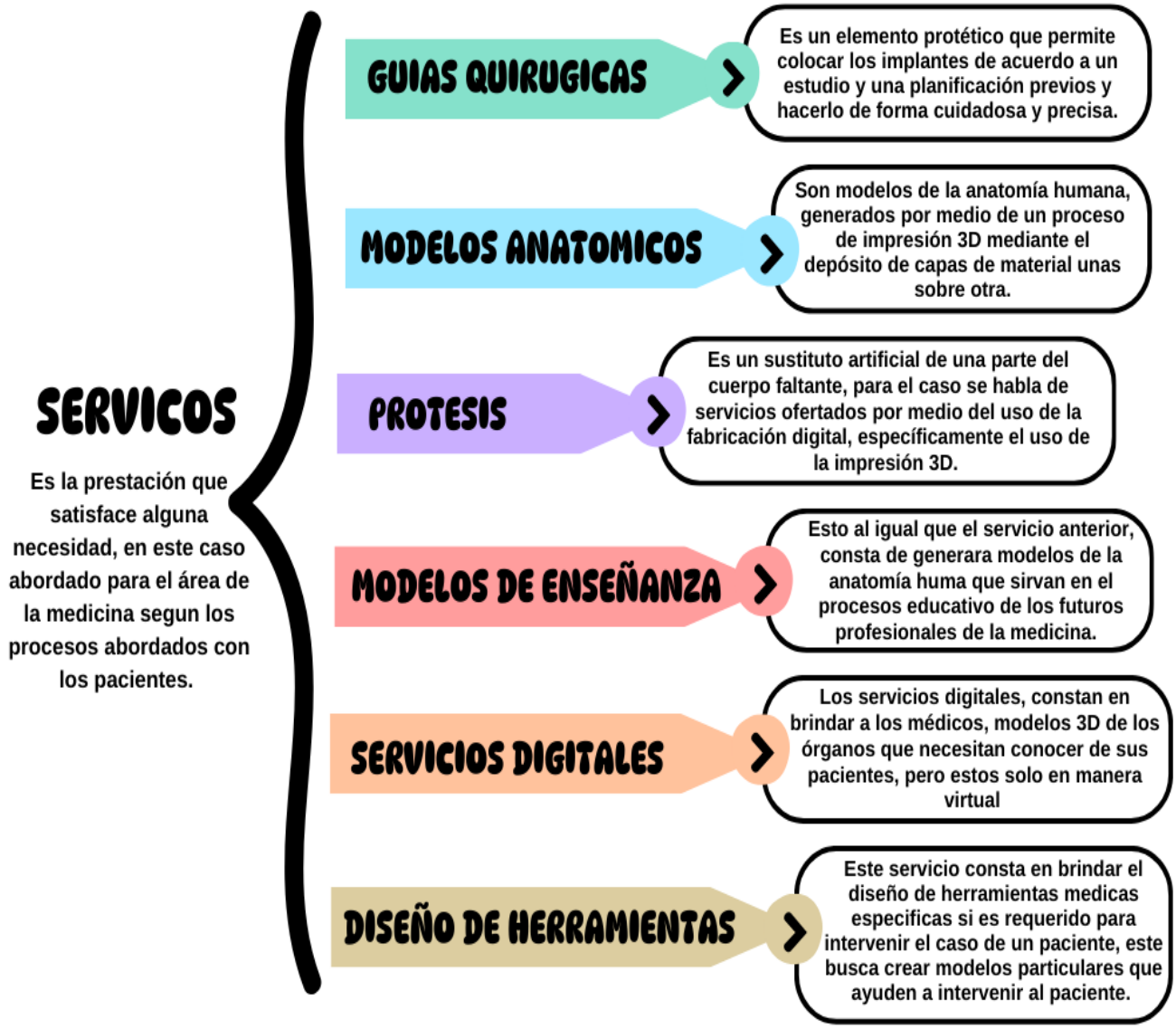
Fuente: Elaboración propia

Es notorio que para el año 2020 se dio una disminución muy considerable para 3 de los 4 servicios brindados, esto debido puede tener origen en la pandemia de COVID 2019, si bien fue un problema del sistema de salud, su referente era el área que atendía complicaciones respiratorias, por lo que se puede considerar que muchos servicios no relacionados íntimamente con este presento disminuciones.

8.4.10. Servicios ofertados por la fabricación digital a la medicina

Anteriormente se ha mencionado los servicios de apoyo en el área de cardiología, estos como base fundamental en el proceso de diagnósticos para pacientes sometidos a cirugías de cualquier índole relacionado con el sistema cardiovascular; para este apartado se abordará los servicios que puede brindar la aplicación digital en el área médica y que es de gran ayuda en la operatividad de estos. Para esclarecer estos servicios se establece los siguiente:

Ilustración 39:Servicios ofertados a través de la aplicación del modelo



Fuente: Diseño esquematizado por investigadores

Los antes mencionados son todos los servicios que la aplicación de la fabricación digital en la medicina puede aportar, teniendo en cuenta que esta más relacionada con la impresión de modelos 3D, se tienen en cuenta que su aplicación está ligada con diversas áreas y especialidades. Entre las áreas que se puede mencionar cirugías generales, cirugías estéticas, odontología, cardiología, neurología, ortopedia y otros.

Para el caso de estudio, se está desarrollando el servicio de impresión de modelos anatómicos 3D, para el área de cardiología, específicamente para la intervención de pacientes de cirugías electivas en cardiología, esto para pacientes con problemas de malformaciones congénitas.

8.4.11. Estadísticas de cardiopatías congénitas en El Salvador

Las cardiopatías congénitas como se han detallado anteriormente son un grupo de enfermedades caracterizado por la presencia de alteraciones estructurales del corazón producidas por defectos en la formación de este durante el periodo embrionario, se producen porque el corazón no se desarrolla normalmente mientras el bebé está creciendo en el útero. Con frecuencia, los médicos no saben la causa por la que se producen las cardiopatías congénitas. Los investigadores saben que, en ocasiones, la genética puede cumplir un rol.

En el año 2015 y 2016, el ministerio de salud registraba casos alarmantes en el desarrollo de padecimientos de malformaciones en niños menores de 1 año, lo que para esa época era más dificultoso de tratar y dar respuestas a tratamientos inmediatos de esos casos; para esos años las estadísticas de muertes y egresos de los niños menores de un año que fueron tratados por ese padecimiento son los siguientes:

Tabla 12: Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas

Año	Pacientes atendidos
2015	260

Año	Pacientes atendidos
2016	296

Fuente: Portal de transparencia – El Salvador

Estas cifras denotaban como principal causa de muerte para los niños menores de 1 año a las malformaciones congénitas, principalmente las cardiovasculares que por su dificulta en cirugías y tratamientos, implicaban un dificultoso proceso para los médicos.

Para el año 2019 el primer proyecto de cooperación sanitaria sobre cardiología pediátrica entre España y El Salvador a menores salvadoreños establecía que cada año nacen en el país 1,200 niños con una cardiopatía congénita. De estos un 60% requerirá de una o más intervenciones por Cirugía o Cateterismo, es decir, alrededor de unos 540 pacientes por año. Del total de niños con malformaciones, hasta un 10% muere inevitablemente en los primeros meses, aún en países desarrollados, el 90% restante, gozará de una vida llena de limitaciones y de no recibir tratamiento, puede resultar con severos daños al corazón, riñones, cerebro y/o pulmones; y eventualmente morir.

En un reportaje llevado a cabo por Blanca Archila para el periódico nacional denominando La Prensa Gráfica, establecía la opinión del doctor Alfonso Ernesto Escobar Fernández, especialista en cardiología pediátrica, el cual definía que la primera causa de morbimortalidad en el periodo neonatal son las malformaciones congénitas y de esas las cardiopatías ocupan el primer lugar.

También se puede mencionar que para el caso mundial la incidencia de esta enfermedad afecta a uno de cada 100 niños nacidos. Sin embargo, el padecimiento no impide el desarrollo y crecimiento normal del paciente, en algunos casos solo es necesario controlar esta condición con un especialista. Pero este no es un impedimento para que investigaciones de mejoras se desarrollen debido a que la tasa es baja, ya que se habla de vida de seres humanos que se buscan desarrollar en un entorno normal, como actualmente lo hace cada persona del mundo.

En el año 2022 el informe de los Lineamientos técnicos para la toma de tamizaje cardíaco a recién nacidos clínicamente sanos establecidos por el ministerio de salud, poseía como uno de sus objetivos específicos “establecer una red de detección, diagnóstico y tratamiento oportuno de problemas de cardiopatía congénita en recién nacidos”. Este mismo presenta estadísticas de los últimos años en los que se ha detectado este tipo de padecimientos y que se presentan a continuación:

Tabla 13: Anomalías cardiacas congénitas registradas en hojas de vigilancias de anomalías congénitas del SNIS 2017-2020

Año	N° Anomalías congénitas	N° de anomalías congénitas cardiacas	% representa
2017	1437	260	18.1
2018	1846	384	20.8
2019	1689	378	22.3
2020	1482	350	23.6

Fuente: SIMMOW, Estadísticas vitales,6 de enero 2022

Bajo las observaciones de los datos presentados con anterioridad, se puede destacar que las cardiopatías congénitas van de aumento a medida transcurre el tiempo, lo que seguramente se deba a diferentes causas poco controlables. Es por ello por lo que se apuesta por la mejora de los servicios desde el enfoque la ingeniería puede brindar a la medicina, a continuación, se presentan datos sobre los niveles de mortalidad debido a este padecimiento.

Tabla 14: Causa básica de mortalidad infantil (menores de 1 año) por anomalías cardiovasculares del SNIS 2017-2020

Año	N° muertes infantiles	N° muerte por anomalías congénitas cardiacas	% representa
2017	1043	150	14.3
2018	1042	111	10.6
2019	987	93	9.4
2020	858	75	8.7

Fuente: SIMMOW, Estadísticas vitales,6 de enero 2022

Es notorio que el número de muertes infantiles ha disminuido a lo largo del tiempo, por lo que así mismo ha disminuido la causa principal de estos que son las cardiopatías congénitas, sin bien la disminución de estas se deba muchos cambios en la medicina y la evolución de la misma, no se debe de olvidar que la vida de un ser humano posee un valor invaluable en especial en los niños, por lo que se apuesta por mejorar los servicios de apoyo con la incorporación de la impresión en 3D para abordar cardiopatías congénitas en las cirugías requerida para los pacientes.

8.4.12. Proceso de operación general.

Para establecer el proceso de operación general, que se efectúa como parte del desarrollo de intervención en pacientes de diferentes áreas de la medicina, se debe entender cuáles son aquellos pacientes sometidos a una cirugía, por lo que se plantea lo siguiente:

¿Qué pacientes operar?

Existen varias formas de realizar una evaluación preoperatoria, sin embargo, es el cirujano el primero en evaluar al paciente y en decidir la cirugía. En este sentido, es importante que él esté familiarizado con los requerimientos de la evaluación y que exista una fluida comunicación entre cirujano y anestesista, de modo que el proceso de evaluación, selección y preparación preoperatoria sea eficiente. La evaluación y optimización de la condición preoperatoria basal del paciente deben ser acuciosas y con la debida anticipación, de manera de evitar postergaciones o suspensiones de última hora.

Existen varios criterios descritos que permiten una adecuada selección de pacientes, considerando que el riesgo está determinado principalmente por las comorbilidades asociadas. El más frecuentemente utilizado es la clasificación de estado físico de la American Society of Anesthesiology o ASA, que refleja la directa asociación entre las comorbilidades del paciente y su riesgo de mortalidad perioperatoria.

Ilustración 40: Clasificación de estado físico de la American Society of Anesthesiologists (AsA).

Clasificación ASA	Descripción	Mortalidad perioperatoria
I	Paciente sano, sin comorbilidad	0-0,3%
II	Enfermedad sistémica leve a moderada, sin limitación funcional	0,3-1,4%
III	Enfermedad sistémica moderada a severa, con limitación funcional	1,8-5,4%
IV	Enfermedad sistémica severa, con riesgo vital constante	7,8-25,9%
V	Paciente moribundo, con pocas probabilidades de sobrevivir las próximas 24 h, con o sin cirugía	9,4-57,8%
VI	Paciente en muerte cerebral (candidato a trasplante de órganos)	100%

Fuente: American Society of Anesthesiologists (AsA).

En líneas generales, los pacientes ASA I y II son candidatos para realizarse procedimientos quirúrgicos en forma ambulatoria. Los pacientes portadores de diversas patologías pueden ser candidatos a una Cirugía Ambulatoria (CA) siempre y cuando tengan un manejo y control adecuado de su(s) enfermedad(es) de base, o bien, cuando es posible optimizar su condición basal y tratamiento con debida antelación antes de un procedimiento quirúrgico. Los pacientes ASA III podrían ser sometidos a una CA de bajo riesgo cardiovascular (riesgo menor al 1% de morbimortalidad cardiovascular) solamente si tienen un control y tratamiento óptimos de su(s) comorbilidad(es), ya que en caso contrario deberían quedar hospitalizados debido a que tiene un mayor riesgo de complicaciones postoperatorias; estableciendo lo antes mencionado, se considera que las intervenciones quirúrgicas en las que se somete pacientes ubicados en la clasificación de ASA IV en adelantes se estiman intervenciones de mayor riesgo.

Teniendo en cuenta lo antes mencionados, se debe de considerar que las intervenciones de tipo quirúrgicas analizadas en el desarrollo del estudio, se ven enfocadas a intervenciones quirúrgicas de grado Mayor. Esto conlleva casi siempre la apertura de una de las principales cavidades del cuerpo: abdomen, tórax o cráneo. La apertura del abdomen se denomina laparotomía, la apertura del tórax se denomina toracotomía, y la apertura del cráneo se denomina craneotomía. La cirugía mayor puede comprometer órganos vitales. Generalmente, la intervención se lleva a cabo con anestesia general en un quirófano y por parte de un equipo especializado de médicos.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se considera que los procesos establecidos en El salvador para la ejecución de intervenciones quirúrgicas se plantean a continuación, basado en el Manual de procesos y procedimientos quirúrgicos seguros, establecido por El Ministerios de Salud en el año 2022.

Marco regulatorio

1. A continuación, se enumera la normativa vigente que regula los procedimientos que se describen en el presente manual.
2. Ley de deberes y derechos de pacientes y prestadores de servicios de salud.
3. Guías clínicas de cirugía general
4. Guías clínicas de ortopedia
5. Guías clínicas de cirugía pediátrica
6. Norma técnica sobre anestesiología.
7. Lineamientos técnicos de procedimientos y técnicas quirúrgicas en obstetricia
8. Lineamientos técnicos sobre bioseguridad.
9. Lineamientos técnicos para la prevención y control de las infecciones asociadas a la infección sanitaria.
10. Lineamientos Notas de Enfermería
11. Manual organizativo y de funcionamiento de la central de esterilización hospitalaria del MINSAL.
12. Lineamientos técnicos para cirugía mayor ambulatoria
13. Manual de procesos y procedimientos de atención de salud integral en hospitalización
14. Manual de procesos y procedimientos de atenciones de salud integrales ambulatorias de baja complejidad.

Descripción de los procedimientos

A continuación, se describen los procedimientos que se han establecido en el proceso quirúrgico seguro y que se cumplirán en cada uno de los hospitales de la red nacional.

- **Proceso: M03-04-01-Atención de usuarios en fase prequirúrgica**

Los procedimientos que se desarrollan en el proceso de la fase prequirúrgica están descritos a continuación, incluyendo los diagramas de cada uno de ellos:

A. M03-04-01-P01-Evaluación prequirúrgicasegura en cirugía de emergencia

Objetivos

Capitulo 2: Identificar requisitos de atención a usuarios según el riesgo vital para la evaluación prequirúrgica segura en cirugía de emergencia.

Capitulo 2: Proporcionar atención integral inclusiva y con trato humanizado a usuarios que soliciten atención de salud en procedimientos quirúrgicos.

Alcance

El procedimiento inicia con la evaluación inicial del paciente para establecer si esta apto para realizarle la intervención quirúrgica y finaliza cuando el paciente tiene todos los resultados óptimos para la toma de decisión.

Tabla 15: Procedimiento de Evaluación prequirúrgica segura en cirugía de emergencia.

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
1	Médico, especialista/ Subespecialista quirúrgico.	Realiza anamnesis de paciente quirúrgico.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente. Realiza y/o revisa historia clínica, examen físico, establece diagnóstico de intervención quirúrgica, valoración de riesgo y/o referencia. Explica al paciente el procedimiento quirúrgico a realizar, requisitos preoperatorios.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6

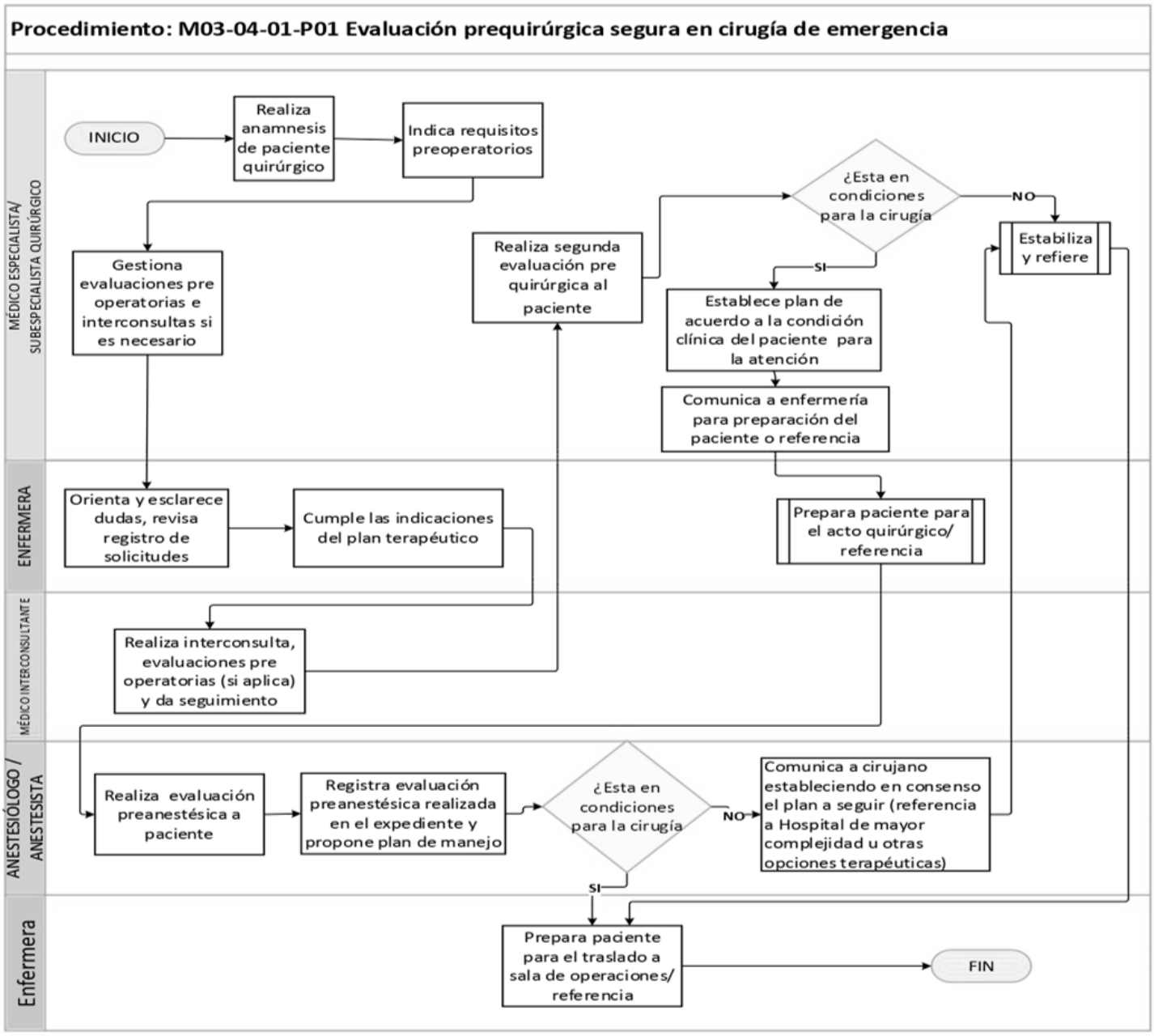
N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
		Indica requisitos preoperatorios para evaluar el estado fisiológico del paciente.	Evalúa el estado fisiológico del paciente, indica estudios de gabinete, laboratorio, solicitud de sangre según edad, comorbilidades, tipo de procedimiento quirúrgico, y determinación diagnostica.	
		Gestiona evaluaciones preoperatorias e interconsultas si es necesario.	Solicita según riesgo, edad y comorbilidades las evaluaciones requeridas.	
		Realiza segunda evaluación prequirúrgica al paciente.	Realiza la segunda evaluación tomando en cuenta los resultados de exámenes y evaluaciones que fueron indicados. ¿Usuario en condiciones para ser, operado en el establecimiento? **SI:** Realiza intervención. Llena toda la documentación; solicitud de sala, consentimiento informado, nota en el expediente y solicitud de sangre si es necesario. Comunica a enfermería para preparación del quirófano. **NO:** Establece plan de acuerdo con la condición clínica del paciente y capacidad instalada para la atención, estabiliza y/o refiere (ver procedimiento M03-03-01-P01-Referencia, retorno e interconsulta hospitalaria desarrollado en el Manual de procesos y procedimientos de atención de salud integral en hospitalización). Para todo paciente referido a cirugía de emergencia entre hospitales de la red, es requisito la comunicación previa de los coordinadores de cirugía de ambos	Expediente clínico (Físico/ electrónico). Formato hoja de solicitud de quirófano. (Físico/Electrónico). Anexo 2ª Formato de consentimiento informado. Anexo 3

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			centros hospitalarios.	
2	Enfermera	Orienta y esclarece dudas, revisa registro de solicitudes.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente. Verifica identidad del paciente y tipo de procedimiento a realizar. Realiza entrevista preoperatoria explicando al usuario la preparación prequirúrgica. Orienta al paciente sobre exámenes a realizar y los envía al laboratorio, gestiona que se realicen exámenes de gabinete y cumple indicaciones del plan terapéutico. Se comunica con enfermería de sala de operaciones para preparación de quirófano. Prepara paciente para el acto quirúrgico.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6
3	Medico Interconsultantes	Realiza interconsulta, evaluaciones preoperatorias (si aplica) y da seguimiento.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente, explica su intervención. Evalúa a paciente, realiza valoraciones preoperatorias de su especialidad. Propone cambios en plan de manejo y/o realiza procedimientos de su especialidad si es necesario según complejidad. Registra su evaluación, firma y sella en expediente. Informa a enfermería sobre indicaciones. Seguimiento a plan de manejo las veces necesarias.	Expediente clínico (Físico/ electrónico). Formato hoja de valoración preoperatoria (médica). (Físico/electrónico).
4	Anestesiólogo/ Anestesista	Realiza evaluación preanestésica a paciente.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente. Revisa antecedentes, determina el estado físico y realiza evaluación	Expediente clínico. (Físico/electrónico). Formato

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			preanestésica. Registra evaluación preanestésica en el expediente y propone plan de manejo. En caso de no ser apto para ser intervenido, comunica al cirujano, estableciendo en consenso el plan a seguir, según tipo de cirugía y/o evaluar referencia a Hospital de mayor complejidad u otras opciones terapéuticas. Posterior a la evaluación, la solicitud de intervención será entregada a medico de staff o responsable de sala de operaciones para la asignación del quirófano y en caso de una emergencia, el paciente será llevado directamente al quirófano previa notificación.	hoja de evaluación preoperatoria (anestesia). (Físico/electrónico) Marco regulatorio: 5
5	Enfermera	Prepara paciente para el traslado a sala de operaciones.	Cumple plan terapéutico y registra su cumplimiento Verifica constantes vitales (signos vitales y saturación de oxígeno) Revisa que expediente este completo y prepara región operatoria, si aplica. Traslada paciente a recepción en sala de operaciones o prepara para referencia.	Expediente clínico (Físico/electrónico).

Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

Ilustración 41: Esquema procedimental de la evaluación prequirúrgica segura en cirugía de emergencia.



Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022.

B. <u>M03-04-01-P02-Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva</u>

Objetivos

1. Preparar al paciente para el acto quirúrgico seguro, bajo estándares de oportunidad, eficacia y eficiencia.

2. Proporcionar atención integral y trato humanizado a usuarios que soliciten atención de salud en procedimientos quirúrgicos.

Alcance

El procedimiento inicia desde que el médico cirujano realiza anamnesis, finalizando con la orientación al paciente de acuerdo con el servicio de atención quirúrgica que se le realizara.

Tabla 16: Procedimiento Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva.

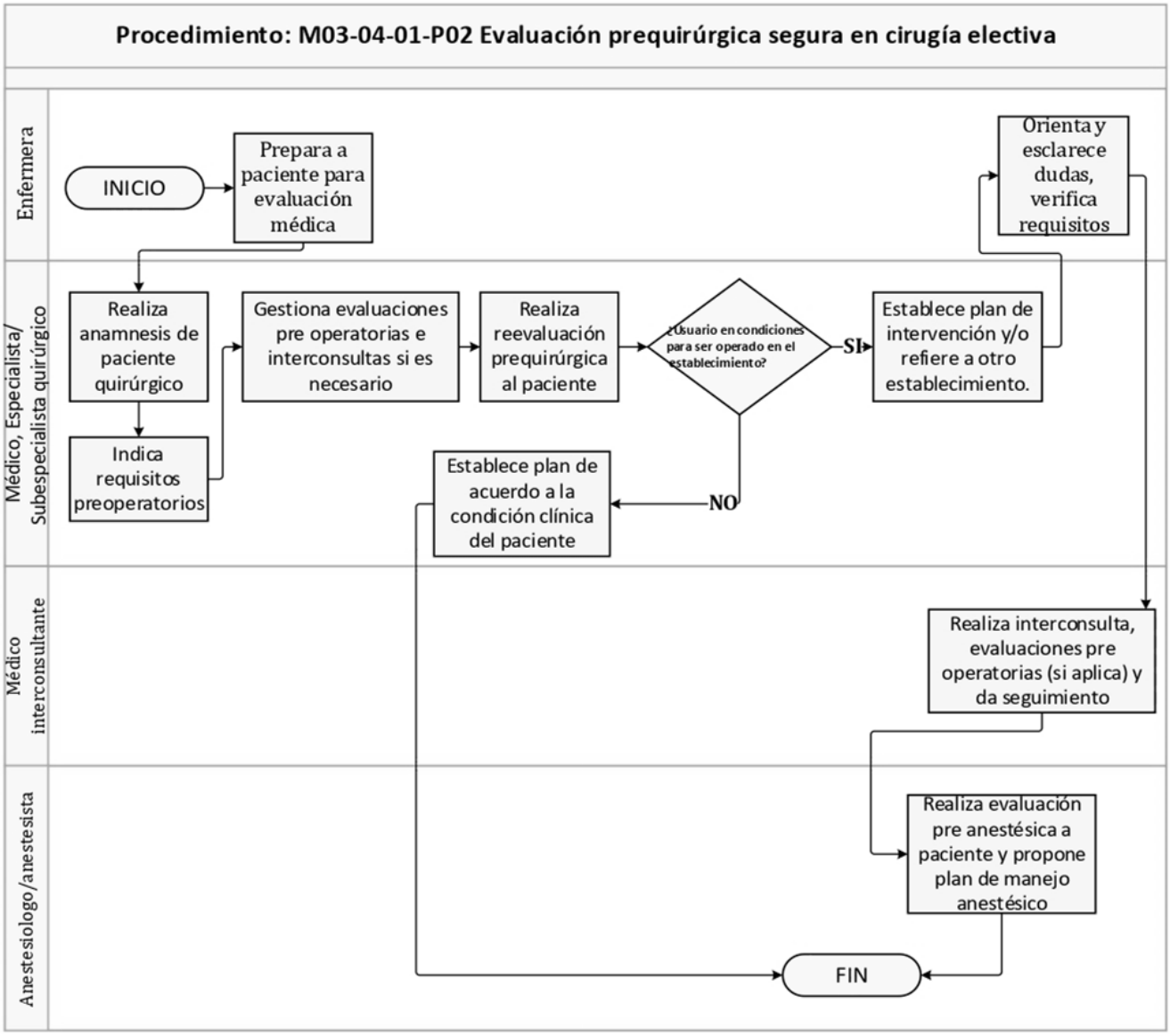
N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
1	Enfermera	Prepara paciente para evaluación médica.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente. Controla estado general y constantes vitales (signos vitales y saturación de oxígeno). Verifica la disponibilidad del expediente.	Expediente clínico (Físico/electrónico).
2	Médico, especialista/ Subespecialista quirúrgico	Realiza anamnesis de paciente quirúrgico.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente Revisa referencia, si aplica. Realiza historia clínica, examen físico, establece diagnóstico y valoración de riesgo. Explica al paciente las opciones terapéuticas y requisitos preoperatorios. En caso de no contar con la capacidad instalada para realizarlo, referir al nivel correspondiente.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6
		Indica requisitos preoperatorios.	Indica estudios de gabinete, laboratorio según: edad, comorbilidades y tipo de procedimiento quirúrgico; y solicitud de donantes de sangre.	Expediente clínico (Físico/electrónico).
		Gestiona evaluaciones preoperatorias e interconsultas si es necesario.	Solicita según riesgo, edad y comorbilidades las evaluaciones requeridas según marco regulatorio vigente.	Expediente clínico (Físico/electrónico).
		Realiza reevaluación prequirúrgica al paciente.	Realiza reevaluación clínica al paciente, tomando en cuenta los resultados de exámenes y evaluaciones que fueron indicados. ¿Usuario en condiciones para ser	Expediente clínico (Físico/electrónico).

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			operado en el establecimiento? **SI:** Establece plan de intervención o refiere a otro establecimiento. Solicita evaluación de anestesia previo al ingreso del paciente. Llena toda la documentación; solicitud de sala, consentimiento informado, nota en el expediente y solicitud de sangre si es necesario. Deja constancia en solicitud de sala de operaciones, insumos específicos de acuerdo con cirugía. Ingresa nombre del paciente en la programación quirúrgica (Lista de espera quirúrgica institucional), verificando que a la fecha de la programación los exámenes y evaluaciones estén vigentes. **NO:** Establece plan de acuerdo con la condición clínica del paciente, pasa a FIN. En caso de reprogramación de cirugías se procederá de la siguiente manera: Informar al paciente el motivo de la suspensión (causa institucional o del paciente) y reprogramar a la menor brevedad posible. El cirujano responsable deberá reprogramar la cirugía suspendida lo más pronto posible, agendarla en lista de espera institucional, verificando vigencia de exámenes y evaluaciones.	Formato hoja de solicitud de quirófano. (Físico/electrónico). Formato de consentimiento informado. Lista de espera de cirugía institucional. (Física/electrónica).
3	Enfermera	Orienta y esclarece dudas, verifica requisitos	Se identifica por su nombre y cargo con responsabilidad. Orienta al paciente en los siguientes aspectos: -Procedimiento a realizar. -Exámenes de laboratorio y gabinete, interconsultas y citas posteriores, enfatizando su importancia. Verifica vigencia de los exámenes, evaluación anestésica si es pertinente y otros requisitos.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
4	Medico Interconsultantes	Realiza interconsulta, evaluaciones preoperatorias (si aplica) y da seguimiento.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente, explica su intervención. Evalúa a paciente, realiza valoraciones preoperatorias de su especialidad. Propone cambios en plan de manejo y/o procedimientos de su especialidad si es necesario. Registra su evaluación, firma y sella en expediente. Informa a enfermería sobre indicaciones. Seguimiento del paciente las veces necesarias.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Formato hoja de valoración preoperatoria (Físico/electrónico) (médica).
5	Anestesiólogo / Anestesista	Realiza evaluación preanestésica a paciente.	Se presenta por su nombre y cargo con el paciente. Revisa antecedentes. Determina el estado físico (ASA. https://www.asahq.org/standards- and-guidelines/asa-physical-status-classification-system). Registra evaluación preanestésica en el expediente y propone plan de manejo. Comunica al cirujano estableciendo en consenso el plan a seguir, según tipo de cirugía electiva (ambulatoria u hospitalaria).	Expediente clínico (Físico/electrónico). Formato hoja de evaluación preoperatoria (Físico/electrónico). (anestesia). Marco regulatorio: 5
6	Enfermera	Orienta y esclarece dudas.	Orienta al paciente de acuerdo con el servicio de atención, si se operara el mismo día de la programación o se ingresara a hospitalización 1 o más días previos al día de la intervención, en los siguientes aspectos: -Procedimiento a realizar. -Condiciones del día del ingreso a su cirugía. -Verifica vigencia de los exámenes, evaluación anestésica si es pertinente y otros requisitos. -Otros requerimientos según tipo de cirugía.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6

Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

Ilustración 42: Esquema procedimental de la evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva.



Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022.

C. M03-04-01-P03: Programación de cirugía electiva

Objetivos

1. Garantizar la atención integral a los pacientes que deben someterse a procedimientos quirúrgicos, asignándoles oportunamente día, hora y quirófano.
2. Detallar los pasos a seguir para la programación del paciente que requiere intervención quirúrgica.

Alcance

El procedimiento inicia desde que la jefatura de especialidad, subespecialidad o cirujano solicita la programación de la cirugía y finaliza cuando se verifica la calidad del dato registrado en la programación.

Tabla 17: Procedimiento de Programación de cirugía electiva.

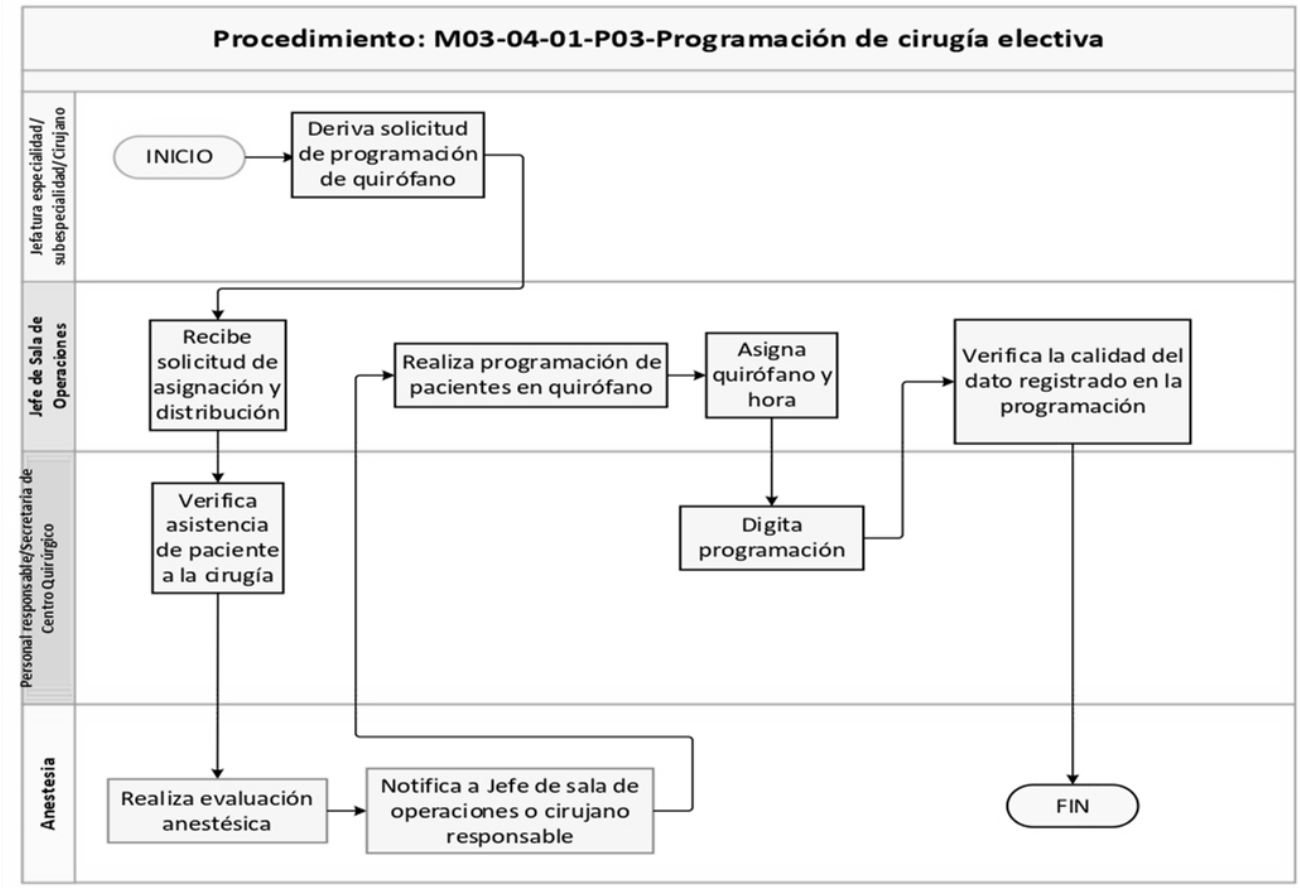
N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa por utilizar
1	Jefatura especialidad/ subespecialidad / Cirujano	Deriva solicitud de programación de quirófano.	Valora previamente el cumplimiento de los requisitos quirúrgicos. Deriva solicitud de programación a jefe de centro quirúrgico, antes de la intervención. De acuerdo la capacidad instalada se asigna el recurso que será responsable de llevar la orden de solicitud de quirófano al responsable de la programación. Valora condición clínica del paciente, criterios de priorización basados en comorbilidades y tiempo de espera quirúrgica del paciente (Casos en los cuales el factor tiempo influye en la evolución de la enfermedad). Cada hospital de acuerdo a su capacidad instalada podrá contar con la figura de un coordinador de actividad quirúrgica en la consulta externa, quien tendrá las siguientes funciones: verificar exámenes vigentes, tiempos de espera para la programación, coordinación con los servicios de apoyo diagnostico para agilizar exámenes y evaluaciones	Formato hoja de solicitud de quirófano. (Físico/electrónico). Expediente clínico (Físico/electrónico).

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa por utilizar
			preoperatorias, priorización de pacientes, corroborar que el procedimiento programado corresponde a la especialidad quirúrgica y mantener una comunicación efectiva con el equipo gestor de sala de operaciones. Las comisiones de las subespecialidades quirúrgicas derivaran la solicitud de programación antes de la intervención, de acuerdo con la prioridad del caso.	
2	Jefe de sala de operaciones	Recibe solicitud de asignación y distribución.	Verifica en el expediente que la solicitud cumpla con todos los requisitos, en comunicación efectiva con los cirujanos: - Recibirla como máximo a las 12 meridiano, un día previo a la cirugía. - Hoja de consentimiento informado, firmada por el médico, el paciente o responsable. - Exámenes de laboratorio actualizados y de gabinete, si es necesario. - Indicaciones de Interconsultantes, si aplica. - Solicitud de hemo componentes para momento operatorio, si aplica. - Si necesita cuidados post quirúrgicos especiales.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Sistema de registro, centro quirúrgico: módulo informático Marco regulatorio: 1,2
3	Personal responsable/ secretaria de Centro Quirúrgico	Verifica asistencia de paciente a la cirugía.	- Recibe las órdenes. - Realiza llamada telefónica 24 horas antes del día del ingreso de la cirugía, (electivo: ambulatorio u hospitalización), para indagar sobre estado de salud del paciente, confirmar asistencia el día y hora programada, o recordarle que llegue a su cita de premedicación si aplica. - Coordina con diferentes áreas de hospitalización y consulta externa para verificar el ingreso de pacientes en hospitalización. - En caso del programa de cirugía ambulatoria el paciente realizará la llamada confirmando su asistencia. - ¿Paciente confirma su asistencia? - SI: pasa a programación. - NO: asistirá a su control asignado en la consulta externa.	Sistema de registro, centro quirúrgico: módulo informático. Formato cuadro de programación. (Físico/electrónico).
4	Anestesia	Realiza evaluación anestésica	Realiza evaluación anestésica en hospitalización (si se requiere), y notifica a jefe de sala de operaciones o	Expediente clínico (Físico/electró

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa por utilizar
			cirujano responsable del paciente, si esta apto o no para ser intervenido quirúrgicamente.	nico). Marco regulatorio: 5
5	Jefe de sala de operaciones	Realiza programación de pacientes en el quirófano.	Programa de acuerdo con la especialidad y tipo de operación: ambulatoria u hospitalaria. Asigna quirófano y hora, tomando en cuenta el horario de los cirujanos y la complejidad de la cirugía. La programación de cada quirófano se elaborará en función de la complejidad de cada procedimiento quirúrgico y el tiempo efectivo de su utilización. La cirugía electiva se practicará todos los días hábiles, de lunes a viernes, de 7:00 a.m. en adelante o de acuerdo con el horario establecido en cada establecimiento.	Formato hoja de solicitud de quirófano. (Físico/electrónico).
6	Personal responsable / secretaria de Centro Quirúrgico	Digita programación.	Digita la programación y envía a todos los cirujanos por medio digital/físico a los servicios de hospitalización, central de esterilización, unidad de cuidados intensivos, sala de operaciones y laboratorio clínico, otros.	Formato cuadro de programación. (Físico/electrónico).
7	Jefe de sala de operaciones	Verifica la calidad del dato registrado en la programación.	Revisa que los datos registrados en el cuadro de programación elaborado sean coherentes con lo asignado (identificación del paciente, numero de quirófano, hora asignada, diagnóstico, procedimiento a efectuar, tipo de anestesia). Coordina el trabajo diario en sala de operaciones.	Formato cuadro de programación. (Físico/electrónico). Formato hoja de solicitud de quirófano. (Físico/electrónico).

Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

Ilustración 43: Programación de cirugía electiva



Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

- **<u>Proceso: M03-04-02-Atención de usuarios en fase quirúrgica</u>**

Los procedimientos que se desarrollan en el proceso de la fase prequirúrgica están descritos a continuación, incluyendo los diagramas de cada uno de ellos:

A. <u>M03-04-02-P01-Preparación y abastecimiento del quirófano</u>

Objetivos

1. Preparar con equipamiento médico quirúrgico necesario en el quirófano, previo a la intervención.
2. Contar en cada quirófano con el material y equipo necesario a utilizar en el procedimiento quirúrgico programado.

Alcance

El procedimiento inicia desde que se verifica la existencia de mobiliario y equipo por quirófano a inicio de la jornada laboral y finaliza con la solicitud de paquetes e instrumental quirúrgico para la cirugía a desarrollar.

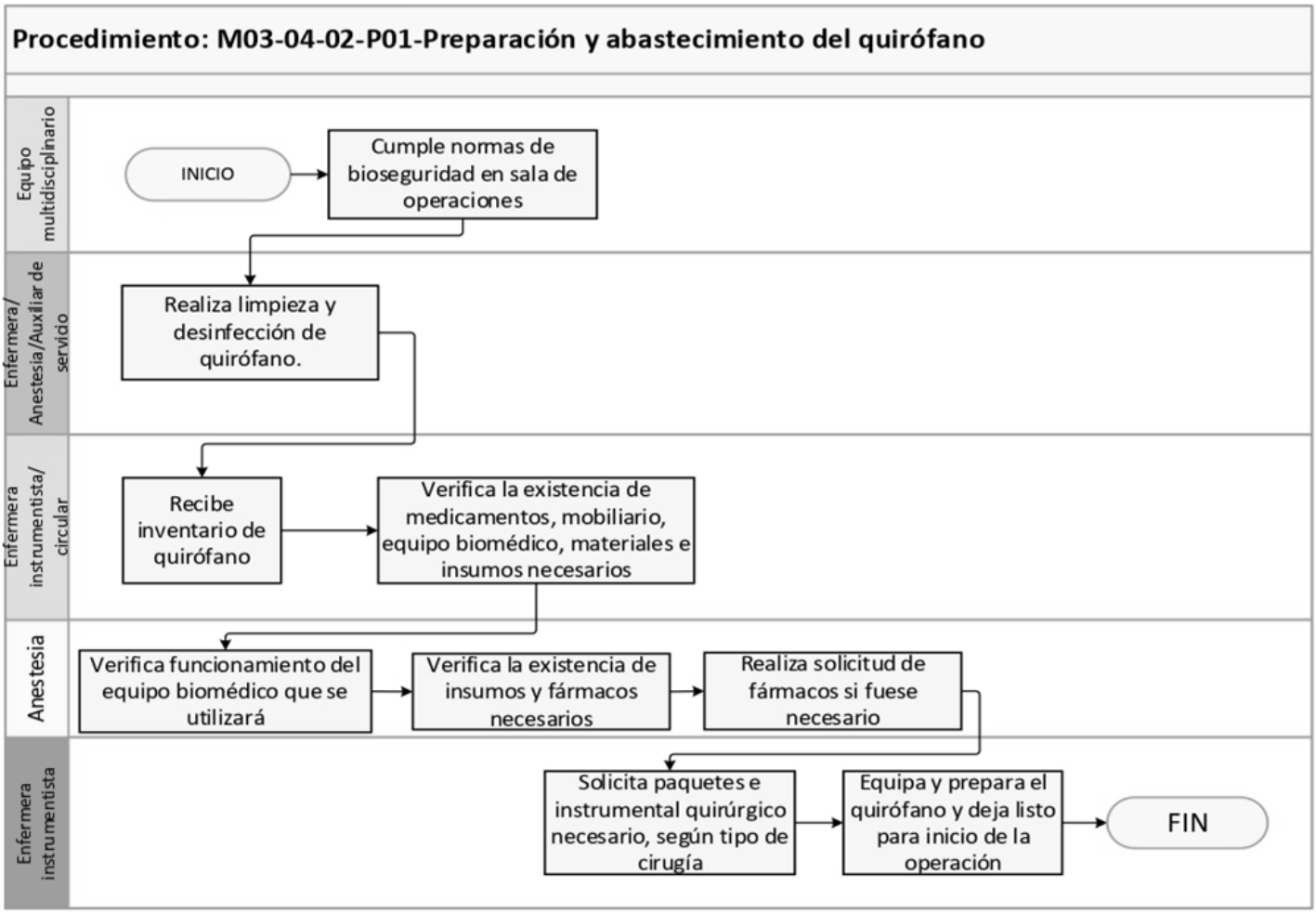
Tabla 18: Preparación y abastecimiento del quirófano.

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa por utilizar
1	Equipo multidisciplinario	Cumple normas de bioseguridad en sala de operaciones.	Cumplen el uso de vestimenta de acuerdo con lineamientos técnicos sobre bioseguridad e higiene de manos según procedimiento. En toda intervención quirúrgica el personal de sala de operaciones debe cumplir con las normas de bioseguridad establecidas.	Marco regulatorio: 7 y 8
2	Enfermera/ Anestesia/ Auxiliar de servicio	Realiza limpieza y desinfección de quirófano.	Realiza limpieza y desinfección de quirófano de acuerdo con normativa establecida. La limpieza y desinfección de quirófano entre pacientes no debe tardar más de 20 minutos para poder iniciar el siguiente procedimiento quirúrgico; en los casos que amerite una limpieza terminal este tiempo podrá extenderse hasta 40 minutos. Anestesia: realiza limpieza y desinfección de la máquina de anestesia, monitores; corroborar que los insumos médicos y equipos se encuentren estériles antes de administrar la anestesia.	Módulo quirúrgico. Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6
3	Enfermera instrumentista/ circular/Anestesia	Recibe inventario de quirófano.	Verifica la existencia de medicamentos, mobiliario, equipo biomédico, material e insumos existentes en el quirófano.	Marco regulatorio: 1 y 2
4		Verifica funcionamiento de equipo biomédico.	Verificar que el mobiliario, aparatos y equipo biomédico del quirófano esté en óptimas condiciones y funcionando correctamente: equipos de succión, electrocauterio, lámparas cielíticas, desfibrilador y equipo necesario según especialidad. En caso de que se requiera de servicios externos, verifica la disponibilidad. Verificar abastecimiento de gases médicos.	Marco regulatorio: 1,2,7 y 8

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa por utilizar
5	Enfermera instrumentista	Solicita paquetes e instrumental quirúrgico.	Solicita paquetes e instrumental necesario según tipo de cirugía a la Central de Esterilización y Equipo (CEYE). Equipa y prepara el quirófano y deja listo para inicio de la operación. Prepara insumos médicos descartables (guantes estériles, hojas de bisturí, suturas, jeringas, catéteres y otros dispositivos biomédicos por utilizar).	Marco regulatorio: 1,2,7 y 8
6	Anestesia	Verifica la existencia de insumos y fármacos necesarios.	Verifica la existencia de insumos y fármacos necesarios de acuerdo con grupo etario del paciente, tipo de cirugía y plan anestésico. Comprueba el funcionamiento adecuado del equipo que utilizará.	Marco regulatorio: 1,2,7y 8
7		Realiza solicitud de fármacos.	Realiza solicitud de fármacos si aplica.	
8	Enfermera Circular	Verifica la existencia de insumos y fármacos necesarios indicados por el médico.	Verifica la existencia de insumos y fármacos necesarios de acuerdo con indicación médica, necesarios durante la intervención. Registra todas las intervenciones realizadas durante todo el procedimiento.	Expediente clínico (Físico/electrónico).

Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

Ilustración 44: Preparación y abastecimiento del quirófano



Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

B. <u>M03-04-02-P03-Atención integral del paciente en el acto quirúrgico</u>

Objetivo

1. Realizar una atención quirúrgica al paciente bajo estándares de calidad y seguridad, con eficiencia, eficacia y efectividad.

Alcance

Inicia desde que recibe al paciente en el quirófano y finaliza hasta que se realiza la reversión del acto anestésico.

Tabla 19: Atención integral del paciente en el acto quirúrgico.

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
1	Enfermera instrumentista	Realiza la apertura de paquete quirúrgico.	Realiza lavado clínico previo. Coloca el paquete de ropa a utilizar en la mesa media luna y abre la primera cubierta, verifica que el paquete quirúrgico sea el que se utilizara. Garantiza la esterilidad de la ropa a través de la verificación de la tira control de esterilización.	Marco regulatorio: 1, 6,7,8.
		Realiza acciones de bioseguridad.	Realiza lavado quirúrgico de acuerdo con la técnica establecida. Coloca vestimenta quirúrgica según lineamiento de bioseguridad. El uso del equipo de protección personal será de acuerdo con el nivel de riesgo de exposición.	Marco regulatorio: 1, 6,7,8. Lista de chequeo vestimenta quirúrgica. (Físico/electrónico).
		Prepara instrumental e insumos.	Abre segunda cubierta del paquete y en compañía de la circular realiza la primera cuenta de instrumental a utilizar. Verifica condiciones del material e instrumentos completos y en óptimas condiciones, además de los estándares de esterilidad. Prepara los insumos e instrumental quirúrgico. Realiza conteo inicial de material quirúrgico descartable a utilizar (gasas, torundas y otros).	Marco regulatorio: 1, 6,7,8,9, 10.
2	Enfermera circular	Proporciona insumos y material necesarios.	Asiste a enfermera instrumentista con insumos necesarios para la intervención. Registra acciones o eventos en el expediente.	Expediente clínico. (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 9.
3	Cirujano/ Enfermera Circular/ Anestesia	Verifica seguridad del paciente antes de la administración	Equipo multidisciplinario se presenta previo a inducción de anestesia. Primer momento de la lista de verificación de cirugía segura	Lista de verificación de la cirugía segura. (Físico/electróni

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
		de anestesia.	verifica: • Identidad del paciente, procedimiento a realizar y sitio quirúrgico. • Se marca el lugar, si procede. • Realiza el control de seguridad anestésica. • Que el equipo esté disponible. • Disponibilidad de hemo componentes. • El estado de la vía área, vías de acceso endovenoso y fluido terapia. • El buen funcionamiento de las bombas volumétricas infusores y/o perfusoras.	co). Marco regulatorio:5, 7,8
4	Enfermera circular	Verifica condiciones de equipo.	Coloca placa de cauterio y verifica su buen funcionamiento. Verifica y realiza conexión de equipos necesarios (Succión, Unidad de video laparoscopía, etc.).	Marco regulatorio: 7,8 Expediente clínico (Físico/electrónico)
5	Anestesia	Inicia inducción anestésica.	Monitoreo de signos vitales. Monitorea al paciente con los parámetros establecidos. Administra oxigeno suplementario, cuando se aplique anestesia regional, general o sedo analgesia. Aplica técnica anestésica y procedimientos pertinentes después de haber verificado la permeabilidad de la venoclisis, el monitoreo y la administración de oxígeno. Comprueba la permeabilidad de la vía área frecuentemente.	Marco regulatorio: 5 Expediente clínico (Físico/electrónico).
6	Cirujano/ Enfermera circular/ Anestesia	Posicionan al paciente en mesa quirúrgica.	Posicionan al paciente en mesa quirúrgica según tipo de intervención a realizar, posterior a la inducción. (En ciertos casos el paciente puede volverse a posicionar) Colabora con el anestesista para la inducción anestésica.	Marco regulatorio: 7,8
7	Enfermera instrumentista	Coloca vestimenta estéril.	Enfermera asiste a cirujano y ayudante en la colocación de la vestimenta y calzado de guantes estériles. Colabora con el equipo para la vestimenta	Marco regulatorio: 7,8 Expediente clínico

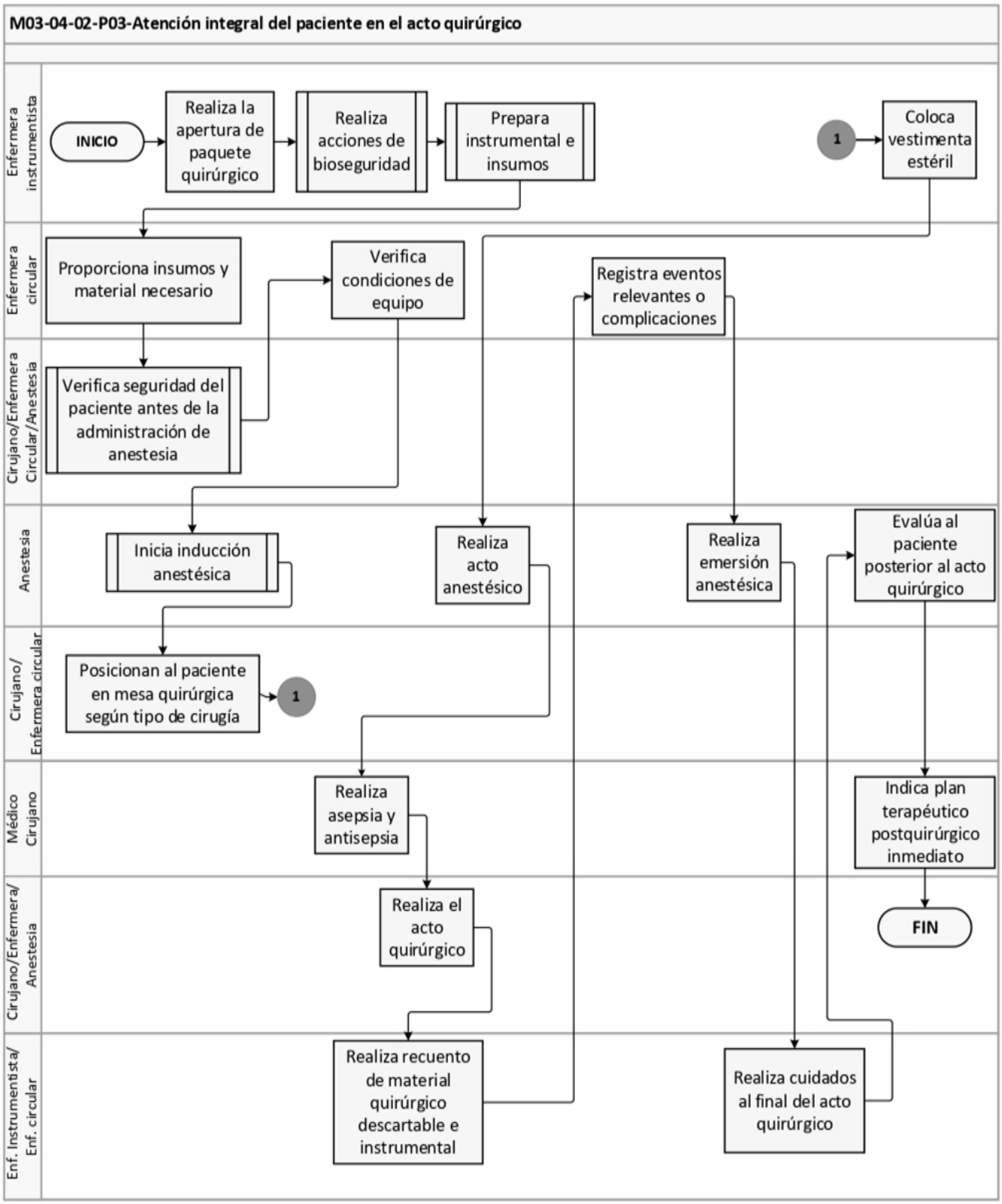
N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			estéril del paciente.	(Físico/electrónico)
8	Anestesia	Realiza acto anestésico.	Continua con el monitoreo de constantes vitales. Documenta tiempo de inicio, dosis de medicamentos administrados y líquidos empleados. Registra técnica anestésica en reporte de anestesia. Registra eventos anestésicos adversos o complicaciones.	Marco regulatorio: 5 Expediente clínico (Físico/electrónico).
9	Médico Cirujano	Realiza asepsia y antisepsia.	Delimita campo operatorio según procedimiento a realizar, para garantizar su esterilidad en el momento operatorio Coloca soluciones antisépticas en sitio operatorio.	Marco regulatorio: 7,8 Expediente clínico (Físico/electrónico).
10	Médico cirujano/ Enfermera/ Anestesia	Realiza acto quirúrgico.	Aplica segundo momento de la lista de verificación de cirugía segura: Previa incisión • Hay que confirmar que el equipo se ha identificado con sus funciones. • Confirmar la identidad, sitio y procedimiento planificado. • Establecer los pasos críticos. • Determinar el tiempo de la intervención. • Estimar la pérdida de sangre en el acto quirúrgico. • Verificar la administración de profilaxis antibiótica. • Verificar la disponibilidad de estudios de imagenología. • Corroboran que no existen problemas desde el punto de vista anestésico. Informa al equipo multidisciplinario el inicio del acto quirúrgico. Realiza procedimiento según técnica	Expediente clínico (Físico/electrónico). Lista de verificación de la cirugía segura, (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 1,2,3,4,5,6,7, 8.

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			quirúrgica establecida. Aplica el tercer momento de la lista de verificación de cirugía segura: • Confirma el nombre del procedimiento realizado. • Informa a enfermería tipo de muestra biológica tomada y • posteriormente llenará solicitud correspondiente. • Solicita a enfermería conteo de campos especiales, compresas, torundas e instrumental utilizado. • Comunica al equipo multidisciplinario Plan terapéutico post quirúrgico. De ser necesario, gestionará UCI. • Indica trombo profilaxis, si aplica.	
11	Enfermera Instrumentista/ Enfermera circular	Realiza recuento de material quirúrgico descartable e instrumental.	Realiza recuento de material quirúrgico (en voz alta, anotarlo en pizarra u otro medio) antes de cerrar la aponeurosis y antes del cierre de herida operatoria. Reporte al equipo multidisciplinario del resultado. Ante el recuento incompleto, deberá realizar el número de recuentos necesarios.	Marco regulatorio: 1,2,3,4,6,7, 8. Expediente clínico (Físico/electrónico).
12	Enfermera circular	Registra eventos relevantes o complicaciones.	Registra eventos relevantes o complicaciones durante la cirugía Identifica muestra de patología para su posterior envió, si aplica.	Marco regulatorio: 8. Expediente clínico (Físico/electrónico).
13	Anestesia	Realiza emersión anestésica.	Verifica signos vitales estables, ventilación espontánea, reflejos laríngeos y apertura ocular. Verifica que el estado del paciente cumpla con las condiciones necesarias para poder dar paso a la reversión anestésica, proceder a la extubación, manejo del dolor, mantenerlo en condiciones óptimas. Control inicial del manejo de dolor. Tener instalada y funcionando la venoclisis,	Marco regulatorio: 5, 7,8. Expediente clínico (Físico/electrónico).

N°	Responsable	Actividad	Descripción de la actividad	Registro y normativa a utilizar
			en caso de sondas y drenajes, verificar su funcionamiento adecuado. Oximetría de pulso en valores según edad y condiciones previas. Llena completamente el registro de anestesia.	
14	Enfermera Instrumentista/ Enfermera circular	Realiza cuidados al final del acto quirúrgico.	Retira todo equipo quirúrgico del campo operatorio. Retira residuos de la solución antiséptica, utilizada en el acto quirúrgico, en piel y coloca apósito en área operatoria. Colocan al paciente en carro camilla. Prepara paciente para traslado a recuperación.	Marco regulatorio: 1,2,3,4,6,7, 8. Expediente clínico (Físico/electrónico).
15	Anestesia	Evalúa al paciente posterior al acto quirúrgico.	Da visto bueno y traslada al paciente fuera de quirófano (Área de recuperación u otra área según condición del paciente).	Marco regulatorio: 5. Expediente clínico (Físico/electrónico).
16	Médico cirujano	Indica plan terapéutico postquirúrgico inmediato.	Registra plan terapéutico. Realiza reporte operatorio. Llena las boletas de exámenes de laboratorio, de gabinete y ordenes de remisión de muestras anatomopatológicas. Aplica medidas de bioseguridad.	Expediente clínico (Físico/electrónico). Marco regulatorio: 7,8,11 Formato hoja de reporte operatorio (Físico/electrónico).

Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

Ilustración 45: Atención integral del paciente en el acto quirúrgico.



Fuente: Manual de procedimientos Ministerio de Salud 2022

8.4.13. Diseño De Un Modelo De Fabricación Digital

Para interpretar un poco el enfoque del estudio a realizar, se debe de establecer un punto de partida en términos conceptuales, por lo que a continuación se planteas definiciones claves en referencia al tema a desarrolla.

Diseño: Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie. Diseño gráfico, de modas, industrial (Según La Real Academia Española). La palabra diseño es un préstamo del italiano disegnare, que proviene del término latino designare, formado del prefijo de y del sufijo signum (signo, señal o símbolo).

También se puede comprender como diseño a el arte de proyectar el aspecto, la función y la producción de un objeto funcional por medio de signos gráficos, sea que se trate de un objeto bidimensional (carteles, logos, animaciones, portadas, etc.) o tridimensional (edificios, maquinarias, muebles, entre otros).

Modelo: se considera un Arquetipo o punto de referencia para imitarlo o reproducirlo. En las obras de ingenio y en las acciones morales, ejemplar que por su perfección se debe seguir e imitar (Según La Real Academia Española).

Dentro de la definición de modelo, se puede considerar la referencia de un ejemplar o forma que el individuo se propone y sigue en la ejecución de una obra artística o en otra cosa. El término modelo es de origen italiano y este posee diferentes significados todo depende del contexto en donde se encuentre.

Fabricación Digital: Según la página web formas, en su publicación “introducción a la fabricación digital” se define el termino como “La fabricación digital es un proceso de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador). El producto

del software 29 CAM son datos que dirigen una herramienta específica fabricación aditiva y sustractiva, como una impresora 3D o una fresadora CNC". En la definición se destacan dos elementos de importancia enorme, el primero, es el termino CAD el cual es el diseño asistido por computadora y el segundo es la fabricación asistida por ordenador (CAM), además, existe un término el cual está en el medio de ambos, que, en orden cronológico, es el segundo paso, el cual es la ingeniería asistida por computadora (CAE) el cual referencia a un análisis de ingeniería asistido por computadora.

Teniendo de referencia los términos antes definidos, se plante en concepto general estructurado para la interpretación del tema a abordar:

Diseño del modelo de aplicación de la fabricación digital: se interpreta como la conceptualización original que servirá como punto de referencia, en la aplicación de procesos de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Se debe de tomar en cuenta que estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador); los cuales forman parte de la tecnología de la fabricación digital.

Ahora bien, el desarrollo del estudio abordado se ve enfocado en un área especificada de la medicina; la cual se denomina ¨Cardiología¨, esta es la especialidad de la medicina que estudia el funcionamiento del aparato cardiovascular, es decir, el corazón y los vasos sanguíneos. Debido a esto, se puede mencionar lo siguiente:

¨El diseño del modelo para la aplicación de la fabricación Digital en el marco de la pre-operación en pacientes de Cardiología, se considera como la conceptualización original para la creación de un prospecto, que servirá como punto de referencia para aplicación de procesos de diseños y fabricación basado en los principios de la fabricación digital; teniendo como principal

objetivo contribuir a el análisis de pacientes en procesos de pre-operación para el área de cardiología, siendo este un método innovador para los procesos actualmente empleados¨

9. Diagnóstico

9.1. Objetivo General

Conocer la situación actual en los procedimientos de diagnóstico y planificación, en el área de cardiología de los hospitales de El Salvador, lo cual permitirá identificar la problemática en dicha área y elaborar su correspondiente conceptualización de diseño de solución.

9.2. Objetivos Especifico

- Seleccionar el tipo de investigación que conduzca a conocer la situación actual la estructuración del plan de intervención en cirugías electivas del área de cardiología en los hospitales de El Salvador.
- Establecer la hipótesis que permita definir las variables de investigación, para describir la situación actual en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas en el área de cardiología en los hospitales de El Salvador.
- Identificar áreas y población de estudio para obtener información primaria, que permita conocer las oportunidades de aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en las cirugías electivas del área de cardiología de los hospitales de El Salvador, así como otras posibles aplicaciones que apoyen a los profesionales de la salud.
- Establecer la problemática presente en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en cirugías electivas, que tengan relación con la aplicación de la fabricación digital, en el área de cardiología de los hospitales de El Salvador.

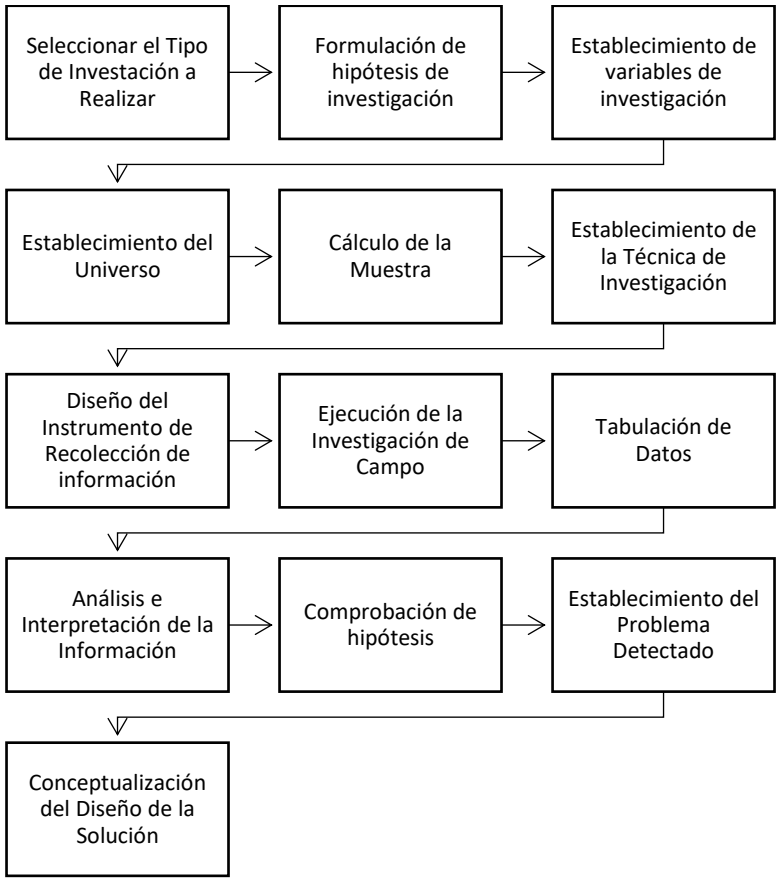
- Establecer la conceptualización del diseño de la solución para la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención en cirugías electivas del área de cardiología en los hospitales de El Salvador.

9.3. Metodología general de la etapa de diagnostico

La metodología de la etapa de diagnósticos, definir una serie de pasos a ejecutar para extraer la información primaria o de campo, así como la necesidad de definir el tipo de investigación a ejecutar en el desarrollo del diagnóstico.

9.3.1. Esquema de la metodología

Ilustración 46: Metodología de diagnóstico.



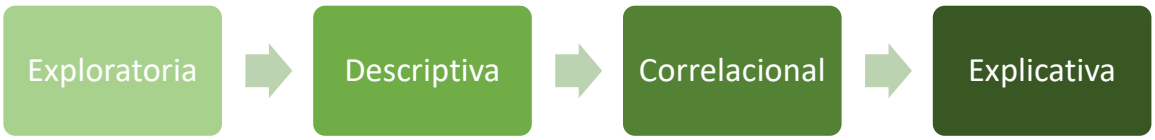
Fuente: Elaboración propia.

9.3.2. Definición Del Tipo De Investigación

Definición De Los Principales Tipos De Investigación

El tipo de investigación debe estar relacionado al objetivo general y a los alcances que se pretenden obtener por medio del desarrollo de misma. Los tipos de investigación, más que ser una clasificación, son pasos consecutivos o niveles de información que se pretenden alcanzar, ósea, que parte de un nivel previo de conocimiento. Así, los principales niveles de investigación en orden ascendentes son la exploratoria, descriptiva, correlaciona y explicativa.

Ilustración 47: Secuencia de los tipos de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se definen los cuatro principales tipos de investigación, así como sus características y valor.

Tabla 20: Tipos de investigaciones y sus características.

	Definición	Característica	Valor	Hipótesis relacionada
Exploratoria	Se realiza cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o novedoso, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes.	– Investiga problemas poco estudiados. – Indaga desde una perspectiva innovadora – Ayudan a identificar conceptos promisorios – Preparan el terreno para nuevos estudios	Ayuda a familiarizarse con fenómenos desconocidos, obtener información para realizar una investigación más completa en un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados.	No se formulan hipótesis
Descriptiva	Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. Pretende medir de manera independiente una variable y predecir tendencias.	– Consideran al fenómeno estudiado y sus componentes – Mide conceptos – Definen variables	Es útil para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación.	Se formula hipótesis cuando se pronostica un hecho o dato Por ejemplo, “durante este año, los presupuestos de publicidad se incrementarán entre 50 y 70%”

	Definición	Característica	Valor	Hipótesis relacionada
Correlacional	Busca conocer la relación o grado de asociación existente entre dos o más variables, y establece un patrón predecible para un grupo o población.	– Asocian conceptos o variables – Permiten predicciones – Cuantifican relaciones entre dos variables	En cierta medida tiene un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan porta cierta información explicativa.	Se formulan hipótesis correlacionales. Establece que dos o más variables se encuentran vinculadas, y cómo están asociadas. Alcanzan el nivel predictivo y parcialmente explicativo. Por ejemplo, “A mayor autoestima, habrá menor temor al éxito”
Explicativa	Pretende establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. Se enfoca en explicar porque ocurre un fenómeno, en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables.	– Determinan la causa de los fenómenos – Generan un sentido de entendimiento – Son sumamente estructurados	Se encuentra más estructurado que los demás tipos (de hecho, implica los propósitos de éstos); además de que proporciona un sentido de entendimiento del fenómeno a que hace referencia.	Se formulan hipótesis causales. Afirma la relación entre dos o más variables, la manera en que se manifiestan, y además propone un “sentido de entendimiento” de las relaciones. Establecen relaciones de causa-efecto. Por ejemplo, “La desintegración del matrimonio provoca baja autoestima en los hijos e hijas”.

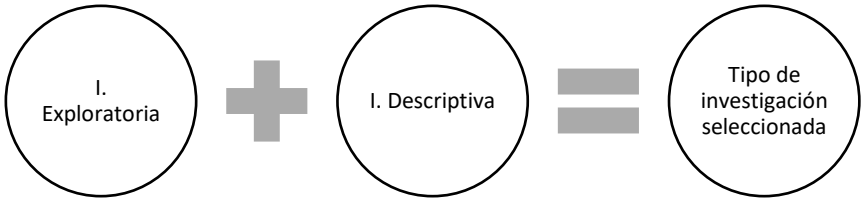
Fuente: Elaboración propia.

Selección Del Tipo De Investigación

Con base las definiciones anteriores, y teniendo en cuenta el objetivo general del estudio, así como de la información secundaria encontrada preliminarmente, se establece las siguientes conclusiones y selección del tipo de investigación.

- Se selecciona el tipo de investigación exploratoria, pues, aunque el tema ha sido estudiado a nivel internacional y aporta premisas al respecto, en El Salvador es un tema novedoso y poco estudiado, debido a que existen pocos estudios sobre la aplicación de fabricación digital, específicamente, en el área de las cirugías cardiovasculares en los hospitales del país.
- También se adopta la investigación de tipo descriptiva, pues el objetivo es identificar y medir variables de interés para conocer la situación actual en los hospitales de El Salvador que realizan operaciones cardiovasculares, y conocer la forma de adaptar y aplicar la fabricación digital en el marco de la pre-operación en el área de cardiología.
- Por lo tanto, se establece una investigación hibrida. El enfoque de investigación exploratoria es ideal para temas poco estudiados en contextos específicos, identificar conceptos y vertientes importantes, permitiendo establecer premisas importantes. El enfoque descriptivo se ha seleccionado, debido a que se busca establecer las características de los grupo y variables de estudio, medirlas y generar tendencias o predicciones sobre sus efectos. La investigación hibrida adoptada tiene un enfoque hacia la exploración y la forma tendente en que podría aplicarse la fabricación digital en las cirugías cardiovasculares en los hospitales de El Salvador en un contexto preoperatorio.

Ilustración 48: Tipo de investigación seleccionada.



Fuente: Elaboración propia.

9.4. Determinación Del Universo Y La Muestra

Para el establecimiento de la muestra, se segmentarán dos grupos de universo, el primero engloba a los doctores cirujanos y otros especialistas que integran el equipo de apoyo durante el proceso de intervención quirúrgica de los hospitales de El Salvador, debido a que serán los principales beneficiarios al apoyarse del modelo, al establecer un diagnóstico preliminar para el abordamiento quirúrgico; y el segundo en marca a los usuarios de los servicios quirúrgicos, estableciendo que estos se beneficiaran con el conocimiento más clara de su intervención, un abordamiento quirúrgico menos invasivo y una recuperación con menos complicación.

Ilustración 49: Muestra n Unidades a observar



Fuente: Licencia Creative Commons

9.4.1. Universo Del Estudio

El universo se refiere a los elementos que presentan una o varias características de interés. Para la ejecución de este estudio, se establece como universo al **Sector Salud de El Salvador,** esto debido a que involucra a los sujetos de estudios, los cuales van desde las instituciones que brindan el servicio médico – quirúrgico del área de cardiología, hasta los pacientes que son atendidos en dichas áreas.

Debido a lo antes mencionado, es necesario estratificar los elementos de muestras en dos grupos, los cuales son:

- Profesionales de instituciones hospitalarias con servicios de cardiología
- Pacientes del área de cardiología

9.4.2. Definición De la Muestra De La Red Hospitalaria De El Salvador

Para definir la muestra que involucra el sistema hospitalario del país, se emplearan diferentes procesos que permitirá la mejor forma de establecer los elementos de interés del sistema.

1. **Identificación De Las Instituciones De La Red Hospitalaria**

Para el desarrollo del estudio, el universo de la investigación está conformado por la red hospitalaria del país, la cual cuenta con 54 hospitales (35 de carácter público y 19 privados), por lo tanto, se define como universo finito.

Hospitales nacionales

1. DRSC - Dirección Regional de Salud Central
2. DRSM - Dirección Regional de Salud Metropolitana
3. DRSOC - Dirección Regional de Salud Occidental
4. DRSOR - Dirección Regional de Salud Oriental
5. DRSP - Dirección Regional de Salud Paracentral
6. HNAM - Hospital Nacional "Arturo Morales", Metapán
7. HNCH - Hospital Nacional de Chalchuapa
8. HNI - Hospital Nacional de Ilobasco
9. HNJ - Hospital Nacional de Jiquilisco
10. HNM - Hospital Nacional de La Mujer "Dra. María Isabel Rodríguez".

11. HNNG - Hospital Nacional de Nueva Guadalupe
12. HNSM - Hospital Nacional "Dr. Jorge Arturo Mena" Santiago de María
13. HNZ - Hospital Nacional "Dr. Juan José Fernández", Zacamil
14. HNNBB - Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom"
15. HNR - Hospital Nacional Especializado "Rosales"
16. HNA - Hospital Nacional Francisco Menéndez de Ahuachapán
17. HNLU - Hospital Nacional General de la Unión
18. HNNS - Hospital Nacional General de Neumología y Medicina Familiar "Dr. José Antonio Saldaña"
19. HNNC - Hospital Nacional General de Nueva Concepción
20. HNSRL - Hospital Nacional General de Santa Rosa de Lima
21. HNS - Hospital Nacional General de Suchitoto, Cuscatlán
22. HNSFG - Hospital Nacional General "Dr. Héctor Antonio Hernández Flores", San Francisco Gotera
23. HNJMVS - Hospital Nacional General "Dr. Jorge Mazzini Villacorta", Sonsonate
24. HNCHLTNG - Hospital Nacional General "Dr. Luis Edmundo Vásquez", Chalatenango
25. HNSB - Hospital Nacional General "Enfermera Angélica Vidal de Najarro", San Bartolo
26. HNSP - Hospital Nacional General "San Pedro", Usulután
27. HNSR - Hospital Nacional General "San Rafael", La Libertad
28. HNSGSV - Hospital Nacional General "Santa Gertrudis", San Vicente
29. HNST - Hospital Nacional General "Santa Teresa", Zacatecoluca
30. HNCB - Hospital Nacional "Monseñor Óscar Arnulfo Romero" Ciudad Barrios.
31. HNNSFC - Hospital Nacional "Nuestra Señora de Fátima" de Cojutepeque.
32. HNPM - Hospital Nacional Psiquiátrico "Dr. José Molina Martínez"

33. HNSJDSA - Hospital Nacional Regional "San Juan de Dios", Santa Ana
34. HNSJS - Hospital Nacional San Jerónimo Emiliani Sensuntepeque
35. HNSJDSM - Hospital Nacional San Juan De Dios de San Miguel

Hospitales privados

1. Hospital Profamilia
2. Hospital Merliot
3. Hospital diagnóstico
4. Hospital Bautista
5. Hospital de la Mujer
6. Hospital “Torre Medica 224”
7. Hospital Centro de Emergencias
8. Hospital “Centro Terapéutico”
9. Hospital “Guadalupano”
10. Hospital de especialidades “Nuestra Sra. De la Paz”
11. Hospital Metropol
12. Policlínica Casa De La Salud
13. Policlínica Limeña
14. Hospital San Francisco
15. Hospital Paravida
16. Hospital Centro Pediátrico
17. Hospital Centro Ginecológico
18. Centro Médico de Santa Ana
19. Hospital CADER

2. <u>Establecimiento de la muestra de la red hospitalaria</u>

Para delimitar la muestra a tomar en cuenta en el estudio, se ha definido que se considerarán los hospitales que poseen la capacidad tecnológica o económica de incorporar la fabricación digital como medio de apoyo para el análisis en su operatividad durante el estudio preoperatorio de los casos de los pacientes con patologías congénitas o de alta complejidad en el área de cardiología. Debido a las especificaciones anteriores, se selecciona la población de interés, abarcando solamente los hospitales que tienen un área de cirugía cardiológica entre sus servicios. Los cuales son:

1. Hospital Bloom
2. Hospital Rosales
3. ISSS Médico Quirúrgico
4. Hospital Militar
5. Hospital San Francisco (San Miguel - Privado)
6. Hospital de Diagnóstico Colonia Médica (Privado)
7. Hospital Centro Médico Escalón (Privado)

Además, de los hospitales identificados, se plantea entrevistar a personas de las siguientes profesiones, las cuales forman parte de los equipos de cirugías del área de cardiología:

3. Cirujano cardiovascular
4. Médico general
5. Cardiólogo pediatra
6. Radiólogo
7. Laboratorio clínico
8. Anestesiólogo

Se destaca que los profesionales de la salud tienen su tiempo comprometido con el fin de salvar vidas humanas, por lo que su tiempo es realmente ajustado. Debido a este factor, se toma

a bien tener dos modalidades de aplicación de la recolección de datos para este grupo. Lo cual se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 21: Modalidad de aplicación de instrumento a sujetos muestrales institucionales.

Modalidad de aplicación	
Encuesta	**Cuestionario**
Esta opción se brinda como primera propuesta a los profesionales de interés, puesto que es la forma de sacar mayor provecho a sus conocimientos, experiencias y datos relevantes; además, de que permite generar ítems en tiempo real que surgen a raíz de las respuestas de los entrevistados. Es una modalidad dinámica. Esta podrá realizarse de manera presencial o en línea, según sea la disponibilidad del entrevistado. La ventaja que posee es la posibilidad de aclarar las dudas de los entrevistados durante el desarrollo de la investigación, por lo que se obtienen las opiniones reales.	Para los profesionales que manifiesten no tener la disponibilidad de organizar una reunión en tiempo real para realizar la entrevista, se facilita la opción del cuestionario. Este consta de una serie de ítems relacionados a los que se tendrán en la entrevista. Con la diferencia que algunas preguntas son cerradas y otras abiertas. La limitante será si en algún momento el sujeto de estudio tiene alguna duda, pero por ese detalle se validan las preguntas antes de compartirlas con la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se establece la aplicación del siguiente tipo de muestreo:

9. **<u>Muestreo no probabilístico por conveniencia y no aleatorio</u>**

Se utiliza este tipo de muestreo cuando por las condiciones del estudio es más factible tomar un sujeto tipo, que por su proximidad brinda mayor facilidad de acceso a la información de interés. Es importante mencionar que este tipo de muestreo no garantiza una alta representatividad de la población; sin embargo, permite tener un acercamiento que capta hábitos, opiniones, puntos de vista que apuntan a tendencias que pueden generalizarse. (Ortega, s.f.)

Entre las ventajas de este tipo de muestreo se encuentran:

- Rapidez de muestreo
- Económico
- Sencillo
- Directo debido a la accesibilidad al sujeto de estudio

Por lo tanto, se espera entrevistar al menos a un profesional de cada una de las especialidades detalladas, tomando en cuenta la disponibilidad de tiempo de las personas y el acceso que los hospitales mencionados permitan, esperando realizar 10 entrevistas, tal como se muestra en la siguiente distribución.

Tabla 22: Matriz de distribución de sujetos muestrales por hospital y especialidad.

Hospitales	Cirujano en cardiología	Cardiólogo	Radiólogo	Anestesiólogo	Laboratorio clínico	Médico general
H. Bloom	1		1			
H. Rosales	1			1		
H. Médico Quirúrgico	1					
H. Militar						1
H. San Francisco		1				
H. Diagnóstico			1			
H. Centro Médico Escalón				1		1

Fuente: Elaboración propia.

9.4.3. Determinación De La Muestra Poblacional

Tomando de referencia los derechos que tienen los pacientes de saber cómo desarrollara la asistencia médica, se considera ejecutar un estudio a los pacientes que se prevé harán uso de los modelos en 3D, debido a que los doctores deben comunicar en qué consisten los hallazgos y cómo deben proceder en su caso particular.

1. **<u>Total, de usuarios potenciales.</u>**

Se considera como a usuarios potenciales a toda la población salvadoreña, la cual para el año 2021 era aproximadamente de 6, 314 millones de habitantes, según datos del Banco Mundial.

- Población de pacientes del área de cardiología

Población salvadoreña que son pacientes de la especialidad de cardiología. En el siguiente cuadro se presenta el total de pacientes que el MINSAL tiene registrados:

Tabla 23 Población de pacientes del área de cardiología.

SEXO	F	M	TOTAL
TOTAL	21, 936	11, 586	33, 522

Fuente: Elaboración propia.

2. <u>Muestra población de pacientes</u>

Tomando en cuenta que la población es infinita, se realiza el cálculo de la muestra:

Tabla 24 Cálculo de muestra de pacientes.

Detalles de la formula	Cálculo de la muestra
n = Tamaño de muestra buscado N = Tamaño de la población Z = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza *"e"* = Error de estimación máximo aceptado p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado q = Probabilidad de que no ocurra el evento esperado	**<u>Datos:</u>** N = 6 535 526 habitantes Z = 95% "e" = 5% p = 50% q = 50% **<u>Aplicación de la fórmula para muestra infinita</u>**: $n = \frac{Z^2 x\ p\ x\ q}{e^2}$ $n = \frac{0.95^2 x\ 0.5\ x\ 0.5}{0.05^2}$ **n= 91 habitantes**

Fuente: Elaboración propia.

3. Justificación de p y q

El presente estudio se centra en el área de cardiología de los centros de salud de El Salvador, tomando en cuenta que es un área muy específica, el encontrar a la población ideal como lo son los pacientes cardiológicos puede ser muy complejo. Asimismo, se ha considerado, a bien, acoger la posibilidad de que todos tienen un riesgo de convertirse en un paciente de cardiología y necesitar de los modelos 3D en algún momento de la vida, por lo que la población objetivo real sería la población salvadoreña en su totalidad.

Al no contar con datos precisos sobre la población, sus características y comportamientos con respecto al objeto de estudio, se tomará p = q = 0.5. Respaldando esta decisión en que, al desconocer la proporción esperada, se debe apoyar en la decisión conservadora (Torres, Mariela, s.f.).

Otro argumento válido, para tomar esta decisión, es que, adoptando esta medida, se obtiene una mayor amplitud del intervalo, una máxima varianza de la población, lo que como consecuencia lleva a adquirir una muestra de mayor tamaño que permita cubrir las necesidades de fiabilidad. Como ejemplo de ello, son las encuestas de opinión, estas siempre incluirán un p y q iguales a 0.5 para solventar su requerimiento. (Universidad de Valencia, s.f.)

9.4.4. Caso de estudio: Hospital de niños Benjamín Bloom

Este hospital en particular ya tiene experiencias previas aplicando la fabricación digital como un medio de apoyo en el análisis preoperatorio de la patología de los pacientes. Estos casos fueron posibles gracias al apoyo del FIA LAB de la Universidad de El Salvador. Por lo que convierte a este hospital en un excelente candidato para indagar sobre la situación previa y posterior a la aplicación de este tipo de tecnologías en la rama de la medicina.

9.5. Definición de la hipótesis de trabajo

Basado en la investigación de información de carácter secundario, se presenta continuación, la pregunta de investigación general, enfocada a conocer los impactos positivos del aprovechamiento de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en cirugías electivas del área de cardiologías:

¿La aplicación de la fabricación tiene algún tipo de aprovechamiento en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en las cirugías electivas del área de cardiología en los hospitales de El Salvador?

Tomando en cuenta el objetivo general del tema de investigación el cual dice: *"Desarrollar el diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital, como un apoyo innovador en la estructuración del plan de intervención que los doctores ejecutan actualmente, al atender a pacientes del área de cardiología en cirugías electicas de los hospitales de El Salvador".*

Partiendo de la pregunta de investigación se diseña la siguiente hipótesis de trabajo que guía el desarrollo de la investigación:

Hipótesis de trabajo
"La calidad en la definición en las anatomías complejas de los pacientes, la comunicación inefectiva entre el equipo médico quirúrgico y el limitado conocimientos para profesionales en el área de cardiología, necesita innovar por medio del aprovechamiento de la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgico para cirugías electivas"

En el contexto de que las anatomías complejas y únicas de los pacientes de cardiología, presentan en la actualidad incertidumbre por la calidad de la imagen, dificultad de comunicación del caso entre el equipo de doctores y a su vez no permite obtener conocimientos más amplios para los profesionales actuales como futuros en el manejo de este tipo de pacientes, tal como se expresa en la hipótesis de trabajo; se plantea el establecimiento de las siguientes variables:

Tabla 25: Declaración de variables.

Variable	Tipo de variable	Justificación del tipo variable
Calidad de las imágenes de las anatomías únicas y complejas	Independiente	Esta variable busca investigar sobre la calidad de las imágenes generadas a través de las tecnologías actuales a pacientes con anatomías complejas y únicas, estableciendo una relación directa con la aplicación de la fabricación digital, debido a que esta se enfoca a emplear tecnologías innovadoras en procesos de interpretación de las anatomías para pacientes en el área de cardiología.
Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital	Independiente	El conocimiento de los médicos del área de cardiología, sobre la funcionalidad de la fabricación digital en el empleo de la interpretación de casos con anatomías complejas, impulsa a innovar los métodos a través del empleo de nuevas tecnologías por lo cual esta tiene una relación directa con la aplicación de la fabricación digital en el área.
Nivel de comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico para la estructuración del plan de intervención quirúrgico.	Independiente	Se refiere a la efectividad de la comunicación entre el cirujano líder y su equipo de cirugía del área cardiología, la cual requiere de tecnología innovadora que apoye y garantice la transmisión de las ideas de formar clara y universal para todos los receptores, por lo tanto, está variable impulsa el aprovechamiento de nuevas tecnologías.

Fuente: Elaboración propia.

9.6. Matriz De Operacionalización De Variables

Con el fin de encontrar la congruencia y relación entre todos los elementos que conforman la investigación, se presenta la siguiente matriz de operacionalización de variables, que permita enlazar y crear una guía de lo que se quiere indagar para formular el modelo para la aplicación de la fabricación digital de manera adecuada. A continuación, se presenta la matriz de congruencia divida en los diferentes sujetos que conforman el universo de la investigación.

Tabla 26*: Matriz de operacionalización de variables a equipo*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala de indicador
Calidad de las imágenes de las anatomías únicas y complejas	La calidad de imagen es la exactitud de la representación de la anatomía de un paciente en una imagen.	Calidad de visualización de las imágenes de anotomías únicas y complejas que son las utilizadas para el diagnóstico y planeación de la intervención quirúrgica.	Tipo de tecnología	¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar anatomías? ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?	4. Muy mala 5. Mala 6. Un poco buena 7. Buena 8. Muy buena
			Tiempo de generación de imagen	¿Cuáles son los pasos que emplea para obtener las imágenes? ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes? ¿Cuál es la principal dificultad en la creación de esas imágenes?	Frecuencia de respuestas
			Nivel de compresión de patologías complejas a partir de las imágenes	¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes? ¿Considera que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente? ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?	1. Muy mala 2. Mala 3. Un poco buena 4. Buena 5. Muy buena

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala de indicador
				¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?	
Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital	La fabricación digital, también conocida como fabricación aditiva o fabricación 3D, es un proceso de producción que utiliza tecnologías de impresión en tres dimensiones, para construir objetos capa por capa.	Nivel de conocimiento que los integrantes del equipo quirúrgico del área de cardiología tienen sobre la fabricación digital y su aplicación.	Conocimiento de la impresión 3D.	¿Conoce usted la aplicación de los modelos en 3D en la medicina? ¿Alguna vez ha empleado un modelo en 3D?	1. Muy escaso 2. Escaso 3. Poco 4. Suficiente 5. Excelente
			Demanda en la adquisición de nuevos conocimientos.	¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?	Frecuencia de respuestas Si / No
			Capacidad de aplicación de la impresión 3D.	¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?	1. Nada factible 2. Poco factible 3. Factible 4. Muy factible
Nivel comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico para la	La comunicación efectiva consiste en trasmitir un	Nivel de la comunicación efectiva entre el cirujano líder al equipo de cirugía	Tipo de medio visual utilizado	¿Cuál es la guía que utiliza para orientar, la visualización del caso en el proceso quirúrgico?	Frecuencia de respuestas

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala de indicador
estructuración del plan de intervención quirúrgico.	mensaje de forma que el emisor y el receptor interpretan el mismo significado evitando dudas y confusiones, disminuye errores, impulsa la productividad y mejora la seguridad del paciente.	del área de cardiología para explicar el plan de intervención quirúrgica.	Calidad de la explicación del plan de intervención quirúrgica	Según su experiencia/conocimiento, ¿Cuál es la dinámica que utiliza un cirujano para explicar el proceso de cirugía a los miembros del equipo?	1. Muy mala 2. Mala 3. Buena 4. Muy buena 5. Excelente
Aplicación de la fabricación digital	La fabricación digital y la impresión 3D en los hospitales ayuda a médicos e investigadores en la planificación de una intervención quirúrgica, personalización de prótesis,	Factibilidad de la fabricación digital y la impresión 3D en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para el aprovechamiento de los beneficios que conlleva.	Tiempo de cirugía	¿Qué tipo de profesional del área de medicina podría hacerse cargo del área de impresión en 3D? ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D a la planeación preoperatoria? ¿Cuánto tiempo demora una cirugía mayor cardiovascular? ¿Considera usted que al aplicar un modelo de impresión en 3D, el tiempo de duración de la cirugía se puede reducir?	Frecuencia de respuestas

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala de indicador
	entre otras tantas aplicaciones, mejorando la calidad de vida de los pacientes, o incluso salvando sus vidas.		Nivel de traumatismo físico	¿Estima que la cirugía puede ser menos invasiva, si se aplicara como guía un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?	Totalmente en desacuerdo En desacuerdo En acuerdo Totalmente de acuerdo
			Tiempo de recuperación de pacientes	¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular? ¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva?	Frecuencia de respuestas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Matriz de operacionalización de variables para los potenciales usuarios de procesos quirúrgicos planeados con ayuda de la fabricación digital.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala
Nivel de comunicación efectiva entre el médico y el paciente para la	La comunicación efectiva con los pacientes favorece la trasmisión del diagnóstico y	Nivel de comunicación efectiva entre pacientes y cirujano	Pacientes que recibieron una explicación	¿El doctor le explicó el proceso para abordar su padecimiento? ¿Qué medio utilizó el médico para explicar su padecimiento?	Frecuencia de respuestas Si / No

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Preguntas	Escala
estructuración del plan de intervención quirúrgico.	solución quirúrgica, evitando conflictos, quejas, demandas y mala praxis.	cardiólogo para la transparencia del diagnóstico y explicación del plan de intervención quirúrgica.	Pacientes que comprendieron la explicación	¿Usted entendió la explicación del médico? ¿Piensa que necesita una ampliación a la explicación brindada por el médico?	Frecuencia de respuestas Si / No
Aplicación de la fabricación digital	La impresión 3D en los hospitales ayuda a médicos e investigadores en la planificación de una intervención quirúrgica, personalización de prótesis, entre otras tantas aplicaciones, mejorando la calidad de vida de los pacientes, o incluso salvando sus vidas.	Nivel de aceptación de paciente ante la aplicación de la fabricación digital en los hospitales de El Salvador.	Nivel de aceptación de la aplicación de la fabricación 3D en la medicina	¿Conoce usted de la aplicación de tecnologías en 3D para la medicina? ¿Desde su punto de vista y según lo detallado en la interrogante anterior, como valora el aplicar esta tecnología a el análisis prequirúrgico? ¿De ser un paciente sometido a proceso quirúrgico, le gustaría tener una ampliación en su diagnóstico, utilizado nuevas tecnologías para la ejecución de su análisis clínico?	1. Muy malo 2. Malo 3. Bueno 4. Muy bueno 5. Excelente
			Pacientes dispuestos a pagar	¿De aplicarse estas nuevas tecnologías a su caso en particular, estaría dispuesto a cancelar un costo adicional? ¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar si el servicio tuviera un costo adicional??	Frecuencia de respuestas Si / No

Fuente: Elaboración propia

9.7. Técnicas Por Emplear En La Investigación De Campo

Para implementar la investigación de campo del estudio en desarrollo, se plantea la utilización de técnicas que beneficien de manera directa a la información requerida, para el establecimiento de los datos de punto de partida para definir la problemática y el punto de partida base del estudio; es por ello por lo que para esto se plantea el uso de las siguientes herramientas.

9.7.1. La encuesta.

Es un método de investigación utilizados para recopilar información mediante muestras de selección. En las encuestas, el tamaño de la muestra es una representación de una población más grande, existen muchos tipos de encuestas que se pueden emplear y el diseño de esta dependerá de las necesidades que requiera el equipo investigador. Para el estudio se emplea lo siguiente:

Tabla 28: Descripción de la encuesta a emplear.

Sujeto de estudio en la técnica: pacientes del área de cardiología	
Tipo de encuestas según.	**Descripción**
Objetivo de la investigación	Encuesta descriptiva: Su objetivo es obtener información sobre una situación presente. Es decir, buscan obtener datos relevantes sobre las actitudes o problemas de la población en el momento en el que se realiza la encuesta
Forma de la investigación	Encuesta cuantitativa: son las que se basan en números y datos. Son utilizadas con un enfoque más científico como medio de refutar los resultados de una encuesta cualitativa. Los resultados son más fáciles de analizar, ya que se estudian los datos estadísticos y permite sacar conclusiones.
Medio de captura	Personal: Las tradicionales encuestas cara a cara. Son habituales en zonas donde no hay conexión telefónica o de Internet, como zonas rurales remotas. También se utilizan cuando se necesita de un registro físico tanto para su

Sujeto de estudio en la técnica: pacientes del área de cardiología	
	cumplimiento como para su estudio. En este caso el encuestador toma nota de las respuestas.
Las preguntas	Encuesta de pregunta cerrada: En este tipo de encuesta el encuestado debe escoger entre una de las opciones de respuesta que se le ofrecen. Se obtienen resultados más sencillos de cuantificar y más uniformes. Su mayor problema es no ofrecer todas las respuestas necesarias, algo que se puede evitar añadiendo la opción “otros”

Fuente: Elaboración propia.

9.7.2. La entrevista.

Una entrevista es una conversación entre dos personas con un fin determinado. Además, las entrevistas son una técnica de recolección de datos muy útil en la investigación cualitativa, ya que, a diferencia de las encuestas, te permiten profundizar en temas de interés, pero suelen llevar más tiempo y costos.

El propósito de las entrevistas es recolectar la información de interés que posee la persona entrevistada. Para ello, se puede seguir un conjunto de preguntas que puede ser más o menos flexible, según el objetivo de la entrevista. Para esta técnica se emplea lo siguiente:

Tabla 29: Descripción de las entrevistas a emplear.

Sujeto de estudio en la técnica: Cuerpo médico del área de cirugía cardiaca	
Tipo de entrevista	**Descripción**
Entrevista semiestructurada	Las entrevistas semiestructuradas tienen un mayor grado de flexibilidad que las estructuradas, ya que, si bien hay un guion temático que seguir, quien realiza la entrevista puede ahondar de forma espontánea en los temas de interés que vayan surgiendo durante el transcurso de esta. Esto no es posible con las entrevistas estructuradas. En este tipo de entrevista es común que el entrevistador tenga un guion de preguntas formuladas con anterioridad,

Sujeto de estudio en la técnica: Cuerpo médico del área de cirugía cardiaca	
	pero estas abren la posibilidad de hacer preguntas de seguimiento o le permiten a la persona entrevistada pedir aclaraciones o, incluso, hacer preguntas a los entrevistadores.

Fuente: Elaboración propia.

9.7.3. Diseño de los instrumentos

A continuación, se muestran las fichas técnicas y el diseño de los instrumentos recolectores de información a emplear durante la investigación de campo:

a) Para pacientes

- **Ficha de encuesta a la población**

Tabla 30: Ficha técnica de encuesta a la población (pacientes).

Ficha técnica	
Tema:	Investigación de pacientes y potenciales pacientes de procesos quirúrgicos en el país
Objetivo:	Identificar las deficiencias actuales, que se generar en el proceso de comunicación entre paciente y médico cirujano, teniendo en cuenta la necesidad de entendimiento que el paciente debe de poseer antes de una intervención quirúrgica, como parte de su derecho para la toma de decisión
Fecha de aplicación:	11 – 05 - 2023 al 21 – 06 - 2023
Medio de aplicación:	Online (Google forms) / Presencial
Tipo de muestreo:	Probabilístico Aleatorio simple
Población:	6 535 526 habitantes
Tipo de Población:	Población infinita, (población > 100,000 se considera infinita)
Nivel de confianza:	95%
Probabilidad de éxito:	50%
Probabilidad de fracaso:	50%
Muestra:	91 habitantes
Estructura del instrumento	

Ficha técnica		
Sección	**Descripción**	**Cantidad de interrogantes**
Sección 1: Datos Generales	Se establecen interrogantes que permita identificar rasgos de carácter importante para establecer le análisis de solución. Sirve como filtro en el caso de que la población conozca o halla procesado un padecimiento quirúrgico.	8
Sección 2: Pacientes Con Proceso Quirúrgico	En este apartado se le plantea interrogantes para aquellos encuestados que han sido parte de un proceso quirúrgica y que conocen de los realizado en el desarrollo de esta.	3
Sección 3: Interrogantes De Interés	Esta sección es específica para los encuestados que no han sido parte y desconocen los procesos quirúrgicos, en ella se contempla el interés de estos por recibir diagnósticos ampliados en base a impresión en 3D	2
Sección 4: Presentación De La Tecnología 3d	Par todos aquellos encuestados que posee interés en recibir diagnósticos en base a impresión en 3D, se le plantea una breve descripción de lo que esto es y se les consultas muy importante, tales como: Medios en que recibió explicación actualmente, interés a dar un valor monetario por este nuevo servicio y más.	4

Fuente: Elaboración propia.

Diseño de instrumento para los pacientes:

FORMATO DE ENCUESTA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Identificar las deficiencias actuales, que se generar en el proceso de comunicación entre paciente y médico cirujano, teniendo en cuenta la necesidad de entendimiento que el paciente debe de poseer antes de una intervención quirúrgica, como parte de su derecho para la toma de decisión.

Indicaciones: El presente cuestionario se empleará de manera presencial, a pacientes del área de cardiología del Hospital x, protegiendo la entidad del sujeto y dando libertad requerida para dar respuestas a las interrogantes.

SECCIÓN 1: DATOS GENERALES

1. Lugar de aplicación de la encuesta:
   _____

2. El encuestado es: ☐ Paciente ☐ Familiar ☐ otro

3. Edad del encuestado: _____ años Sexo del encuestado:
   _____

4. Departamento donde reside: _____ Municipio: _____

5. Usted tiene hijo: ☐ Si ☐ No

6. Cuanto estima que es su ingreso mensual:

Opciones	Marcar X
Menos de $100.00	
$100.00 a $365.00	
$365.00 a $500.00	
$500.00 a $800.00	
Más de $800.00	

7. Que ocupación posee:

Opciones	Marcar X
Trabaja	
Trabaja y estudia	
Estudia	

No posee ocupación _____

8. En el caso de trabajar o trabajar y estudiar, su trabajo es de carácter formal: _____

9. ¿Usted en alguna ocasión ha sido sometido a una cirugía? Si No

Nota: si la respuesta es “Si” continue con el cuestionario, si su respuesta es “No” ir a la sección 3, pregunta 10

SECCIÓN 2: PACIENTES CON PROCESO QUIRUGICO

¿El doctor le ha explicado el abordamiento de su padecimiento? Si No

Nota: si la respuesta es “no” ir a la sección 3, pregunta 11

10. ¿Qué medio utilizo el médico para explicar su padecimiento?

Placas radiográficas Imagen computarizada otro: _____

11. ¿Usted entendió la explicación del médico? Si No

12. ¿Piensa que necesita una ampliación a la explicación brindada por el médico?

Si No

Nota: si la respuesta a la interrogante es “Si” seguir el cuestionario, si su respuesta es “No” agradecemos mucho brindarnos parte de su valioso tiempo, feliz día.

SECCIÓN 3: INTERROGANTES DE INTERES

13. ¿De ser un paciente sometido a proceso quirúrgico, le gustaría tener una ampliación en su diagnóstico, utilizado nuevas tecnologías para la ejecución de su análisis clínico?

Si No

Nota: si la respuesta es “No”, agradecemos mucho brindarnos parte de su valioso tiempo, feliz día. Si la respuesta es “Si” continue con el cuestionario, en la pregunta 12.

14. ¿A usted le gustaría recibir una explicación medica de su padecimiento, introduciendo nuevas tecnologías de análisis?

Si No

Nota: si la respuesta es “No”, agradecemos mucho brindarnos parte de su valioso tiempo, feliz día. Si la respuesta es “Si” continue con el cuestionario, en la pregunta 12.

SECCIÓN 4: PRESENTACION DE LA TECNOGIA 3D

15. ¿Conoce usted de la aplicación de tecnologías en 3D para la medicina?

Si ☐ No ☐

Nota: Sila respuesta es “Si” se le recordara algunos de los beneficios e imágenes de la aplicación de esta. Cuando la respuesta sea “No” se les presentara que es, como se aplica y beneficios de esta en su diagnóstico.

16. ¿Desde su punto de vista y según lo detallado en la interrogante anterior, como valora el aplicar esta tecnología a el análisis prequirúrgico?

Excelente	Muy bueno	Bueno	Malo	Muy malo

17. ¿De aplicarse estas nuevas tecnologías a su caso en particular, estaría dispuesto a cancelar un costo adicional?

Si ☐ No ☐

18. ¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar si el servicio tuviera un costo adicional?

Menos de $20.00	De $20.00 a $60.00	Más de $60.00

SECCIÓN 5: INTERES PARA FORMAR PARTE DEL CASO DE ESTUDIO.

Teniendo en cuenta todo lo abordado en la encuesta, Usted tendría interés en formar parte de algún caso práctico, en el que se aplique este tipo de tecnologías para abordar el análisis preoperatorio y ejecutar de mejor forma la cirugía a abordar: _____

Si su respuesta es “Si” debe de llenar los siguientes casos, en el caso de que su respuesta sea “No” agradecemos grandemente su apoyo en el estudio abordado, que tenga feliz día.

Nombre del paciente:

_____

Caso diagnosticado:

_____

Doctor especialista encargado:

_____

Dirección de su residencia:

_____

Número de teléfono: _____

b) Profesionales de la salud

- **Fichas técnicas para entrevista a profesionales de la salud**

Tabla 31: Ficha técnica de entrevista dirigida a profesionales de la salud.

Ficha técnica	
Tema:	Investigación de los procesos actuales empleado en diagnóstico de pacientes de cirugías y la aplicación de las tecnologías de impresión en 3D.
Grupo entrevistado:	Profesionales de la salud
Objetivo:	Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucra nuevas tecnologías que ayuden en forma de diagnosticar e intervenir a un paciente.
Tipo de entrevista:	Entrevista semielaborada
Profesiones:	• Médico general • Cardiólogo/a Pediátrico/a • Licda. En laboratorio clínico • Neurocirujano • Radióloga en resonancia magnética • EcocardiografíaPediátrica • Anestesióloga
Medio de aplicación:	Online bajo la plataforma de Google meet.
Duración promedio:	45 minutos

Secuencia de realización		
Etapa	**Descripción**	**Porcentaje de duración**
Presentación inicial	El grupo entrevistador se presenta con la persona a entrevistar, menciona nombre y una bienvenida.	3%
Presentación del contenido	El equipo entrevistador hace una presentación sobre la temática a abordar, durante el desarrollo del a entrevista y explica la metodología de aplicación	7%

Ficha técnica		
Primera sección de preguntas	Se presenta cuestionamiento al entrevistado, referente a los procesos diagnóstico de pacientes, teniendo en cuenta los medios utilizados, los procesos de comunicación y planificación de cirugías.	50%
Segunda sección de preguntas	Las interrogantes abordadas en esta sección buscan indagar los conocimientos de los profesionales, durante el proceso de desarrollo de la cirugía.	20%
Tercera sección	Se emplean interrogantes, en cuanto a los procesos que los profesionales ejecutan post cirugías y algunos detalles en cuanto a recuperaciones.	10%
Toma de foto	Se ejecuta la toma de una foto de evidencia de empleo de la entrevista	3%
Despedida	El equipo entrevistador agradece el tiempo de los profesionales	7%

Fuente: Elaboración propia.

Diseño de instrumento:

FORMATO DE ENTREVISTA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTR

Fecha: ___/_____/__

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la, pero-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucra nuevas tecnologías que ayuden en forma de diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado:
_____

Especialidad: _____ **Puesto de trabajo:**
_____

Lugar de trabajo:
_____

SECCIÓN 1: INTERROGANTES DEL PROCESO DE PLANEACIÓN PREOPERATORIA.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar a un paciente?
2. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?
3. ¿Cuáles son los pasos que emplea para obtener estas imágenes?
4. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?
5. ¿Cuál es la principal dificultad en la creación de esas imágenes?
6. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?
7. ¿Considera usted que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente?
8. ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?
9. ¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?
10. ¿Conoce usted la aplicación de los modelos en 3D en la medicina?
11. ¿Alguna vez ha empleado un modelo en 3D?
12. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?
13. ¿Cree que el hospital tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología?, ¿Por qué opina eso?
14. ¿Cree que un doctor podría hacerse cargo del área de impresión?

SECCIÓN 2: INTERROGANTES EN CUANTO AL PROCESO QUIRÚRGICO

15. ¿Cuál es la guía que utiliza para orientar, la visualización del caso en el proceso quirúrgico?
16. ¿Qué tan precisa es esta guía, con respecto a la anatomía real del paciente?

17. ¿Cuánto tiempo demora una cirugía mayor cardiovascular?
18. ¿Considera usted que al aplicar un modelo de impresión en 3D, el tiempo de duración de la cirugía se puede reducir?
19. ¿Estima que la cirugía puede ser menos invasiva, si se aplicara como guía un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?
20. ¿Cuál es el porcentaje de éxito de las cirugías con los métodos quirúrgicos actuales?
21. ¿Cree que el porcentaje de éxito de una cirugía al usar un modelo 3D, puede mejorar?
22. ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D a la planeación preoperatoria?

SECCIÓN 3: INTERROGANTES DEL PROCESO POST QUIRÚRGICO

23. ¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular?
24. ¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva?
25. ¿En general cuáles son los cuidados post cirugía cardiovascular?
26. ¿Considera que los cuidados postoperatorios se podrían reducir con una cirugía menos invasiva?
27. ¿Para la hospitalización de un paciente, qué recursos e inmobiliarios se requieren?
28. ¿Considera que, al reducir la cantidad de días de hospitalización del paciente, se reducirían la cantidad de recursos a consumir?

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: ___/_____/_____

Tema: Diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la, pero-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Describir los recursos materiales, inmobiliarios y de mano de obra que se emplean durante la prestación de servicio de cirugía desde el análisis preoperatorio, la cirugía misma y la postcirugía para cuantificar los costos asociados.

Nombre del entrevistado:
_____

Especialidad: _____ Puesto de trabajo:
_____

Lugar de trabajo:
_____

SECCIÓN 1: Análisis preoperatorio

1. ¿Qué recursos materiales e inmobiliarios se requieren durante el análisis preoperatorio del caso del paciente? Enlistar
2. ¿Cuántos médicos se necesitan durante el análisis preoperatorio y cuáles son sus especialidades?
3. ¿Cuál es el costo promedio por cada uno de los colaboradores diferenciando por especialidad?

SECCIÓN 2: Cirugía

4. ¿Cuáles son los recursos e inmobiliarios que se requieren en la cirugía? Enlistar
5. ¿Cuántos colaboradores se necesitan durante la cirugía y cuáles son sus especialidades?
6. ¿Como se establece el costeo de una cirugía?
7. ¿Cuál es el costo por mes promedio por cada uno de los colaboradores diferenciando por especialidad?

SECCIÓN 3: Postcirugía

8. ¿Para la hospitalización de un paciente, qué recursos materiales e inmobiliarios se requieren? Enlistar
9. ¿Cuáles son los recursos alimenticios en los que se debe invertir para el paciente?
10. ¿Cuál es el costo promedio de cada uno?
11. ¿Considera que, al reducir la cantidad de días de hospitalización del paciente, se reducirían la cantidad de recursos a consumir?
12. ¿Cuál es el promedio de días de hospitalización de un paciente en el área de cardiología?

Preguntas generales

13. ¿Cuál es el proceso de evaluación económica para incorporar una nueva tecnología en los procesos?
14. ¿Como es el proceso para invertir en una oportunidad de mejora de un área?
15. ¿Con cuantas horas laborales mensuales deben cumplir los profesionales de la salud involucrados en los procesos anteriores?

c) Profesionales de impresión 3D

- **Ficha sobre el conocimiento de la aplicación de la impresión en 3D**

Tabla 32: Ficha técnica de la entrevista a profesionales de impresión 3D.

Ficha técnica	
Tema:	Investigación de la aplicación de la impresión en 3D en el país.
Grupo entrevistado:	Profesionales y emprendedores que han empleado esta tecnología
Objetivo:	Conocer las aristas de la fabricación digital y el funcionamiento de un laboratorio de impresión 3D.
Tipo de entrevista:	Entrevista semielaborada
Profesiones:	• Ingeniero industrial • Emprendedor
Medio de aplicación:	Online bajo la plataforma de Google meet.
Duración promedio:	40 minutos

Secuencia de realización		
Etapa	**Descripción**	**Porcentaje de duración**
Presentación inicial	El grupo entrevistador se presenta con la persona a entrevistar, menciona nombre y una bienvenida	3%
Presentación del contenido	El equipo entrevistador hace una presentación sobre la temática a abordar, durante el desarrollo del a entrevista y explica la metodología de aplicación	7%
Primera sección de preguntas	Se abordan interrogantes generales, las cuales permiten conocer la experiencia de los entrevistados en el tema de aplicación de la impresión en 3D; teniendo en cuenta su experiencia en diferentes áreas donde lo han ejecutado	35%
Segunda sección de preguntas	Las interrogantes abordadas en este apartado se enfatizan en conocer acerca de los equipos requeridos y los requerimientos para la instalación de tecnologías de impresión en 3D	35%
Tercera sección	Interrogantes relacionadas a las habilidades y conocimientos que los aperadores de las tecnologías de impresión en 3D deben de poseer.	10%

Ficha técnica		
Toma de foto	Se ejecuta la toma de una foto de evidencia de empleo de la entrevista	3%
Despedida	El equipo entrevistador agradece el tiempo de los profesionales	7%

Fuente: Elaboración propia.

Diseño del instrumento:

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: ___/_____/_____

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Nombre del entrevistado:_____

Especialidad: _____**Puesto de trabajo:** _____

Lugar de trabajo:

_____

Objetivo: Conocer las aristas de la fabricación digital y el funcionamiento de un laboratorio de impresión 3D.

SECCIÓN 1: INTERROGANTES GENERALES

1. ¿Qué tipo de material utiliza para sus proyectos de impresión 3D?
2. ¿Por qué motivos utiliza ese material?
3. ¿Cuáles son las principales fases del proceso para la generación de los modelos 3D? (desde el inicio)
4. ¿Cuáles han sido las principales dificultades para generar los modelos que le han solicitado?
5. ¿Cuánto tiempo, en promedio, toma generar el modelo desde que se le hace la solicitud?
6. ¿Qué software utiliza para este tipo de aplicación?
7. ¿Cuál es el tiempo promedio que les toma generar el modelo?
8. ¿Es posible imprimir y entregar un modelo 3D con calidad aceptable en un tiempo inferior a 24 h?
9. ¿Cuántas personas se requieren para administrar un laboratorio de fabricación digital si se trabaja en producción masiva?
10. ¿Cuáles son las habilidades y conocimientos que una persona debe poseer para el manejo de los procesos de impresión 3D?
11. ¿Cuál considera que es el salario mínimo para un técnico encargado de un laboratorio de fabricación digital?

SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE INSTALACIONES Y EQUIPO

12. ¿Cuáles son las máquinas necesarias para realizar un modelo de impresión 3D?
13. ¿Recomienda impresoras de resina para modelos anatómicos?
14. ¿Conoce filamentos o resinas para fabricar piezas flexibles?; ¿Cuáles?
15. ¿Conoce impresoras de resina o filamento para fabricar piezas flexibles?; ¿Cuáles?
16. ¿Hay herramientas o piezas que se deben cambiar para poder imprimir piezas flexibles?
17. ¿Existen proveedores con variedad de filamentos y resinas en El Salvador?
18. ¿Qué estaciones de trabajo se requieren en un laboratorio de fabricación digital?
19. ¿Qué herramientas se necesitan para afinar los detalles de las piezas?
20. ¿Cuál es el protocolo de mantenimiento de las máquinas?
21. ¿Qué condiciones ambientales requieren las instalaciones de impresión 3D?

SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE SOFTWARE Y HABILIDADES

22. ¿Cuánto estima que es el costo del financiamiento de un curso para aprender las tecnologías de impresión en 3D?
23. ¿Usted considera que las tecnologías de aplicación de modelos 3D son adaptables a laboratorios de hospitales o considera más viable aplicarlo en instalaciones donde se realizan exámenes especializados?

9.8. Análisis De Resultados De La Recopilación De La Situación Actual

Se presenta los resultados de cada uno de los instrumentos de recolección de información, clasificados por sujeto de investigación:

9.8.1. Análisis De Las Entrevistas A Profesionales De La Salud

Como parte del proceso de diagnóstico, se ha desarrollado el análisis de las preguntas ejecutadas a los profesionales de la salud, teniendo en cuenta la perspectiva general que estos definen ante cada cuestionamiento realizado. Durante la ejecución de las entrevistas surgió la necesidad de formular nuevas preguntas con la finalidad de indagar sobre algunos de los indicadores y contexto la planificación quirúrgica.

Sección 1: interrogantes del proceso de planeación preoperatoria.

Tabla 33: Análisis individual de las respuestas de la sección 1 sobre el proceso de planeación preoperatoria en las entrevistas a profesionales de la salud.

N°	Pregunta	Análisis
1	¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar anatomías?	Con relación a esta pregunta, los encuestados coincidieron en lo siguiente: • Ecocardiograma • Resonancia magnética cardíaca • Cateterismo • Estudio de Rayos X • Electrocardiograma • Angiotac o angiografías con material de contraste • Ultrasonografía • Tomografía axial computarizada Expresan que el ecocardiograma funciona para evidenciar las malformaciones cardíacas que podrían traducirse en una cardiopatía. En el caso de las tomografías, funcionan para analizar la estructura en una vista multi planar y determinar el diámetro de los defectos y que tamaño de dispositivos se necesitan utilizar. Además, se utilizan softwares abierto llamado Radián para hacer la planeación de la intervención. Expresan también que los electrocardiogramas ayudan a

N°	Pregunta	Análisis
		contemplar las ondas, verificando la actividad eléctrica del corazón.
1.5	¿Cuáles son los pasos que emplea para obtener las imágenes?	Primero se reciben a los pacientes y se introducen en las máquinas. Segundo, una vez adquiridas las imágenes, se procesan y son almacenadas en un archivo tipo DICOM y se entrega al cirujano, además se entrega un reporte escrito con el diagnóstico, algunas mediciones volumétricas y lineales necesarias para los procedimientos quirúrgicos.
2	¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?	Las respuestas de los entrevistados fueran variadas, tal como se muestra: Con el ecocardiograma se obtienen las imágenes de inmediato, pero el diagnostico puede demorar de 30 a 45 minutos. Con base a su experiencia, el médico Bloom, expresa que el tiempo es variable. En el caso de las imágenes 3D de angiografía existe una demora debido a la burocracia del ámbito hospitalario. En el caso de la tomografía, demora alrededor de 5 minutos, y depende de qué tan cargado está el objeto de estudio. El profesional de radiología menciona que actualmente con las máquinas de alta capacidad, de 128 cortes o más, en un estudio cardíaco se tarda alrededor de 20 s, esto por medio de tomografía. Luego, se demoran un día en reconstruir cada arteria o vaso para entregar un reporte más confiable. Mientras que los otros mencionan que con el ecocardiograma es 40 minutos a 2 horas.

N°	Pregunta	Análisis
		En general, con los Rx, Ultrasonografías, Resonancia magnética, Tomografía axial computarizada, Angiografías, suele ser de forma inmediata o en cuestión de minutos. Pero el tiempo es mayor al procesar y analizar las imágenes. Una tomografía se genera en un tiempo de 2 a 3 minutos. En el caso de la resonancia magnética si se busca un resultado básico, la generación de imágenes demora aproximadamente 30 minutos, pero si se añaden características de mejor calidad y contraste demoran de 45 a 50 minutos.
3	¿Cuál es la principal dificultad en la creación de esas imágenes?	Con respecto a la dificultad para crear las imágenes expresan que: Está asociada a la anotomía de los pacientes. Si la patología es más compleja, se realiza más de un estudio con diferentes métodos como ecocardiograma, Angiotac, y se efectúan en menos de una semana. También agregan que los pacientes deben llegar óptimamente preparados de lo contrario, se repiten los estudios. El otro factor, es la capacitación en cuanto al uso de nuevas tecnologías para aprovechar sus funcionalidades. Hay poca gente especializada en imágenes cardíacas, quizá son 4 o 5 en el país, según no explican los entrevistados. Por lo tanto, depende mucho del operador, de la máquina, su resolución y factores externos como edad del niño y complejidad de la cardiopatía. También se hace mención del factor económico, pues limita la adquisición de tecnología adecuada. En los hospitales no existe toda la tecnología disponible. Eso luego representa un costo para el paciente, y no todos los pacientes tienen la

N°	Pregunta	Análisis
		facilidad económica de poder pagarse un estudio de $300 o más.
3.5	¿Cuál es la principal dificultad en la interpretación de esas imágenes?	En cuanto a la interpretación de las imágenes, para el correcto diagnóstico, se extrae los siguiente: Primero se menciona la complejidad de las anatomías. Por otro lado, también hablan acerca del factor humano, pues la apreciación de persona a persona es diferente. Luego se dice que está relacionado a la experticia en la interpretación de imágenes, por lo tanto, está asociada a la experiencia en el área de radiología, formación especial en la rama de imágenes cardíacas y en radiología como factores determinantes. Ante esta situación algunos doctores se apoyan de la formación de radiólogos. En este sentido, todo depende del trabajo del radiólogo, la nitidez de las imágenes, pues los cortes gruesos no funcionan, y se necesitan cortes muy finos para evaluar y observar las estructuras anatómicas y poder realizar un diagnóstico adecuado.
4	¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?	Antes esta pregunta la respuesta general fue si, pues permite evaluar la anotomía, refiriéndose a la tomografía y en algunos casos hasta fáciles de comprender. A pesar de tener respuestas positivas, también se menciona que esto es susceptible a la mejora, tomando en cuenta que, hay mejoras en las tecnologías actuales y en la preparación académica. En otras áreas como neurocirugía, se aplican herramientas como el Phantom, como imagen preoperatoria, permitiendo practicar previo a la cirugía. Actualmente se cuenta con la aplicación de la realidad virtual, pero se destaca que su

N°	Pregunta	Análisis
		desventaja es que no permite sentir texturas con las manos, por lo tanto, no permite la práctica plena de la motricidad de los procedimientos de intervención. Con base a su experiencia, en el uso de impresiones 3D, el cirujano del hospital Bloom explicaba que las impresiones 3D que han utilizado han ayudado enormemente para visualizar patologías, sin embargo, afirma que no todas las patologías son aptas para hacer impresiones 3D debido a la acuosidad de los órganos, en esos casos el ecocardiograma es suficiente.
5	¿Considera que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente o eficiente?	La mayoría afirma que los métodos actuales para obtener imágenes anatómicas son eficientes, o de alguna manera funcionales hasta la fecha. Se ha trabajado con los métodos y tecnologías actuales por años, sin embargo, son susceptibles a mejoras y actualizaciones. Afirman que el ideal es innovar y mejorar el entendimiento de las enfermedades y particularidades de los pacientes para resolver su enfermedad. La elección de la tecnología a emplear en el diagnóstico depende de la patología que se desea estudiar y hay enfermedades complejas que necesitan más de un estudio para poder visualizarlas, por lo tanto, la deficiencia es atribuida a la tecnología a la que se tiene acceso para poder diagnosticar y planear.
6	¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?	Ante esta pregunta, en general se comparten los siguientes pasos: Primero, diagnóstico clínico. El paciente es examinado por un profesional cardiólogo o pediatra, ante sospechas de

N°	Pregunta	Análisis
		patologías, si determina que requiere cirugía, es referido a un hospital de tercer nivel. Segundo, diagnostico con imágenes, se hacen los estudios necesarios como, por ejemplo, radiografía, ecografía, electrocardiograma, entre otros requeridos, se determina la patología exacta del paciente y posteriormente se refiere a una sesión médico-quirúrgica. En algunos casos se utilizan softwares para visualizar las imágenes en forma virtual, se estiman las distancias, dimensiones, estructuras arteriales que están cercanas y pueden verse afectadas, así como otros órganos en general. Tercero, en la sesión médico-quirúrgica participan profesionales cardiólogos clínicos, cardiólogos cirujanos, intensivistas, anestesistas, profesionales de otras áreas de la medicina, doctores de terapia intensiva y también las personas que manejan equipo y maquinaria, para acordar el plan de intervención, o la técnica que le favorecer más al paciente durante la cirugía. Además, se decide si se opera inmediatamente, o es posible esperar mientras intervienen otras patologías que son prioritarias. Es este apartado, en algunos hospitales de la región, realizan un estudio socio económico, con la finalidad de ser selectivo y determinar qué operación va a dar fruto a futuro, ya que no se pueden ofrecer servicios a toda la población. Se necesita conocer el contexto social, los recursos económicos, disponibilidad de tiempo y la distancia para poder asistir los controles después de la cirugía. Cuarto hablar con el paciente y la familia. Informar es muy importante porque el paciente debe comprender cuál es su situación, su patología, cual es el procedimiento para mejorar su calidad de vida, y que consecuencias y beneficios pueden existir, debido al factor humano o a la misma patología.

N°	Pregunta	Análisis
		Usualmente se realiza una explicación sobre cómo se hará el procedimiento quirúrgico, únicamente con el apoyo de imágenes, y de forma verbal, pues actualmente no se cuenta con herramientas para poder explicar de forma virtual. Quinto, una vez programada la cirugía, se programan exámenes complementarios, gestionan donantes de sangre y esperan hasta el día de la cirugía. Sexto, previo a la cirugía se realizan las tomas de laboratorio como glucosa, creatinina, hemoglobina, antes programadas, respuesta a procesos de anestesiología, entre otros, y si todo está en orden se procede a la cirugía. Séptimo, antes de entrar a cirugía, se le comunica a todo el equipo médico el procedimiento por aplicar, que tipo de instrumentos se van a utilizar, insumos, entre otros, para estar coordinados. Octavo, se realiza la cirugía. Noveno, finalizada la cirugía, el paciente pasa a la unidad de cuidados intensivos, que, dependiendo de la patología, así será el tiempo que esté ahí, hasta ser dado de alta. En cuanto al tiempo invertido para planear una cirugía, usualmente se demoran de 4 días, y máximo 1 semana en planear una cirugía, para estudiar la anatomía, planear el procedimiento y diseñar un plan A y otros alternativos, con el fin de disminuir los riesgos. Sin embargo, la planeación y el tiempo invertido varia para cada profesional y en función de cada paciente.
7	¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?	Ante esta pregunta las respuestas son variadas, y las más innovadoras son: • Cámaras internas • La realidad aumentada. • Angiografía coronaria,

N°	Pregunta	Análisis
		Con base a la experiencia del neurocirujano, menciono que le gustaría incorporar la maquina “O arm”, la tecnología de los Phantom y la realidad virtual o aumentada. Otros mencionan que les gustarían estudios que no requieran exposición a materiales de contraste y que se pueda facilitar la imagen a través de una aplicación específica. El manejo de nuevas tecnologías puede ser fácil para profesionales de la salud, pero el costo que puede implicar esto, hace que se visualicé como un acceso limitado.
8	¿Conoce usted la aplicación de los modelos 3D en la medicina?	Ante esta pregunta la mayoría había escuchado hablar sobre la aplicación de la impresión 3D por medio de otros colegas. Otros habían leído al respecto en artículos o revistas científicas. Mencionan que leyeron que, además de usarlos en cardiología, se usa en otras regiones del cuerpo para prótesis y modelos anatómicos, e incluso para reemplazar partes del cuerpo, en algunos casos, mencionan que se han empleado tejidos vivos de cartílagos como parte de los estudios. Con respecto a esta pregunta, el especialista en neurocirugía añade que la impresión 3D tiene aplicabilidad, no solamente en lo prequirúrgico, si no que puede apoyar en la fabricación de estructuras ortopédicas o prótesis. Incluso hay fabricación con tejido vivo de cartílago para hacer narices, orejas, tráqueas, vejiga urinaria.
9	¿Alguna vez ha empleado un modelo 3D?	Como se cuestionó en la pregunta octava del instrumento, los cinco profesionales que conocen de los modelos en 3D en la medicina, dos de ellos han tenido la oportunidad de emplear este tipo de tecnologías a sus casos; catalogado este proceso como una oportunidad de mejora al diagnóstico y a su vez adaptar de a los nuevos avances tecnológico del área que benefician a la salud de la población abordad.

N°	Pregunta	Análisis
		Uno de los profesionales que ha tenido experiencia en el uso de este modelo, destaco que la utilidad de estos modelos ayudo a comunicar la idea del abordaje de la operación a realizar.
10	¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?	De manera unánime los profesionales los cuales fueron sometidos al proceso de entrevista respondieron que, si están interesados en recibir conocimientos de modelos 3D para el área de medicina, teniendo en cuenta que esta innovación medica busca facilitar los procesos quirúrgicos y ayudar de manera efectiva a los médicos, así como el bienestar de los pacientes que se sometan a su uso.
11	¿Al ofrecerle a un paciente este tipo de servicios, siempre y cuando sean accesibles económicamente, estarían ellos dispuestos a adquirirlos?	Los profesionales sometidos a estas interrogantes confirman que los pacientes si aceptaran pagar por este tipo de servicio, que, si bien no va ligado directamente al bienestar de su salud, ayudara a que sus procesos de cirugías sean abordados de la mejor manera. Algunos de ellos mencionaron de manera puntual que los pacientes siempre buscan la forma de pagar para que su servicio médico, sea llevado de la mejor manera.
12	¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?	La mayoría de los profesionales consultados acerca de la interrogante planteada, comentaron que si es posible incorporara estas nuevas tecnologías al sistema de salud del país, que se han considerado que los avances actuales son bastantes favorables. Cabe mencionar que una parte de estos se encuentra indeciso en la decisión y que otra mínima estima que no es posible; la parte indecisa comentaba que esto dependerá muchos de la estabilidad política del país y las decisiones que estos impulsen en el área médica.
13	¿Qué tipo de profesional del área de	Los profesionales mencionaron que los especialistas que tiene más enfoque a esta área son los que forma parte del equipo

N°	Pregunta	Análisis
	medicina podría hacerse cargo del área de impresión en 3D?	de radiología; estos no dejaron de lado que es necesario que todos aquellos especialistas que tengan interés de recibir capacidades relacionadas con esta área en particular sean inducidos en su proceso como parte de la incorporación de nuevas tecnologías y la innovación médica.
14	¿Estima que la cirugía puede ser menos invasiva, si se aplica como guía un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?	Los profesionales entrevistados mencionaron que definir qué tan invasiva será una cirugía, era muy difícil de considerar al aplicar estos modelos, ya que en su mayoría tener claro que tan invasiva será la cirugía, se deberá en muchas cosas a cada caso a estudiar; se debe de tener en cuenta que también lo invasivo depende mucho de las complicaciones que se den al momento de abordar quirúrgicamente a un paciente. Los profesionales si mencionaron que el efecto más positivo seria visible para la orientación del proceso y a su vez disminuir el tiempo de duración de una cirugía teniendo en cuenta la minimización de los recursos involucrados.

Fuente: Elaboración propia.

Sección 2: interrogantes en cuanto al proceso quirúrgico

Tabla 34: Análisis individual de las respuestas de la sección 2 sobre el proceso quirúrgico en las entrevistas a profesionales de la salud.

N°	Pregunta	Análisis
15	Según su experiencia/conocimiento, ¿Cuál es la dinámica que utiliza un cirujano para explicar el proceso de cirugía a los miembros del equipo? ¿Sabe usted cual es la guía que se emplea para visualizar la orientación del	Teniendo en cuenta las entrevistas realizadas a los profesionales, se puede definir que el cirujano principal, debe de poseer todos los estudios practicados al paciente; entre los cuales se destacan exámenes médicos, ecocardiogramas transesofágicos, ultrasonografías y otros. Pero el médico principal, es quien expone el caso del paciente al equipo.

N°	Pregunta	Análisis
	proceso quirúrgico?	El medico debe de seguir la explicación de los protocolos operativos, dejando en claro el caso que se va a abordar, para el proceso quirúrgico, así se deberá de preparar el equipo e instrumentos oportunos.
16	¿Con base a su conocimiento y/o experiencia, cuanto es el tiempo mínimo y el máximo que puede durar la operación de un paciente del área?	Todos los profesionales estuvieron de acuerdo en que el tiempo que puede durar una operación, depende de la patología a tratar. Pero haciendo un promedio general entre todos los tipos de cirugía que se pueden tratar, el promedio será de 7 horas para patologías complejas y alrededor de 3.5 para patologías menos exigentes.
17	¿Cuáles son los profesionales que integran el equipo de apoyo en las cirugías?	Al hacer una recopilación de los profesionales que más se repiten, se llegó al siguiente consenso: • Cirujano cardiovascular • Per fusionistas • Enfermeros • Anestesistas • Esterilizadores de instrumentos
18	¿Cuáles son los equipos más importantes al realizar una cirugía?	Al hacer una recopilación de los equipos que más se repiten, se llegó al siguiente consenso: • Bomba de circulación extracorpórea • Máquina de anestesia • ventiladores mecánicos • Electrocauterios • electros cardiogramas • Lámparas dialíticas • Bisturí • Tenazas • Mascarillas

N°	Pregunta	Análisis
		• Sueros • Equipo de tomas de oxigeno • Equipos de succión
19	¿Considera usted que al aplicar un modelo de impresión 3D, el tiempo de duración de la cirugía se puede reducir?	Posterior al análisis de las respuestas, se llegó a que depende de la patología a intervenir, pero definitivamente marca una diferencia positiva, ya que permite estudiar con anterioridad la situación, lo que puede contar como una práctica que facilita la memoria mecánica del cirujano y reduce el tiempo quirúrgico. Beneficiando la evolución del paciente, ya que hay menos daño por parte de los equipos en el cuerpo por uso prolongado de mecanismos artificiales.
20	¿Recomendaría incorporar modelos en 3D en el diagnóstico y planeación preoperatoria?	Los entrevistados opinaron que es muy importante tener los modelos para el entendimiento y practica de los médicos involucrados, así como para comunicar la situación del paciente al equipo quirúrgico, al paciente y su familia. Principalmente para patologías complejas que necesitan un estudio más minucioso para poder realizar la planificación de la cirugía.

Fuente: Elaboración propia.

Sección 3: interrogantes del proceso post quirúrgico

Tabla 35: Análisis individual de las respuestas de la sección 3 sobre el proceso post quirúrgico en las entrevistas a profesionales de la salud.

N°	Pregunta	Análisis
21	¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular?	Se encontró que el tiempo es muy variable dependiendo del tipo de intervención, la reacción del cuerpo del paciente, el drenaje que presente, etc. Principalmente esto

N°	Pregunta	Análisis
		determina el tiempo en recuperación, por lo que puede tomar, días, semanas o meses. Como promedio de las respuestas de los profesionales y tomando en cuenta las cirugías más comunes que se atienden, se llegó a que el tiempo promedio seria de 7 días en recuperación del paciente.
22	¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva?	Según los conocimientos y experiencia de los profesionales, este tiempo depende directamente de la patología y de la respuesta del paciente a la cirugía, porque sigue siendo una cirugía mayor. En lo que ayudaría de manera enorme, será en que el paciente estará menos tiempo en cirugía. Sin embargo, debido a la disminución del tiempo quirúrgico se podría reducir los tiempos de cuidados intensivos debido a que el esfuerzo del paciente es menor por estar menos tiempo sometido a maquinas artificiales y a procedimientos quirúrgicos.
23	¿La aplicación de la fabricación digital sería más conveniente aplicarla por medio de empresa privada o gubernamental? ¿Cree usted que en el sistema de salud de El Salvador tenemos las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en la cardiología y en otras ramas de la medicina?	La preferencia fue tener las dos opciones en ambos sectores, para tener alternativas de donde escoger dependiendo de la necesidad y posibilidades. Además, el país ya se está adaptando a nuevas tecnologías para atender pacientes, por lo que esta herramienta fácilmente podría incorporarse para agilizar algunos procesos quirúrgicos desde su planificación y también en aspectos terapéuticos de la cirugía.

N°	Pregunta	Análisis
24	¿A todos estos miembros del equipo, se les comunica o se les informa el procedimiento que se va a aplicar?	Lo que se hace, según el doctor Ramos, es que cuando se realizan sesiones o comités de cirugía están presentes los cirujanos, anestesiólogos y enfermeros para que cada uno sepa su papel y suministros a utilizar, herramientas.
25	¿Cómo fue su experiencia utilizando la impresión 3D? ¿Fue para estudio y práctica o también para comunicarles a los demás?	Para el doctor del hospital Bloom, fue una experiencia excelente, principalmente sirvió para casos de niños pequeños con meses de vida, en los que la patología era difícil de visualizar por su fisionomía a través de un ecocardiograma o en un Angiotac. Al tener una impresión 3D se orientaron en lo que quieren hacer en el paciente. De las cuales 2 eran de pacientes con esa patología, lo que fue enormemente útil con estos niños. También sirvió para comunicarles a los demás ya que se colocó en sala de operaciones para evidenciar todas las cosas que se planearon, divulgando al personal de cirugía cardiovascular y cardíaca. A veces se corre con el tiempo y se necesitan los estudios, pero no sale bien con los tiempos, pero en pacientes en que se ha implementado, se han tenido resultados satisfactorios.
26	¿El factor tiempo en cuanto a la utilización de impresión 3D cuanto tiempo se tardaba?	Se encontró que el tiempo puede ser relativo, ya que depende de los rayos X, no mucho se tardan. pero por lo general depende de la urgencia. La impresión 3D como tal no pasa de las 24 hora según los expertos.

N°	Pregunta	Análisis
27	¿En qué tipo de patologías lo recomendaría utilizar la impresión 3D?	De acuerdo con el Dr. Del hospital Bloom, es mejor para patologías que son extra-cardíacas, es decir las patologías como a nivel de los vasos sanguíneos, patologías aórticas, arterias o venas pulmonares que ayuden a evidenciar las formaciones cardíacas. Las patologías cardíacas en niños son bien diferentes, hay demasiadas variantes
28	¿Cuáles son los equipos más importantes en el área de radiología?	Entre los equipos más relevantes para la profesional, están la resonancia magnética que casi todos los hospitales las tienen, de alto campo, que tienen todo lo necesario para realizar los estudios cardíacos, funcionales, de aorta y la tomografía, que ya empezó desde hace varios años, pero que últimamente ha tenido más auge, ya que con los equipos más recientes prácticamente en un latido saca todas las imágenes.
29	¿Cuál es la cantidad óptima de cortes para que una imagen tenga una resolución decente?	De acuerdo con la radióloga, no se puede decir la cantidad de cortes, pero debe referirse a los cortes del equipo. Un equipo entre menos cortes tenga, será menos clara y será menos real la imagen. Ya hoy los equipos giran tan rápido los tubos que prácticamente es imperceptible la unión que hacen.

Fuente: Elaboración propia.

9.8.2. Análisis De Profesionales En El Uso De Impresión 3D

En este apartado del análisis, se enfoca en conocer un poco los de profesionales o emprendedores que han tenido experiencias cercanas con la impresión en 3D, lo cual permitirá establecer un punto de partida de manera general, en cuanto a la realidad del país y la aplicación de esta.

Tabla 36: Análisis individual de las respuestas de las entrevistas a los profesionales en impresión 3D.

N°	Pregunta	Análisis
1	¿Qué tipo de material utiliza para sus proyectos de impresión 3D?	Los técnicos de laboratorio de impresión 3D utilizan filamento o resinas para trabajar en sus proyectos. Además, de complementos como el alcohol isopropílico (IPA), luz UV, epóxido, lijas de agua, pintura spray primer negra y pintura acrílica.
2	¿Por qué motivos utiliza ese material?	El principal motivo que se expuso es que se debe a las características físicas que presentan, como por ejemplo en la resina por su flexibilidad y resistencia a impactos y el filamento por su facilidad de trabajo; mientras que el filamento es más barato, no necesita curado, hay mayor variedad de proveedores.
3	¿Cuáles son las principales fases del proceso para la generación de los modelos 3D? (desde el inicio)	Al unificar le proceso que se sigue en área comercial que se consultó y comparando con las respuestas del técnico de la UES, se concluye que: • Diseño del modelo en programa especial de modelado 3D. • Trasladar al slicer para crear las estructuras del modelo. • Impresión del modelo 3D en filamento o resina. • Dependiendo del material, se puede pasar a secar y curar. • Arreglo de detalles con lija, primer si fuere necesario. • Almacenamiento.

N°	Pregunta	Análisis
4	¿Cuáles han sido las principales dificultades para generar los modelos que le han solicitado?	• Dificultad del DIACOM, es decir, conseguir los slicer suficientes para tener suficiente detalle • Dificultad del uso del software slicer y de impresión 3D • Impresión a un solo color • estructuras de soporte muy marcadas en la pieza final • Diseñar cada pieza de manera que los gases y el calor salgan de manera adecuada sin destruir o explotar el modelo • Encontrar la escala correcta dependiendo del slicer
5	¿Cuánto tiempo, en promedio, toma generar el modelo desde que se le hace la solicitud?	Puede durar alrededor de 8 a 21 horas de trabajo desde el proceso de investigación hasta el proceso básico de impresión y procesamiento posterior. Exceptuando el curado completo de resina, que puede tomar alrededor de 10 días para modelos comerciales. Dependiendo de la demanda y complejidad, se puede extender hasta una semana, por la investigación, generación del modelo anatómico, cantidad de iteraciones de los diseños y de las impresiones 3D como tal para que se vean como se espera para que los doctores la utilicen.
5.1	¿Qué software de paga ha ganado rango en este tipo de aplicación?	El encargado del FIA LAB, menciono que específicamente que son del área médica, se puede contar con intelliypace, posee módulo de neurológico, cardiología; materialize, tiene bibliotecas muy grandes y potentes, ese incluso permite planificar la cirugía como donde cortar y qué tejido será el que se corte.
6	¿Qué software utiliza para este tipo de aplicación?	En cuanto a los profesionales entrevistados, los dos destacaban el uso de los siguientes softwares: • Autodesk Maya y Zbrush (generar los modelos 3D) • Intelliypace (aplicable con muchos elementos relacionados con la neurología)

N°	Pregunta	Análisis
		• Materiallze (permite planificar la cirugía como donde cortar y qué tejido será) • Slicer (para preparar el modelo con estructuras)
7	¿Cuál es el tiempo promedio que les toma generar el modelo?	En cuanto a esta interrogante, los entrevistados comentan en base a la experiencia obtenida, se vuelve dificultoso definir un tiempo exacto de duración en la generación de un modelo 3D, ya que depende mucho de la complejidad y dimisión en el cual se desea el modelo. Uno de los dos entrevistados comenta que en base a los modelos que él ha ejecutado estima una duración de 8 a 21 horas, pero a su vez menciona que esto es difícil de definir por lo antes mencionado.
8	¿Es posible imprimir y entregar un modelo 3D con calidad aceptable en un tiempo inferior a 24 h?	En esta interrogante se hace referencia a lo antes mencionado, pues se considera que siempre va a depender del tamaño del modelo, aunque eso se puede subsanar con tener varias máquinas, imprimiendo varias partes. Por lo que se considera que, si es posible, pero se debe de considerar el tamaño, complejidad y la disponibilidad de recursos para su ejecución.
9	¿Cuántas personas se requieren para administrar un laboratorio de fabricación digital si se trabaja en producción masiva?	Con base a esta pregunta uno de los entrevistados, menciona que desde su punto de vitas, se considera a una persona para llevar a cabo la administración de un área como esta, pero esto debido al alcance que él tenía con la aplicación de la tecnología. El otro entrevistado denoto, que dependería mucho de la demanda, la maquinaria y de los recursos que el área a implementar poseía. Se considera de la misma manera la necesidad de poseer personal para los mantenimientos de las maquinarias y no solo de personal para ejecutar operaciones relacionadas con la impresión.
10	¿Cuáles son las habilidades y	Las habilidades dependen mucho del enfoque al que se quiera dirigir la aplicación de modelo en 3D, pero para el caso

N°	Pregunta	Análisis
	conocimientos que una persona debe poseer para el manejo de los procesos de impresión 3D?	en estudios los entrevistados denotaron campos en lo que se deben de tener conocimientos básicos, estas áreas son: • Poder modelar 3D. • Topología para evitar problemas grandes al modificar piezas. • Debe saber de electrónica (para mantenimiento) • Conocimiento relacionado con resistencia de materiales • Conocimientos de anatomía (por el enfoque del estudio). • Movimientos de componentes mecánicos (para el caso de piezas que requieran movimiento)
11	¿Cuál considera que es el salario mínimo para un técnico encargado de un laboratorio de fabricación digital?	Uno de los entrevistados, reflexiono antes este caso que nunca se ha analizado el salario de los aplicadores de las tecnologías, esto debido a que en su mayoría considera que los que aplican estas tecnologías son emprendedores. El otro comento que en ese caso podría ser alguien que trabaje con imágenes (Radiólogo/a), de ahí hacia arriba, ese salario debe andar entre los $400 a $1200.
12	¿Cuáles son las máquinas necesarias para realizar un modelo de impresión 3D?	Los entrevistados hacían énfasis en la maquinaria dependerá mucho de los acabados que área desea obtener en sus piezas y los recursos de inversión que desean aplicar. La maquinaria que destaca se puede mencionar: • Impresora 3D de filamento • Impresora 3D de resina SLA (láser) • DLP (pantalla LCD) • Pistola de calor o cámara de rayos UV

N°	Pregunta	Análisis
13	¿Recomienda impresoras de resina para modelos anatómicos?	Ambos entrevistados destacaron que la resina, es el material más recomendado para esta área, debido a la perfectamente presión que se obtiene en ella; uno de ellos destacaba que una impresora de rescinda DLP con una resolución mínima de 4k, mientras más alto sea el pixel de la pantalla LCD mejor el acabado de detalles que se pueden lograr.
14	¿Conoce filamentos o resinas para fabricar piezas flexibles?	A esta interrogante, los entrevistados respondieron que sí hay resinas y filamentos elastómeros. Con cualquiera que quieran trabajar se encontrar opciones, aunque uno de ellos así hincapié que la resina es lo más recomendado.
15	¿Conoce impresoras de resina o filamento para fabricar piezas flexibles?	Según los entrevistados, es posible en cualquier tipo de impresora 3D, pero la resina debe poseer propiedades flexibles. Sin embargo, identificaron las siguientes marcas de impresoras: Elegoo, Prusa, Creality, Athena, y Anycubic, está ultima recomendada por su bajo precio.
16	¿Hay herramientas o piezas que se deben cambiar para poder imprimir piezas flexibles?	En el caso de impresoras de resina no, pero se debe configurar en el software, y prolongar la exposición a rayos UV. En el caso de las impresoras de filamentos, actualmente tienen integrado equipos Aeros, la cual es una cámara de calentamiento de aluminio, lo que representa un mayor costo. Sin embargo, depende del polímero que se utilice. La resina tiende a ser más flexible que los filamentos.
17	¿Existen proveedores con variedad de filamentos y resinas en El Salvador?	Conocen y recomiendan Nextia, factory lab, 3Dprint y Creativo, la cuales ofertan impresoras de resina y filamento, así como los materiales. Advierten que es muy difícil pasar estos productos por aduana, sobre todo la resina porque es muy volátil.
18	¿Qué estaciones de trabajo se requieren en un laboratorio de fabricación digital?	Mencionan que se necesita un área de diseño con computadoras de alta potencia, un área de impresión con herramientas como llaves y pinzas, una de post procesado la cual se diseña en función de impresoras de resina o filamento, en el caso de resina se necesita la estación de lavado, curado,

N°	Pregunta	Análisis
		y para impresoras de filamento se requieren estaciones para quitar soportes, lijar, una estación de calor para mejorar la calidad superficial después del lijado, recordando que se debe gestionar los desechos apropiadamente; y finalmente un área de entrega final. En cuanto a las instalaciones, se requiere un espacio amplio debido a los gases plásticos. Recalcan que el filamento puede estar al aire libre, pues no son afectados por temperatura o exposición al sol. Con la resina el ambiente tiene que ser oscuro, los botes tienen que guardarse en áreas no expuestas al sol, ni cerca de fuentes de calor o exponerlas a llamas puesto que la resina se solidifica, además, al ser un polímero líquido, se ve afectado por la temperatura ambiental. También, recomiendan extractores con filtros de carbono, para sacar el aire y que no sea tóxico para el ambiente y personas de alrededor.
19	¿Qué herramientas se necesitan para afinar los detalles de las piezas?	Recomiendan usar lijas de agua finas (1000-800-400-200), acetona, alcohol isopropílico, bisturí, pinzas y tenazas.
20	¿Cuál es el protocolo de mantenimiento de las máquinas?	De acuerdo con el uso (demanda), el mantenimiento básico implica la limpieza y engrase del Nosol y rieles para asegurar que las máquinas están en buen estado, además, se debe garantizar un proceso de calibración del eje Z ya sea manual o automático. Si la demanda es ocasional, basta con cuidar la limpieza, sobre todo al observar que el material se acumula en la boquilla del extrusor (esto en el caso de impresoras de filamento). También, se debe prever posibles reemplazos de boquilla y cadenas. En el caso de impresoras de resina, hay que retirar la resina del contenedor después de su uso, y antes de imprimir revisar que la plataforma esté balanceada, calibrar el eje Y revisando que este alineado en Yi=0.

N°	Pregunta	Análisis
21	¿Qué condiciones ambientales requieren las instalaciones de impresión 3D?	Recomiendan contar con un extractor de olores, una campana de ventilación, pues materiales como el filamento ABS y la resina son cancerígenos y desarrollar cáncer en los pulmones, o como mínimo, ventilar manualmente para que el olor no se quede encerrado por días. Se debe tener un extintor inmediato. En cuanto a las temperaturas, actualmente los filamentos y resinas ya tienen aleaciones para evitar altas temperaturas y facilitar el trabajo. Se debe garantizar un cuarto amplio, y el uso de aire acondicionado para evitar que las máquinas se sobrecalienten.
22	¿Cuánto estima que es el costo del financiamiento de un curso para aprender las tecnologías de impresión en 3D?	Recomiendan Alrededor de $80 a100k, incluyendo los equipos que faciliten una instrucción adecuada. O bien, de $100 a $500, solo para capacitación, iniciando desde lo más básico de modelado 3D.
23	¿Usted considera que las tecnologías de aplicación de modelos 3D son adaptables a laboratorios de hospitales o considera más viable aplicarlo en instalaciones donde se realizan exámenes especializados?	Los entrevistados consideran que es viable incorporarlos en los hospitales. Añaden que visualizan viable tener en el hospital, gente especializada en el tema o que se pueda dar servicios varios en el laboratorio, además, consideran que debe estar en el área clínica o del lado quirúrgico. Recalcan que ya está siendo aplicado en laboratorios de hospitales, pues hay resinas para el área de ortodoncia, impresoras 3D de metales para crear placas para cráneos, máquinas de resina de mayor volumen para la producción de prótesis, avances en la impresión de células para crear tejidos y llegar a “clonar” un órgano usando células madre del paciente, lo que eliminaría la necesidad de esperar donantes y el riesgo que el cuerpo rechace el órgano.

Fuente: Elaboración propia.

9.8.3. Tabulación Y Análisis De Resultados De La Encuesta A La Población

Con base a la ejecución del estudio de pruebas para evaluar el panorama de participación de la población, en el tema de desarrollo, se obtuvo los siguientes resultados de las pruebas preliminares.

Sección 1: preguntas generales.

1. Lugar de aplicación de la encuesta:

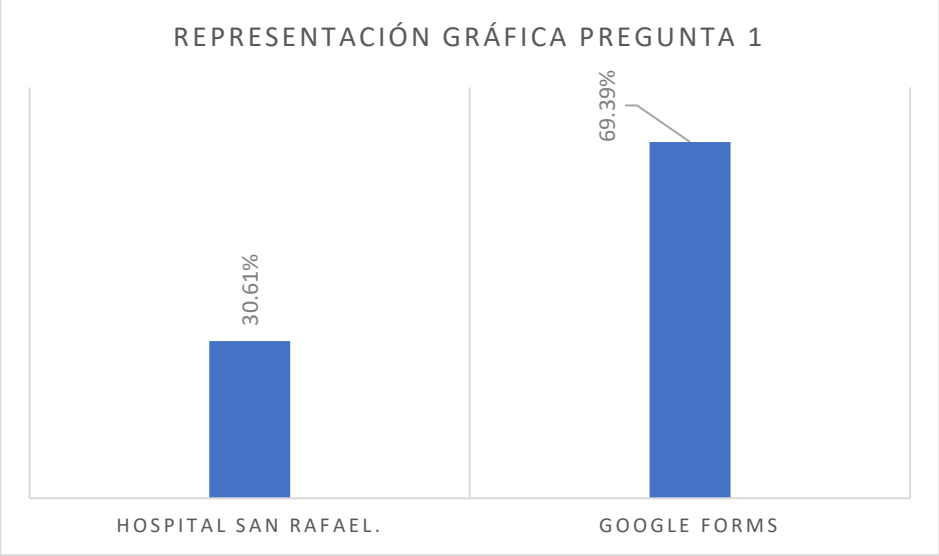
Tabla 37: Cantidad de respuestas de encuesta por cada lugar de aplicación.

Modalidad	Lugar	Cantidad	Porcentaje
Presencial	Hospital San Rafael.	30	30.61%
Online	Google forms	68	69.39%
Total, de encuestados		**98**	**100.00%**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el gráfico de la pregunta:

Ilustración 50: Representación gráfica pregunta 1



Fuente: Elaboración Propia

La encuesta fue aplicada en dos modalidades, de manera presencial lo cual abarcó asistencia a hospitales, lo cual representa el 30.61% y de manera online a través de Google forms, fue el 69.39%.

2. Las personas encuestadas eran:

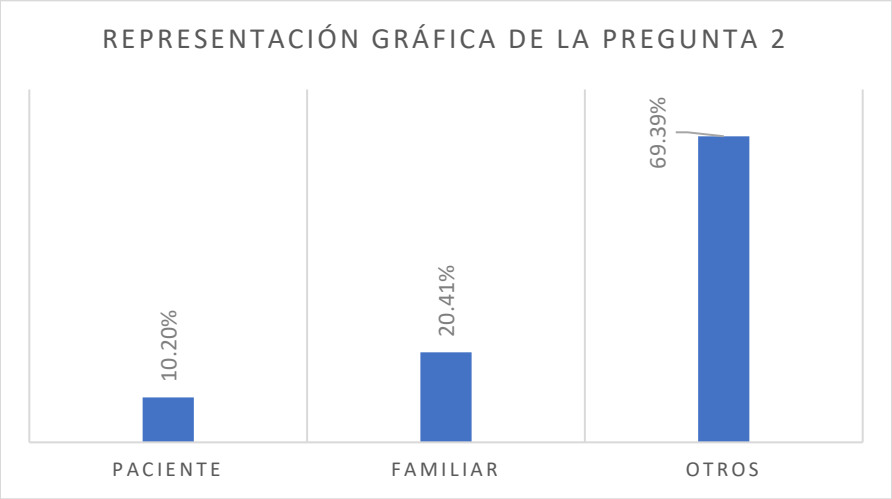
Tabla 38: Características de las personas que respondieron la encuesta.

Característica	Descripción	Cantidad	Porcentaje
Paciente	Persona que se encontraba en espera de su ingreso al hospital, para llevar a cabo su consulta clínica programada, según el control del hospital.	10	10.20%
Familiar	Personas que se encontraba a espera que su familiar saliera de las instalaciones del hospital para una consulta o se encontraba para ingresar a visita al hospital.	20	20.41%
Otros	Personas que se encontraban fuera de las instalaciones del hospital, como trabajando o realizando otras ocupaciones.	68	69.39%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la representación gráfica de la tabla:

Ilustración 51: Representación gráfica de la pregunta 2.



Fuente: Elaboración propia.

Los encuestados fueron clasificados según su característica relevante para el estudio; con lo cual el 10.20% fueron pacientes, el 20.41% familiares y otros el 60.39% de los entrevistados para el estudio.

3. Edad de las personas encuestadas:

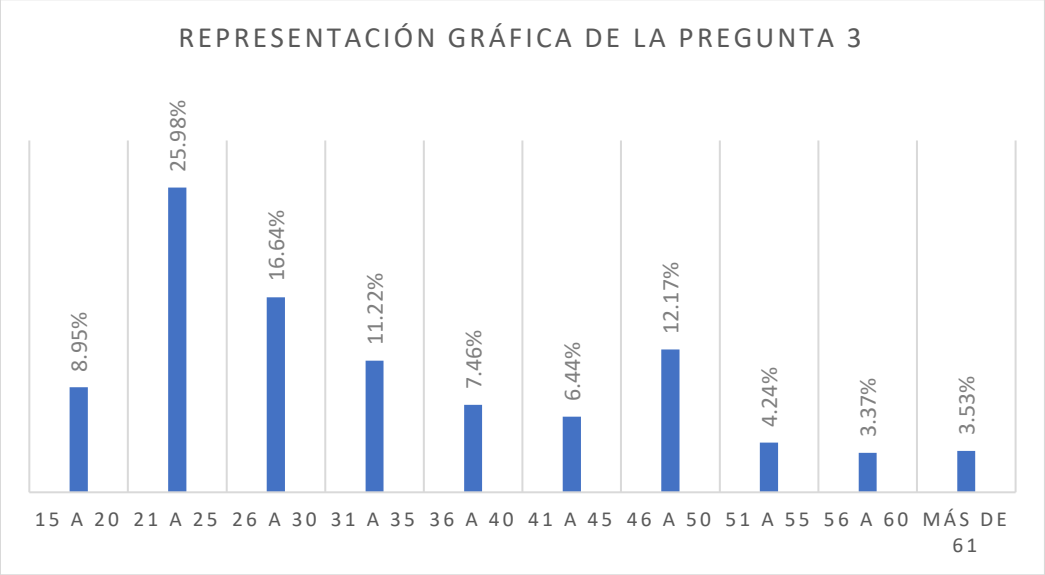
Tabla 39: Rango de edades de las personas que respondieron la encuesta.

Rango de edad (años)	Cantidad	Porcentaje
15 a 20	9	8.95%
21 a 25	25	25.98%
26 a 30	16	16.64%
31 a 35	11	11.22%
36 a 40	7	7.46%
41 a 45	6	6.44%
46 a 50	12	12.17%
51 a 55	4	4.24%
56 a 60	3	3.37%
Más de 61	3	3.53%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la representación de la pregunta 3:

Ilustración 52: Representación gráfica de la pregunta 3.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución etaria de los encuestados es la siguiente: 15 a 20 años el 8.95%; de 21 a 25 el 25.98%; 26 a 30 años el 16.64%; 31 a 35 años el 11.22%; 36 a 40 años el 7.46%; 41 a 45 años el 6.44%; 46 a 50 años el 12.17%; 51 a 55 años el 4.24%; de 56 a 60 años el 3.37%; de más de 61 años el 3.53%.

4. Sexo del encuestado:

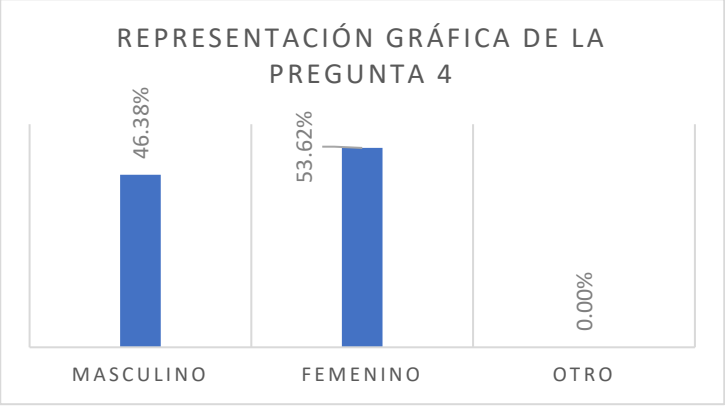
Tabla 40: Sexo de las personas que respondieron la encuesta.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Masculino	45	46.38%
Femenino	53	53.62%
Otro	0	0.0%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la representación gráfica:

Ilustración 53: Representación gráfica de la pregunta 4.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra estudiada está conformada por participantes del género masculino en un 46.38% y del femenino en un 53.62%.

5. Departamento donde reside:

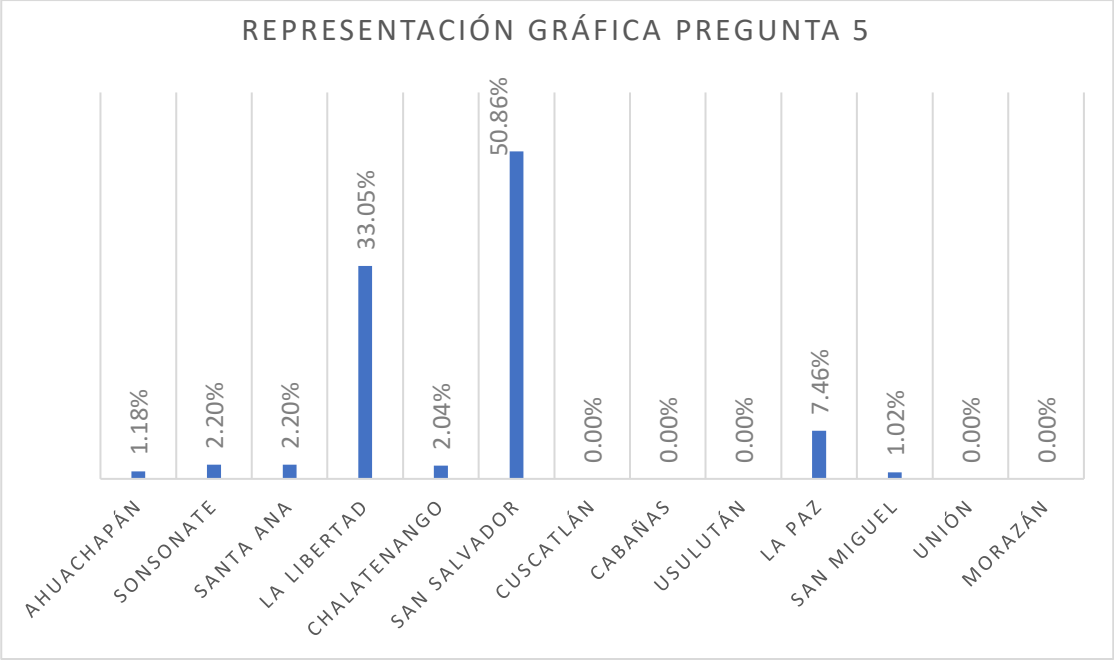
Tabla 41: Distribución de personas que respondieron la encuesta por departamento.

Departamento	Cantidad	Porcentaje
Ahuachapán	1	1.18%
Sonsonate	2	2.20%
Santa Ana	2	2.20%
La libertad	32	33.05%
Chalatenango	2	2.04%
San Salvador	50	50.86%
Cuscatlán	0	0.00%
Cabañas	0	0.00%
Usulután	0	0.00%
La Paz	7	7.46%
San Miguel	1	1.02%
Unión	0	0.00%
Morazán	0	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la representación gráfica:

Ilustración 54: Representación gráfica de la pregunta 5.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución geográfica por departamento de los encuestados es de la siguiente manera: Ahuachapán el 1.18%; Sonsonante el 2.20%; Santa Ana el 2.20%; La Libertad el 33.05%; Chalatenango el 2.04%; San Salvador el 50.86%; La Paz el 7.46%; San Miguel el 1.02%; Cuscatlán, Cabañas, Usulután, La Unión y Morazán el 0%.

6. Municipio donde residen los encuestados:

Tabla 42: Distribución de personas que respondieron la encuesta por municipio.

Municipio	Cantidad	Porcentajes
Antiguo Cuscatlán	1	1.02%
Apopa	1	1.02%
Tacuba	1	1.02%
Ayutuxtepeque	2	2.04%

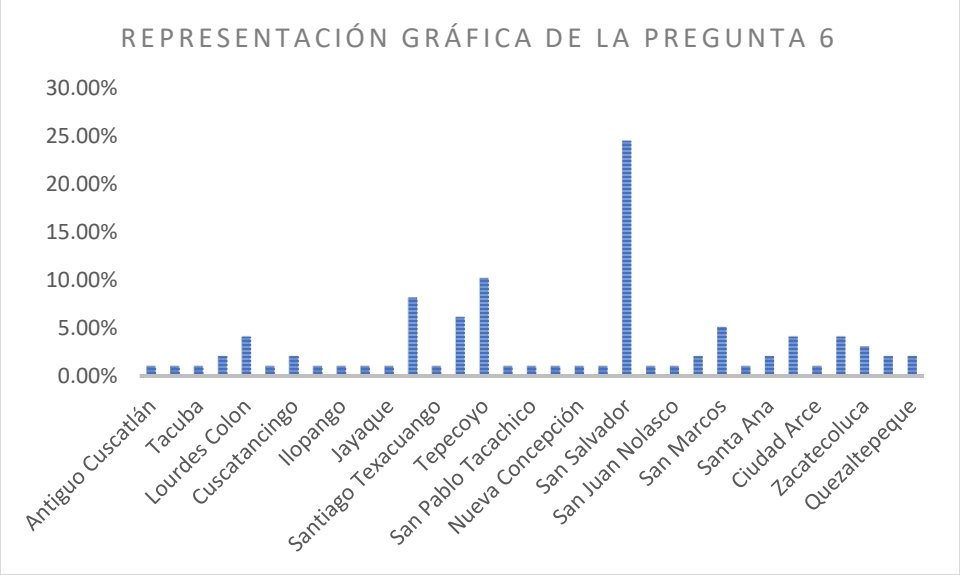
Municipio	Cantidad	Porcentajes
Lourdes Colon	4	4.08%
Comalapa	1	1.02%
Cuscatancingo	2	2.04%
Huizúcar	1	1.02%
Ilopango	1	1.02%
Izalco	1	1.02%
Jayaque	1	1.02%
mejicanos	8	8.16%
Santiago Texacuango	1	1.02%
Soyapango	6	6.12%
Tepecoyo	10	10.20%
San Julián	1	1.02%
San Pablo Tacachico	1	1.02%
Nejapa	1	1.02%
Nueva Concepción	1	1.02%
Olocuilta	1	1.02%
San Salvador	24	24.49%
Sacacoyo	1	1.02%
San Juan Nolasco	1	1.02%
San Juan Opico	2	2.04%
San Marcos	5	5.10%
San José Villanueva	1	1.02%

Municipio	Cantidad	Porcentajes
Santa Ana	2	2.04%
Santa Tecla	4	4.08%
Ciudad Arce	1	1.02%
San Francisco Chinameca	4	4.08%
Zacatecoluca	3	3.06%
Zaragoza	2	2.04%
Quezaltepeque	2	2.04%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico correspondiente:

Ilustración 55: Representación gráfica de la pregunta 6.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución geográfica por municipio de los encuestados es de la siguiente manera: de Antiguo Cuscatlán el 1.02%; de Apopa el1.02%; de Tacuba el 1.02%; Ayutuxtepeque el 2.04%; Lourdes Colón el 4.08%; Comalapa el 1.02%; Cuscatancingo el 2.04%; Huizúcar el 1.02%; Ilopango el 1.02%; Izalco el 1.02%; Jayaque el 1.02%; Mejicanos el 8.16%; Santiago

Texacuangos el 1.02%; Soyapango el 6.12%; Tepecoyo el 10.20%; San Julián el 1.02%; San Pablo Tacachico el 1.02%; Nejapa el 1.02%; Nueva Concepción el 1.02%; Olocuilta el 1.02%; San Salvador el 24.49%; Sacacoyo el 1.02%; San Juan Nolasco el 1.02%; San Juan Opico el 2.04%; San Marcos el 5.10%; San José Villanueva el 1.02%; Santa Ana el 2.04%; Santa Tecla el 4.08%; Ciudad Arce el 1.02%; San Francisco Chinameca el 4.08%; Zacatecoluca el 3.06%; Zaragoza el 2.04% y Quezaltepeque el 2.04%.

7. El encuestado tiene hijos:

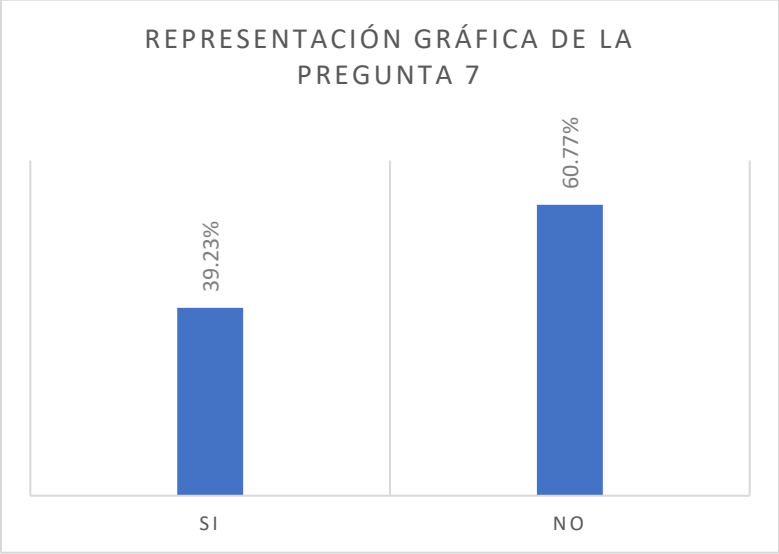
Tabla 43: Cantidad de encuestados con hijos.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	38	39.23%
No	60	60.77%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 56: Representación gráfica de la pregunta 7.



Fuente: Elaboración propia.

Para conocer más a fondo la situación familiar de los encuestados se preguntó si poseen hijos. De los cuales el 39.23% afirmó que sí y el 60.77% aseguró que no.

8. Como percibe sus ingresos el encuestado:

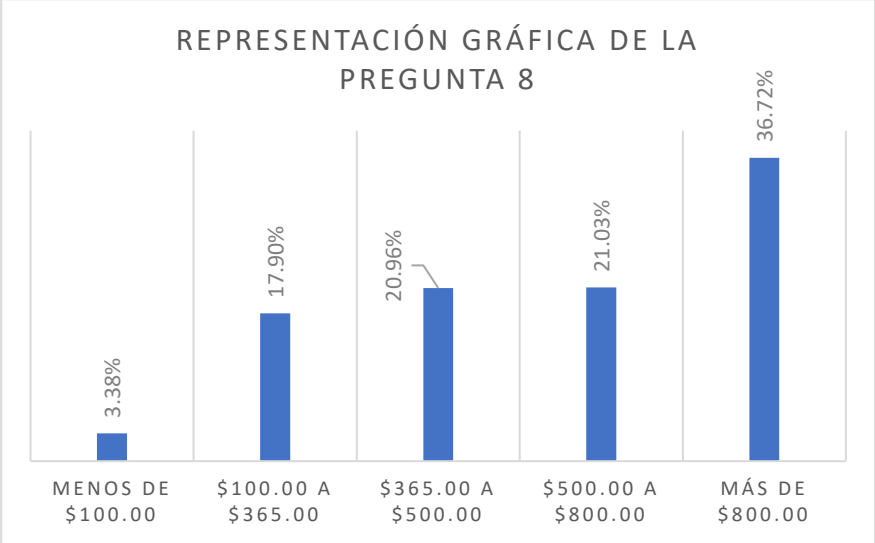
Tabla 44: Rango de ingresos estimados de los encuestados.

Ingreso mensual	Cantidad	Porcentaje
Menos de $100.00	3	3.38%
$100.00 a $365.00	18	17.90%
$365.00 a $500.00	21	20.96%
$500.00 a $800.00	21	21.03%
Más de $800.00	36	36.72%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 57: Representación gráfica de la pregunta 8.



Fuente: Elaboración propia.

Relacionado al nivel de ingresos, de los encuestados, se encontró que el 36.72% es de Más de $800.00; el 21.03% de $500.00 a $800.00; que el 20.96% de $365.00 a $500.00; el 17.90% de $100.00 a $365.00 y el 3.38% de Menos de $100.00.

9. Ocupación del encuestado:

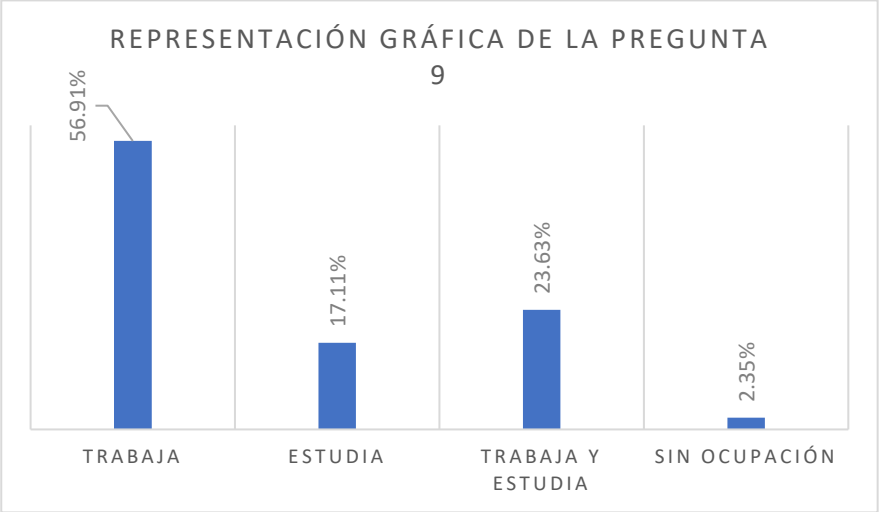
Tabla 45: Ocupación de los encuestados.

Ingreso mensual	Cantidad	Porcentaje
Trabaja	56	56.91%
Estudia	17	17.11%
Trabaja y estudia	23	23.63%
Sin ocupación	2	2.35%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la gráfica:

Ilustración 58: Representación gráfica de la pregunta 9.



Fuente: Elaboración propia.

Sobre la ocupación de los encuestados se encontró que el 56.91% trabaja; el 17.11% estudia; el 23.63%, trabaja y estudia; y el 2.35% no tiene ocupación.

10. Su trabajo es de carácter formal:

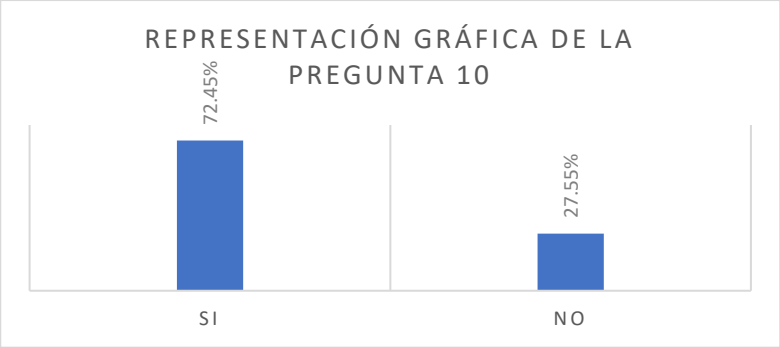
Tabla 46: Cantidad de encuestados con trabajo formal.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	71	72.45%
No	27	27.55%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 59: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Al indagar sobre el carácter del empleo de los encuestados, se encontró que el 72.45%, se encuentra laborando en el sector formal y el 27.55%, en el sector informal.

11. Usted ha sido sometido a cirugía:

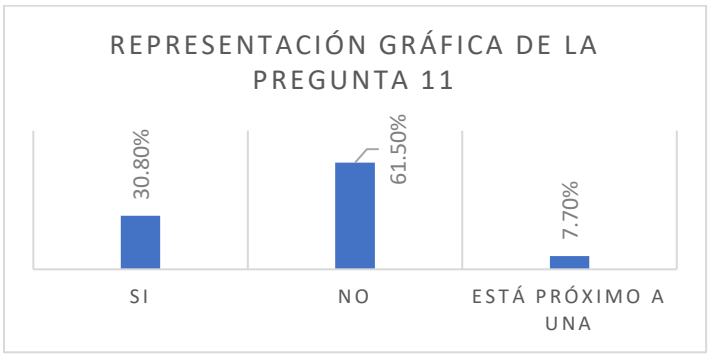
Tabla 47: Cantidad de encuestados que ya fueron sometidos a cirugía.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	33	30.80%
No	61	61.50%
Está próximo a una	4	7.70%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 60: Representación gráfica de la pregunta 11.



Fuente: Elaboración propia.

Para conocer las posibilidades de un mercado, se cuestiona si las personas han sido sometidas a cirugía alguna vez en su vida se tiene que, el 33.92% sí, el 62.70% no, y finalmente el 3.38%, está próximo a una.

Sección 2: Pacientes con proceso quirúrgico

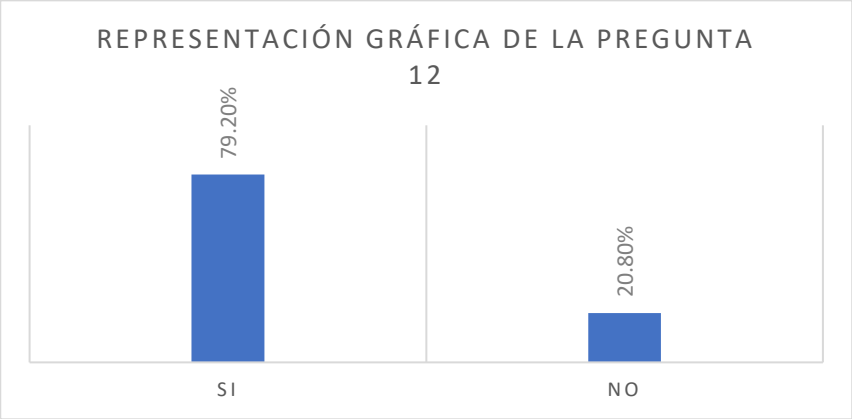
12. ¿El doctor le explicó el proceso para abordar su padecimiento?

Tabla 48: Cantidad de encuestados que afirman haber recibido una explicación de parte del doctor.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	29	79.20%
No	8	20.80%

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 61: Representación gráfica de la pregunta 12



Fuente: Elaboración propia.

De los treinta y siete encuestados, que forma parte de los pacientes que han sido sometidos a cirugía o están próximos a una, el 79.20% ha recibido una explicación medica de su caso y el 20.80% no ha recibido una explicación del abordamiento de su padecimiento.

13. ¿A usted hubiese gustado recibir una explicación médica de su padecimiento, introduciendo nuevas tecnologías de análisis?

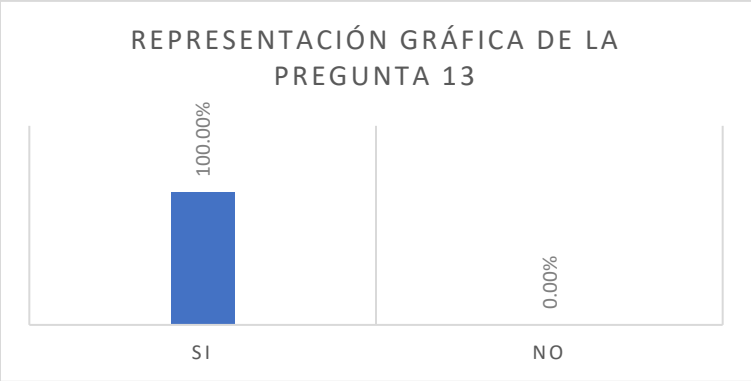
Tabla 49: Cantidad de encuestados que desean una explicación con nuevas tecnologías.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	37	100.0%
No	0	0.0%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 62: Representación gráfica de la pregunta 13.



Fuente: Elaboración propia.

De manera unánime los treinta y siete encuestados que han formado o están próximos a ser sometidos a procesos quirúrgicos; consideran de beneficio que se incorporen nuevas tecnologías a el proceso de diagnóstico y acepta como parte de los beneficios que se amplie la información obtenida de estas.

14. ¿Lugar donde le realizaron la cirugía al paciente?

Tabla 50: Lugar en el que los encuestados fueron operados.

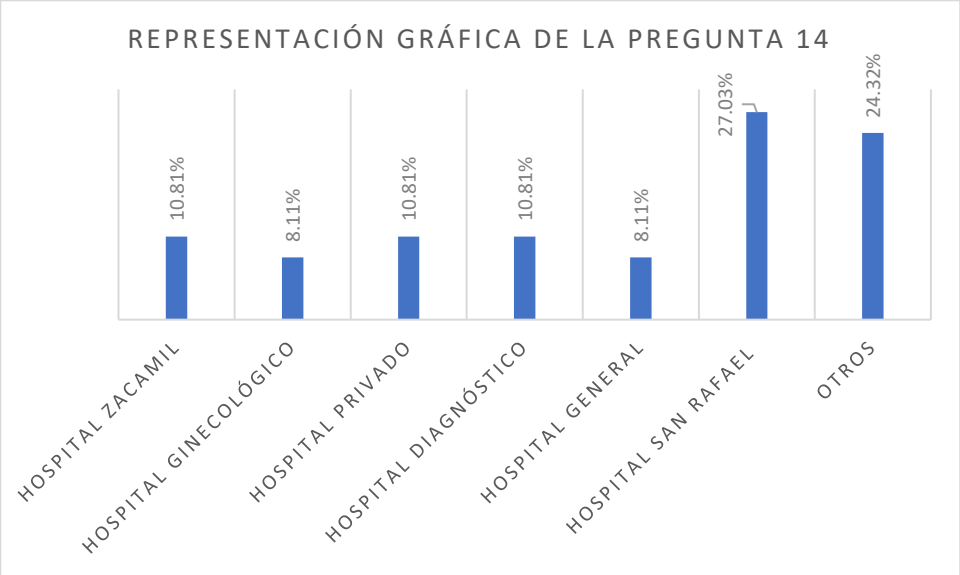
Lugar de la cirugía	Cantidad	Porcentaje
Hospital Zacamil	4	10.81%
Hospital Ginecológico	3	8.11%
Hospital Privado	4	10.81%
Hospital Diagnóstico	4	10.81%
Hospital General	3	8.11%

Lugar de la cirugía	Cantidad	Porcentaje
Hospital San Rafael	10	27.03%
Otros	9	24.32%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la gráfica:

Ilustración 63: Representación gráfica de la pregunta 14.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a esta interrogante, se puede definir que la mayoría de los pacientes sometidos a cirugías, han sido intervenidos en la red hospitalaria publica, siendo esto un 64.87%, en cuanto al 10.81% han sido sometidos a cirugías en la red privada y un 24.32% decidió no especificar el lugar donde se aplicó su cirugía.

15. ¿Qué medio utilizó el médico para explicar su padecimiento?

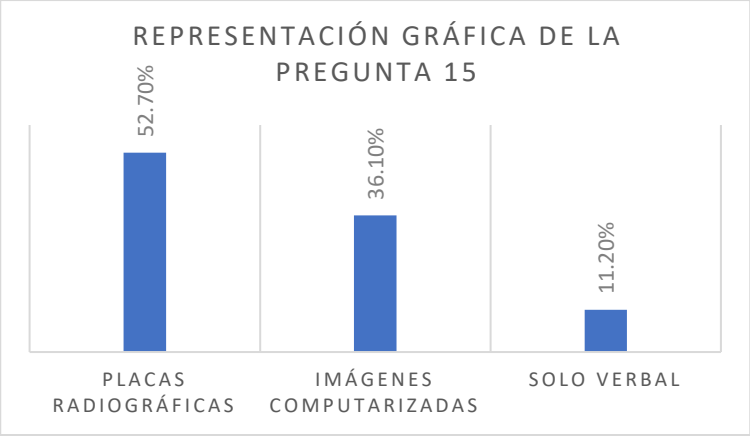
Tabla 51: Medios utilizados por los doctores para explicar los padecimientos a los pacientes.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Placas radiográficas	19	52.7%
Imágenes computarizadas	13	36.1%
Solo verbal	5	11.2%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 64: Representación gráfica de la pregunta 15.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los medios que el medico utilizo para especificar el padecimiento del paciente, el 52.7% definió que solo se usó las placas radiográficas, para explicar su padecimiento; el 36.1% establecido que se usaron imágenes computarizadas donde el medico explico su padecimiento y en cuanto al resto que corresponde al 11.2% solo se le especifico de manera verbal.

16. ¿Usted entendió la explicación del médico?

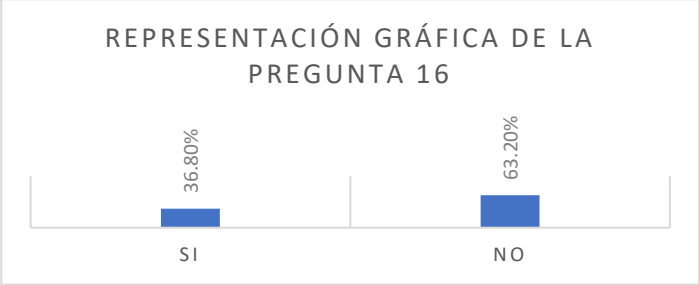
Tabla 52: Cantidad de encuestados que entendieron la explicación del doctor.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	31	84.20%
No	6	15.80%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 65: Representación gráfica de la pregunta 16.



Fuente: Elaboración propia.

De la población encuetada, la cual ha sido sometida a proceso quirúrgico o está próxima a ser parte de ello, el 84.20% ha entendió su caso en base a las herramientas que el medico ha ejecutado para diagnosticar, en cuanto al 15.80% no han entendió el proceso al cual se sometieron.

17. ¿Piensa que necesita una ampliación a la explicación brindada por el médico?

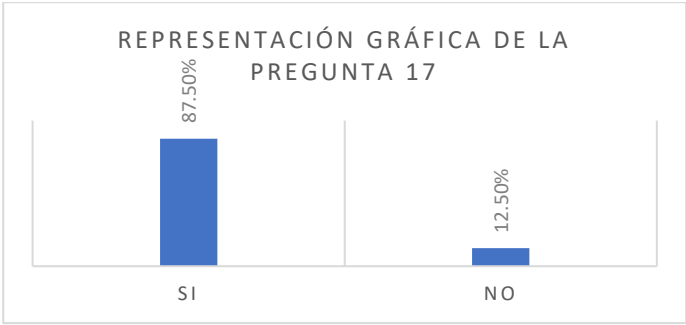
Tabla 53: Cantidad de encuestados que desean una ampliación de las explicaciones médicas.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	14	36.80%
No	23	63.20%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 66: Representación gráfica de la pregunta 17.



Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos en la aplicación de la encuesta, se puede definir que el 36.80% de los sometidos a procesos quirúrgicos, considera que se requiere de una mejor

explicación del caso a abordar; en cuanto al 63.20% de las personas restantes, consideran que la explicación ejecutada sobre su caso es suficiente.

Sección 3: Población sin proceso quirúrgico

18. ¿De ser un paciente sometido a proceso quirúrgico, le gustaría tener una ampliación en su diagnóstico, utilizado nuevas tecnologías para la ejecución de su análisis clínico?

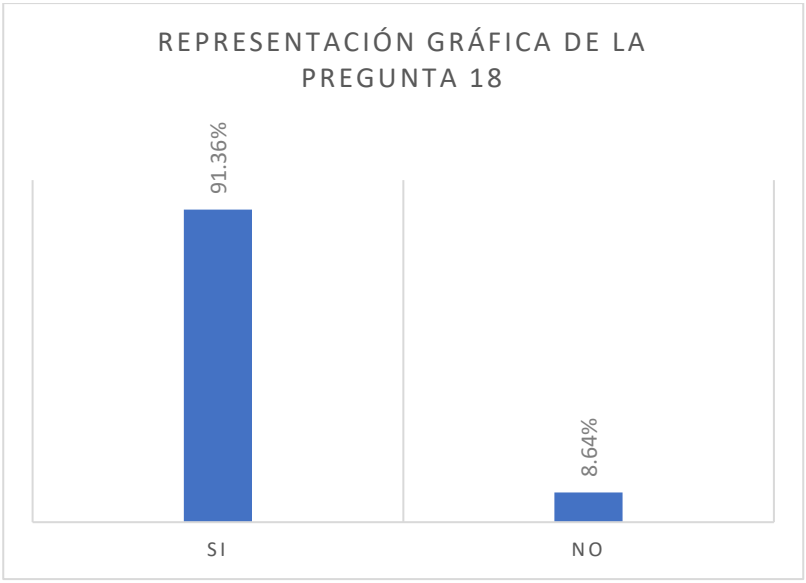
Tabla 54: Cantidad de encuestados que desean un diagnóstico con nuevas tecnologías

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	56	91.36%
No	5	8.64%

Fuente: Elaboración propia.

A continuación. se presenta la representación gráfica:

Ilustración 67: Representación gráfica de la pregunta 18.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la población que no ha sido sometida a procesos de cirugía, el 91.36% estima conveniente que se incorporen nuevas tecnologías para la realización del diagnóstico médico. En cuanto al 8.64% no muestra interés para incorporar en sus procesos médicos nuevas tecnologías.

Sección 4: Presentación de la tecnología 3D

19. ¿Conoce usted de la aplicación de tecnologías en 3D para la medicina?

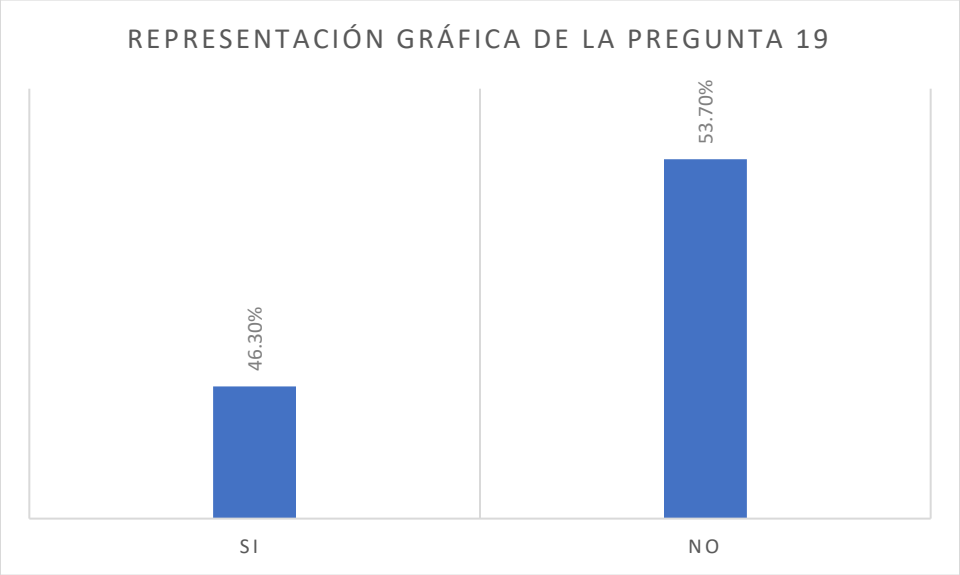
Tabla 55: Cantidad de encuestados que conocían la aplicación de la tecnología 3D en medicina.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	32	46.30%
No	38	53.70%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 68: Representación gráfica de la pregunta 19.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: en el caso que el encuestado no conocía la tecnología antes mencionada, se generaba una presentación adecuada de la tecnología, mencionado sus beneficios y otras características. Cabe mencionar que de los 98 encuestados, solo 70 de ellos presentaron interés en ampliar sus estudios con estas nuevas tecnologías, para su diagnóstico los cuales se analizaron en esta sección.

La población encuestada, que tiene conocimientos sobre la aplicación de la tecnología 3D en la medicina es de 46.30% de los encuestados y el 53,70% de estos no posee tan

conocimiento. Se debe de definir que la población sometida a esta interrogante, son aquellos que están de acuerdo en incorporar nuevas tecnologías a sus casos médico y los pacientes que desean ampliación de los mismo.

20. ¿Desde su punto de vista y según lo detallado en la interrogante anterior, como valora el aplicar esta tecnología a el análisis prequirúrgico?

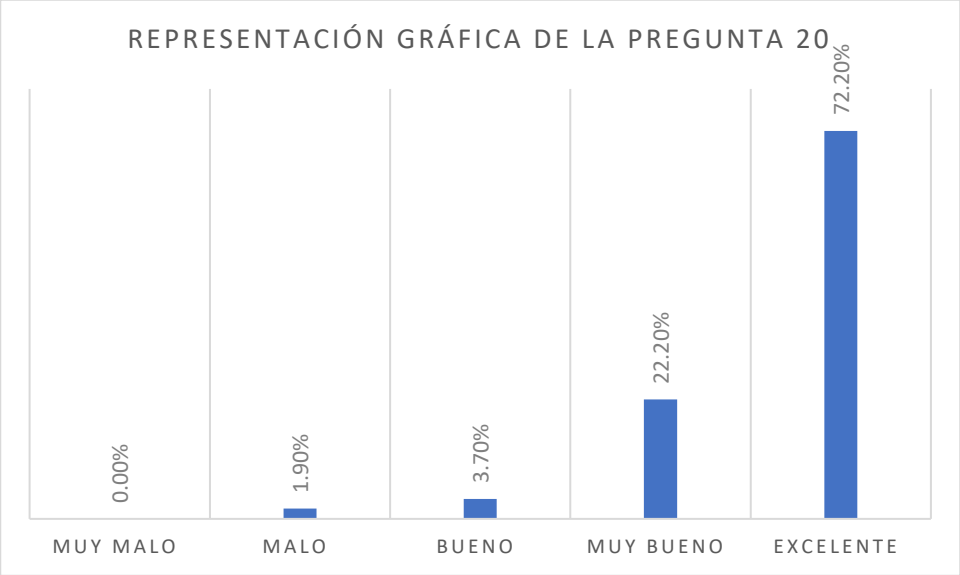
Tabla 56: Valoración de aplicación de la tecnología 3D en el análisis prequirúrgico.

Muy malo	Malo	Bueno	Muy bueno	Excelente
0	1	3	16	51
0.00%	1.90%	3.70%	22.20%	72.20%

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el gráfico de la pregunta:

Ilustración 69: Representación gráfica pregunta 20.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a esta interrogante, que se enfoca en saber lo que las personas piensan sobre la aplicación de la tecnología de impresión 3D en el análisis prequirúrgico, es que el 72.20% de la población le parece excelente, al 22.20% bueno, al 3.70% bueno y al 1.90% malo. Por lo que podemos razonar que tiene un alto nivel de aceptación en su aplicación médica.

21. ¿De aplicarse estas nuevas tecnologías a su caso en particular, estaría dispuesto a cancelar un costo adicional?

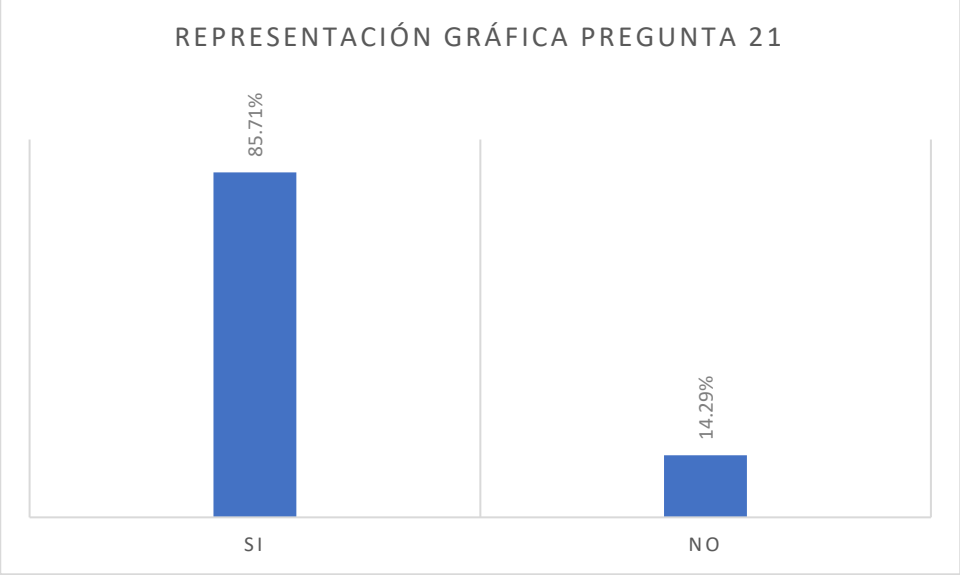
Tabla 57: Cantidad de encuestados dispuestos a pagar por el uso de la fabricación 3D.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	60	85.71%
No	10	14.29%

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta el gráfico:

Ilustración 70: Representación gráfico de la pregunta 21.



Fuente: Elaboración propia.

En esta oportunidad la pregunta ha sido de índole económica para conocer en caso de que se ofrezca este servicio de impresión 3D, se tenga un interés de hacer un pago para poder obtener el beneficio. Lo cual dio como resultado que el 82.20% de la población sí lo haría y el 14.80%, no. En su mayoría hacían el comentario de pagar porque es para abonar al diagnóstico de su padecimiento y que estarían dispuestos para encontrar una solución.

22. ¿Cuánto estaría dispuesto a cancelar si el servicio tuviera un costo adicional?

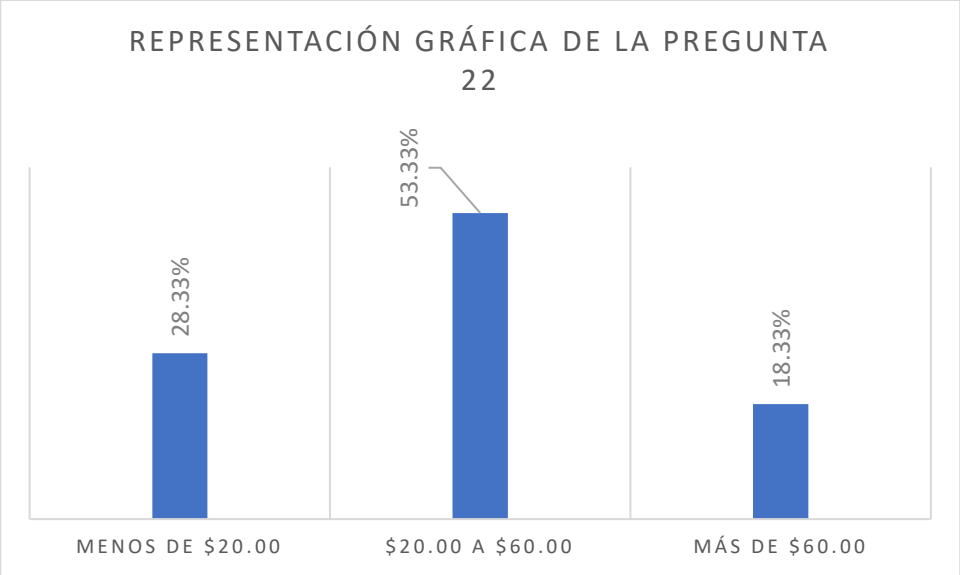
Tabla 58: Monto estimado de pago por el uso de impresiones 3D.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Menos de $20.00	17	28.33%
$20.00 a $60.00	32	53.33%
Más de $60.00	11	18.33%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el gráfico:

Ilustración 71: Representación gráfica de la pregunta 22.



Fuente: Elaboración propia.

Trayendo a consideración la posibilidad de que este servicio de impresión tenga un costo, ya sea porque es un servicio privado o algún otro motivo como un servicio adicional que no cubre el seguro, etc., se consideraron intervalos de los cuales el de $20 a $60 tuvo aceptación del 52.20%, de menos de $20.00 un 28.30% y finalmente el de más de $60.00 fue de 19.60%. Por lo que el que puede emplearse es de rango medio-alto, que tiene aceptación.

Sección 5: Casos futuros de estudios.

23. Teniendo en cuenta todo lo abordado en la encuesta, Usted tendría interés en formar parte de algún caso práctico, en el que se aplique este tipo de tecnologías para abordar el análisis preoperatorio y ejecutar de mejor forma la cirugía a abordar.

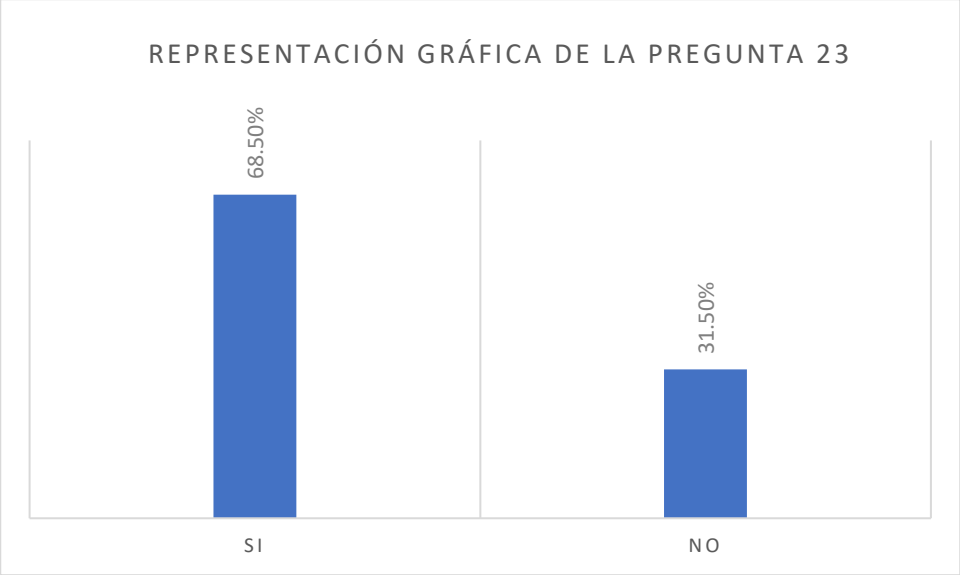
Tabla 59: Cantidad de encuestados dispuestos a participar en análisis prequirúrgicos que incorporen impresiones 3D.

Característica	Cantidad	Porcentaje
Si	48	68.50%
No	22	31.50%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la gráfica:

Ilustración 72: Representación gráfica de la pregunta 23.



Fuente: Elaboración propia.

Se consideró que en caso se tenga la oportunidad de realizar un caso de estudio, contactar con personas interesadas. De las cuales la muestra encuestada dijo que sí con un 68.50% y un 31.50% dijo no estar interesada.

9.8.4. Análisis Grupal De Los Resultados De Investigación

Profesionales del área de cardiología

Tabla 60: Profesionales de cardiología entrevistados.

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
Calidad de las imágenes de las anatomías únicas y complejas.	• Tipo de tecnología • Tiempo de generación de imagen • Nivel de compresión de patologías complejas a partir de las imágenes.	Las tecnologías actualmente empleadas en procesos de generación de imagen y diagnósticos en el área de cardiología, se basa en lo siguiente: Ecocardiograma, Resonancia magnética cardíaca, Cateterismo, Estudio de Rayos X, Electrocardiograma, Ultrasonografía y Tomografía axial computarizada. Por lo cual se considera que el tipo de tecnología empleado en los procesos actuales para el genera un plan de intervención quirúrgico, está sustentado por tecnologías clásicas y que llevan años siendo empleadas. El 100% de los profesionales cuestionados mencionaron que el emplear tecnologías clásicas no es de todo malo; pues el manejo de esta familiarizado con todos los procesos actuales, pero ese esencial destacar que para existen siempre casos en los que debido a las anotomías de los pacientes requieren de mejor interpretación, es ahí donde se puede destacar la necesidad de involucrar nuevos elementos que fortaleza la toma de decisión para el diseño del plan de intervención. Cuando se habla de tecnologías habitualmente empleadas en los procesos, los profesionales no dejaban de lado la generación de

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
		imágenes que para el área es de gran utilidad, donde se podía destacar el tiempo promedio de la creación de estas, el cual ronda en un periodo de 30 a 45 minutos. En cuanto al alcance del plan de intervención quirúrgico, no se deja de lado el enfoque de estos, ya que se basa para aquellas cirugías que son de carácter electivas, ya que es la programación de estas tiene un tiempo considerablemente prolongado para tener el panorama más amplio y poder ser ejecutada.
Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital.	• Conocimiento de la impresión 3D. • Demanda en la adquisición de nuevos conocimientos.	Al evaluar a los profesionales sometidos al estudio, se pudo detectar que el 90% de estos, tiene conocimiento de las tecnologías de impresión en 3D; pero de estos menos del 50% ha participado en procesos de generación de planes de intervención quirúrgica con apoyo de los modelos de impresión en 3D. Los profesionales destacaron que el incorporar estas nuevas tecnologías, traería grandes beneficios a los médicos que estructuran el plan de intervención quirúrgica, teniendo de referencia un modelo palpable que puede orientar de mejor manera la cirugía. Es esencial mencionar que también se afirmó que no en todos los casos se es de gran necesidad estos modelos pero que en anatomías de carácter complejo son muy esenciales. También dentro del análisis ejecutado a través de la investigación de campo, se dio detalle de los profesionales, para crear conciencia en los beneficios de emplear esta mismas a una red

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
		educativa que agilice el dinamismo practico de los futuros profesionales del área y a su vez se tenga conocimientos de casos muy particulares. A su vez se puede mencionar que de los profesionales entrevistados el 100% de los ellos, muestran interés en recibir conocimiento del manejo de estas nuevas tecnologías y la adaptación de las mimas para el apoyo al análisis médico, ejecutado actualmente por tecnologías clásicas.
	• Capacidad de aplicación de la impresión 3D.	La opinión de los profesionales cuestionados ante las interrogantes, que buscan evaluar la capacidad de la red actual del sistema de salud del país, para incorporará estas nuevas tecnologías, destaco que actualmente depende mucho de la estabilidad política, pero que ellos no dejan de lado tanto el sistema de salud público y privado tiene el potencial de invertir en esta y que sin duda sería una buena apuesta para mejorar aquellos diagnósticos de anatomía complejas, que no solo se ven involucrados al área de cardiología, sino que también en diversas áreas que sea necesario. Sin duda alguna se considerará que no es algo fácil de emplear, tanto por el área economía como la adaptabilidad de esta en los procesos, pero si tiene un potencial muy favorable para sé de beneficio al sistema de salud del país.

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
Nivel comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico para la estructuración del plan de intervención quirúrgico.	• Tipo de medio visual utilizado • Calidad de la explicación del plan de intervención quirúrgica	Los medios visuales más utilizados son ecocardiogramas transesofágicos y ultrasonografías. Con base a los medios visuales y otros exámenes generales, el cirujano cardiólogo lidera la estructuración del plan de intervención para el caso del paciente, dejando claro roles, parámetros, tareas e instrumentos a utilizar. Además, el cirujano debe de seguir la explicación de los protocolos operativos, dejando en claro el caso que se va a abordar, para el proceso quirúrgico, así se deberá de preparar el equipo e instrumentos oportunos, siendo esto último la evidencia de una buena o mala comunicación el plan de intervención.
Aplicación de la fabricación digital	• Tiempo de cirugía • Nivel de traumatismo físico	El tiempo de una cirugía es variable y está en función de la patología del paciente. Siento el tiempo promedio de 7 horas para patología complejas y de 3.5 para patologías menos exigentes. Primero se establece que el tiempo de una cirugía depende de la patología, complicaciones durante la cirugía y características del paciente. Sin embargo, su incorporación representa un impacto positivo en los tiempos, ya que permite previsualizar la intervención quirúrgica, facilitando la memoria mecánica del cirujano y reduciendo los tiempos quirúrgicos. A menor tiempo, menor es el daño en el cuerpo del paciente, aun así, las

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
		características físicas del paciente influyen en los tiempos y nivel de traumatismo físico de una cirugía. Se destaca que los beneficios más cercanos de aprovechar la tecnología de fabricación 3D son la comunicación y orientación durante la estructuración del plan de intervención y la diminución de los tiempos.
	• Tiempo de recuperación de pacientes	El promedio es de días de recuperación es 7 días, en condiciones normales y cirugías con intervenciones más comunes. El tiempo de recuperación del paciente varía en función del tipo de intervención quirúrgica y el cuerpo del paciente, por lo tanto, en algunos casos es más de una semana o incluso un mes, por lo tanto, una cirugía menos invasiva no influye en este tiempo. Una cirugía menos invasiva solo influye en el tiempo de cuidados intensivos. Según los entrevistados, los equipos que más se utilizan en las cirugías son: • Bomba de circulación extracorpórea • Máquina de anestesia • ventiladores mecánicos • Electrocauterios • electros cardiogramas • Lámparas dialíticas • Bisturí

Variable	Indicadores	**Análisis de las variables**
		• Tenazas • Mascarillas • Sueros • Equipo de tomas de oxigeno • Equipos de succión

Fuente: Elaboración propia

Problemáticas:

1. Indisponibilidad de modelos virtuales y físicos para anotomías únicas y compleja.
2. El diseño del plan de intervención quirúrgica para anotomías únicas y complejas no cuenta con la incorporación de tecnología de fabricación digital.
3. Los estudiantes y doctores del área de cardiología poseen limitados conocimiento en el uso de nuevas tecnologías.
4. Las imágenes utilizadas actualmente no permiten realizar prácticas físicas del plan de intervención.
5. En la comunicación del plan de intervención aún no ha incorporado nuevas tecnologías como herramientas de apoyo innovador.

Pacientes

Tabla 61: Pacientes entrevistados.

Objetivo	Variables	Análisis de las variables
Determinar si el tipo de medio visual usado para explicar a los pacientes es de ayuda para darles la información de su enfermedad y solución quirúrgica.	• Porcentaje de pacientes que recibieron una explicación • Porcentaje de pacientes que comprendieron la explicación	Del total de encuestados el 30.80% fue sometido a cirugía. El porcentaje de pacientes que recibieron una explicación de parte del doctor es de 79.20% y resto que no. En cuanto al tipo de medio visual utilizado el 52.7% menciona que fue con placas radiográficas, el 36.1% afirma que fue con una imagen virtual y el resto que fue de manera verbal. Continuando con lo anterior, el 84.20% entendió la explicación y el resto no. De ese grupo, el 63.20% dice que no es necesario una ampliación en la explicación y el resto que sí.
Establecer el nivel de aceptación de la aplicación de la fabricación digital en el diagnóstico y comunicación de problemas cardiacos.	• Nivel de aceptación de la aplicación de la fabricación 3D en la medicina	A la población que no ha experimentado una operación se le pregunto si le gustaría tener una ampliación en su diagnóstico utilizado nuevas tecnologías para la ejecución de su análisis clínico, y el 91.36% afirmo que si le gustaría. Del grupo anterior el 53.70% conoce sobre la aplicación de la impresión 3D en la medicina, y de ese grupo el 72.20% afirma que su aplicación en el análisis prequirúrgico es excelente siendo este valor el nivel de aceptación de la aplicación de la fabricación 3D en medicina.

Objetivo	Variables	Análisis de las variables
Conocer la disposición de pago de pacientes y potenciales pacientes para la utilización de modelos 3D en la estructuración de su plan de intervención quirúrgica.	• Porcentaje de personas dispuesta a pagar	El 82.20% está dispuesto a pagar costos por la fabricación de modelos 3D. Del grupo anterior el 52.20% está dispuesto a cancelar un costo estimado de $20 a $60, y el 28.30% menos de $20.

Fuente: Elaboración propia

Problema identificado:

1. En los medios visuales que utilizan los doctores, para explicar a los pacientes su condición anatómica no sean emplean métodos innovadores.

9.9. Análisis para validación de la hipótesis de trabajo

Para abordar la hipótesis de la investigación sobre el diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador, es fundamental emplear un enfoque cualitativo, dado que la naturaleza innovadora de esta propuesta limita la disponibilidad de indicadores cuantitativos previos. Al tratarse de un campo emergente, no existen aún suficientes estudios en el contexto local que permitan establecer referencias comparativas o valores base para indicadores cuantitativos confiables.

La fabricación digital, especialmente mediante tecnologías de impresión 3D, promete revolucionar la planificación quirúrgica en cardiología al ofrecer una visualización precisa y tangible de anatomías complejas. Sin embargo, esta tecnología aún no se ha implementado de manera sistemática en la región, lo que implica que muchos de los efectos e impactos potenciales están por documentarse. Por esta razón, el análisis cualitativo resulta adecuado y necesario, ya que permite captar y valorar la percepción de los profesionales de la salud, el nivel de conocimiento, las necesidades y las barreras actuales en cuanto a la aplicación de estas tecnologías.

Este apartado presenta un análisis cualitativo basado en variables clave que destacan la percepción y disposición de los médicos hacia la adopción de la fabricación digital. La estructura del análisis se enfoca en la calidad de las imágenes, el nivel de conocimientos sobre tecnologías 3D, la comunicación en el equipo quirúrgico y los potenciales beneficios en tiempos y precisión quirúrgica. A partir de estos elementos, se busca justificar y sustentar la hipótesis inicial mediante un marco descriptivo que explore el potencial de la fabricación digital en la optimización de intervenciones quirúrgicas en cardiología.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado y lo abordado en el estudio de campo para el modelo en proceso de diseño se plantea un análisis por variables sometidas en el estudio de la manera siguiente:

- **Variable Independiente 1: Calidad de las imágenes de las anatomías únicas y complejas**

Tabla 62: Análisis de la variable calidad de imágenes de las anatomías únicas.

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
Tecnologías clásicas	Se usan tecnologías como ecocardiograma, resonancia magnética, etc., todas clásicas y consolidadas.	La familiaridad con estas tecnologías permite que los médicos las dominen, aunque en ciertos casos complejos no son suficientes para una visualización completa y detallada.
Necesidad de innovación	El 100% de los profesionales considera necesaria la innovación en casos complejos.	Existe una apertura a la incorporación de nuevas herramientas como la impresión 3D, especialmente para anatomías de alta complejidad que requieren una interpretación detallada.
Tiempo de generación de imágenes	El tiempo promedio de generación de imágenes es de 30 a 45 minutos.	Aunque es un tiempo aceptable para intervenciones electivas, la precisión y claridad en algunos casos complejos podría beneficiarse del apoyo de modelos 3D.

Fuente: Elaboración propia

- **Variable Independiente 2: Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital**

Tabla 63: Nivel de conocimientos de médicos cardiólogos en el uso de la fabricación digital

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
Conocimiento de impresión 3D	90% conoce la tecnología, pero menos del 50% ha participado en procesos de	Aunque existe conocimiento de la tecnología, su aplicación práctica es limitada, lo cual representa un área de

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
	planeación quirúrgica con modelos 3D.	oportunidad para mejorar la educación y práctica en el área.
Interés en formación	El 100% de los entrevistados expresó interés en aprender a usar tecnología de fabricación digital.	Indica una disposición favorable y compromiso de los médicos en recibir capacitación, lo cual podría fortalecer la adopción y aplicación en anatomías complejas.
Relevancia en anatomías complejas	La mayoría consideró los modelos 3D útiles para casos de anatomías complejas.	Los modelos 3D pueden mejorar significativamente el proceso de planificación quirúrgica en casos específicos, confirmando su utilidad en situaciones de alta complejidad.

Fuente: Elaboración propia

- **Variable Independiente 3: Nivel de comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico**

Tabla 64: Nivel de comunicación efectiva entre el equipo médico quirúrgico

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
Medios visuales empleados	Ecocardiograma transesofágico y ultrasonografía son los medios visuales más comunes.	Los medios clásicos cumplen su función en la mayoría de los casos, pero la adición de modelos 3D podría enriquecer el análisis visual en casos complejos.
Liderazgo en planificación	El cardiólogo lidera la planificación, estableciendo roles y tareas, y hay protocolos claros de comunicación en el equipo quirúrgico.	Aunque la comunicación es adecuada, los modelos 3D podrían reforzar la comprensión del equipo respecto a la anatomía.
Importancia de los modelos	Se destaca la posibilidad de que los modelos 3D ayuden a mejorar la claridad y precisión en la preparación y comunicación para cirugías electivas,	La inclusión de modelos 3D podría mejorar la comunicación efectiva y la visualización de anatomías complejas, generando un mejor

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
	especialmente en casos con anatomías difíciles.	entendimiento conjunto del equipo.

Fuente: Elaboración propia

- **Variable Dependiente: Aplicación de la fabricación digital**

Tabla 65: Aplicación de la fabricación digital

Aspectos	Hallazgos	Interpretación
Impacto en tiempos	La previsualización de la intervención con modelos 3D permite a los cirujanos reducir tiempos quirúrgicos y minimizar el daño físico.	Menores tiempos quirúrgicos favorecen la recuperación y reducen el riesgo de complicaciones posoperatorias.
Recuperación	El tiempo promedio de recuperación es de 7 días en cirugías comunes, aunque puede variar según la patología.	Los modelos 3D podrían ayudar a disminuir la invasividad de las intervenciones, promoviendo mejores tiempos de recuperación.
Equipos necesarios	Mencionan equipos clave en el proceso quirúrgico, como bombas extracorpóreas y ventiladores mecánicos.	La incorporación de modelos 3D podría optimizar la preparación del equipo y minimizar los riesgos asociados a la cirugía.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta todos los elementos antes definidos en los cuadros anteriores, se puede establecer lo siguiente:

"Se acepta la hipótesis de que la aplicación de fabricación digital (mediante tecnologías 3D) es favorable en la planificación de intervenciones quirúrgicas para anatomías complejas, mejorando la comunicación, el entendimiento y los tiempos de intervención. La evidencia cualitativa respalda que los modelos 3D podrían ser una herramienta de valor en la planificación quirúrgica, reduciendo tiempos de intervención y aumentando la precisión en los casos de alta complejidad"

9.10. Determinación De La Problemática De La Situación Actual

Para establecer la problemática de la situación actual, se toman como base los resultados obtenidos en la investigación de campo, los cuales han sido procesados y analizados previamente para ser sometidos a técnicas de análisis que permitan determinar el problema central que impulsa el estudio.

9.10.1. Metodología del marco lógico

Metodología del marco lógico: es una herramienta que tiene por objetivo facilitar los procesos de la gestión de proyectos. Este modelo abarca desde la conceptualización, diseño, planificación, ejecución y hasta la evaluación del trabajo.

Se decantó por la aplicación de la metodología del marco lógico por su integralidad al tomar en cuenta todos los aspectos para brindar un diagnóstico adecuado y certero. Sin limitarse únicamente al diagnóstico y la elaboración de la MML, sino que también sienta las bases para la planificación del proyecto y hasta maneras de medir los resultados para comparar lo obtenido con lo trazado. Sin duda, es una herramienta de alcance global que vale la pena para investigaciones que buscan un alto impacto en la sociedad.

1. Análisis de los involucrados

Para reconocer a los actores que intervienen de manera directa o indirecta, esto para visualizar quiénes son los afectados, beneficiados, barreras y desafíos para lograr el cometido. Además, se busca facilitar la generación de alternativas con base a sus intereses y así encaminar los esfuerzos a la satisfacción de los que deben ser los principales.

La matriz de involucrados es la siguiente:

Tabla 66: Matriz de análisis de involucrados.

Actor	Rol	Recursos	Interés	Posición
Población salvadoreña	Es el grupo de personas que pueden ser beneficiadas por el empleo de los modelos de impresión 3D, en el ámbito médico para el diagnóstico y otras posibles utilidades en el desarrollo de su proceso de salud, como en la cirugía y beneficios a consecuencia de su empleo.	• Pacientes • Potenciales pacientes	Recibir asistencia médica de alto nivel, que permita tener un diagnóstico adecuado y que influya de manera positiva en la ejecución de la cirugía para aumentar sus probabilidades de supervivencia.	A favor
Servicios públicos de Salud	Instituciones que tienen la capacidad de brindar un diagnóstico cardiológico y/o realizar cirugías de la misma índole, debido a sus profesionales y equipos en el sector público.	• Médicos cardiólogos • Radiólogos • Anestesistas • Enfermeros y enfermeros especializadas. • Equipos especializados para diagnóstico, cirugía y cuidados postoperatorios.	Cumplir con el derecho a la salud a través de la cobertura, calidad, equidad, integralidad, calidez para lograr una mejorar calidad de vida en la población.	A favor

Actor	Rol	Recursos	Interés	Posición
		• Instalaciones físicas		
Servicios privados de Salud	Instituciones que tienen la capacidad de brindar un diagnóstico cardiológico y/o realizar cirugías de la misma índole, debido a sus profesionales y equipos en el sector privado.	• Médicos cardiólogos • Radiólogos • Anestesistas • Enfermeros y enfermeros especializadas. • Equipos especializados para diagnóstico, cirugía y cuidados postoperatorios. • Instalaciones físicas	Ofrecer a la población una alternativa de servicios de Salud a la población en respuesta a la decadencia, saturación y servicio de mala calidad.	A favor
Ministerio de salud	Es el ente encargado de generar políticas, regulaciones, presupuestaciones y las condiciones necesarias para garantizar a la población, una atención sanitaria adecuada; a través de la cobertura de los servicios oportunos,	• Leyes, reglamentos y normativas para regular el ámbito de la salud a nivel nacional. • Financiamiento económico	Estimular la innovación médica en el sector público, para brindar mejores servicios y, por ende, mejores resultados en las intervenciones que se realizan en los pacientes, para garantizar el derecho a la salud.	A favor

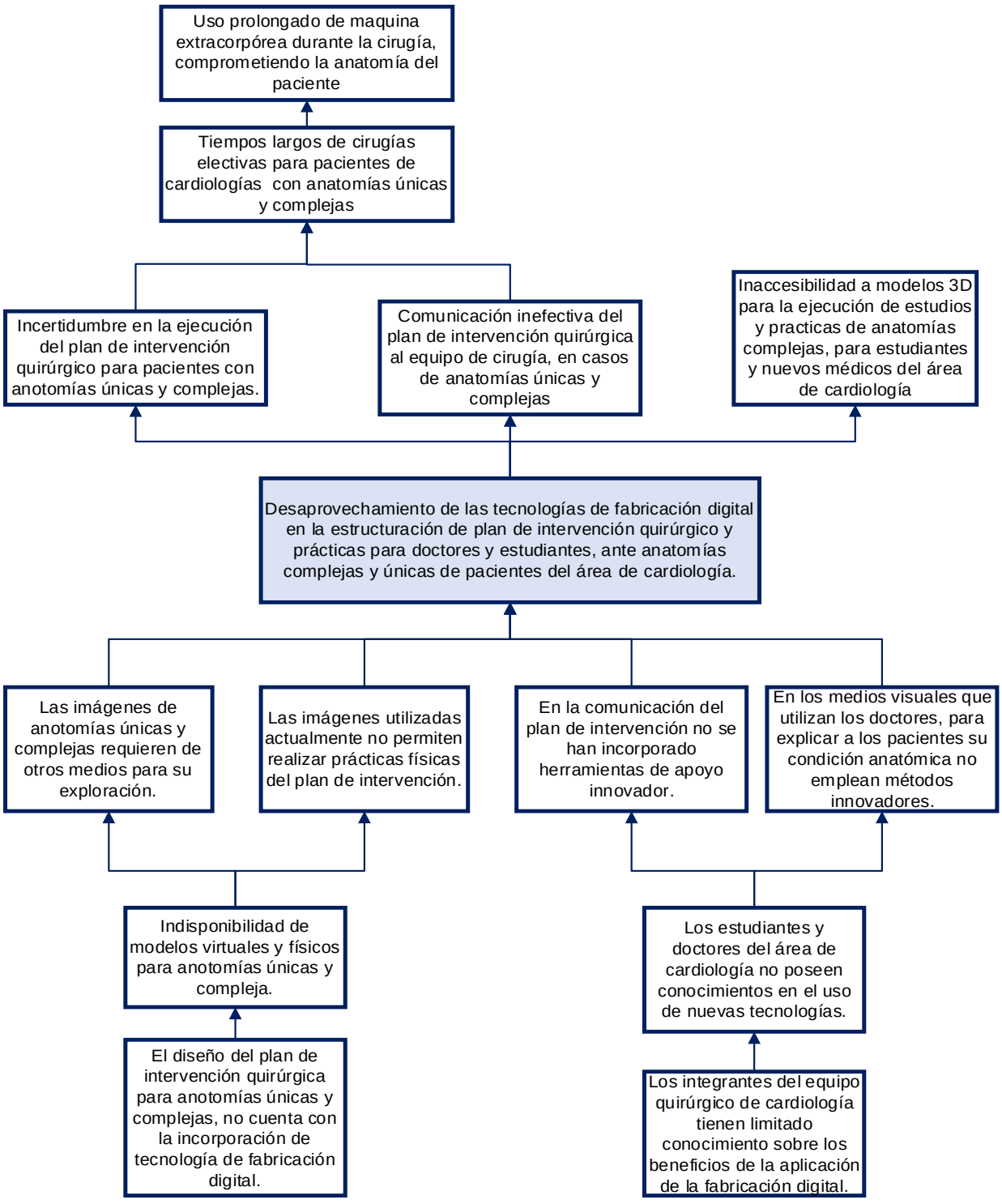
Actor	Rol	Recursos	Interés	Posición
	integrales, con equidad, calidad y calidez.	de proyectos. • Cooperación en proyectos de salud		
Laboratorios de impresión 3D	Empresas o entidades sin fines de lucro, especializadas en ofrecer servicios de diseño, producción y entrega de producto final de impresiones en 3D.	• Técnicos en impresión 3D • Maquinaria y estaciones para la producción de modelos 3D. • Instalaciones físicas.	Generar modelos de impresión 3D bajo pedido, ya sea sin fines de lucro o con fines económicos.	A favor
Poderes del Estado	Los 3 poderes que conforman al Estado, como parte del afán de brindar una vida pública y estado de derecho para los habitantes del país, con las condiciones adecuadas para tener una vida de calidad.	• Aprobación de recurso económico para proyectos de salud. • Creación y establecimiento de leyes, normativas y condiciones para el funcionamiento del país.	Generar las condiciones para que la población tenga una buena calidad de vida, a través de la aprobación de legislaciones, aprobación de presupuestos, normativas, etc.	Neutro

Actor	Rol	Recursos	Interés	Posición
Escuela de ingeniería industrial	Organización sin fines de lucro, que está al servicio de la comunidad para enlazar a los profesionales en formación con instituciones en las que se pueda aplicar la mejora continua en beneficio de la sociedad salvadoreña, a través de proyectos de pregrado y grado.	• Estudiantes con la formación requerida en el impulso de proyectos. • Instalaciones de apoyo para el desarrollo del estudio	Formar profesionales competentes en ingeniería industrial para beneficio de la sociedad salvadoreña.	A favor

Fuente: Elaboración propia

2. Análisis de la problemática (Árbol de problemas)

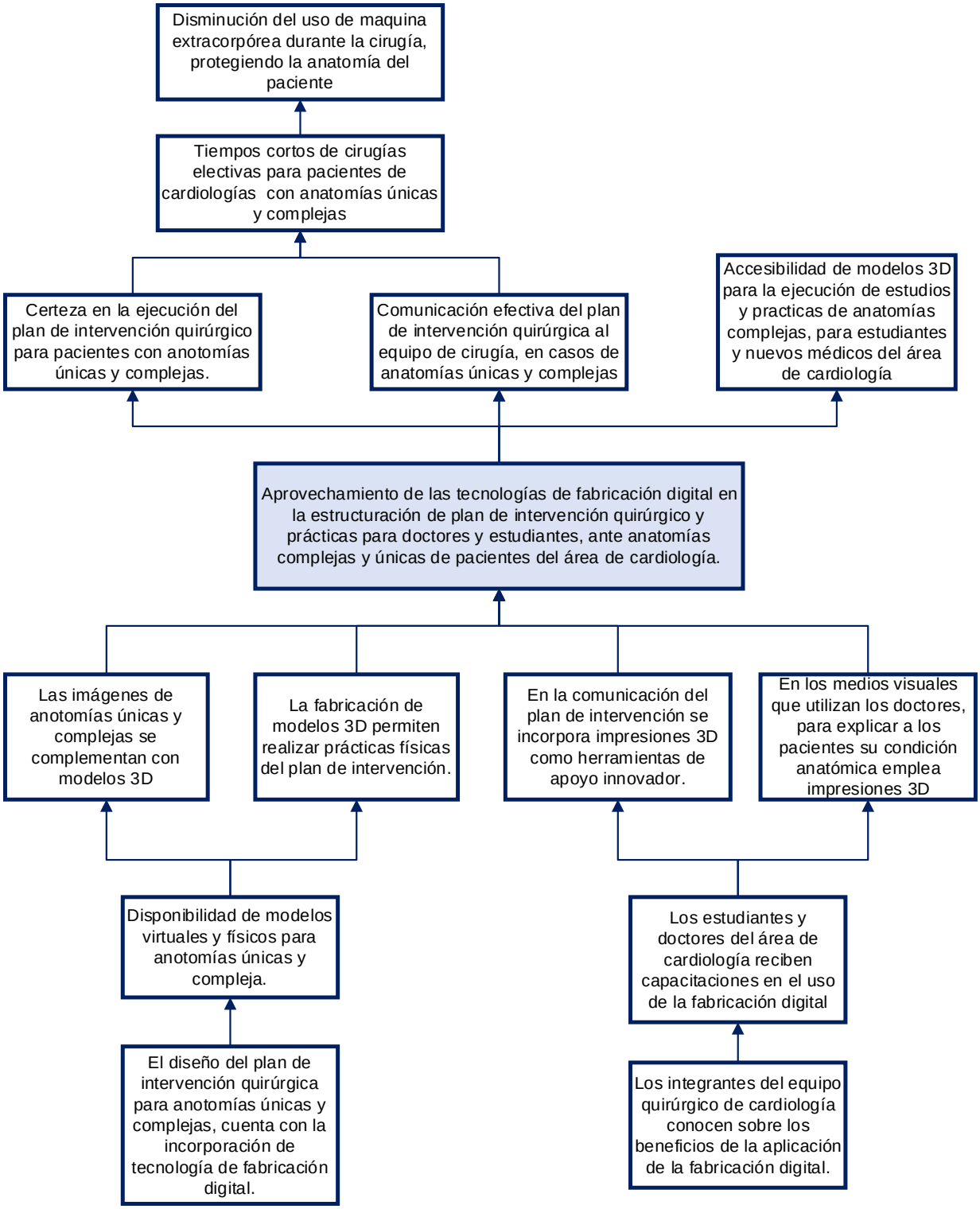
Ilustración 73: Análisis de árbol de problemas.



Fuente: Elaboración propia.

3. Análisis de objetivo (árbol de objetivos)

Ilustración 74: Análisis de árbol de objetivos.



Fuente: Elaboración propia.

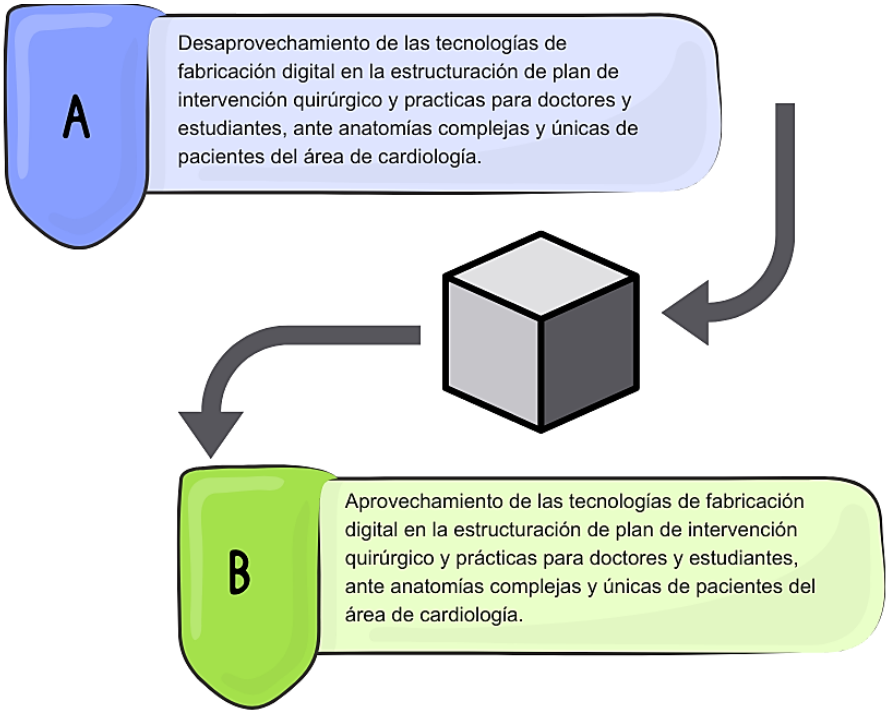
9.10.2. Planteamiento de la problemática

Con base al análsis del arbol de problemas se presenta el siguiente enunciado que describre el problema central detectado:

Planteamiento del problema
Desaprovechamiento de las tecnologías de fabricación digital en la estructuración de plan de intervención quirúrgico y practicas para doctores y estudiantes, ante anatomías complejas y únicas de pacientes del área de cardiología.

Finalmente, la representación de cambio del estado A contenido en el tronco del arbol de problemas a un estado B del tronco del arbol de objetivos se aprecia en la siguiente caja negra:

Ilustración 75: Caja negra de la situación problemática identificada y el estado que se busca alcanzar.



Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la propuesta de solución

Teniendo en cuanta el árbol de objetivos, presentado en los apartados anteriores, se establece la propuesta de solución, que busca dar mejoras a el enfoque de la problemática establecido en base a hipótesis de trabajo del estudio.

Definición de los criterios

Para definir la propuesta de solución óptima en el abordaje de la problemática, se establecerán criterios, que tiene en cuenta los elementos claves para la gestión de la solución del problema. Por lo antes mencionado, se establece lo siguiente.

Tabla 67: Criterios para la valoración de las alternativas parciales de solución.

Criterios	Descripción
1. Complejidad	Este criterio busca calificar si la solución propuesta, será procesada bajo gestiones complejas para desarrollarse y obtener resultados. La complejidad define que tantas barreras u obstáculos puede existir en el desarrollo de la alternativa propuesta.
2. Disponibilidad de recurso humano	En cuanto a este criterio, busca tener en cuenta la capacidad, competencias y habilidades requeridas para el talento humano, que llevara en las manos la gestión de la implementación de la alternativa propuesta. Cabe destacar que esta toma en cuenta tanto el recurso para implementarlo, así como el encargado de gestionar su operatividad.
3. Disponibilidad tecnológica	En cuanto a la disponibilidad tecnológica, es esencial mencionar que hace énfasis en la medida en que este recurso se encuentra disponible en el mercado para gestionar la operatividad de la alternativa de solución propuesta.
4. Eficiente	Toma en cuenta tanto los elementos que esclarecen si implementar la solución será eficiente con los recursos disponibles y a su vez si la solución mostrara mejoras en la eficiencia de la operatividad de los procesos ya establecidos en el sistema de salud.
5. Probabilidad de éxito	Medir este indicador es un poco difícil, ya que su calificación dependerá no solo de factores controlables internamente, sino que también de factores

Criterios	Descripción
	que están fuera de la solución plantea, pero sin duda alguna, este se puede gestionar bajo los supuestos de operatividad esperados en cada alternativa de solución.
6. Costo	Este se ve relacionado con los niveles de inversión que se requiere para las alternativas de solución, teniendo en cuenta que es uno de los principales criterios y a su vez de los más complejos de definir.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los criterios antes definidos, la solución propuesta se basa en incorporar cada uno de ellos, para dar paso a las mejoras de la problemática identificada en los análisis antes definidos, es por ello por lo que se presenta en el siguiente apartado:

Propuesta para el diseño de la solución

Diseñar un modelo para la aplicación de la fabricación digital a través de la producción de modelos 3D, como apoyo a los profesionales de la salud en el proceso de estructuración del plan de intervención quirúrgico para pacientes del área de cardiología con patologías y anatomías únicas y complejas.

10. Diseño detallado

10.1. Objetivo General

Diseñar un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área cardiologia para pacientes en proceso de cirugías electivas, para garantizar el aprovechamiento de las nuevas tecnologías disponibles y beneficiar al personal médico.

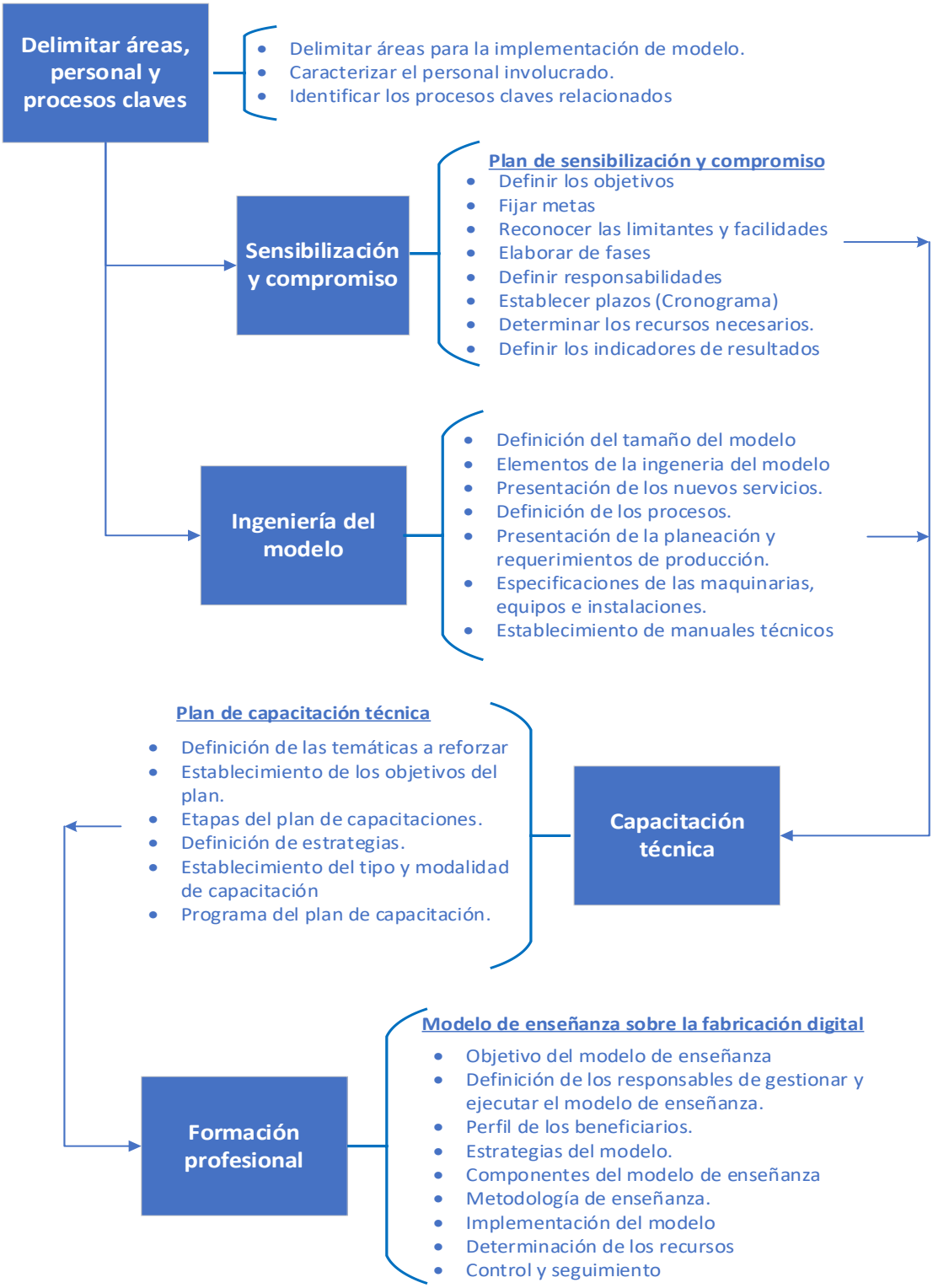
10.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las áreas y personal técnico operativo que están directamente relacionados con la implementación del modelo para la aplicación de la fabricación digital, identificando los procesos claves involucrados en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electicas del área de cardiología.
- Estructurar un plan para el desarrollo de los procesos de sensibilización dirigido a las autoridades del sistema de salud, así como al personal médico relacionados en los procesos de cirugías electivas del área de cardiología, buscando el compromiso e involucramiento de estos para la incorporación del modelo.
- Especificar la capacidad productiva del modelo y los procesos para la incorporación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en cirugías electivas del área de cardiología.
- Definir los equipos, herramientas, materiales e insumos idóneos ante la incorporación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica.
- Diseñar las nuevas áreas de trabajo necesarias para la implementación del modelo para la aplicación de la fabricación digital, teniendo en cuenta los requerimientos físicos pertinentes que peritan desarrollar las actividades relacionadas a los procesos.

- Definir la estructura organizacional con las áreas y personal identificados para implementar y operativizar el modelo para la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica de cirugías electivas en el área de cardiología.
- Diseñar un sistema de comunicación efectiva entre diversas instituciones que pueden hacer uso del modelo para la aplicación de la fabricación digital, tomando como base un hospital tipo, que se convierta en la sede de implementación del modelo.
- Establecer los lineamientos de incorporación de las capacitaciones al personal médico actual relacionado con la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas de pacientes de cardiologías, para fortalecer las habilidades y los conocimientos requeridas para el funcionamiento del modelo.
- Estructurar el plan de incorporación del modelo para la aplicación de fabricación digital para médicos internos y residentes como apoyo a la formación académica ante el estudio e intervención de anotomías únicas y complejas.

10.3. Metodología

Ilustración 76: Metodología del diseño detallado.



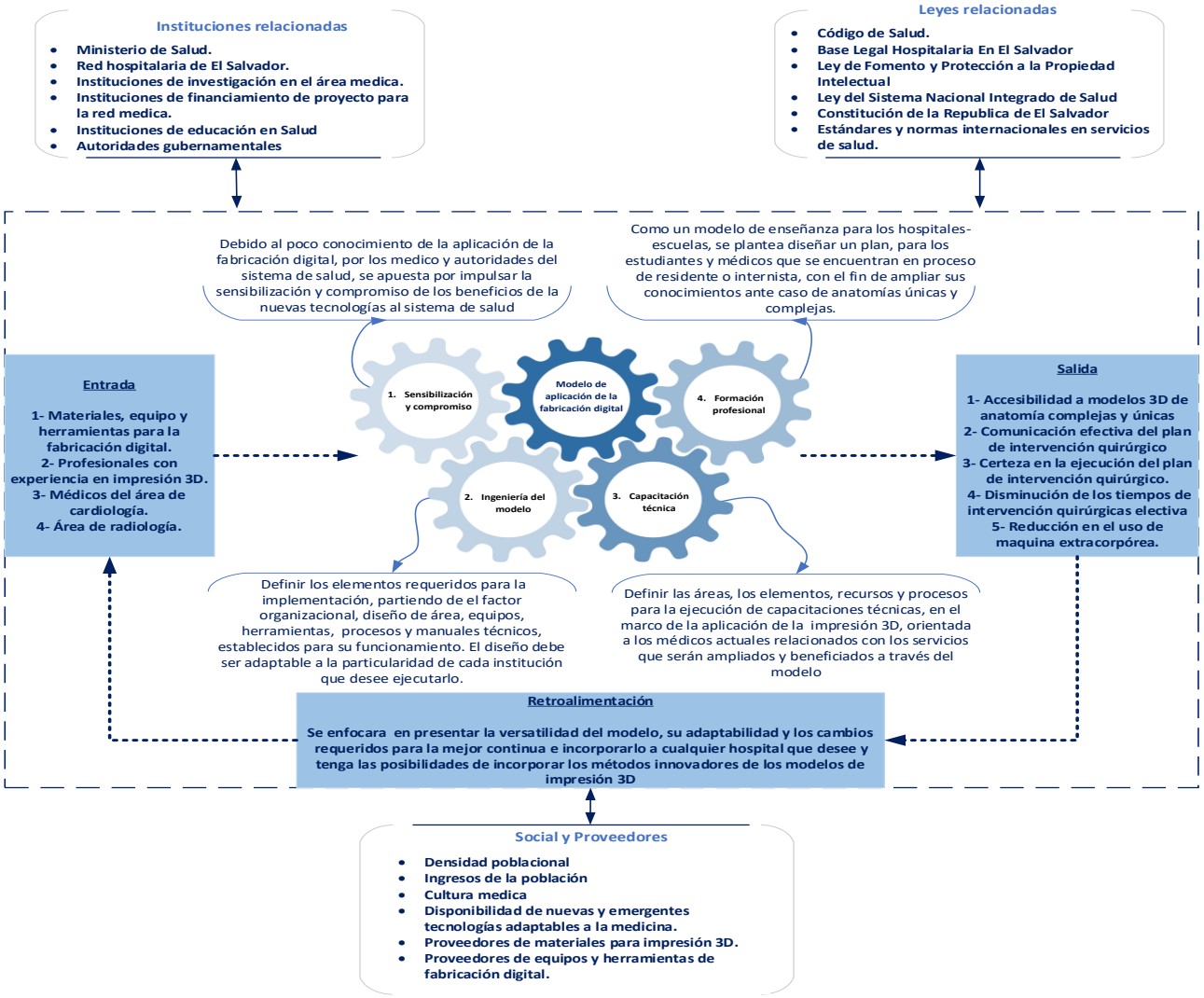
Fuente: Elaboración propia.

10.4. Conceptualización del diseño la propuesta de solución

Para abordar este punto del estudio, se plantea la conceptualización el diseño de la solución de forma esquemática y seguidamente presentar la descripción requerida de los componentes que forman parte de esta, el estudio busca establecer lineamientos íntimamente relacionados con la problemática, basada en la metodología del marco lógico empleado. Es esencial mencionar que esta conceptualización se verá apoyada por la matriz del marco lógico, la cual funciona como a poyo para establecer un panorama a futuro, teniendo en cuenta una planificación, que permita proporcionar una visión de los indicadores y supuestos a ser medibles en el futuro, en cuanto a la implementación del estudio.

10.4.1. Esquema de conceptualización del diseño de la propuesta de solución

Ilustración 77: Esquema de conceptualización del diseño de la propuesto de solución.



Fuente: Elaboración propia.

10.4.2. Descripción de los componentes de la propuesta de solución

Para dar seguimiento a la conceptualización del diseño se plantea la descripción de los principales componentes, que conforman dicha solución, por ello se plantea lo siguiente:

Tabla 68: Descripción de los componentes de la conceptualización del diseño de la solución propuesta.

Componente	Descripción	Actividades Planificadas	Entregables
1. Sensibilización y compromiso	Tiene como finalidad sensibilizar y comprometer a las autoridades del sistema de salud que estén relacionadas en la toma de decisión y operatividad en la implementación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología para cirugías electivas a pacientes con anatomías complejas, para garantizar el apoyo organizacional y financiero de cara la innovación de los procedimientos de intervención quirúrgica.	➢ Determinar el nivel de conocimiento sobre la fabricación digital ➢ Definir responsables el componente ➢ Diseñar el plan de sensibilización y compromiso ➢ Establecer estrategias de comunicación ➢ Establecimiento de necesidades de insumos y materiales	➢ ***Plan de sensibilización y compromiso***
2. Ingeniería del modelo	Este componente se propone con el objetivo de establecer los servicios derivados de la implementación del modelo y que, por lo tanto, requieren de la determinación del tamaño de capacidad a instalar, equipos, herramientas, materiales, insumos, y sobre todo la descripción	➢ Definición de servicios ➢ Determinación de la capacidad instalada ➢ Establecimiento de elementos productivos requeridos ➢ Elaboración de un manual técnico	➢ ***Elementos requeridos para la ingeniería del modelo*** ➢ ***Diseño de espacios de trabajo***

Componente	Descripción	Actividades Planificadas	Entregables
	de cómo deben ser operativizados dichos servicios a través de un manual técnico.		➢ ***Manual técnico***
3. Capacitación técnica	Con este componente se busca establecer los lineamientos de incorporación de las capacitaciones al personal médico actual relacionado con la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas de pacientes de cardiologías, para fortalecer las habilidades y conocimientos requeridas para el funcionamiento del modelo.	➢ Elaboración de un plan de capacitación ➢ Definición de estrategias de capacitación ➢ Establecimiento de las modalidades de capacitación ➢ Diseño del programa de capacitaciones	➢ ***Plan de capacitaciones***
4. Formación profesional	La formación del personal tiene como objetivo proveer a los estudiantes de medicina en prácticas profesionales del área de cardiología en el hospital escuela, el Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom", los principios del modelado virtual y la impresión 3D en la medicina, sus aplicaciones, técnicas y su impacto en el análisis, planificación y práctica quirúrgica.	➢ Identificación de los perfiles de los beneficiarios ➢ Elaboración de estrategias de formación ➢ Diseño de los módulos de enseñanza ➢ Establecimiento de la metodología de enseñanza ➢ Diseño de los lineamientos de implantación, seguimiento y control	➢ ***Modelo de enseñanza sobre la fabricación digital en la medicina***

Fuente: Elaboración propia

10.5. Áreas, Personal Y Procesos Claves Para El Modelo

En este apartado del diseño detallado se busca esclarecer y enfatizar en áreas, personal y procesos que forman parte del diseño del modelo, se tiene en cuenta que el diseño no solo busca dejar delimitado los procesos y requerimientos para la implementación del modelo, sino también detallar aquellas autoridades que son parte clave para la ejecución del mismo; es por esto que dentro de los elementos detallados en este apartado, se toma en cuenta tanto factores externos como internos que forman parte de la operatividad y tomadores de decisiones del hospital tipo analizado.

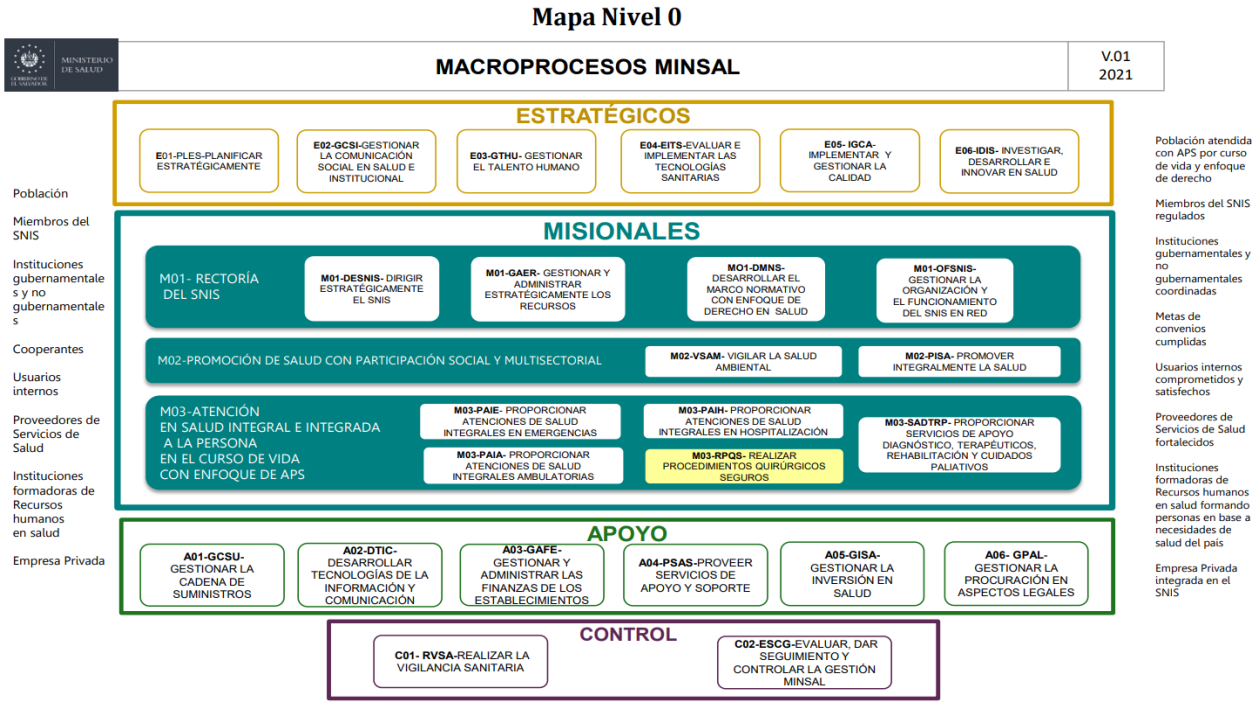
10.5.1. Procesos claves y personal involucrado

En el 2022, el Ministerio de Salud de El Salvador publicó el manual de procesos y procedimientos quirúrgicos seguros con el objetivo de establecer un documento táctico y operativo que permita implementar procesos y procedimientos quirúrgicos seguros estandarizados para la atención en salud integral para la persona en el curso de vida, con el fin de fortalecer la gestión de calidad institucional.

En él se presentan las principales actividades de atención integral en procedimientos quirúrgicos seguros, como parte del proceso de atención en salud integral. Establece las bases para la ejecución de los procesos y procedimientos, unificando criterios de contenido que permite la sistematización de las actividades y la definición de la metodología para efectuarlas.

En el manual se establecen los macroprocesos del MINSAL, el cual nos permite identificar las áreas, procesos y personal clave afectados por la intervención de una posible aplicación de un modelo para la aplicación de la fabricación digital.

Ilustración 78: Mapa de Procesos del Ministerio de Salud; Acuerdo Ministerial de Oficialización N°637, 12 febrero 2021.

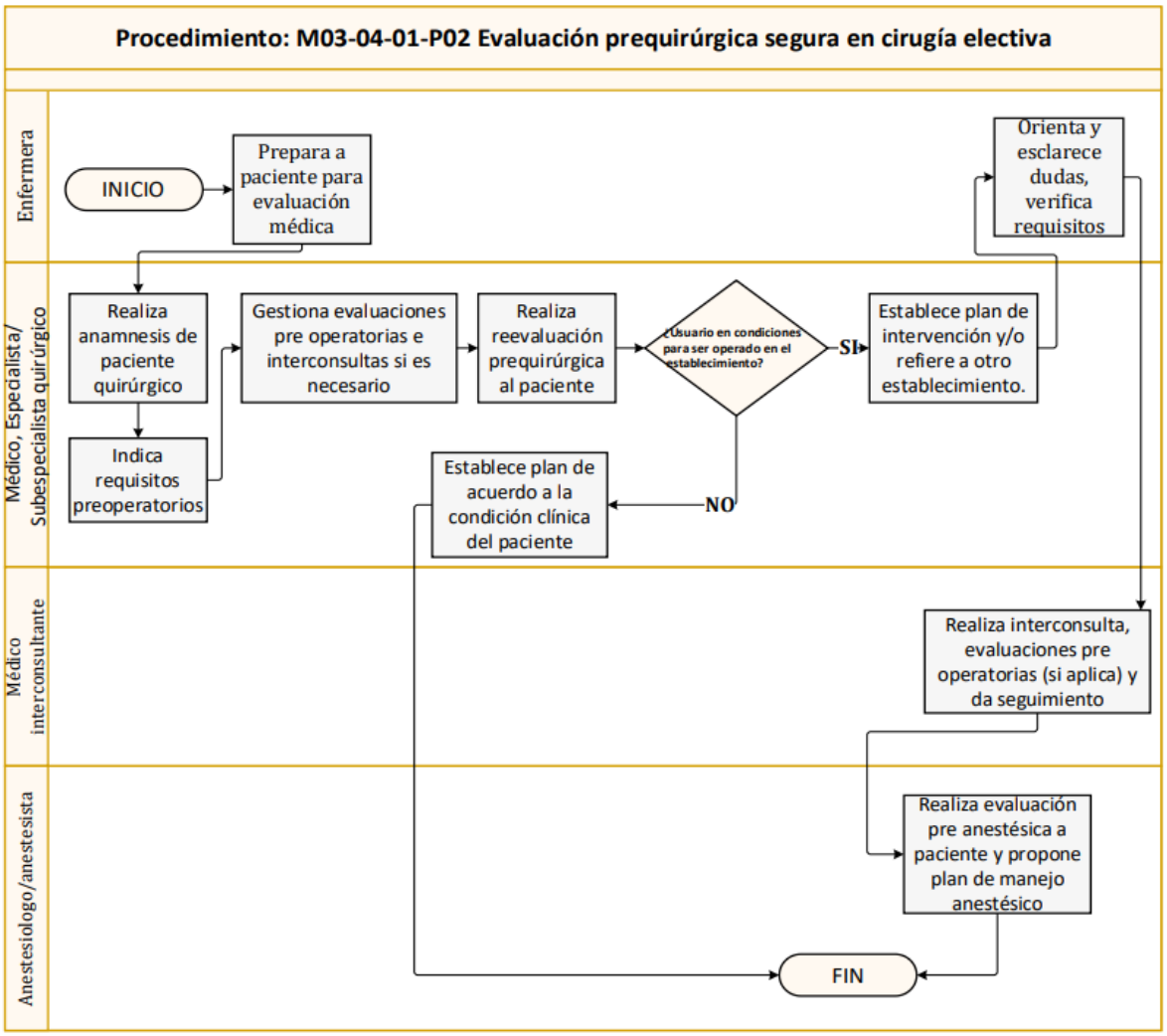


Fuente: Ministerio de Salud.

Del macroproceso se han seleccionado aquellos procedimientos relacionados con el modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre-operación quirúrgica, y de manera específica con la estructuración del plan de intervención quirúrgica. Además, se debe tomar en cuenta que son procedimientos generales publicados por el MINSAL y que en cada hospital sufre tropicalizaciones propias, las cuales para el caso del Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom" (HNNBJ) son detalladas por los manuales de organización y funciones de sus unidades.

Proceso quirúrgico Clave: M03-04-01-P02-Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva

Ilustración 79: Proceso para la evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva.



Fuente: manual de procesos y procedimientos del Ministerio de salud.

Objetivo del procedimiento de Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva

Preparar al paciente para el acto quirúrgico seguro, bajo estándares de oportunidad, eficacia y eficiencia. Proporcionar atención integral y trato humanizado a usuarios que soliciten atención de salud en procedimientos quirúrgicos.

Personal clave

- Médico, especialista/ Subespecialista quirúrgico. Cardiólogos y/o cardiólogo pediatra.

- Médico Interconsultantes. Cardiólogo y/o cardiólogo pediatra.

Actividades clave de acuerdo con el procedimiento de Evaluación prequirúrgica segura en cirugía electiva

a) Realiza reevaluación prequirúrgica al paciente.

En esta actividad se realiza la evaluación clínica final al paciente, tomando en cuenta los resultados de exámenes y evaluaciones de exámenes previos, y define si el paciente está en condiciones de someterse a operación.

Establece que, si el paciente está en buenas condiciones para una cirugía, se debe elaborar el plan de intervención o se refiere a otro establecimiento. Solicita evaluación de anestesia previo al ingreso del paciente y solicita la sala de operación, así como también los recursos necesarios, y finalmente consentimiento informado.

b) Orienta y esclarece dudas, verifica requisitos

En esta actividad se esclarece al paciente el procedimiento a realizar y se le explican los exámenes de laboratorio y gabinete, interconsultas y citas posteriores que se deben realizar, enfatizando su importancia.

c) Realiza interconsulta, evaluaciones preoperatorias (si aplica) y da seguimiento

Se refiere a la participación de otro especialista para evaluar a pacientes, realizar valoraciones preoperatorias de su especialidad, proponer cambios en plan de manejo y/o procedimientos según la especialidad del medio al que se le ha solicitado una interconsulta.

d) Orienta y esclarece dudas.

Es la actividad final, y se desarrolla cuando el paciente se ingresará a hospitalización 1 o más días previos al día de la intervención, y se le esclarecen los siguientes aspectos: -Procedimiento a realizar. -Condiciones del día del ingreso a su cirugía. -Verifica vigencia de los

exámenes, evaluación anestésica si es pertinente y otros requisitos, así como otros requerimientos según tipo de cirugía.

e) Relación con el modelo

El proceso involucra el diagnóstico quirúrgico, evaluaciones preoperatorias y en especial se elabora el plan procedimiento de intervención quirúrgica. Por lo tanto, es la etapa de planeación donde los pioneros en la aplicación de fabricación digital aplican esta herramienta en pro de la salud, según los antecedentes estudiados.

Tomando en cuenta lo antes descrito se toma ha bien detallar aquellas áreas de carácter importante para la operatividad del modelo para la aplicación de la fabricación digital, así como la tomadora de decisiones para la innovación e inversión de mejoras a los servicios brindados en la actualidad en el hospital tipo. Para esclarecer de manera más adecuada se desarrollarán los siguientes apartados.

10.5.2. Áreas involucradas.

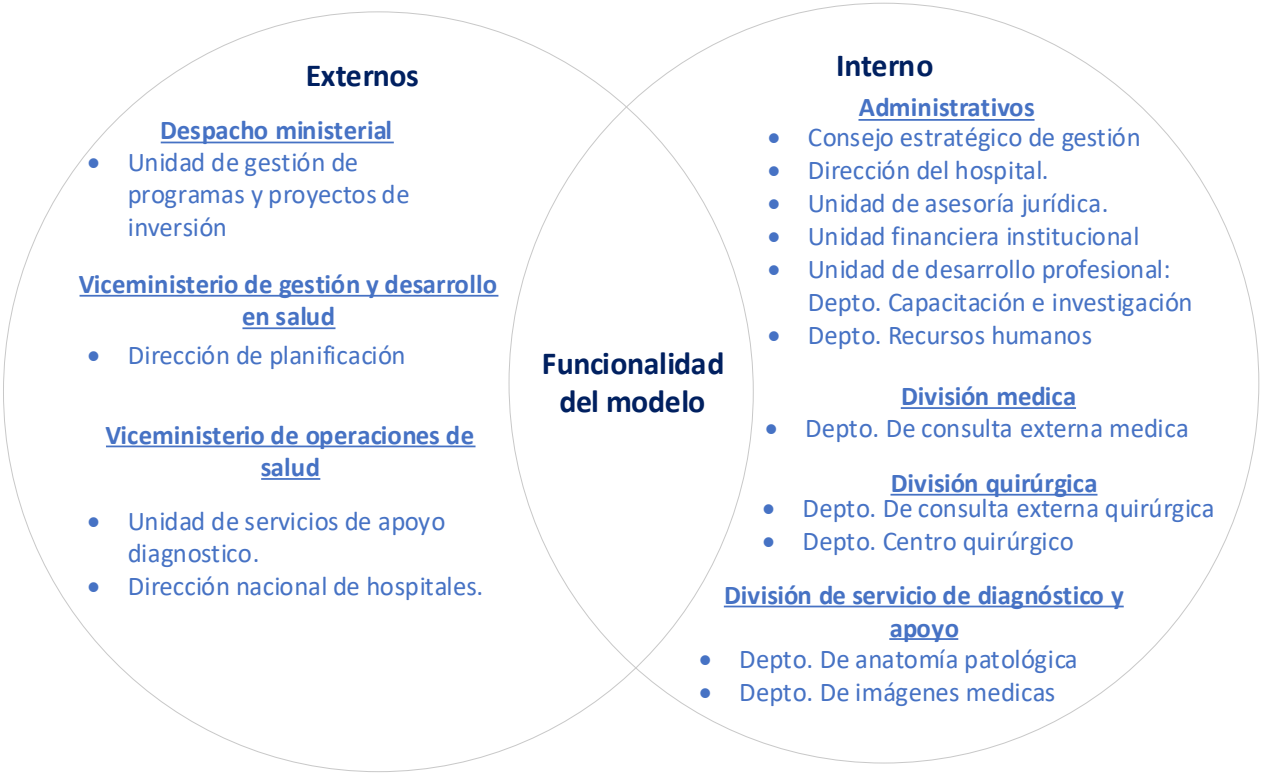
Para establecer las áreas relacionadas que intervienen en la ejecución del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología, se establece aquellos que son tomadores de decisiones y las que son parte de la operatividad del área que tienen relación con la ejecución de la operatividad del modelo específicamente definidas a través de un hospital tipo. Con lo antes mencionado se define lo siguiente:

- *Áreas externas:* son las que forman parte del modelo, como tomadores de decisiones en inversión, pero que no son parte del hospital tipo, más bien operan a nivel de sistema nacional de salud, como reguladores en aplicación de innovación médica y como fundamentales piezas en las decisiones económicas de la misma.
- *Áreas internas:* estas forman parte del hospital tipo, entre ellos podemos encontrar áreas que contiene personal que son tomadores de decisión a nivel del hospital, así como

también aquellas áreas que son de carácter operativo y son fundamentales en la ejecución del modelo.

Estableciendo los tipos de áreas que se consideran en el modelo, a continuación, se presenta un esquema que muestra claridad en de las áreas y su interacción.

Ilustración 80: Esquema para la representación la funcionalidad del modelo basado en las áreas relacionadas con el mismo.



Fuente: Elaboración propia.

Nota:

- El área de cardiología del hospital tipo, que en este caso se hace referencia al hospital de niños Benjamín Bloom no posee definido a través de su organigrama estructurado, en la actualidad el área de cirugía cardiovascular solo se identifica a nivel descritico en la división quirúrgica.
- Se hizo uso de la abreviación “Depto.” para definir departamento que operan dentro del hospital tipo.

Debido a la flexibilidad que el modelo presenta para ser adaptado en instituciones de interés en el campo de la salud, no se deja de lado aquellas divisiones a nivel ministerial para el área de salud del país, que forman parte de los reguladores o autorizadores de la aplicación de innovaciones medicas en cuanto a las instituciones de carácter público.

Se debe de considerar que, si el modelo de aplicación para la fabricación digital en el área de cardiología busca emplearse en el sector privado, las áreas involucradas dependerán en gran medida del nivel organizacional de la entidad, en este caso las áreas o divisiones de carácter externas relacionadas con el ministerio de salud del país, serán tomadas solo a nivel de regulación o normativas que estas poseen para la ejecución de proyectos en la medicina.

Esto no es igual para las instituciones de carácter público, ya que estas dependen en gran medida de la toma de decisión de las divisiones o áreas del ministerio de salud, tanto en el empleo del proyecto y el financiamiento de estos, que permita llevar con éxito la implementación del modelo. Para el caso abordado en el hospital tipo, se plantea el desarrollo el presenta cuadro que permita visualizar de una manera más adecuada las áreas y como estas influyen para la implementación y funcionamiento del modelo de aplicación para la fabricación digital en el área de cardiología.

Tabla 69: descripción de las áreas relacionadas con el modelo.

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
Unidad de Gestión de Programas y Proyectos de Inversión	Esta instancia, tiene como misión ser la responsable de la administración y gestión de los diferentes programas y proyectos de inversión financiados con fondos externos, propios y de la cooperación internacional, con el fin de contribuir en la mejora de los servicios de salud y su capacidad instalada para beneficio de la salud de la población. También se debe de considerar que es de carácter importante ya que esta tiene como finalidad especifica establecer las normas, criterios, procesos, procedimientos y condiciones que regirán la ejecución y utilización de los recursos de cada programa/proyecto, tomando en cuenta lo indicado en los diferentes convenios y contratos de préstamo y donación.	Externa	La importancia de esta instancia en el modelo se ve enfocada en mayor medida a la red de salud pública, ya que dentro de sus funciones se encuentra: • Elaborar, ejecutar, monitorear y evaluar Plan de Ejecución del Proyecto-PEP, en los que se relaciona el ministerio, teniendo en cuenta que es decisivo en el Programa anual de inversión e inversión pública. • Analizar información de los requerimientos de proyectos de inversión en los diferentes establecimientos de salud del MINSAL identificados por los niveles correspondientes y en coordinación con las instancias superiores del MINSAL.

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
Dirección de planificación	Esta área tiene como misión conducir y evaluar la planificación en salud y el desarrollo institucional, con enfoque sectorial y estándares de eficiencia y calidad; generando información estratégica y operativa para apoyar la toma de decisiones. También se toma en consideración que dentro de su enfoque son específicos, esta se destaca en desarrollar los procesos de planificación estratégica y operativa a nivel institucional en armonía con las prioridades nacionales de salud, así como los procesos de seguimiento y evaluación de planes, proyectos, estrategias y compromisos internacionales en salud. A su vez gestionar cambios y estrategias para la transformación y el desarrollo institucional, a fin de eficientizar procesos, optimizar recursos y procurar eficacia en el alcance de los objetivos institucionales.	Externa	Para la ejecución del modelo, se toma en consideración debido a que dentro de sus funciones se destaca las siguientes: • Conducir, ejecutar y evaluar el Plan Operativo Anual de la Dirección, en materia de gestión de calidad, planificación, desarrollo institucional y generación de la información. • Asesorar a las dependencias de los diferentes niveles organizativos de la institución, en materia de programación, monitoreo, seguimiento y evaluación; organización y modernización institucional, en procesos y en materia de economía de la salud. • Apoyar el desarrollo de la comunicación estratégica intra e interinstitucional, como elemento clave para el cumplimiento de objetivos y metas en salud.

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	Cabe mencionar que, dentro de sus procesos, esta área del ministerio de salud busca ejecutar procesos de investigación, desarrollo e innovación en salud, así como también desarrollar tecnologías de la información y comunicación.		
Unidad de Servicios de Apoyo Diagnóstico	Esta instancia del Ministerio de Salud es responsable de planificar, conducir, monitorear, supervisar, evaluar y asesorar la provisión de servicios de apoyo diagnóstico y terapéutico, para los establecimientos de salud, a fin de contribuir a la atención integral de los pacientes. Esta instancia tiene como objetivo Planificar y desarrollar acciones técnicas y administrativas para contribuir al mejoramiento continuo de la prestación de servicios de apoyo diagnóstico y terapéutico, en los diferentes niveles de atención del Ministerio de Salud y así proporcionar un grado de satisfacción sobre la calidad del servicio que se ofrece.	Externo	Esta tiene relación en gran medida con el modelo, debido a que es la unidad en la que se busca mejorar los servicios de salud, el modelo se enfoca en apoyo a los servicios de diagnósticos como una ayuda innovadora a los procesos de planificación quirúrgica en cirugías electivas del área de cardiología. También es considerada como relevante en el modelo por sus siguientes funciones: • Garantizar la provisión de servicios de apoyo diagnóstico y terapéutico en la red de establecimientos del MINSAL.

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
			• Capacitar al personal de los servicios de apoyo diagnóstico de los establecimientos de salud.
Dirección Nacional de Hospitales	Esta es la dirección que conduce el funcionamiento de los hospitales nacionales con eficacia, oportunidad y transparencia, asesorando en la gestión de los recursos técnicos y administrativos y proporcionando las herramientas necesarias para brindar servicios integrales de salud a la persona en el curso de vida, cumpliendo el marco legal vigente. La dirección tiene como objetivo principal dirigir el funcionamiento de los hospitales nacionales, de acuerdo con la Política Nacional de Salud, el Reglamento General de Hospitales y la normativa vigente. Como parte de sus gestiones específicas, se destaca la determinación de necesidades de tecnología, infraestructura, insumos, medicamentos y recursos humanos,	Exterior	Se apuesta por tomar en el alcance del modelo esta dirección, debido a que el mismo se ve enfocada a emplearse en la red hospitalaria del país con área de cardiología. Dentro de sus funciones específicas que sustenta su involucramiento se destaca: • Coordinar la elaboración del Plan anual operativo de los hospitales nacionales. • Monitorear, supervisar y evaluar las actividades técnicas-administrativas en los hospitales en base al Plan Operativo Anual. • Brindar asesoría técnica y administrativa a hospitales nacionales

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	para gestionar el funcionamiento de la red de hospitales.		y farmacias especializadas, en áreas de gestión y desarrollo de servicios. • Consolidar y gestionar las necesidades tecnológicas, infraestructura, insumos y medicamentos, así como los recursos humanos que se requieran en la red de hospitales para la mejora de los servicios de salud que se ofrecen a la población.
Consejo Estratégico De Gestión	Este elemento de la organización del Hospital de niños Benjamín Bloom (Hospital tipo), tiene como funciones principales: • Asesorar al director en los asuntos técnicos que dicho funcionario someta a su consideración. • Cumplir con el Reglamento Interno del Hospital, colaborar en su divulgación y cumplimiento.	Interno	Teniendo en cuenta de que este elemento de la organización del hospital tipo, es un apoyo directo a la dirección de este y permite ayudar a la toma de decisión, es considerados dentro del modelo, ya que se volverá parte fundamental para poder brindar apoyo sustentable a la implementación del modelo. Se tiene en cuenta que este es uno de los elementos organizacionales, que sin

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	• Colaborar con la Dirección para que se cumplan las medidas disciplinarias para el buen funcionamiento del establecimiento		duda alguna se deberá comprometer en apoyar y gestionar el seguimiento de la implementación del modelo.
Dirección	La dirección es la encargada de representar legal al Hospital, su función más destacable es desarrollar una administración hospitalaria eficiente que garantice un servicio de salud de calidad que fortalezca el desarrollo institucional. Es la entidad tomadora de decisión en cuanto a manejo de los recursos financiero que se establecen dentro de la normativa del hospital para su funcionamiento. Este elemento de la organización analiza y toma a bien impulsar aquellos proyectos que mejoren la calidad del servicio, apoyados por la asesoría del consejo estratégicos que analizan las propuestas.	Interna	Este elemento de la organización del hospital tipo, es sin duda alguno uno de los más importantes, ya que de este depende la aprobación e implementación del modelo, tener en claro los criterios y factores que este considera de importancia para implementar un proyecto dentro de las instalaciones del hospital que mejoren el servicio brindado, es causa de importancia para gestionar de una manera adecuada el diseño del modelo a implementar.
Unidad de asesoría jurídica	Esta unidad del hospital tipo tiene como función principal:	Interno	Esta unidad es tomada en cuenta dentro del modelo, debido a que se puede obtener desde esta la base legal que

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	La elaboración y revisión de informes y documentos jurídicos, aplicación de la normativa interna, así como la representación jurídica requerida, ejecutar procesos jurídicos de acuerdo con los procedimientos establecidos, de tal manera que se contribuya en el desempeño eficiente de la gestión institucional.		permita implementar y desarrollar en la mejor medida el modelo de aplicación para la fabricación digital, este elemento de la organización puede dar claridad en el factor decisivos en base legal para ejecutar el modelo.
Unidad financiera institucional	Esta unidad cumple con el deber de administrar los recursos financieros del hospital, así como verificar su asignación, aplicación y optimización racional de acuerdo con las necesidades y disponibilidad y acorde a la normativa establecida y vigente.	Interna	Es de importancia tomar en consideración esta unidad, debido a que se debe de establecer y presentar a la organización que el modelo de aplicación para la fabricación digital está diseñado con el fin de beneficiar y contribuir positivamente a los servicios de salud, sin afectar el recurso financiero de la mismas, mostrando que este debe de ser rentable en el paso del tiempo.
Unidad de desarrollo profesional:	La unidad de desarrollo profesional, tiene como finalidad mejorar la calidad de la prestación de los servicios de salud, mediante la gestión y	Interno	Esta unidad es considerada dentro del modelo como una de las más importantes, ya que uno de los

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
Depto. De capacitación y Depto. de investigación	coordinación eficiente, de los programas de formación de especialidades médicas y odontológicas y de la educación permanente e investigación: dirigidos al personal profesional, técnico y administrativo de los Hospitales Nacionales que cuenten con Unidad de Desarrollo Profesional, dentro de esto se encuentra el departamento de Capacitación y el departamento de investigación. El departamento de capacitación tiene como deber planificar, organizar, dirigir, coordinar, monitorear y evaluar los procesos y las funciones que permitan desarrollar el Plan de Capacitación, dirigidos al recurso humano profesional, técnico y administrativo de la institución, con base a los lineamientos institucionales y del MINSAL e indicadores de resultado e impacto; en coordinación con las diferentes dependencias del hospital.		componentes del diseño, se ve enfocada en implementar un plan de capacitación que permita proporcionar los conocimientos adecuados al personal médico y técnico que opera en las instalaciones del hospital tipo. El enfoque de esta área se ve relacionado para que el diseño del modelo se emplee de la mejor manera, teniendo en cuenta la necesidad de crear las competencias oportunas en el personal, en el caso de departamento de investigación, emplear este modelo proporcionara una herramienta más clara de elementos anatómicos a estudia, creando en investigadores perspectivas más amplias de las complejidades anatómicas que se desarrollar en ciertos pacientes particulares.

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	En cuanto al departamento de investigación se enfoca en planificar, organizar, dirigir, coordinar, monitorear y evaluar los procesos y las funciones que permitan impulsar la investigación en salud para generar nuevo conocimiento, pero también promover un pensamiento crítico-reflexivo, una posición ética-legal y de Competencias en el personal institucional a través de la incorporación de la investigación en el plan estratégico institucional, de tal manera que se generen los espacios de diálogo, aportando evidencia para la toma de decisiones y promoviendo la formulación de políticas públicas en salud que beneficien a la población infantil del país basadas en los resultados de las investigaciones.		
Departamento de recursos humanos	Este departamento tiene como finalidad promover e impulsar una gestión descentralizada y participativa de los recursos humanos, que fortalezca el compromiso	Interno	Debido a que esta área es la encargada de gestionar y administrar el recurso humano del hospital tipo, se toma como elemento importante para la

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	institucional orientado hacia la satisfacción de los usuarios internos y externos.		incorporación de aquel personal capacitado en temas relacionadas al diseño del modelo. Se tiene en cuanta la necesidad del establecer diseños de puestos adecuados para el funcionamiento del modelo, por lo tanto, la contratación de a ejecutar para el mismo debe de ser muy cuidadosa y gestionada de una manera adecuada que permita lograr el éxito de este.
División medica: Depto. De consulta externa medica	Este departamento se ve involucrado en proporcionar a la población en edad pediátrica referida de los diferentes niveles de atención o internamente del Hospital, una atención médica ambulatoria completa e integral en las diversas especialidades ofertadas. con el fin que reciba en forma óptima los recursos necesarios de la atención integral a su salud	Interno	Es considerado dentro de las áreas involucradas del modelo, ya que puede ser la primer instancias donde se estudie el caso de pacientes que requieran de un diagnóstico más profundizado apoyado por las nuevas tecnologías a implementar, esta área es muy importante ya que no solo considera aquellos casos

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
			referidos de instituciones externas al hospital tipo.
División quirúrgica	Esta enfatiza sus funciones enfocándose en coordinar y facilitar la atención en salud a los pacientes pediátricos con patología quirúrgica, correspondiente al tercer nivel de atención, de acuerdo con sus necesidades, en cumplimiento de los indicadores de resultado e impacto; y apoyar el desarrollo del diseño curricular de médicos especialistas en las diferentes especialidades quirúrgicas y personal paramédico en formación.	Interno	Esta área es muy especial y específica para tomar en cuenta en el diseño de tallado, debido a que el enfoque del modelo se base en ejecutar mejoras al plan de intervención quirúrgica para pacientes de área de cardiología. Si bien el modelo esta enfatizado en un área, las demás pertenecientes a esta división, no necesariamente quedan desligada, si nos mas bien puede incorpórate de manera paulatina en la gestión del modelo.
Departamento de consulta externa quirúrgica	Se enfoca en proporcionar consulta pediátrica a los pacientes que, por su patología, requieren atención medico quirúrgica de las diversas especialidades quirúrgicas, principalmente aquellos pacientes referidos de los diferentes	Interno	Esta área es crucial para la implementación del modelo, ya que desde ella se puede dar el involucramiento del uso de las nuevas herramientas tecnológicas, debido a que esta participa en aquellas cirugías de

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	niveles de atención, como parte de una atención integral.		carácter electivas, donde se da un proceso de seguimiento del comportamiento anatómico más detallado, que permita que el nivel de éxito de las intervenciones sean mejores.
Departamento de centro quirúrgico	Esta área proveer las condiciones adecuadas, para una atención quirúrgica de las diferentes especialidades medico quirúrgicas.	Interno	Debido a que es un departamento de carácter general que tiene como énfasis brindar la mejor atención a pacientes con procesos quirúrgicos, es tomado en cuenta ya que involucra la implementación de mejoras para los servicios brindados.
División de servicios de diagnóstico y apoyo	La división de servicios de diagnóstico y apoyo busca planificar, dirigir, coordinar y controlar las funciones de los departamentos y servicios bajo la responsabilidad de la División, para proveer los servicios de diagnóstico y apoyo en forma eficiente y oportuna que contribuya a la atención integral de los pacientes, satisfaciendo los	Interno	Esta área es tomada en cuenta ya que es la encarda al mando de dos departamentos específicos con los cuales el modelo posee mucha relación, estos son el departamento de anatomías patológicas y el de imágenes médicas, en ambos se busca poseer la mejor perspectiva que le permita a los

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	estándares de calidad que la sociedad demanda.		profesionales de la salud, generar un diagnóstico más certero de los padecimientos y anatomías a tratar.
Departamento de anatomía patológica	Esta área busca practicar los estudios anatomía-patológicos que contribuyan como auxiliares del diagnóstico clínico, ya sea para ratificarlo o rectificarlo, también para la evaluación y control del tratamiento establecido, así como para formar un pronóstico de acuerdo con los resultados obtenidos, en beneficio de los pacientes.	Interno	Esta área del hospital tipo, puede buscar apoyo de las tecnologías establecidas en el diseño del modelo, lo cual permitirá poseer estudios más especificados de los padecimientos y anatomías a abordar. La ampliación de las anatomías estudiadas permitirá a estarás áreas tener más claridad de los procesos a los que se deberá de someter el paciente y son un panorama primario para los profesionales.
Departamento de imágenes medicas	Proporcionar la información diagnóstica inicial y de seguimiento por imagenología a través de estudios de radiología, ultrasonografía, resonancia magnética y tomografía computarizada, alcanzando la máxima productividad al menos costo posible, basado en	Interno	La información que este departamento genera de los pacientes que son estudiados en las instalaciones de hospital tipo, son los estudios primarios que un panorama de las anatomías a abordar es por ello por lo que la

Área o departamento	Descripción	Clasificado	Relación con el modelo
	el mejoramiento de técnicas, capacitación y control de calidad.		implementación de las nuevas tecnologías estudiadas, son parte fundamental para que los médicos posean un mejor panorama de los casos con anomias complejas y específicas, en pacientes de cardiología y que requieren de intervenciones quirúrgicas electivas.

Fuente: Elaboración propia

10.5.3. Operatividad para el diseño del modelo

Basados en las áreas y funcionalidad antes descritos, se plantea un mapa de procesos donde se ve los involucrados procesos basados en las funciones de las diversas áreas.

Ilustración 81: Operatividad para el diseño del modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Basado en el mapa anterior, se puede delimitar que las distintas áreas y departamentos mencionados, ya sea de carácter externo o interno, son tomadas en cuentas debido que para el modelo son parte fundamenta en el desarrollo de sus estrategias de gestión e implementación, así como también para apoyo en el desarrollo de este, sin dejar de lado aquellas que son consideradas para la funcionalidad u operatividad de este.

Es esencial definir los siguientes elementos, para que aclarar de una manera oportuna los procesos considerados y su utilidad para el modelo.

Tabla 70: Descripción de los tipos de procesos.

Tipo de procesos	Enfoque en el modelo	Procesos definidos.
Estratégicos	Estos procesos están enfocados para aquellas áreas consideradas como claves para la ejecución del modelo, dentro de ellas se puede destacar aquellas donde la toma de decisión es la principal función, dan seguimiento y evalúan propuestas para implementar nuevas inversiones al sistema de salud. Los procesos destacados en estos son parte esencial del modelo ya que ellos garantizan el compromiso de las altas direcciones y el éxito para cumplir las metas y dar seguimiento al mismo.	Los procesos mencionados en estos son los siguientes: • Análisis del plan de ejecución del modelo. • Plan de monitoreo y evaluación del modelo • Incorporación al plan anual operativo del hospital • Gestión de adquisición de recursos requeridos • Impacto del modelo en la gestión del servicio medico
Operativos	Este grupo de procesos está enfocado más de una manera directa a la operatividad esperada en el modelo, las áreas que se ve relacionadas a este grupo, sus principales funciones se ven enfocadas a dar el servicio a la población involucrada con el modelo; los procesos son la	Los procesos considerados en estos son los siguientes: • Servicio de consulta externa • Estudios básicos médicos para diagnostico

Tipo de procesos	Enfoque en el modelo	Procesos definidos.
	clave del modelo en su éxito de implementación, El mayor esfuerzo del diseño del modelo se centra en dejar claramente las funciones involucradas para este y su adaptabilidad a los cambios que se buscan implementar.	• Paciente diagnosticado para cirugía de tipo electiva • Consulta externa quirúrgica • Apoyo de nuevas tecnologías para ampliación del diagnostico • Planificación quirúrgica
Apoyo	Los procesos que se ven involucrados en este grupo no están directamente relacionados con la operatividad, tampoco son considerados como tomadores de decisiones, pero si tiene un realce para lograr el éxito del modelo, debido a que de ellos depende tener la asesoría pertinente y a su vez contar con elementos fundamentales para dar pausa a la implementación de este. Las áreas que se relacionan con este tienen como principal función a poyar y asesorara a los proyectos de salud, ya sea que estos se enfoquen dentro del hospital tipo o a nivel de ministerio de salud.	Los procesos de estas son los siguientes: • Asesoría en programación, monitoreo y seguimiento de proyectos • Desarrollo de estrategias de comunicación interinstitucionales • Desarrollo profesional en implementación de capacitaciones • Investigación e innovación medica • Asesoría legal en la gestión y financiera para la innovación medica

Fuente: Elaboración propia

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR

10.6 PLAN DE SENSIBILIZACIÓN Y COMPROMISO

Índice

1. Introducción 267

2. Objetivo General 268

3. Objetivos Específicos 268

4. Alcance 269

5. Limitantes Y Facilidades 269

6. Metas 270

7. Fases Del Plan De Sensibilización Y Compromiso 271

8. Responsables 272

9. Estrategias De Comunicación 283

10. Cronograma Del Plan 289

11. Glosario Técnico De FD 290

1. Introducción

El apartado a desarrollar es un elemento muy valioso para la solución enmarcada en la conceptualización, porque está relacionado con concienciar los beneficios de la aplicación de los avaneces tecnológicos en el desarrollo del plan de intervención quirúrgica en cirugías electivas para pacientes del área de cardiología.

El contenido abordado en este estudio establece dentro de sus principales funciones definir metas para lograr la sensibilización y compromiso de las áreas estratégicas del modelo, establecer fases del plan, definir responsables y establecer estrategias de comunicación que permita mejora la adaptabilidad del modelo e impulse su implementación en la institución tipo.

Es relevante tener en cuenta que, al ejecutar el modelo para la aplicación para la fabricación digital en el área de cardiología, en primer lugar, se debe contar con el apoyo de las áreas administrativas tomadoras de decisión, así como también de las áreas operativas que experimentarán de primera mano los beneficios de su ejecución, debido a lo antes mencionado se plantea el desarrollo de los siguientes apartados como elementos esenciales del plan de sensibilización y compromiso.

2. Objetivo general

Diseñar un plan enfocado en sensibilizar y comprometer a las autoridades del sistema de salud que estén relacionadas en la toma de decisión y operatividad en la implementación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología para cirugías electivas a pacientes con anatomías complejas, para garantizar el apoyo organizacional y financiero de cara la innovación de los procedimientos de intervención quirúrgica.

3. Objetivos específicos

- Identificar los beneficios que el modelo de aplicación para la fabricación digital proporciona sobre la interpretación que los médicos requieren en cirugías con anatomías únicas y complejas, esto como apoyo para la estructuración del plan de intervención quirúrgico en cirugías electivas del área de cardiología.
- Diseñar estratégicas de comunicación para socializar los principales beneficios de la utilización de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en el área de cardiología con anotomías complejas con base a casos prácticos documentados en otros países, y de esta manera generar expectativas positivas entre los directivos y cirujanos, ampliando los conocimientos al respecto, promoviendo su compromiso y garantizando su aplicación gradual.
- Definir las responsabilidades a las que se debe de comprometer tanto el equipo operativo como el administrativo, en la puesta en marcha del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología.
- Elaborar fases que formarán parte del plan de sensibilización y compromiso que tendrán como fin transmitir al cuerpo médico del área de cardiología los beneficios de la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas.

- Definir las metas, periodos, recursos e indicadores requeridos para ejecutar el plan de sensibilización y compromiso sobre la ejecución del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el área de cardiología.

4. Alcance

El plan busca garantizar el compromiso de las autoridades, define la estrategia de comunicación de los beneficios de la aplicación de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica del área de cardiología, sugiere los contenidos teóricos y antecedentes que deben ser comunicados, propone los recursos a utilizar para la comunicación de los beneficios y planifica los tiempos para la ejecución de las estrategias de comunicación a los grupos de interés.

5. Limitantes y facilidades

Limitantes

- Las autoridades del hospital tipo, debido a sus posiciones estratégicas en la organización no están disponibles permanentemente para profundizar y analizar los resultados del plan sensibilización y compromiso.
- Los médicos cirujanos poseen horarios de trabajo muy apretados debido a la demanda de sus servicios.
- La relevancia del plan de sensibilización y compromiso es disminuida debido a nuevos proyectos y actividades del hospital tipo.

Facilidades

- Los médicos cirujanos del área de cardiología muestran interés en conocer y capacitarse sobre el modelo para la aplicación de la fabricación digital.

- La aplicación de la fabricación digital en las cirugías cardiacas es documentada por equipos de investigación de otros países, generando así información de fuentes secundarias útil para para la sensibilización y concientización de su beneficio.
- La fabricación digital es una tecnología en creciente desarrollo, estudio y diversificación en sus aplicaciones, lo que permite impulsar proyectos que son de beneficio a la comunidad médica.
- Creciente oferta de equipos y materiales de impresión 3D cada vez están más al alcance de los usuarios salvadoreños.

6. Metas

Metas dirigidas al hospital tipo HNNB

Meta 1: Las autoridades del hospital tipo se comprometen en apoyar e invertir en las estrategias de difusión interna sobre los beneficios del modelo para la aplicación de fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en el área de cardiología para cirugías electivas ante mal formaciones congénitas.

Nombre del indicador	Formula	Periodicidad	Meta	Responsable	Medio de verificación
Apoyo estratégico	$\left(\frac{N° \text{ de representantes de área comprometidos}}{Total \text{ de representantes áreas estratégicas}}\right) * 100\%$	Anual	100%	Equipo técnico	Acta

Meta 2: Los cirujanos del área de cardiología comprenden los beneficios y muestran interés en un modelo para la aplicación de la fabricación digital en la planeación de las intervenciones quirúrgicas, así como sus otros potenciales usos

Nombre del indicador	Formula	Periodicidad	Meta	Responsable	Medio de verificación
Eficacia de las estrategias	$(\frac{\text{N° de Cirujanos cardiólogos alcanzados}}{\text{Total de cirujanos cardiólogos}}) * 100\%$	anual	100%	Equipo técnico	Encuesta

7. Fases del plan de sensibilización y compromiso

Fase 1: Compromiso de las autoridades

Las actividades son:

a) Primer contacto y reunión de acercamiento para introducir la oportunidad de aplicación de la fabricación digital en la EPIQ para cirugías electivas en el área de cardiología.
b) Reunión de información sobre los beneficios de la FD en la EPIQ para cirugías electivas en el área de cardiología, dirigido a las autoridades
c) Concretar el compromiso de las autoridades por medio de un acta
d) Conformación de un equipo técnico para funciones de ejecución y seguimiento
e) Diagnostico especifico

Fase 2: Planificación de las estrategias de comunicación

a) Definir público meta
b) Teoría y antecedentes de la aplicación de la fabricación digital en cardiología
c) Diseño de estrategias y actividades
d) Designación de responsables
e) Planificación de equipos, materiales y suministros
f) Diseño de cronograma de actividades anual
g) Diseño de instrumentos de evaluación

Fase 3: Ejecución de las estrategias de comunicación

a) Ejecución de las actividades de las estrategias de comunicación
b) Aplicación de los instrumentos de evaluación de desempeño de las estrategias de comunicación

Fase 4: Elaboración de informe

a) Recolección y tabulación de resultados
b) Análisis de los resultados
c) Diseño de acciones correctivas y mejora continua
d) Documentación de resultados y acciones correctivas y de mejora

8. Responsables

La importancia de la identificación de responsables involucrados recae en el establecimiento de roles o tareas que cada uno debe realizar para garantizar el acompañamiento, ejecución y participación en pro de la implementación del presente plan de sensibilización y compromiso sobre la aplicación de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre-operación quirúrgica.

Autoridades

Son aquellos en cargos con alto poder e incidencia en la toma de decisión sobre la aplicación de nuevas tecnologías, capacitaciones, desarrollo profesional, planificación y mejora continua. En esta categoría se encuentran los puestos de director del área de cirugía, jefe de cirugía, director del hospital tipo, supervisores internos y representantes del ministerio de salud.

1. Apoyar con decisiones estratégicas la implantación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología para la estructuración de planes de intervención quirúrgica para cirugías electivas.

2. Facilitar el flujo de información requerida para la creación de los 4 elementos del modelo.
3. Acudir a reuniones de implantación y seguimiento del modelo.
4. Gestionar recursos para la implantación del modelo según le sea permitido y actuando en el marco legal que lo rige.
5. Colaborar en la identificación de necesidades de formación y sensibilización propias del hospital tipo en estudio.
6. Garantizar espacios y horario para las actividades de sensibilización
7. Conceder aprobación y acompañamiento jurídico y legal para el desarrollo de las estrategias de sensibilización.
8. Apoyo y/o Gestión de los recursos necesarios para la implementación del plan de sensibilización y compromiso.
9. Controlar que el plan de sensibilización y compromiso se ejecute según lo planeado y cumpliendo con los objetivos propuestos.
10. Acompañar y participar en las actividades de sensibilización como una figura de ejemplo y compromiso.
11. Proporcionar información estadística y de costos de servicios según sea requerido para la implantación del modelo.
12. Comunicar a las máximas representaciones del ministerio de salud los avances y resultados de la implantación del modelo.

Personal operativo

Son aquellos que se encuentran en los puestos de trabajo operativos, quienes ejecutan los servicios de cirugía, o, dicho de otra manera, quienes planean y realizan una intervención quirúrgica en el área de cardiología a la población que padece de anotomías y patologías

complejas. En esta categoría se contempla a los cirujanos cardiólogos, cirujanos cardiólogos pediatras, cirujanos generales y otros interesados.

1. Asistir y participar activamente en todas las actividades de sensibilización.
2. Convertirse en agentes multiplicadores de los conocimientos adquiridos para comunicar a otros la importancia de aplicar nuevas tecnologías.
3. Colaborar con el llenado de instrumentos de evaluación del plan de sensibilización y compromiso.

Personal de apoyo

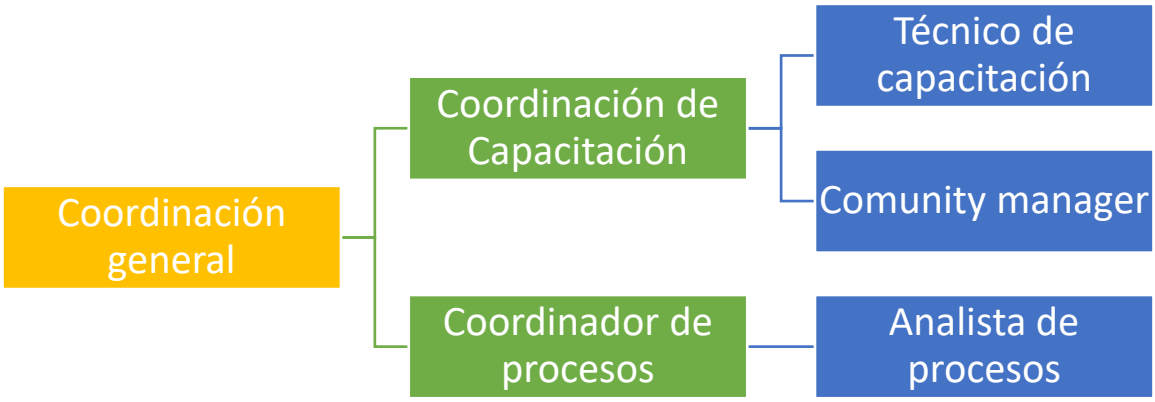
En esta tercera categoría se engloban aquellos profesionales de la salud que participan indirectamente en la planeación quirúrgica y participan más activamente en la generación de imágenes de diagnóstico de anotomías. Aquí se visualiza la participación de profesionales de radiología, médicos Interconsultantes y cardiólogos pediatras. Se espera que cumplan los siguientes roles:

1. Asistir y participar en todas las actividades de sensibilización.
2. Compartir su experiencia con la generación de imágenes complejas e identificar oportunidades de aplicación.
3. Convertirse en agentes multiplicadores de los conocimientos adquiridos para comunicar a otros la importancia de aplicar nuevas tecnologías.
4. Colaborar con el llenado de instrumentos de evaluación del plan de sensibilización y compromiso.

Estructura organizacional para la implementación del modelo

Se presenta la estructura organizacional del equipo técnico, quienes realizarán la implantación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El salvador, específicamente en cirugías electivas ante casos de malformaciones congénitas. Al concluir la implantación y puesta en marcha del modelo darán paso a un equipo técnico permanente, que trabajara para darle continuidad y mejora continua de cara a la optimización y actualización tecnológica en esta importante área de estudio quirúrgico.

Ilustración 82: Esquema de organización para la implementación.



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de ser un equipo técnico donde la relación idealmente es horizontal, es necesario establecer una relación jerárquica para establecer subdivisiones por funciones u objetivos específicos, de tal manera que exista un trabajo especializado y concentrando en un producto final, los objetivos y funciones para los miembros de la estructura son las siguientes:

Coordinación general
Objetivo: Implantar el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología para la estructuración de planes de

Coordinación general

intervención quirúrgica para cirugías electivas y asegurar la estructura y recursos para su sostenibilidad en el tiempo.

Funciones:

- Organizar el trabajo de las diferentes subdivisiones de trabajo para la creación de los elementos: 1) Sensibilización y compromiso, 2) Ingeniería del modelo, 3) Capacitación técnica y 4) Formación profesional.
- Transmitir el compromiso de las autoridades en cuanto a la aplicación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en paciente de cardiología para cirugías electivas ante casos de malformaciones congénitas.
- Transmitir los lineamiento e información que las autoridades transmitan al equipo técnico.
- Comunicar peticiones, consultas y resultados a las diferentes autoridades relacionadas al hospital tipo y al ministerio de salud según corresponda.
- Cumplir con los plazos y presupuestos asignados para la implementación del modelo.
- Entregar toda documentación que respalde la sostenibilidad del modelo al final el periodo de implantación.

Coordinador de Capacitación

Objetivo: Gestionar la ejecución de sensibilización, capacitación y formación profesional de la aplicación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología para la estructuración de planes de intervención quirúrgica para cirugías electivas.

Funciones:

Coordinador de Capacitación

- Organizar el trabajo para la puesta en marcha de los elementos: 1) Sensibilización y compromiso, 3) Capacitación técnica y 4) Formación profesional.
- Verificar y ejecutar el plan de sensibilización y compromiso.
- Controlar y corregir el plan de sensibilización y compromiso para su aplicación permanente.
- Gestionar y controlar las capacitaciones técnicas a los especialistas encargados de diseñar e imprimir los modelos anatómicos y los cirujanos usuarios sobre el modelo de fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en pacientes de cardiología.
- Verificar y controlar la ejecución la formación profesional dirigida a estudiantes, médicos residentes y médicos internistas sobre la aplicación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología, como un medio para expandir sus conocimientos y prácticas.

Coordinador de Proceso

Objetivo: Gestionar la creación e implantación del componente de la ingeniería del modelo de la aplicación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador, específicamente para la estructuración de planes de intervención quirúrgica para cirugías electivas.

Funciones:

- Estudiar el diseño propuesta sobre el proceso de fabricación de modelos anatómicos para adaptarlo exitosamente, tomando en cuenta todos los elementos, equipos, herramientas, áreas de trabajo y otros requerimientos propuestos.
- Identificar actividades claves, ruta a seguir, responsables, recursos requeridos y diseñar un cronograma para la implantación de la ingeniería del modelo.

Coordinador de Proceso

- Gestionar y controlar los procesos de adquisición de equipos y herramientas requeridas para la implantación del departamento de modelado e impresión 3D
- Gestionar y controlar la adecuación física del espacio asignado para el departamento de modelado e impresión 3D al interior del hospital tipo.
- Gestiona la comunicación con la coordinación general y las autoridades del hospital tipo para la adecuada intervención física del espacio asignado en la medida de los requerido.
- Identifica y adecua las áreas de trabajo para dar vida al flujo de trabajo requerido para la fabricación digital de modelos anatómicos.
- Comunica los avances y resultados a la coordinación general y autoridades del hospital tipo.

Cabe mencionar que el coordinador de capacitaciones será la persona encargada del desarrollo de los elementos 1, 3 y 4; los cuales tiene como principales funciones comunicar los beneficios y presentar los cambios con la inclusión de la fabricación digital en el desarrollo de procesos médico.

Técnico de capacitación

Objetivo: Desarrollar las capacitaciones necesarias, en las diversas áreas requeridas para la implementación y ejecución del modelo para la aplicación digital, teniendo en cuenta las diferentes habilidades y conocimientos a poseer.

Funciones:

- Identificar las necesidades específicas de formación de los profesionales médicos y técnicos que participarán en la implementación del modelo de fabricación digital.
- Evaluar el nivel de conocimientos previos y habilidades de los participantes.

Técnico de capacitación

- Desarrollar un plan de formación integral que abarque los conceptos fundamentales y avanzados de la fabricación digital y el uso de modelos 3D en la medicina.
- Crear materiales educativos, incluyendo manuales, tutoriales, presentaciones y guías de uso
- Llevar a cabo sesiones de formación teóricas y prácticas, utilizando métodos de enseñanza variados como talleres, seminarios, clases presenciales y online.
- Asegurarse de que los participantes comprendan el uso de software de diseño 3D (como AutoCAD, SolidWorks o Blender) y equipos de fabricación digital (como impresoras 3D).
- Proporcionar soporte continuo a los participantes, resolviendo dudas y problemas técnicos que puedan surgir durante y después de la capacitación.
- Ayudar en la configuración y el mantenimiento del equipo de fabricación digital.
- Supervisar y guiar a los participantes en la creación de modelos 3D aplicados a casos clínicos reales, asegurando la correcta utilización de las herramientas y técnicas aprendidas.
- Evaluar y documentar los resultados de los proyectos piloto para identificar áreas de mejora y éxitos alcanzados.
- Coordinar con diferentes departamentos y profesionales para asegurar la integración efectiva de los modelos 3D en los procedimientos médicos.
- Gestionar los recursos necesarios para la capacitación, incluyendo tiempo, presupuesto y materiales.

Community manager

Objetivo: Desarrollar las capacitaciones necesarias, en las diversas áreas requeridas para la implementación y ejecución del modelo para la aplicación digital, teniendo en cuenta las diferentes habilidades y conocimientos a poseer.

Funciones:

- Desarrollar y ejecutar una estrategia de contenidos que comunique claramente los beneficios y aplicaciones de la fabricación digital y modelos 3D en la medicina.
- Crear y compartir contenido educativo y de alta calidad (artículos, infografías, videos) que explique el proceso y ventajas de estos modelos para profesionales de la salud y pacientes.
- Administrar las redes sociales de la empresa para construir una comunidad en torno al uso de la fabricación digital en la medicina.
- Publicar regularmente actualizaciones sobre innovaciones, casos de estudio y testimonios de usuarios.
- Responder a preguntas y comentarios de la comunidad para fomentar el compromiso y la confianza.
- Monitorear menciones y discusiones sobre la fabricación digital en medicina en las redes sociales y medios de comunicación.
- Analizar el impacto de las campañas y ajustar las estrategias en función de los resultados obtenidos.
- Redactar y distribuir comunicados de prensa sobre nuevos desarrollos, colaboraciones y logros en el uso de modelos 3D en la medicina.
- Mantener relaciones con periodistas y medios especializados en salud y tecnología para asegurar una cobertura mediática positiva.
- Crear y promover tutoriales y materiales educativos para ayudar a los profesionales de la salud a comprender y utilizar la tecnología de modelos 3D.
- Organizar talleres y seminarios para capacitar a médicos y personal sanitario en el uso de estos modelos.
- Fomentar la participación en foros y grupos de discusión especializados en fabricación digital y tecnología médica.
- Crear encuestas y recopilar feedback de los usuarios para mejorar continuamente los productos y servicios ofrecidos.

Community manager

- Documentar y compartir casos de estudio detallados que muestren cómo los modelos 3D han mejorado diagnósticos, tratamientos y resultados quirúrgicos.
- Utilizar estos casos de estudio como material de marketing y educación.
- Organizar y participar en eventos, conferencias y ferias relacionadas con la tecnología médica y fabricación digital.
- Presentar ponencias y demostraciones en vivo para mostrar las aplicaciones prácticas de los modelos 3D en la medicina.

Analista de procesos

Objetivo: Establecer cuidadosamente la planificación y análisis para garantizar su éxito. Un Analista de Procesos desempeña un papel fundamental en este contexto, asegurando que todas las fases del proyecto se desarrollen de manera eficiente y efectiva.

Funciones:

- Recopilar y analizar los requisitos de los stakeholders, incluyendo médicos, técnicos y pacientes, para definir claramente los objetivos del proyecto.
- Identificar las necesidades específicas de los diferentes departamentos y usuarios finales.
- Crear diagramas de flujo detallados y mapas de procesos que ilustren cada paso del proceso de fabricación digital, desde la captura de datos hasta la producción del modelo 3D.
- Documentar todos los procesos actuales y futuros para tener una visión clara del flujo de trabajo.
- Analizar los procesos existentes para identificar áreas de mejora y proponer cambios que incrementen la eficiencia y reduzcan los costos.
- Implementar prácticas de mejora continua, utilizando metodologías como Lean, Six Sigma, y Kaizen.

Analista de procesos

- Desarrollar planes de proyecto detallados que incluyan cronogramas, recursos necesarios e hitos clave.
- Supervisar el progreso del proyecto y asegurar que se mantenga en el cronograma y dentro del presupuesto.
- Evaluar y seleccionar las tecnologías de fabricación digital y software de modelado 3D más adecuadas para las necesidades del proyecto.
- Asegurar la integración fluida de estas tecnologías con los sistemas existentes en la organización.
- Desarrollar e implementar controles de calidad para asegurar que los modelos 3D producidos cumplan con los estándares médicos y de precisión requeridos.
- Realizar auditorías y revisiones periódicas para verificar la adherencia a los procedimientos de calidad.
- Diseñar programas de capacitación para el personal médico y técnico, asegurando que todos los usuarios comprendan y puedan utilizar eficazmente las nuevas tecnologías y procesos.
- Proporcionar soporte continuo para resolver problemas y mejorar las capacidades del personal.
- Establecer procedimientos para la captura, almacenamiento y gestión de datos relacionados con la fabricación digital y modelos 3D.
- Asegurar, que todos los datos se manejen de acuerdo con las regulaciones de privacidad y seguridad, como la GDPR.
- Desarrollar indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir el éxito de la implementación del modelo de fabricación digital.
- Analizar los datos de rendimiento y realizar informes regulares para los stakeholders.

Analista de procesos

- Trabajar en estrecha colaboración con otros departamentos, como IT, ingeniería, y administración, para asegurar una implementación coherente y efectiva.
- Facilitar la comunicación y coordinación entre los diferentes equipos y stakeholders involucrados en el proyecto.
- Mantenerse actualizado sobre las últimas tendencias y avances en fabricación digital y tecnología médica.
- Proponer e implementar innovaciones que puedan mejorar los procesos y resultados.

9. Estrategias de comunicación

Las estrategias de comunicación son esencia una herramienta que permite a las organizaciones definir y transmitir un mensaje de manera efectiva, a través uno o varios canales hacia un tipo específico de destinatarios. Una estrategia de comunicación nace a partir de un problema de información o comunicacional identificado, y requiere de un objetivo, mensaje, actividades o acciones a ejecutar, indicadores, instrumentos y plazos de entrega.

A. Enfoque de la estrategia de comunicación sobre el modelo para la aplicación de la fabricación

¿Qué se debe comunicar?	Los beneficios de la utilización de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en el área de cardiología para cirugías electivas a pacientes con anotomías complejas con base a casos prácticos documentados en otros países.
¿Para qué?	Generar expectativas positivas entre las autoridades y cirujanos, ampliando los conocimientos al respecto, promoviendo su compromiso y garantizando su aplicación gradual.
¿Para quién?	Autoridades, cirujanos cardiólogos y personal médico de apoyo del hospital tipo

B. Público meta

El público meta son aquellos a quienes se les debe transmitir el mensaje principal, el cual comprende los beneficios de aplicar la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas en el área de cardiología a partir de las experiencias documentadas por doctores e investigadores de otros países recolectadas de fuentes secundarias. Además, se debe tener en cuenta que dada la naturaleza de esta estrategia de comunicación el público meta son también los identificados anteriormente como responsables de la aplicación del plan de sensibilización y compromiso.

Tabla 71: Tipos de público de meta para sensibilización

Público meta	Porque es PM	Que beneficio obtiene	Canales de comunicación
Autoridad	Tomadores de decisión inicial tanto internos como externos al hospital tipo.	Mejorar servicios ofrecidos por medio de la innovación	Correo electrónico Reuniones ejecutivas presenciales.
Personal operativo	Principales beneficiarios de las herramientas	Modelos 3D de anotomías o mal formaciones complejas	Correo electrónico de trabajo asignado. Ponencia presencial Mesa redonda
Personal de apoyo	Usuarios de equipos y herramientas de imágenes y modelos anatómicos	Nuevas habilidades y herramientas para la fabricación de modelos anatómicas	Correo electrónico Ponencia presencial Mesa redonda

Fuente: Elaboración propia

C. Teoría y antecedentes de la aplicación de la fabricación digital en cardiología

Se debe tomar en cuenta que no se trata de un curso o un diplomado, sino más bien de dar a conocer conceptos básicos que permitan a los doctores y cirujanos del área de cardiología

aprender y ampliar sus conocimientos sobre la fabricación digital, la impresión 3D y sus antecedentes de aplicación en cirugías electivas en cardiología.

A continuación, se presentan los contenidos teóricos y de antecedentes sobre la aplicación de la fabricación digital en cardiología para cirugías electivas antes casos de anotomías complejas y mal formaciones congénitas.

Tabla 72: Temas de descripción de contenido para sensibilización

Tema	Descripción y contenido	Objetivo del contenido/ antecedentes
Introducción a la fabricación digital	El contenido se debe enfocar en dar a conocer conceptos básicos sobre: El diseño asistido por computadora, la fabricación digital, impresión 3D, tipos de tecnología de impresión 3D, softwares para diseño e impresión 3D, equipos de impresión 3D, herramientas y materiales para la fabricación 3D.	Enseñar conceptos claves de la fabricación digital a los cirujanos y doctores de apoyo del área de cardiología para ampliar sus conocimientos en el tema.
Como se genera un modelo 3D virtual y físico en el campo de la salud	Describir el paso a paso para la fabricación de modelos a escala o ampliados de anatomías complejas y/o mal formaciones congénitas.	Explicar el proceso de fabricación de modelos físicos de anatomías complejas o problemas congénitos para ilustrar su posible aplicación en el hospital tipo
Beneficios de la aplicación de fabricación digital y específicamente de la impresión 3D en cirugías electivas en cardiología	El contenido debe estar enfocado en dar a conocer los resultados obtenidos al aplicar la fabricación digital por medio de la producción de modelos físicos para la planificación de la intervención quirúrgica antes anatomías complejas y problemas congénitos.	Exponer los casos documentados sobre la aplicación de la fabricación 3D a los cirujanos y doctores de apoyo del área de cardiología para fomentar su adopción por medio de un modelo para aplicación de la fabricación digital en cardiología en el país.

Fuente: Elaboración propia

Los contenidos presentados han sido seleccionados a partir de los resultados obtenidos en el capítulo de diagnóstico de esta investigación, en resumen los cirujanos y cardiólogos del área de cardiología afirman haber leído o escuchando un poco sobre la aplicación de la fabricación digital en la planificación de cirugías, y que están dispuestos a adquirir conocimientos y habilidades para aplicar la fabricación digital en sus diagnósticos y estructuración del plan de intervención quirúrgica en cirugías electivas.

D. Matriz de diseño de estrategias, actividades y responsables de comunicación

Objetivo: Comunicar los principales beneficios de la utilización de la fabricación digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica en el área de cardiología para cirugías electivas a pacientes con anotomías complejas con base a casos prácticos documentados en otros países, y de esta manera generar expectativas positivas entre los directivos y cirujanos.

Tabla 73: Estrategias, actividades y responsables de comunicación

Estrategia	Actividades comunicacionales	Responsable	Público Meta	Recursos/ Insumos
Reuniones ejecutivas	1-Establecer objetivos y agenda de reunión 2-Seleccionar e invitar participantes 3-Desarrollar reunión 4-Definir acuerdos y rutas de acción 5-Generar actas de compromiso	Investigadores	Autoridades	Computadora, Proyector, Sala de reunión, Papelería
Campaña de difusión	1-Enviar de correos informativos 2-Producción materiales informativos 3-Distribución de material informativo	Investigadores y Equipo técnico	Autoridades, cirujanos cardiólogos, cirujanos cardiólogos pediatras, cirujanos generales y personal médico de apoyo.	Computadora, Brochure, afiches.

Estrategia	Actividades comunicacionales	Responsable	Público Meta	Recursos/ Insumos
Ponencias de teoría y antecedentes	1-Seleccionar e invitar público de hospital tipo 2-Desarrollo de ponencia de contenido teórico 3- Desarrollo de ponencia sobre antecedentes de aplicación 4-Demostración de impresión 3D	Investigadores, equipo técnico y profesional de impresión 3D.	cirujanos cardiólogos, cirujanos cardiólogos pediatras, cirujanos generales, personal médico de apoyo y médicos interesados en la ponencia.	Computadora, Proyector, Impresiones 3D de modelos anatómicos como muestras.
Mesa redonda	1- Invitación de participantes 2-Desarrollo de conversación sobre los beneficios de la aplicación de la FD y su posible aplicación en El Salvador	Investigadores, equipo técnico y profesional de impresión 3D.	cirujanos cardiólogos, cirujanos cardiólogos pediatras, cirujanos generales y personal médico de apoyo.	Computadora, Proyector, Brochure, Impresiones 3D de anatomías

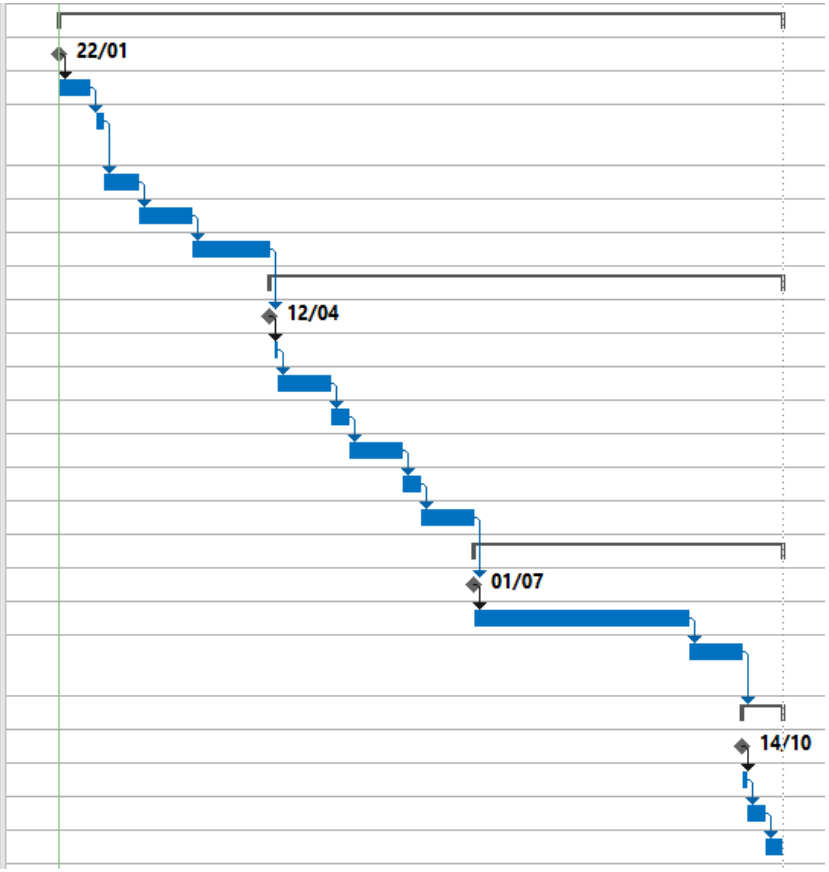
Fuente: Elaboración propia

10. Cronograma del plan

Se presenta el cronograma con los plazos estimados para la realización de las fases del plan de sensibilización y compromiso.

Ilustración 83: Cronograma del plan de sensibilización y compromiso.

Fase 1: Compromiso de las autoridades	**203 días**
Inicio	0 días
a) Primer contacto y reunión de acercamiento	10 días
b) Reunión de información sobre los beneficios de la FD en la EPIQ para cirugías electivas en el área de cardiología	3 días
c) Concretar el compromiso de las autoridades (acta)	10 días
d) Conformación de comisiones o personal de apoyo	15 días
e) Diagnostico especifico	22 días
Fase 2: Planificación de las estrategias de comunicación	**143 días**
INICIO	0 días
a) Definir público meta	1 día
b) Diseño de estrategias y actividades	15 días
c) Designación de responsables	5 días
d) Planificación de equipos, materiales y suministros	15 días
e) Diseño de cronograma de actividades	5 días
f) Diseño de instrumentos de evaluación	15 días
Fase 3: Ejecución	**87 días**
INICIO	0 días
a) Ejecución de las actividades de comunicación y socialización	60 días
b) Evaluación sobre el interés y expectativas generadas en el público objetivo	15 días
Fase 4: Elaboración de informe	**12 días**
INICIO	0 días
a) Tabulación de resultados	2 días
b) Análisis de los resultados	5 días
c) Elaboración de informe sobre memoria de lo realizado	5 días



Fuente: Elaboración propia.

11. Glosario técnico de FD

a) Fabricación digital

La fabricación digital es un proceso de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador). El producto del software CAM son datos que dirigen una herramienta específica fabricación aditiva y sustractiva, como una impresora 3D o una fresadora CNC.

b) Diseño asistido por computadora

Consiste en el uso de programas de ordenador para crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos como una alternativa a los borradores manuales y a los prototipos de producto.

c) Fabricación asistida por computadora

También llamado Manufactura Asistida Por Computadora (CAM) Consiste en el uso de aplicaciones de software de control numérico (NC) con el objetivo de crear instrucciones detalladas (código G) que impulsen las máquinas-herramienta de control numérico por ordenador (CNC) para las piezas de fabricación

d) Impresión 3D

También llamada manufactura por adición es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo.

e) Procedimiento Quirúrgico

Los procedimientos e intervenciones quirúrgicas son cirugías invasivas o no invasivas realizadas por un médico cirujano, con el fin de mejorar y resolver cualquier tipo de lesión o enfermedad que se encuentre aquejando al paciente.

f) Defectos cardiacos congénitas

Los defectos cardíacos congénitos son problemas con la estructura del corazón. "Congénito" significa que los problemas están presentes al nacer. Estos defectos ocurren cuando el corazón de un bebé no se desarrolla normalmente durante el embarazo. Los defectos cardíacos congénitos son el tipo más común de defecto de nacimiento.

10.7. Ingeniería Del Modelo

10.7.1. Tamaño de la capacidad a instalar para el modelo

Este elemento de la ingeniería del modelo tiene como objetivo determinar el dimensionamiento que deben tener las instalaciones, así como la capacidad de la maquinaria y equipos requeridos por el proceso de conversión del proyecto, cabe mencionar que estos elementos serán desarrollados de una forma más amplia en el punto determinado para la ingeniería del modelo, debido a que para el tamaño del proyecto solo se considera como un factor a analizar para definir el tamaño.

Cabe mencionar que la capacidad a instalar para el modelo está definida por su capacidad física o real de producción de bienes o servicios, durante un período de operación normal. Esta capacidad se expresa en cantidad producida por unidad de tiempo, es decir, volumen, peso, valor o número de unidades de producto elaboradas por ciclo de operación, puede plantearse por indicadores indirectos, como el monto de inversión, el monto de ocupación efectiva de mano de obra o la generación de ventas o de valor agregado.

10.7.1.1. Factores considerados

Para definir la capacidad a instalar en el desarrollo del modelo, como se ha mencionado con anterioridad, se debe de establecer factores de importancia para la estructuración de este y que son una parre clave de su funcionamiento. A continuación, se presenta los factores que para el modelo son tomado en cuenta como importantes para definir el tamaño del proyecto:

- **Establecimiento de la demanda del modelo**

Para definir la demanda del modelo, se debe de recordar la información base proporcionadas por fuentes del ministerio de salud, que define la tendencia de las anatomías cardiaca en aumento y que a su vez en los últimos años se ha considerado como la principal

causa de muerte en niños menores de un año en el país. Los datos extraídos del documento emitido por el MINSAL, que lleva por título “Lineamientos técnicos para la toma de tamizaje cardíaco a recién nacidos clínicamente sanos” emitido en el año 2022 son los siguientes:

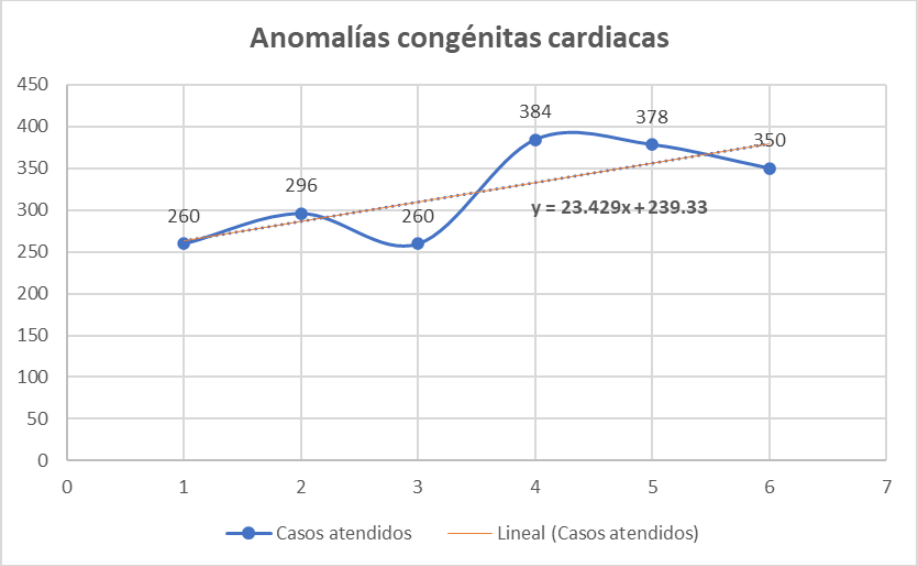
Tabla 74: Anomalías cardiacas congénitas registradas en hojas de vigilancias

n	Año	N° de pacientes
1	2015	260
2	2916	296
3	2017	260
4	2018	384
5	2019	378
6	2020	350

Fuente: Elaboración propia

La tendencia de los datos nos muestra un crecimiento en los casos de las anomalías cardiacas congénitas, por lo que se puede denotar la necesidad de generar apoyo en el servicio de intervención quirúrgica de las mismas. Debido a lo antes mencionado, se analiza la tendencia lineal ascendente y se define el posible número de casos atendidos y que se espera atender en los próximos años bajo el método de tendencia lineal, para ello se establece lo siguiente:

Ilustración 84:Grafica representativa de las anomalías congénitas cardiacas.



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se puede denotar que el comportamiento de las anomalías congénitas cardiacas a través de los años ha ido en aumento, considerando también el caso peculiar que para el 2020 estas disminuyen, pero no por debajo de los años 2015 y 2017. Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, se puede asumir que los casos para los años del 2021 al 2024 se han comportado de la siguiente manera.

Tabla 75: Tendencia de los pacientes atendidos

n	Año	N° de pacientes
7	2021	404
8	2022	427
9	2023	451
10	2024	474

Fuente: Elaboración propia

Debido a que para el periodo de 2021 al 2023 no se tiene datos exactos de los casos atendidos, bajo las estimaciones de periodos anteriores, se puede denotar estos considerando

el aumento de estos y las proyecciones del 2024 son un panorama más claro de las personas que pueden ser beneficiadas con el modelo.

Pronóstico de la demanda.

El pronóstico de la demanda permite identificar el requerimiento de recursos para el funcionamiento del modelo, lo que se convierte en el tamaño del proyecto, así como también demuestra la tendencia de consumo y la importancia de la aplicación del modelo a largo plazo.

El establecimiento de la cantidad de períodos requeridos en el pronóstico de la demanda del servicio se ve relacionado con dos factores importantes en la naturaleza del modelo, el primero de ellos aparece al visualizar el modelo como un proyecto el cual posee un alto grado de complejidad y el segundo factor es la vida útil del principal equipo de fabricación digital, las impresoras 3D.

- Complejidad del modelo como proyecto

Partimos de hecho que la investigación y el modelo tienen un componente innovador en el sistema de salud de El Salvador, y en especial en el Hospital Benjamín Bloom, ante lo cual es recomendable realizar proyección desde 5 a 10 años, y en casos de proyecto sumamente complejos suele extender hasta 20 años, además se debe tomar en cuenta la cantidad de años base que alimentan las proyecciones para cuidar un equilibrio entre los antecedentes y lo proyectado. Actualmente se cuenta con un registro real de 6 (2015 a 2020) años previos a la pandemia del COVID 19 y 4 años influencias por la pandemia (del 2021 al 2023), por lo tanto, 5 años de proyección (de 2024 a 2028) están relacionados con la innovación del modelo lo que implica que la aplicación del modelo es compleja debido a pocos antecedentes nacionales.

- Vida útil de impresoras 3D

El segundo factor de gran importancia es la vida útil la cual a su vez involucra la obsolescencia tecnológica asociada a las impresoras 3D de filamento o de resinas, pues en

condiciones normales de uso un equipo de impresión 3D tiene una vida útil de 5 años, tomando en cuenta el mantenimiento preventivo, frecuencia de uso, limpieza regular, reemplazos oportunos de piezas que sufren fatiga y la buena utilización y configuración del equipo. Además, como se ha mencionado, la obsolescencia programada es importante, debido a que los equipos de impresión 3D como toda nueva tecnología después de cierto periodo se ve superada por nuevas versiones, nuevas tecnologías, nuevos softwares controladores y nuevas materias primas diseñadas únicamente para equipos de última generación. Por lo tanto, proyectar la demanda o consumo del servicio a 5 años permite igualar el periodo de vida útil y vigencia tecnológica de los equipos de impresión 3D.

Tabla 76: Factores determinantes para los periodos de proyección

Complejidad del modelo como proyecto	Vida útil de impresoras 3D
• 5 años a 10 años para proyectos innovadores • Menor a 5 años exigen resultados contundentes lo que se relaciona a proyectos rápidos o modelos ampliamente conocidos • Las proyecciones a 10 años están afectadas por la incertidumbre y la aparición de variables no esperadas (mayor inversión para la gestión de riesgos).	• 5 años en condiciones de uso normales • Cuanto mayor tiempo mayor es la obsolescencia tecnológica

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se puede definir que, para el periodo de los próximos 5 años, los casos de anomalías congénitas de tipo cardiovascular van en aumento por lo que se puede pronosticar los casos a tratar en el sistema de salud, pueden estará cercano a los siguientes valores determinados.

Tabla 77: Pronostico de casos a atender en los próximos 4 años

Año	N° de pacientes
2024	474
2025	498
2026	521
2027	568
2028	591

Fuente: Elaboración propia

El número de casos muestra un aumento, esto debido al comportamiento de los casos atendido a través del tiempo, según las estadísticas definidas en el sistema de salud del país.

- **Materiales e insumos para la producción de impresiones 3D de malformaciones congénitas**

Materiales

Los materiales utilizados en la impresión 3D varían en función de la tecnología y equipos a utilizar. En términos generales existen materiales platicos, provenientes de madera, metálicos, solubles en agua y resinas, todos diseñados para aplicaciones diferentes, siendo su principal diferencia la flexibilidad de las piezas fabricadas.

A continuación, se muestra los tipos de tecnologías disponibles a la fecha y sus principales materiales de impresión 3D.

Materiales para Tecnología FDM

FDM construye piezas tridimensionales mediante la fusión y avance de un hilo fino de plástico a través de un cabezal de extrusión controlada por ordenador, produciendo piezas que están listos para usar. La impresión por FDM funciona con varios termoplásticos estándar, como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el ácido poli láctico (PLA) y sus diversas mezclas.

A. Filamento ABS

Descripción

El filamento ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) es uno de los materiales más utilizados en la impresión 3D. Fue uno de los primeros en utilizarse con impresoras de tipo industrial. Permanece siendo muy popular debido a su bajo costo y excelentes propiedades mecánicas. El ABS es conocido por su durabilidad y resistencia al impacto, permitiéndole al usuario crear piezas que soportarán condiciones más duras que otros materiales, por ejemplo, el filamento PLA. Su temperatura de deformación es más alta respecto a este último, por lo que puede soportar temperaturas más altas manteniendo su forma. Esto vuelve al filamento ABS una excelente decisión para intemperie (aunque protegido de la luz solar directa, debido a su baja resistencia a la luz ultravioleta) u otras aplicaciones que requieran temperaturas altas.

Ilustración 85: Filamento ABS para impresión 3D.



Fuente: Sitio web Real plaza.

Al imprimir con ABS, se debe garantizar que la impresora se encuentre en un espacio con buena ventilación, ya que genera olores al imprimirse, y los gases inhalados directamente pueden ser perjudiciales para la salud. Es recomendable también que el volumen de impresión se encuentre en una temperatura controlada, ya que el material puede deformarse ligeramente si se enfría muy rápido. Posteriormente, las piezas creadas con este material pueden someterse a un tratamiento con vapor de acetona, para darle un acabado liso y brillante, o puede lijarse con facilidad.

Especificaciones técnicas:

- Temperatura de impresión: 220°C ~ 240°C.
- Temperatura de la superficie de impresión: Requerida, a 80°C.
- Temperatura de almacenamiento: Preferiblemente menor a 50°C.
- Calibre: 1.75mm con tolerancia de ±0.02mm.
- Densidad: 1010 kg/m3 (promedio).
- Módulo de flexión: 2170MPa (promedio).
- Resistencia al impacto: 110 kJ/m2 (promedio).
- Unidad comercial: carrete de 1 kg.

Filamento PLA

El filamento PLA (ácido poli láctico) es perfecto para la mayoría de las aplicaciones de impresión 3D con tecnología FDM, por su facilidad de impresión y por ser un material biodegradable, derivado del almidón. El filamento PLA no requiere el uso de una superficie de impresión caliente, ni contar con una impresora de cámara cerrada. Se caracteriza por su costo accesible, su buena precisión dimensional, sus parámetros de fuerza y baja flexibilidad.

Ilustración 86: Filamento PLA para impresión 3D.



Fuente: Sitio web Amazon.com.

Una vez impreso, no requiere post procesado, pero puede ser lijado o tratado con acetona para un acabado más liso, y sus soportes suelen retirarse sin mucha dificultad.

Según algunos proveedores, este material no soporta tanta fuerza ni temperatura comparado con el ABS (el PLA se vuelve maleable a partir de los 60°C), pero suele ser una alternativa muy buena para prototipos iniciales. Es biodegradable en ciertas circunstancias de humedad y calor, por lo que su impacto ambiental es muy inferior a los plásticos derivados del petróleo.

Su composición permite que sea un filamento muy sencillo de imprimir ya que al tener una resistencia mecánica menor a la del ABS se convierte en un material más estable y maleable a la hora de imprimir. Libre de producir vapores tóxicos ya que por su composición basada en el almidón de maíz al fundirse este filamento desprende un olor agradable, esto lo convierte en una perfecta opción para realizar impresiones en hogares, ya que no es molesto ni dañino. Tiene una gran adherencia a la base de impresión con lo que evitaremos tener que usar adhesivos como Dimafix o 3DLac, ganando en tiempo y dinero.

Especificaciones técnicas:

- Temperatura de impresión: 190°C ~ 220°C.
- Temperatura de almacenamiento: Menor a 50°C.
- Temperatura de la superficie de impresión: No es requerida, pero puede usarse de 45°C a 60°C.
- Calibre: 1.75mm con tolerancia de ±0.02mm.
- Densidad: 1240 kg/m3.
- Módulo de flexión: 1080MPa.
- Resistencia al impacto: 4.8kJ/m2.
- Unidad comercial: Carrete de 1 kg

Filamento PETG

Es un tipo de material termoplástico utilizado en la impresión 3D que combina las propiedades del PET (polietileno tereftalato) y el glicol para obtener una mayor flexibilidad y resistencia a la deformación en las piezas impresas. Los materiales de impresión 3D PLA y PETG son los más utilizados. El PETG combina la facilidad de impresión del filamento PLA con la fuerza característica del filamento ABS.

Se caracteriza también por ser un filamento termoplástico 100% reciclable que posee un 91% de transparencia en estado natural, un gran parecido al vidrio y una gran resistencia térmica. Viene presentado en bobinas de 1,75 o 2,85 mm de diámetro y está disponible en una amplia gama de colores. Destaca también por su facilidad de impresión, su baja contracción y sus acabados excelentes, además de por poder imprimirse sin capa caliente.

Ilustración 87: Ejemplo de impresión 3D con material PETG.



Fuente: Sitio web Eolas Prints.

Otras características destacables del PETG:

- El problema de algunos materiales altamente resistentes es su rigidez, es decir, la capacidad de ese material de ser deformado. Aunque el PETG es un material rígido, se caracteriza por ser más flexible que algunos filamentos que comparten características con él, como es el caso del filamento ABS.

- Se convierte en un material fácilmente moldeable cuando alcanza temperaturas superiores a los 85º centígrados.
- Es un material que no solo posee una buena resistencia física, sino que también destaca por su resistencia a ataques químicos como ácidos o bases.
- Se trata de un material que deja pasar el 90% de la luz en su estado natural, por lo que es muy usado en la industria para la fabricación de piezas transparentes o traslúcidas.
- Es un material aprobado por la FDA (Agencia estadounidense para la regulación de alimentos, medicamentos y cosmética) para el uso alimentario. Una característica que no poseen otro tipo de filamentos, y que permite a este material poder ser utilizado para la fabricación de distintas aplicaciones pensadas para el almacenaje de alimentos.
- La medicina es otro campo donde el uso de filamento PETG está muy extendido. Su resistencia le permite sobrevivir a duros procesos de esterilización, por lo que se convierte en un material ideal para implantes médicos o para la fabricación de envases de productos farmacéuticos.
- Con la configuración de impresión correcta, el filamento de PETG es un material excelente para la impresión en 3D. Se imprime fácilmente, tiene una excelente adhesión de capas y es inodoro mientras se imprime. Su capacidad de contracción es muy baja, permitiendo poder llevar a cabo impresiones de mayor tamaño que con otros filamentos como el PLA o el ABS.

  Especificaciones técnicas

    - Facilidad de impresión: Alta
    - Temperatura de extrusión (ºC): 225-245
    - Temperatura de cama caliente (ºC): 60-90
    - Potencia del ventilador: 100%
    - Olor al imprimir: Muy poco

- Adhesión entre capas: Alta
- Temperatura de deformación (ºC): 85
- Resistencia UVA y humedad: Buena
- Reciclabilidad: Buena
- Ópticas: Transparencia
- Unidad comercial: Carrete de 1 kg

Filamentos flexibles TPE

El material Elastómero termoplástico o TPE (Thermoplastic Elastomer) es un polímero que combina propiedades de los plásticos y de los elastómeros, y que destaca por su gran flexibilidad y capacidad para ser procesado mediante calor, por lo que se trata de un material ideal para la impresión en tres dimensiones.

Ilustración 88: Ejemplo de impresión con material TPE.



Fuente: Sitio web 3Dental.

Características del Elastómero Termoplástico (TPE)

- Flexibilidad. Tiene una alta elasticidad y flexibilidad por lo que puede doblarse, estirarse y deformarse repetidamente sin perder sus propiedades mecánicas.
- Resistencia al impacto. Es capaz de absorber energía de impactos, lo que lo hace ideal para la creación de piezas que necesitan resistir golpes o choques.

- Baja dureza. Su dureza es relativamente baja, lo que significa que es suave al tacto.
- Resistencia química. Los elastómeros termoplásticos son resistentes a muchos productos químicos, lo que les permite mantener sus propiedades en entornos donde otros materiales podrían degradarse.
- Facilidad de procesamiento. Se puede fundir y moldear repetidamente cuando se aplica calor (esto facilita su procesamiento en la impresión 3D).

Debido a las características particulares de este material, se obtienen los mejores resultados cuando se realizan impresiones a velocidad reducida para disminuir la impresión sobre el filamento. Lo ideal es imprimir con TPE con altura de capa reducida (es decir, de 0,1 mm a 0,2 mm de alcance).

Especificaciones técnicas

- Temperatura en extrusor: 210-225 °C
- Temperatura en la base: 40-90 ºC
- Material flexible de gran respuesta elástica.
- Necesita baja velocidad de impresión para evitar problemas de adherencia de capas.

Filamentos flexibles TPU

El filamento TPU significa poliuretano termoplástico, es un termoplástico elastómero derivado del TPE y de la familia de los poliuretanos. El poliuretano termoplástico o TPU, es resistente a la abrasión, desgaste y tiene buena flexibilidad a bajas temperaturas. Este material comparte propiedades similares al TPE, con la ventaja de facilita las actividades de impresión, por lo tanto, se han desarrollado muchos tipos de filamentos flexibles: de distintas elasticidades, transparencias y colores.

Ilustración 89: Ejemplo de impresión con material TPU.



Fuente: Sitio web Amazon.

La durabilidad del TPU también se extiende a ser capaz de soportar una variedad de elementos. Esto significa que es resistente al agua, al calor, al aceite y a ciertos productos químicos.

Especificaciones técnicas:

- Alargamiento del 450%.
- Resistencia a la tracción 150 MPa
- Dureza Shore 98A
- Temperatura de fusión 225°C
- Temperatura de transición vítrea de 60°C

En la siguiente tabla contiene una comparación entre los distintos materiales TPU y TPE con cierta flexibilidad que existen en el mercado:

Tabla 78: comparación entre los distintos materiales TPU y TPE

Características	**TPE 70A Filaflex**	**TPE 82A Filaflex**	**TPE 90A Flexfill**	**TPU 92A Flexfill**	**TPU 93A Smartfil**	**TPE 96A Flexfill**	**TPU 98A Flexfill**
Resistencia tracción (Mpa)	32	45	5	49	40	5	53.7
Alargamiento a rotura	900%	600%	250%	-	-	150%	318%
Resistencia química	Disolvente Acetona Combustible	Disolvente Acetona Combustible	Agua Ácido Alcohol Álcali	Grasa Aceite	Grasa Aceite Disolvente	Agua Ácido Alcohol Álcali	Grasa Aceite
Contacto alimentos y piel	No recomendado	No recomendado	Certificado	No recomendado	No recomendado	Seguro	No recomendado

Fuente: Elaboración propia

Materiales para impresión 3D con resinas

En los apartados anteriores, se ha descrito los tipos de materiales disponibles en el mercado para la ejecución de la impresión en 3D en cuanto al uso de la tecnología PLA, no obstante, se deja claro cuál es el material base con el que se analiza el diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital.

El material por utilizar en la impresión 3D será **la resina**, conocida como polimerización en cubeta, se constituye por tres tecnologías: SLA (estereolitografía), DLP (procesamiento de luz digital), LCD (pantalla de cristal líquido). Este material está considerado como base para los modelos debido a lo siguiente:

- El material debe de ser flexible y maleable debido a que le permite al médico estructurar de manera más adecuada su plan de intervención quirúrgica, ya que las piezas serán de mejor guía debido a se acomoda más a la anatomía del paciente.
- La pieza posee un mejor acabado cuando se ha ejecutado una impresión base retina, ya que este permite que la pieza este con una mejor calidad y ya que para el fin medico es la mejor calidad.

SLA (estereolitografía)

SLA es un factor determinante de precisión y exactitud, por lo que se suele usar cuando la forma, el ajuste y el ensamblado son fundamentales. Las tolerancias de las piezas de SLA suelen ser de menos de 0,05 mm, y SLA ofrece el acabado de la superficie más suave de cualquier proceso de fabricación aditiva. Teniendo en cuenta la calidad que se puede alcanzar con SLA, es particularmente útil para crear patrones de fundición altamente precisos, así como prototipos funcionales, modelos de presentación y pruebas de forma y ajuste. La tecnología de SLA es extremadamente versátil y se puede usar en cualquier cantidad de áreas donde la

precisión sea fundamental. SLA también ofrece una ventaja de velocidad, combinando la velocidad y precisión, convirtiéndolo en una excelente opción para evaluar prototipos.

La estereolitografía pertenece a una familia de tecnologías de fabricación aditiva conocida como fotopolimerización en tanque o, como se denomina comúnmente, impresión 3D de resina. Estas máquinas se basan en el mismo principio, el de usar una fuente de luz (un láser o proyector) para curar resina líquida y transformarla en plástico endurecido. La principal diferencia física reside en la disposición de sus componentes principales, como la fuente de luz, la base de impresión y el tanque de resina.

DLP (procesamiento de luz digital)

La tecnología DLP utiliza un proyector de luz digital como fuente de luz para solidificar las resinas. El proyector proyecta su luz sobre un dispositivo único conocido como DMD, Digital Micromirror Device, que comprende una gran cantidad de espejos muy pequeños, donde cada uno es capaz de desviar la luz del proyecto en una dirección diferente. Para hacer cada capa, los espejos tienen una orientación especifica que refleja el haz de la luz digital del proyector en el tanque, en la forma exacta de la capa que se está imprimiendo. Los espejos guían la luz, esto significa que la cantidad de pixeles creados en la plataforma de construcción es la misma que la del proyector.

La tecnología DLP es la más común en el ámbito profesional, se podría decir que es un poco más precisa que la tecnología LCD, ya que solo se iluminan los píxeles necesarios. Solamente emite luz donde sea necesario y no en toda la plataforma. La impresora DLP puede ampliar o reducir la imagen proyectada para enfocarse en un área específica de la impresión y aumentar la resolución local. Esto es una gran ventaja para objetos pequeños, ya que serán muchos más precisos. (Impresoras3d.com, 2023).

LCD (pantalla de cristal líquido).

La tecnología LCD, relativamente nueva en comparación con la DPL, utiliza una pantalla de cristal líquido para bloquear o permitir la luz en diferentes áreas de la resina fotosensible. A medida que la luz pasa a través de los píxeles de la pantalla LCD, cura la resina y crea capas sucesivas del objeto impreso. Esta tecnología utiliza una fuente de luz diferente: en este caso, la luz ultravioleta proviene de una matriz de LED que brilla a través de una pantalla LCD que destella capas completas en el tanque de resina.

La calidad de la capa depende de la resolución de la pantalla: cuanto mayor sea la densidad de píxeles de la pantalla LCD y cuantos más píxeles tenga la impresora de resina, mejor será la calidad de impresión, algo de lo que DLP carece debido a su tecnología de proyección. La fuente de luz de las impresoras LCD incide directamente en el área de construcción de forma paralela, al iluminarse toda la pantalla a la vez, la luz se filtra por los bordes. Además, hay que tener en cuenta que las pantallas LCD deben reemplazarse con frecuencia para mantener la calidad de la impresión. (Impresoras3d.com, 2023).

Las resinas más utilizadas en los mercados son: Resina PLA, resina para moldes dentales, resina moldeable para joyería, resinas duras y resistentes, resinas estándar, resina de fundición para odontología, resinas para modelos de precisión y resinas rígidas. En general la composición de cada una de ellas varia en cada uno de los proveedores actuales.

Tabla 79: Características técnicas de variantes de resinas LCD y DLP

Resinas LCD	**longitud de onda (nm)**	**Densidad ($^{g}/_{cm^3}$)**	**Viscosidad (25°C, MPa*s)**	**Dureza (shore D)**	**Resistencia a la Tracción (MPa)**	**Elongación de rotura (%)**	**Resistencia a la flexión (MPa)**	**Módulo de flexión (MPa)**	**Resistencia al impacto (J/m)**
Resina PLA	395-405	1.07-1.13	200-300	75-80	35-50	20-50	40-60	600-800	15-32
Resina estándar	395-405	1.08-1.13	150-250	80-82	46-67	28-35	46-72	1000-1400	18-40
Resina dura	395-405	1.10-1.15	200-300	81	55-60	30-50	70-80	1300-1400	67-100
Resina rígida	395-405	1.10-1.15	200-300	83	60-70	25-35	80-85	144-1500	15-42
Resina moldeable para joyería	395-405	1.05-1.12	100-150	60	42-62	11-20	49-58	1860-2640	44-49
Resina moldeable dental	395-405	1.05-1.12	100-150	80	42-62	11-20	49-58	1180-2520	44-49
Resinas DLP	**longitud de onda (nm)**	**Densidad ($^{g}/_{cm^3}$)**	**Viscosidad (25°C, MPa*s)**	**Dureza (shore D)**	**Resistencia a la Tracción (MPa)**	**Elongación de rotura (%)**	**Resistencia a la flexión (MPa)**	**Módulo de flexión (MPa)**	**Resistencia al impacto (J/m)**
Resina PLA	395-405	1.07-1.13	200-300	70-75	30-40	20-40	/	/	15-32
Resina no moldeable	395-405	1.05-1.13	100-150	88	36-52	11-20	59-70	1882-2385	44-49
resina moldeable para joyería	395-405	1.05-1.13	100-150	60	42-62	11-20	49-58	1862-2645	44-49

Resinas LCD	longitud de onda (nm)	Densidad ($^{g}/_{cm^3}$)	Viscosidad (25°C, MPa*s)	Dureza (shore D)	Resistencia a la Tracción (MPa)	Elongación de rotura (%)	Resistencia a la flexión (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Resistencia al impacto (J/m)
Resina moldeable para uso dental	395-405	1.05-1.13	100-150	81	42-62	11-20	49-58	1192-2525	44-49

Fuente: Elaboración propia

- **Disponibilidad financiera para el modelo**

Como se ha mencionado con anterioridad, el hospital tipo que se ha definido para estudiar el modelo es El Hospital de Niños Benjamín Bloom de El Salvador, por lo que se puede establecer que el mecanismo financiero de esta entidad está directamente ligado con el presupuesto de la nación, ya que esta es una unidad pública. Según el portal de transparencia de El Salvador donde se encuentra el documento que lleva por nombre Informe de gestión del año 2021, donde establece lo siguiente:

- El hospital de niños Benjamín Bloom establecía para el año 2021 inversiones en equipamiento, lo cual evidencia un importante logro que permitió actualizar, renovar y sustituir equipos obsoletos y lo más importante fortalecer los servicios de atención para ese año los montos destinados.
- El informe también establece que las fuentes de financiamiento del hospital, posee dos vertientes la cual una está ligada con el presupuesto de fondos generales y el presupuesto de fondos propios de la entidad, lo cual permite ejecutar las operaciones planificadas y brindar el servicio de una manera eficiente.

También se puede tener en cuenta que la institución tipo, puede ser financiada en proyectos en base a donaciones de instituciones altruistas que busca mejorar los diversos servicios que esta brinda a la población del país, es importante resalta la apuesta a las mejores tecnológicas que se han tenido en estos últimos años, tal como se presentaba en el cuadro anterior, por lo cual con el modelos se apuesta a ejecutar de una manera eficientes estos recursos, que permitirá atender de una manera más eficiente los casos en anomalías complejas de tipo cardiovasculares que se presenta en el hospital.

- **Disponibilidad del recurso humano para el modelo**

La disponibilidad de recuso humano hace referencia a la existencia de profesionales competentes para dar el funcionamiento del modelo y responder a las necesidades demandas por el mismo, esto se encuentra ligado con elementos de disponibilidad educativa en formación de profesionales en el ámbito de la impresión en 3D. Si bien para el funcionamiento de este modelo no se requiere una carrera muy particular como en el área de medicina, se puede considerar que el personal existente o interesado en el mismo puede recibir capacitaciones necesarias para operar este modelo.

Es importante comprender que este modelo se sostiene tanto de personal especializado en áreas de la medicina, así como también elementos que son ejecutores experimentados en el diseño de modelados en 3D y manejo de los equipos pertinentes; de la misma manera es esencial hacer énfasis que esta disponibilidad medica está enfocada a los elementos que restan destinados a dar funcionalidad al modelo.

Para poseer un conocimiento más específico de las habilidades que verán poseer los profesionales que operen este modelo, se detallas los siguientes perfiles:

- **Técnico en Prácticas Cardiológicas**

Un Técnico en Prácticas Cardiológicas lleva a cabo tareas inherentes al uso de equipos cardiológicos en todas sus aplicaciones, en las que se pueden destacar los electrocardiografía, electrocardiografía dinámica, holter, electrofisiología, resurometría, holter de presión, ergometría y rehabilitación cardíaca, cardiología intervencionista,
hemodinamia, fono cardiografía y ecocardiografía (modo M, bidimensional, dopler, y transesofágico), cardiología nuclear y resucitación cardiopulmonar, a nivel nacional el sistema de salud oferta cuatro servicios de apoyo muy particulares que se han mencionado anteriormente y que corresponde a electrocardiogramas, pruebas de esfuerzo, ecocardiogramas y monitoreo de Holter.

Ilustración 90: Técnico de prácticas cardiológicas.



Fuente: Sitio web Medical Expo.

Entre las funciones de este se puede destacar:

1. Realiza los estudios específicos de cada área. Asiste al profesional en la realización de estudios en áreas invasivas. Elabora los registros de pacientes y transcripción de resultados en libros, archivos, protocolos, entre otros.
2. Instruye, prepara y acompaña al paciente para la obtención del estudio.
3. Colabora con el médico especialista en la rehabilitación de los pacientes cardiópatas.
4. Colabora con el médico en las áreas de emergencia.
5. Conoce las indicaciones y contraindicaciones para la realización y obtención de cada estudio.

- **<u>Técnico en Imagenología y Radioterapia</u>**

El Técnico en Imagenología y Radioterapia está capacitado para asistir al usuario y al profesional del área en procedimientos imagenológicos con fines diagnósticos, preventivos y de control de tratamiento, acompañando al paciente durante todas las etapas de cada procedimiento, se toma en cuenta que el enfoque del modelo está inmerso en esta área y busca apoyar en este proceso a los pacientes de cirugías electivas.

Ilustración 91: Referencia de profesionales de imagenología, fuente diario público.



Fuente: Sitio web CEPAL

Entre las competencias que este profesional debe poseer se destacan:

1. Preparar el material y los equipos para la realización de exámenes
2. La adquisición de imágenes,
3. Actividades administrativas pertinentes.
4. Asistir al usuario y al profesional responsable en la realización de tratamientos radioterapéuticos y procedimientos de medicina nuclear.

- **Técnico de impresión 3D**

Un técnico en impresión 3D trabajan en un campo muy amplio que puede estar vinculado con la ingeniería, el diseño de moda e, incluso, la salud. Por ello, se trata de un especialista que parte de una formación muy variada. En función del sector en que vaya a desarrollar su profesión. Para el modelo se busca emplear en el área médica, donde el beneficio cause grande impacto en pacientes con anotomías complejas. Entre las competencias que debe de poseer un técnico en impresión 3D se tiene:

1. Conocimientos de programas informáticos específicos: El técnico de impresión 3D trabaja con programas de diseño asistido por ordenador, Fundamentalmente, ha de contar con conocimientos de diseño optimizado para la fabricación aditiva. Los softwares de dibujo técnico y los programar para realizar infografías 3D forman parte del día a día de su labor.

2. Resolución de problemas técnicos: Se trata de una profesión en continuo crecimiento y el uso de los software e impresoras puede generar ciertas dificultades técnicas que el técnico de impresión 3D ha de ser capaz de solventar.
3. Habilidades de diseño: Parte de su labor se centra en el desarrollo de un borrador en el que se incluyan las especificaciones del diseño final.
4. Creatividad: Se trata, no cabe duda, de una profesión en el que la exactitud técnica tiene que ser complementada por la imaginación, por la capacidad de crear diseños novedosos capaces de responder a las necesidades que se plantean y superar las dificultades asociadas a cualquier tipo de proyecto.
5. Aprendizaje continuo: La impresión 3D está en pleno desarrollo y las herramientas técnicas, las necesidades que se plantean y las posibilidades que ofrecen no dejan de transformarse.
6. Comunicación: Su labor de asesoramiento al cliente es también clave para el éxito del proyecto. Ha de explicar las posibilidades técnicas del proceso de impresión, los materiales y demás aspectos.

Ilustración 92: Referencia de técnico en impresión 3D.



Fuente: Sitio web centro de estudios profesionales

10.7.1.2. Proceso de evaluación y selección

Para continuar con el proceso de definición la capacidad instalada del modelo se establece la evaluación que define cual es el principal factor por tomar en cuenta para definir la capacidad de operaciones del modelo, esto se desarrolla en base a un análisis crítico, que

permite dejar con claridad los parámetros de evolución y el porqué de la selección del factor principal.

En el desarrollo de la evaluación y selección, se busca emplear el método multicriterio Scoring, el cual se basa en la determinación de criterios y ponderaciones para la selección de una alternativa. Este es un método de ponderación lineal, es probablemente el más conocido y el más comúnmente utilizado de los métodos de decisión multicriterio. Con este método se obtiene una puntuación global por la simple suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo o criterio evaluado para la selección o decisión.

Para emplear este método se pone en consecuencia los siguientes pasos.

- **Identificación de la meta general**.

El análisis de la capacidad instalada del modelo tiene muchos elementos a considerar, por lo cual se define como meta principal establecer el mejor factor para definir el tamaño del proyecto, donde se consideran que este factor es el más representativo para todos los casos donde se busque emplear el modelo y también es un elemento que perdura en el pasar del tiempo.

- **Identificar las alternativas.**

Las alternativas son los mismos factores previamente definidos en el establecimiento del tamaño del proyecto por lo cual se establece lo siguiente:

Ilustración 93: Factores a considerar para el tamaño del proyecto.



Demanda del modelo

•Hace referencia a los usuarios, que se veran beneficiados con la incorporación del servicio, es considerado un factor de valor ya que determina cual sera la estimacion de la capacidad instalada del modelo.



Materiales e Insumos

•Este factor toma en consideracion la disponibilidad de los materiales e insumos que el modelo requiere para su funcionamiento, es esencial en el tamaño del proyecto, ya que debido a su disbonibilidad de mercado, se puede considerar si el modelo contara con los requerimientos para su funcionamiento



Disponibilidad finaciera

• Este factor es un elemento muy importante en la tomada de decisión del modelo, debido a que es determinante en la implementación del mismo ya que este determina el nivel de invenersión necesario para su funcionamiento y su rentabilidad a lo largo del tiempo.



Disponibilidad del recurso humano

•Aun que la fabricacion digital, espeficicamnete la impresion en 3D es una evolucion tecnoligica, no se deja de lado la relacion de hombre - maquina existente en la misma, ya que para que esta tecnologia sea implementada debe emplear elementos de recuso humano, asi mismos tambien requiere de servicoos de apoyo que se optine basado en otros estudios donde se ve empleado el uso del recuso humano.

Fuente: Elaboración propia.

- **Definición y ponderación de los criterios de la toma de decisión**

Tabla 80: Criterios y ponderación para seleccionar el tamaño del modelo

N°	Criterios	Definición	Ponderación
1	**Proyección de Ingresos**	Este criterio establece que factores son los principales para la proyección de ingresos del modelo, teniendo en cuenta que niveles de inversión y costos operativos para el modelo	30%

N°	Criterios	Definición	Ponderación
2	**Capacidad Operativa**	Se debe de considerar el factor que establece a cantidad de recursos necesarios para la operatividad del modelo.	20%
3	**Productividad**	El modelo debe de considerar aquellos factores de los cuales delimitan el cumplimiento operativo del mismos.	15%
4	**Planificación de abastecimientos**	Se debe de considerar el criterio de planificación de abastecimiento, ya que este considera aquellos factores que delimitan contar con los materiales para disponer en la operatividad del modelo.	15%
5	**Gestión de inventarios**	El criterio considera aquellos factores, que se relacionan directamente con la necesidad del manejo adecuado de inventarios para el funcionamiento del modelo.	10%
6	**Retorno de Inversión en (ROI) Capacitación**	El análisis para la definición de la capacidad instalada del modelo debe de considerar aquellos factores relevantes para el análisis del retorno de la inversión de las capacitaciones a desarrollar ya que establece la incorporación de nuevas tecnologías en el desarrollo de la operatividad de la institución.	10%
Total			**100%**

Fuente: Elaboración propia

- **Relación de los criterios y los factores a analizar**

Para que el análisis de evaluación sea esclarecido y delimite de una manera adecuada el factor relevante para el establecimiento de la capacidad instalada del modelo, se define la

relación que existe entre cada uno de los criterios con los factores establecidos y definidos anteriormente.

Teniendo en cuenta lo antes definidos se define los siguientes elementos;

Tabla 81: Relación entre criterios y factores.

Criterios	**Factores definidos**			
	Demanda	Disponibilidad Financiera	Recursos Humanos	Materiales
Proyección de Ingresos	**X**	**X**		
Capacidad Operativa	**X**		**X**	
Productividad	**X**		**X**	
Planificación de Abastecimiento	**X**			**X**
Gestión de Inventarios	**X**			**X**
ROI en Capacitación		**X**	**X**	

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra cuales son los factores que tiene relación con los criterios definidos, donde se puede visualizar que las marcas con “x” se considera aquellos factores directamente relacionados con el criterio definidos; esto no quiere decir que los demás no tenga relación, sino que más bien que su relación no es tan relevante. Para comprender de una manera mejor la relación entre estos se define lo siguiente:

a) La demanda alta puede justificar mayores inversiones iniciales y costos operativos, afectando la disponibilidad financiera.
b) Una demanda alta requiere un mayor número de empleados o personal más capacitado, lo cual impacta la planificación de recursos humanos.
c) La capacidad de los recursos humanos para satisfacer la demanda afecta la calidad y la rapidez con la que se pueden entregar productos o servicios.

d) Una alta demanda requiere una disponibilidad constante de materiales, impactando la logística y los acuerdos con proveedores.

e) Los niveles de inventario deben ser suficientes para satisfacer la demanda sin incurrir en costos excesivos.

f) Inversiones en formación deben estar justificadas financieramente y alineadas con las necesidades del proyecto.

- **Satisfacción para cada alternativa**

Se busca definir cuanto satisface para cada alternativa los criterios y se define en una escala del 1 al 9 de la siguiente manera:

Tabla 82: Método de puntuación

Satisfacción	Puntuación
Muy bajo	1
Bajo	
Regular	3
Alto	4
Muy alto	5

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la escala de satisfacción para evaluar cada criterio y alternativa se establece la siguiente evaluación:

Tabla 83: Evaluación de los factores

Criterios	Factores definidos			
	Demanda	Disponibilidad Financiera	Recursos Humanos	Materiales
Proyección de Ingresos	5	5	3	2
Capacidad Operativa	5	4	5	2

Criterios	Factores definidos			
	Demanda	Disponibilidad Financiera	Recursos Humanos	Materiales
Productividad	5	2	5	3
Planificación de Abastecimiento	5	4	3	5
Gestión de Inventarios	5	3	4	5
ROI en Capacitación	3	5	5	2

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de Score de cada alternativa**

Para definir el cálculo de score, se multiplica el nivel de satisfacción establecido anteriormente por la ponderación de cada criterio que también ya asido definido, por lo cual se presenta lo siguiente:

Tabla 84: ponderación de los factores y selección del factor principal

Criterios	Ponderaciones	Factores definidos			
		Demanda	Disponibilidad Financiera	Recursos Humanos	Materiales
Proyección de Ingresos	30%	1.50	1.50	0.90	0.60
Capacidad Operativa	20%	1.00	0.80	1.00	0.40
Productividad	15%	0.75	0.30	0.75	0.45
Planificación de Abastecimiento	15%	0.75	0.60	0.45	0.75
Gestión de Inventarios	10%	0.50	0.30	0.40	0.50
ROI en Capacitación	10%	0.30	0.50	0.50	0.20

Criterios	Ponderaciones	Factores definidos			
		Demanda	Disponibilidad Financiera	Recursos Humanos	Materiales
Total		**4.80**	4.00	4.00	2.90

Fuente: Elaboración propia

Como es notorio en la evolución anterior, se define que el criterio primario para definir el tamaño del modelo es la demanda de este, teniendo en cuenta que este establecerá la capacidad optima y permitirá definir elementos principales para el mismo.

10.7.1.3. Definición del tamaño del modelo.

Para establecer el tamaño del modelo, se debe de retomar la información definida en los antecedentes, en el apartado 7.6.10 donde se establece cuáles son los servicios que la aplicación de la fabricación digital brinda al área médica y que se pueden enlistar a continuación:

- Guías quirúrgicas
- Modelos anatómicos
- Prótesis
- Modelos para enseñanza
- Servicios digitales
- Diseño de herramientas

Nota importante

Teniendo en cuenta las utilidades de la fabricación digital en la medicina, se define que, para el caso de estudio, la capacidad instalada del modelo principalmente busca satisfacer la demanda requerida para el servicio de impresión de modelos anatómicos para pacientes del área de cardiología, teniendo como base el hospital tipo y los padecimientos particularmente relacionados con las malformaciones congénitas.

Para el servicio de modelado virtual se define variables que son consideradas como importante en la toma de decisión del médico para continuar o no con el proceso de impresión 3D, teniendo en cuenta que este proceso puede ser mayor que a la generación de modelos 3D, ya que permite obtener mejor panorama del caso a tratar y puede ser de suficiente ayuda al cirujano.

El servicio que busca proporcional nuevas habilidades y conocimientos a los profesionales de la medicina, a través de la formación práctica que se proporciona en el hospital tipo, tiene como referencia la cantidad de profesionales egresados de las carretas técnicas de radiología e imagen, siendo los principales en la apuesta de la aplicación del estudio en desarrollo.

a) Capacidad instalada del servicio impresión 3D

Se debe de tener en cuenta que a futuro este modelo puede ampliarse para brindar los demás servicios y proporcionar mayor innovación al sistema de salud, por ello el modelo se considera flexible, pero por lo que se ha mencionado con anterioridad para el estudio solo considera el servicio de impresión de modelos 3D, se retoma la demanda establecida en el apartado anterior, teniendo en cuenta que esta es el principal elemento para definir el tamaño o capacidad optima del modelo, por lo tanto, se retoma lo antes definido:

Tabla 85: Pronostico de casos a atender en los próximos 4 años

Año	Demanda
2024	474
2025	498
2026	521
2027	568
2028	591

Fuente: Elaboración propia

El modelo diseñado busca satisfacer directamente la demanda, ya que su forma de producción depende de los pacientes detectados con anomalías complejas y malformaciones congénitas en el área de cardiología que requieran de modelos en impresión 3D, pero se debe de tener en cuenta que este modelo al ser una estructura inicial, se puede enfrentar a diversos imprevistos en sus operaciones, por lo cual la capacidad optima de este se diseña de manera que los imprevistos sean afrontados y se pueda cumplir con las demandas establecidas.

Definición del margen de seguridad.

Debido a que el modelo posee una capacidad instalada directamente relacionada con su demanda, para que el funcionamiento no se ve interrumpido o presente retrasos para satisfacer las necesidades se definir el margen de seguridad productivo para el modelo. Este margen de seguridad toma como base el porcentaje de imprevistos que puede suceder en el desarrollo del modelo, debido a que es un modelo inicial y experimental en la ejecución de adaptabilidad y operatividad del hospital tipo.

Como primer paso para establecer directamente la capacidad instalada, se establece el porcentaje de imprevistos a los cuales se puede enfrentar el modelo como se detalla a continuación:

Tabla 86: Imprevistos para el funcionamiento del modelo

Tipo de imprevistos	Descripción
Imprevistos técnicos	Estos imprevistos se relacionan con problemas o dificultades en la implementación de las actividades técnicas del modelo. Pueden incluir fallas en el equipo, problemas de software, errores de diseño o cualquier otro obstáculo que impida la operatividad de este.

Tipo de imprevistos	Descripción
Imprevistos en recursos	Se refieren a situaciones en las que los recursos necesarios para la operación del modelo no están disponibles o no son suficientes. Pueden incluir la falta de personal capacitado, problemas con la disponibilidad de materiales o equipos, o cambios en las condiciones externas que afecten la obtención de los recursos necesarios.
Imprevistos de tiempo	Son aquellos que afectan la programación de la operatividad del modelo. Pueden incluir retrasos en la entrega de materiales, cambios en los plazos establecidos o cualquier otro factor que afecte la duración y secuencia de las actividades operativas del modelo.
Imprevistos de comunicación	Al tratarse de un modelo inicial, pueden existir fallas en la transmisión efectiva de información entre los miembros del equipo y las partes interesadas. Pueden incluir malentendidos, falta de claridad en las instrucciones, barreras lingüísticas o cualquier otro obstáculo que afecte la comunicación fluida

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el establecimiento de los tipos de imprevistos del modelo, se debe de dar valoración a los mismos, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los imprevistos técnicos, se esperan que los primeros dos años estén en su punto más alto y que posterior a estos se desarrollen en un rango medio, debido al cambio de las tecnologías.
- Los imprevistos de recursos en su primer año se espera que este en un punto alto pero que posterior a este disminuya significativamente debido al control que se llegue a tener de parte de los operadores del modelo.

- Para el caso de los imprevistos de tiempo los primeros dos años se espera que estén en un rango moderado pero posterior a este se espera que desaparezcan dado a la adaptabilidad del modo al sistema actual.
- Al igual que el imprevisto de tiempo los imprevistos de comunicación se espera que durante los primeros años sean de moderados a altos, pero que posterior a este desaparezca ya que modelo será adaptado completamente al sistema actual.

Para establecer las mediciones de los imprevistos se define la siguiente escala establecida para este estudio:

Tabla 87: Ponderación de los imprevistos

Nivel	Descripción	Rango
Bajo	En este nivel se considera que los imprevistos, tienen una ocurrencia mínima o casi nula en las operaciones del modelo	0% al 2.0%
Medio	Para este nivel los imprevistos tienen un nivel de ocurrencia considerable y puede limitar las operaciones del modelo	2.1% al 5.0%
Alto	Los imprevistos en este nivel están en su máxima ocurrencia y se da en mayor media al inicio de operatividad del modelo	5.1% al 8.0%

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo antes mencionado se calcula el porcentaje de imprevistos para los 5 años que se han establecido como idóneas para la evolución del modelo:

Tabla 88: Valoración de los improvistos en el tiempo

Tipo de imprevistos	Año				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Imprevistos técnicos	7	6	4	5	4
Imprevistos en recursos	7	5	3	3	2
Imprevistos de tiempo	5	3	2	0	0
Imprevistos de comunicación	6	2	2	0	0
Margen de seguridad	**25%**	**16%**	**11%**	**8%**	**6%**

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el porcentaje de imprevistos a los cuales se enfrentará el modelo al ser implementado a lo largo de los 5 años sometidos a evaluación, se estima la capacidad optima siguiente:

Tabla 89: Establecimiento de la capacidad anual

Año	Demanda	Margen de seguridad	Capacidad instalada
1	474	0.25	593
2	498	0.16	578
3	521	0.11	579
4	568	0.08	614
5	591	0.06	627

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la modelo esta evaluado para un periodo de cinco años, la capacidad óptima para el mismo es la que llegara a cumplir con los requerimientos y exigencias de las demandas para ese periodo, por lo cual se estima que la capacidad optima es la siguiente:

$$Capacidad\ instalada\ = 627\ \frac{modelos\ de\ impresion\ 3D}{año}$$

b) Capacidad instalada de modelado virtual

Para definir la capacidad instalada del servicio de modelado virtual de malformaciones anatómicas en cardiología, se define las principales variables que se estima que el medico considere al momento de tomar la decisión si se debe de generar la impresión 3D o la información proporcionada en el modelo virtual es suficiente para genera un plan quirúrgico adecuado al paciente a abordar.

En el contexto del modelado de anatomías complejas en pacientes de cardiología, las siguientes variables pueden ser definidas de la siguiente manera para ayudar a los médicos a decidir si optar por un modelo 3D computarizado y proceder con la impresión 3D:

Tabla 90: Variables considerada en la definición de la demanda del servicio de modelado virtual

Variable	Concepto	Importancia
Visualización detallada	Capacidad del modelo virtual 3D para representar con precisión las estructuras anatómicas del corazón y sus detalles internos, como las arterias, válvulas y tejidos circundantes.	Permite a los médicos observar y comprender mejor las características anatómicas específicas del paciente, facilitando una evaluación más precisa de la patología y de las posibles intervenciones quirúrgicas.
Funcionalidad para la planificación quirúrgica	Se entiende como la facilidad de modelo virtual 3D para ser utilizado como herramienta en la planificación preoperatoria, permitiendo a los cirujanos simular procedimientos, evaluar diferentes enfoques quirúrgicos y prever posibles complicaciones.	Mejora la precisión y eficacia de la cirugía, reduciendo los riesgos y aumentando las probabilidades de éxito al permitir una preparación más exhaustiva y detallada
Detalla la complejidad del caso	Grado en que el modelo virtual 3D puede representar y resaltar las particularidades y desafíos específicos del caso clínico, como anomalías congénitas,	Ayuda a los médicos a entender mejor la complejidad del caso, permitiéndoles tomar decisiones más informadas sobre el tratamiento y personalizar las

Variable	Concepto	Importancia
	variaciones anatómicas o patologías complejas.	intervenciones de acuerdo con las necesidades individuales del paciente.
Favorece a la comunicación	La eficiencia que modelo virtual 3D posee para facilitar la comunicación entre los diferentes profesionales de la salud, así como con el paciente y sus familiares, proporcionando una representación visual clara y comprensible de la anatomía y el plan quirúrgico.	Mejora la colaboración interdisciplinaria, asegura que todos los miembros del equipo médico estén alineados en el enfoque del tratamiento y aumenta la comprensión y confianza del paciente en el procedimiento planificado.

Fuente: Elaboración propia

Lo definido anteriormente permite definir y establecer la importancia de las variables necesarias, que el medico puede considerar al momento de tomar la decisión si proseguir con el proceso de impresión en 3D, teniendo claro esto se considerar los siguientes aspectos para la toma de decisión:

- **Evaluación integral:** Los médicos deben evaluar cómo cada una de estas variables influye en la comprensión y tratamiento del caso.
- **Beneficios específicos:** Si la visualización detallada, la funcionalidad para la planificación quirúrgica, la capacidad para detallar la complejidad del caso y la mejora en la comunicación proporcionan beneficios significativos que no se pueden obtener con otras herramientas, es recomendable proceder con la impresión 3D.
- **Coste-efectividad:** Considerar también el costo y el tiempo involucrado en la creación e impresión del modelo 3D comparado con los beneficios esperados en términos de mejora en los resultados quirúrgicos y en la atención al paciente.

Teniendo en cuenta lo antes definido y considerando que un modelo virtual puede ser muy favorable en el estudio de malformaciones de pacientes cardiovasculares, se establece que

la capacidad para dar respuesta a este servicio será en un 25% mayor a la establecida para la impresión en 3D, por lo que se define lo siguiente:

$$Capacidad\ instalada\ = modelos\ impresos\ +\ 25.00\%$$

$$Capacidad\ instalada\ = 627 \times\ (1\ + 0.25)\frac{modelos\ virtuales}{año}$$

$$Capacidad\ instalada\ = 784\ \frac{modelos\ virtuales}{año}$$

c) <u>Posibles estudiantes abordados en el servicio de formación profesional.</u>

Para definir la estimación de estudiantes que egresan y pueden ser beneficiarios en la formación profesionales de estos nuevos servicios, se toma de los sitios oficiales de la Universidad Dr. Andrés Bello y La Asociación Salvadoreña de Radiología, la estimación de estudiantes egresados de la carrera técnica de radiología e imagen médicas, para tener una referencia de los posibles estudiantes beneficiados, teniendo en cuenta lo antes mencionado se define lo siguiente:

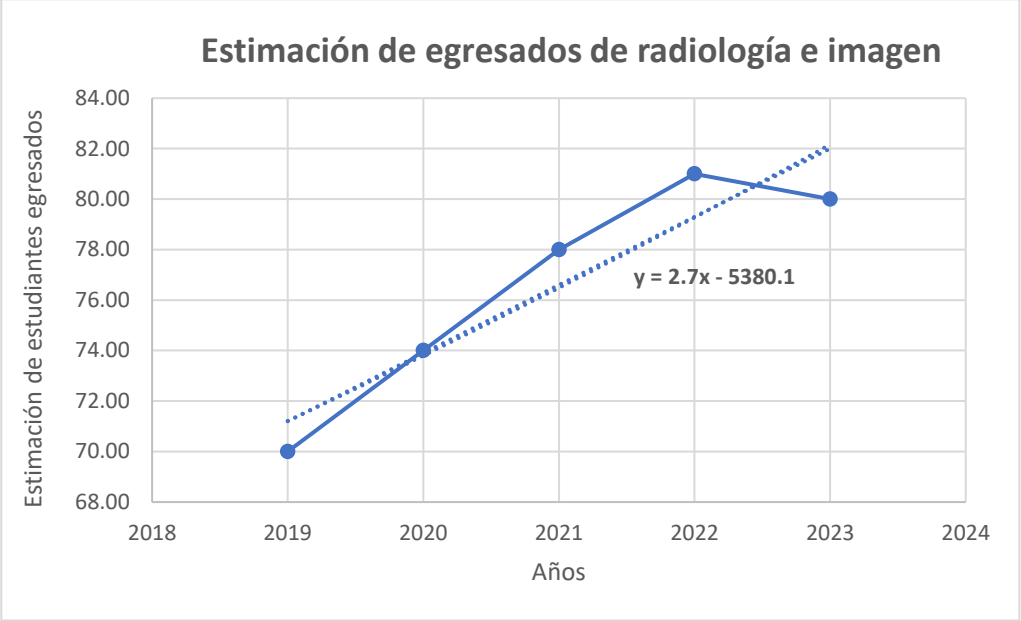
<u>Estimaciones de estudiantes egresados de Radiología e imagen.</u>

Tabla 91: Egresados de imagen y radiología en instituciones del país

Año	Universidad Dr. Andrés Bellos (Estimado	Asociación Salvadoreña de Radiología (estimado)	Total, Estudiantes
2019	45.00	25.00	70.00
2020	47.00	27.00	74.00
2021	50.00	28.00	78.00
2022	52.00	29.00	81.00
2023	50.00	30.00	80.00

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 94:Grafíca del comportamiento de los egresados de radiología e imagen



Fuente: Elaboración propia

Lo antes establecido define los datos históricos de los estudiantes egresados y que ayuda a definir cuál podría ser el escenario de futuros profesionales egresados de esta misma carrera, bajo una tendencia lineal de los datos procesados.

Tabla 92: proyección de egresados de radiología e imagen

Años proyectados	Estimación de estudiantes
2024	85
2025	88
2026	91
2027	93
2028	96

Fuente: Elaboración propia

10.7.2. Elementos de la ingeniería del modelo.

Este elemento del diseño detallado busca plasmar todos los requerimientos de ingeniería que el modelo debe de considerar para ser ejecutado, se debe de tener en cuenta que en este apartado se considerar la funcionalidad del modelo en base al tamaño establecido y que a su

vez permite tener el conocimiento claro de los factores que interviene para la operatividad de este.

En este se considerar a bien analizar la definición o caracterización del servicio, los procesos que interviene en la operatividad de este, la definición del sistema de producción, requerimientos de la producción, especificación de los recursos y más; a continuación, se presenta estos elementos de una manera las detallada.

10.7.2.1. Presentación y definición del servicio

Este apartado, define las características y elementos principales que pertenecen al diseño de los servicios, en este se destacan factores de importancia de los diferentes servicios diseñados en el modelo, como se ejecutan, así como información de relevancia relacionada con el mismo.

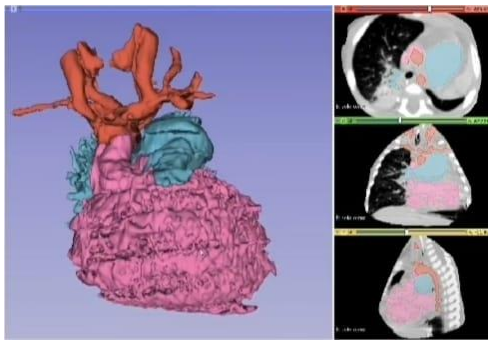
Se debe destacar que los servicios son: Modelado virtual de los casos a evaluar, fabricación 3D de los modelos virtuales de los casos a tratar y el apoyo en la formación de los futuros profesionales. De estos tres servicios el principal es la impresión 3D, lo cual ayuda a definir elementos de planificación de producción para el modelo, así como también la definición de los recursos requeridos.

El modelado virtual es unos de los servicios por defecto en el diseño de este estudio, ya que siempre es requerido modelar de manera virtual para realizar la impresión 3D. También se debe considerar el caso de la formación profesional como parte de los servicios en el caso que el ente implementador posea apertura como en el caso de hospitales escuela. Cada uno de estos servicios serán especificados a continuación:

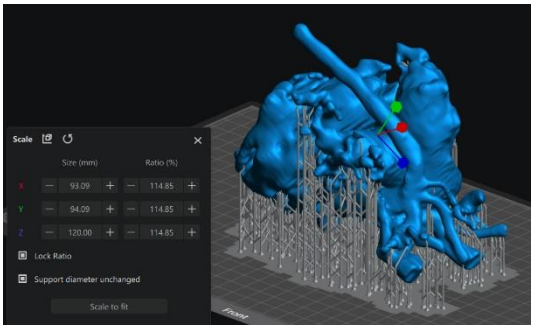
- **Modelado virtual de las malformaciones congénitas**

Descripción del servicio de modelado virtual

El servicio de modelado virtual hace referencia a la visualización de imágenes médicas a partir del formato DICOM, a través del procesamiento de imágenes 2D para convertirlas en una representación virtual 3D.



Actualmente existen aplicaciones o modelos virtuales de órganos, arterias, sistema óseo y muscular, sin embargo, se tratan de modelos genéricos y en condiciones normales, lo que representa una información parcial cuando se estudia y analiza una intervención quirúrgica en la que el objetivo es corregir una malformación congénita o un daño.



Quien lo ejecuta

La ejecución del modelado virtual se encuentra a cargo del personal que trabaja en el diseño virtual del modelo, es decir la mano de obra directa del departamento o área a diseñar, el modelado virtual debe ser ejecutado por profesionales técnicos con conocimientos claros en la anatomía humana y el modelado virtual de órganos de los pacientes que experimentarán una cirugía, teniendo en cuenta cada requerimiento necesario en el caso del paciente.

Que información proporciona

El servicio de modelado virtual permitirá a los cirujanos y equipos de apoyo que lo acompañan en la elaboración del plan de intervención quirúrgica a visualizar la anatomía específica de cada uno de los pacientes que lo requieran. Esto permitirá complementar las imágenes de tomografías computarizadas y resonancia magnéticas.

Factores por considerar

- Equipo multidisciplinario:

El camino para la elaboración de un modelo cardíaco específico del paciente es complejo y requiere la participación de un equipo multidisciplinario. Los clínicos proporcionan datos anatómico-fisiológicos y un conocimiento previo para la construcción de los modelos, su personalización y su validación. El equipo técnico de diseño asistido por computadora debe ser quien se especializa y crea estos modelos virtuales del corazón, arterias o del conjunto.

- Equipo informático

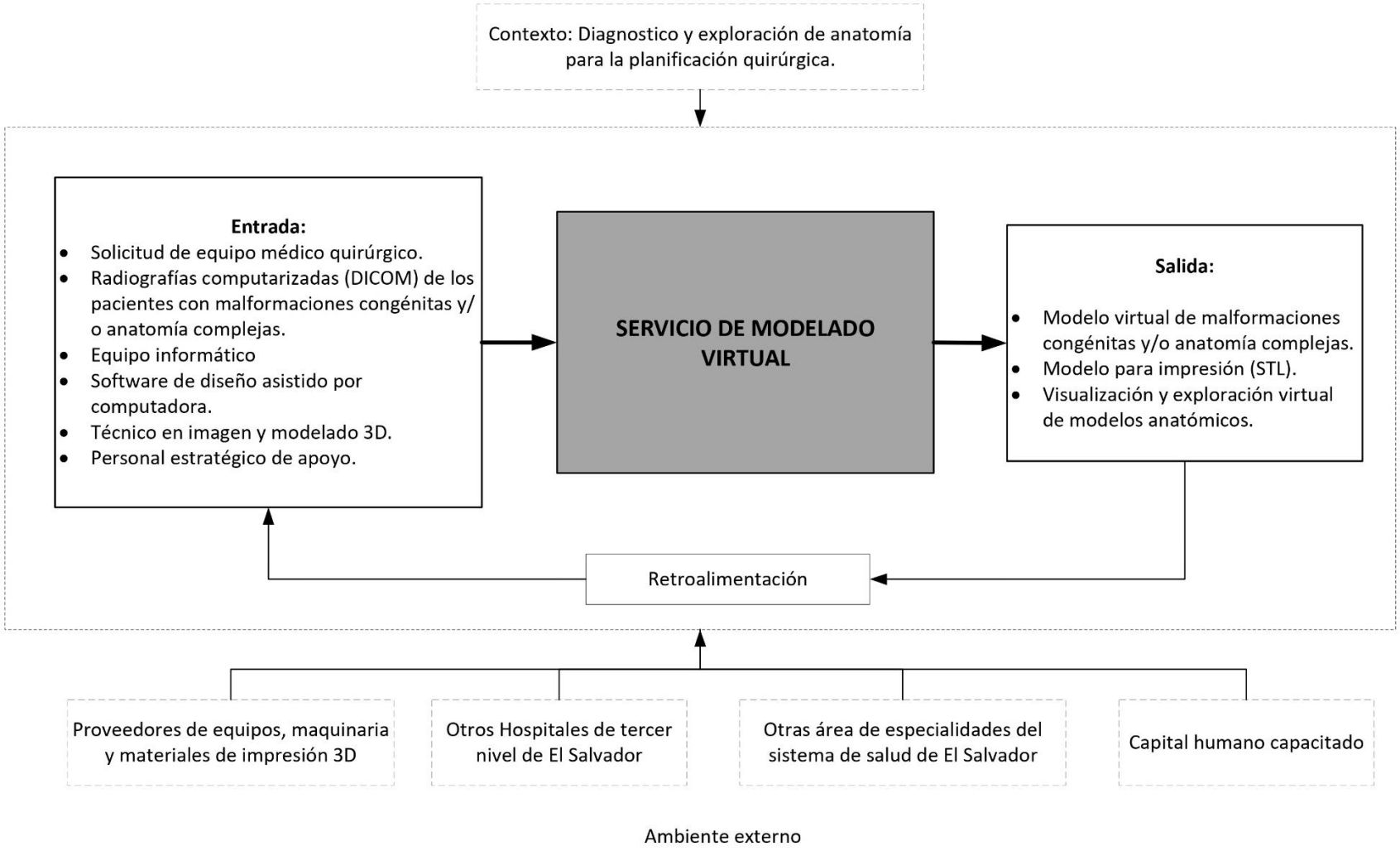
El equipo informático hace énfasis a la necesidad de proporcionar al equipo adecuado para el diseño de los modelos, donde los técnicos puedan tener los elementos básicos para el uso de los diversos programas y software requeridos.

- Programas y software

El diseño del modelo en los apartados posteriores presentara elementos de programas y software requeridos para el modelado o diseño de los órganos a imprimir, por lo que en ellos se detalla a aquellas herramientas que le permitan al técnico detallar todos los elementos requeridos para diseñar.

En conclusión, el modelado virtual permite a los cirujanos mediante la construcción de un volumen virtual de imágenes, analizar la anatomía individual de cada paciente y planificar de forma rápida, simple, segura y económica cirugías de alta complejidad.

Ilustración 95: Entradas y salidas del servicio de modelado virtual.



Fuente: Elaboración propia.

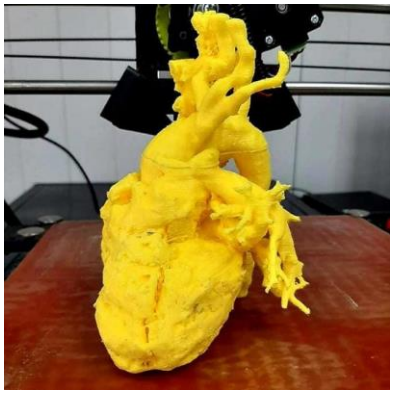
- **Impresión de los modelos 3D**

Descripción del servicio de Impresión de modelos 3D

El servicio de impresión de modelos 3D, busca formar parte de la división de servicios de diagnósticos y apoyo del hospital tipo, este contribuirá en la medicina para el área de cardiología en pacientes que presentan malformaciones congénitas en su sistema cardiovascular, que requieren de una ampliación en su imagen para ser intervenidos quirúrgicamente.



El servicio toma como base las angiografías computarizadas creadas por las tecnologías empleadas en la actualidad, para posteriormente ejecutar tecnologías de fabricación digital como son las tecnologías de impresión 3D, lo que permitirá tener modelos físicos de las malformaciones congénitas y así contar con una mejor visualización que apoye a los cirujanos cardiólogos a diseñar el plan de intervención quirúrgica.



Quien lo ejecuta	Que información proporciona
El servicio está estructurado para ser empleado en el área de cardiología del hospital tipo, que para el caso de estudio es El Hospital Nacional para niños Benjamín Bloom de El Salvador.	El servicio proporciona a los médicos un modelo 3D tangible de las malformaciones congénitas de los pacientes tratados, ampliando así el panorama y visualización de la malformación congénita y dejando elementos de enseñanzas para futuros médicos que se pueden incorporar a la red médica y que se

Quien lo ejecuta	Que información proporciona
Se debe de tener en cuenta que el servicio es ejecutado a través del departamento de diagnóstico y apoyo, que como tal realiza estudios clínicos requeridos en el proceso de diagnóstico o exámenes previos requeridos por un proceso quirúrgico.	especializan en el área de cardiología, específicamente para pacientes pediátricos.

¿Por qué es un servicio?	Ventajas
Como se ha mencionado con anterioridad el modelo de impresión 3D es un producto que será de apoyo para la comunidad médica de cardiología del hospital tipo; el factor que hace que este se considere como servicio es debido a las siguientes características: • Se considera servicio debido a que debe existir un paciente (cliente) para brindar una impresión 3D de un modelo anatómico, esto debido a que el modelo esta ejecutado a la medida del paciente (cliente). • El segundo elemento por el cual el modelo se considera un servicio es porque la producción es heterogénea, es decir que la fabricación de los modelos depende de las circunstancias, las personas y otros factores.	Los modelos de impresión 3D como parte de la evolución de la fabricación digital, a través de su aplicación en el área de medicina busca obtener los siguientes beneficios: • Busca emplear el panorama de las malformaciones congénitas de pacientes con proceso quirúrgico en el área de cardiología del hospital tipo. • Permite al cuerpo médico que interviene a los pacientes, desarrollar un plan de intervención más adecuado y con mejor conocimiento de la anatomía de este. También les permite realizar prácticas de la intervención. • La comunicación para recibir diferentes puntos de vista de los profesionales del área es más certera debido a la ventaja de tener un modelo impreso. • A los futuros profesionales del área de medicina les permitirá ver con modelos impresos y tangibles los posibles casos de malformaciones que se pueden dar en

¿Por qué es un servicio?	Ventajas
	pacientes dentro de su sistema cardiovascular.

Recursos

Para ejecutar el modelo de aplicación de la fabricación digital en la medicina, específicamente al área de cirugías cardiovasculares en pacientes que presentan malformaciones congénitas, se busca emplear uno de los elementos de lo que se denomina fabricación digital y este consta de la implementación de modelos de impresión 3D, tal como se ha mencionado anteriormente con el fin de ampliar los estudios e imágenes de los padecimientos de los pacientes y generar planes de intervención quirúrgica más certeros, para ellos se analiza los requerimientos de los siguientes recursos.

Materiales

- Resina ABS
- Resina PLA
- Resinas flexibles TPE
- Resinas flexibles TPU

Maquinaria y equipo

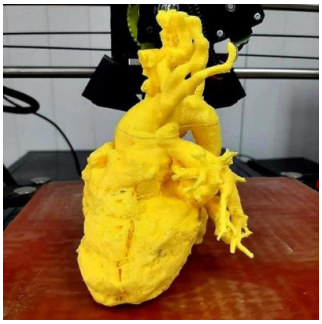
- Equipo computacional de gama media - alta.
- Máquina impresora de tecnología SLA.
- Equipo de lavado de impresiones 3D.
- Equipo de post curado.

Recurso humano

- Técnico en Prácticas Cardiológicas
- Técnico en Imagenología y Radioterapia
- Técnico de impresión 3D

Teniendo en cuenta que el modelo busca establecer los lineamientos para brindar el servicio de impresión 3D para los modelos requeridos para pacientes con anotomías congénitas, se puede definir que este servicio tiene un producto directo, este producto son los modelos de impresión 3D los cuales son estructurados según las necesidades de cada paciente. Para conocer más sobres este producto se expresa la siguiente descripción:

Descripción de los modelos 3D



La impresión 3D, son el producto final que el modelo para la aplicación de la fabricación digital busca brindar al área médica de cardiología en el Hospital tipo; pero es necesario dejar en claro que son los modelos de impresión 3D.

La impresión 3D también llamada manufactura por adición, es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Estos modelos serán el resultado final de brindar el servicio de impresión 3D en el área de cardiología del Hospital Nacional para Niños Benjamín Bloom.

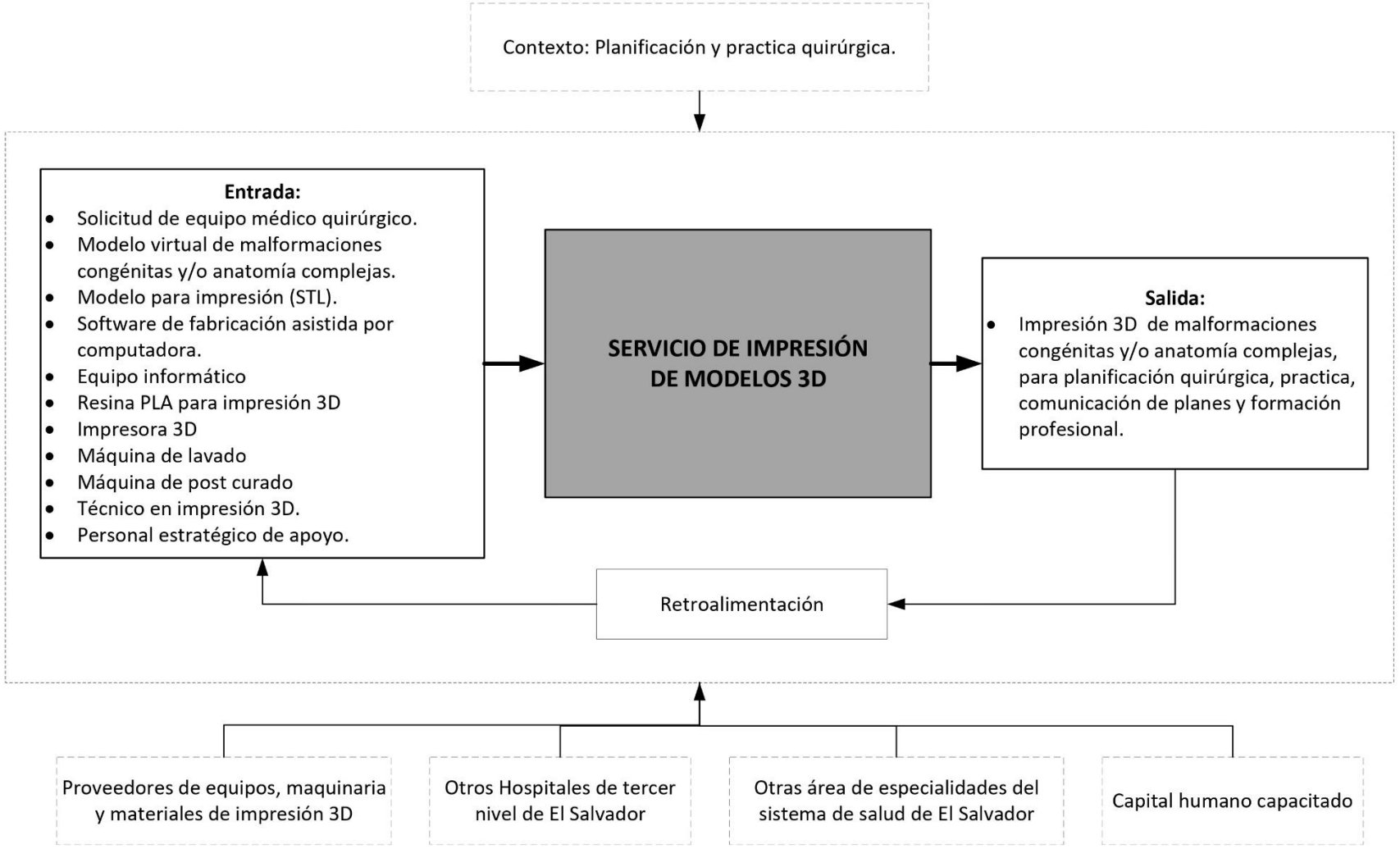
Características de los modelos 3D

Dimensión:	Los modelos de impresión 3D, para el caso del estudio no tiene una dimensión estándar, debido a que estos se desarrollaran en base a los requerimientos que el medico establezca y según los requiera el caso del paciente en atención, cabe mencionar que estos modelos pueden contar de varias o una sola pieza.
Materiales:	Para el modelo para aplicación de la fabricación digital, se busca definir un tipo de materiales del cual estará construida las impresiones 3D, el material es la resina, lo cual más adelante serán detallado.
Color:	Los modelos de impresión 3D, puede ser ejecutado en la variedad de colores ofertados por los filamentos y resina, por lo que esta característica será sujeta a los requerimientos del solicitante o la disponibilidad existente en el área de impresión.
Proceso ejecutado:	Para el caso de estudio, se busca emplear el proceso de fabricación de impresión 3D por medio de la adición de materiales, este consiste en incorporar capaz de materiales que permita ejecutar un producto final según

Características de los modelos 3D	
	los requerimientos del cliente, que para el estudio abordado son las necesidades del médico para estudiar al paciente.
Acabados:	Los acabados consisten en quitar la rebaba (porción de materia sobrante que sobresale irregularmente en los bordes o en la superficie de un objeto), para el caso del estudio este apartado depende del material utilizado en la pieza. En el caso de la resina el acabado superficial, requiere de la eliminación de soportes y el empleo de una máquina de post curación, para mejorar la resistencia y calidad de la superficie permitiendo que las piezas sean más favorables de manipular.
Durabilidad:	La durabilidad de las piezas generadas por medio de la impresión 3D, como todo producto está ligada con la calidad de los materiales e insumos ejecutados para ser generados, para el caso de las piezas de resina se estima una durabilidad de 15 a 20 años[18].
Uso:	El uso de los modelos está enfocado en brindar un panorama más amplio de las malformaciones cardiovasculares de los pacientes para los médicos cirujanos, teniendo en cuenta los futuros procesos de intervención quirúrgica. También, con estos modelos se busca beneficiar a las futuras generaciones de cirujanos como guías en sus procesos de aprendizaje.
Advertencias:	Para los modelos de impresión 3D, se debe de considerar que el material a utilizar son las resinas, por lo que para su manipulación se debe procurar: • No ser sometidas a temperaturas elevadas • No exponerlas a los rayos UV • Sin exposición a la humedad

[18] Articulo: Tiempo de Vida de la Resina Epóxica, https://xn--diseosepoxicos-tnb.com/blog/tiempo-vida-resina-epoxica/

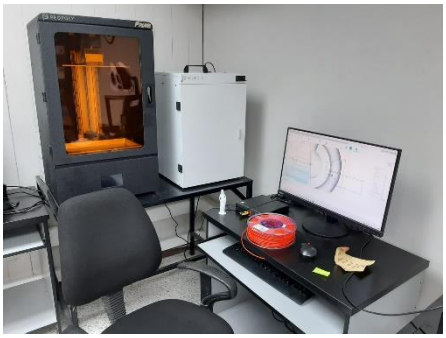
Ilustración 96: Entradas y salidas del servicio de impresión 3D.



Fuente: Elaboración propia.

- **Servicio de formación profesional**

Servicios de formación profesional



El servicio de formación a profesionales y estudiantes de medicina busca compartir con el personal actual y futuro del área de la salud el uso y aplicación de las herramientas y tecnologías de modelado e impresión 3D para dotarlos de nuevas habilidades, conocimientos y competencias profesionales como parte de los avances en la innovación médica, acompañada de principios que la industria evoluciona constantemente no solo como apoyo en el desarrollo económico – industrial, sino también en el sector salud.

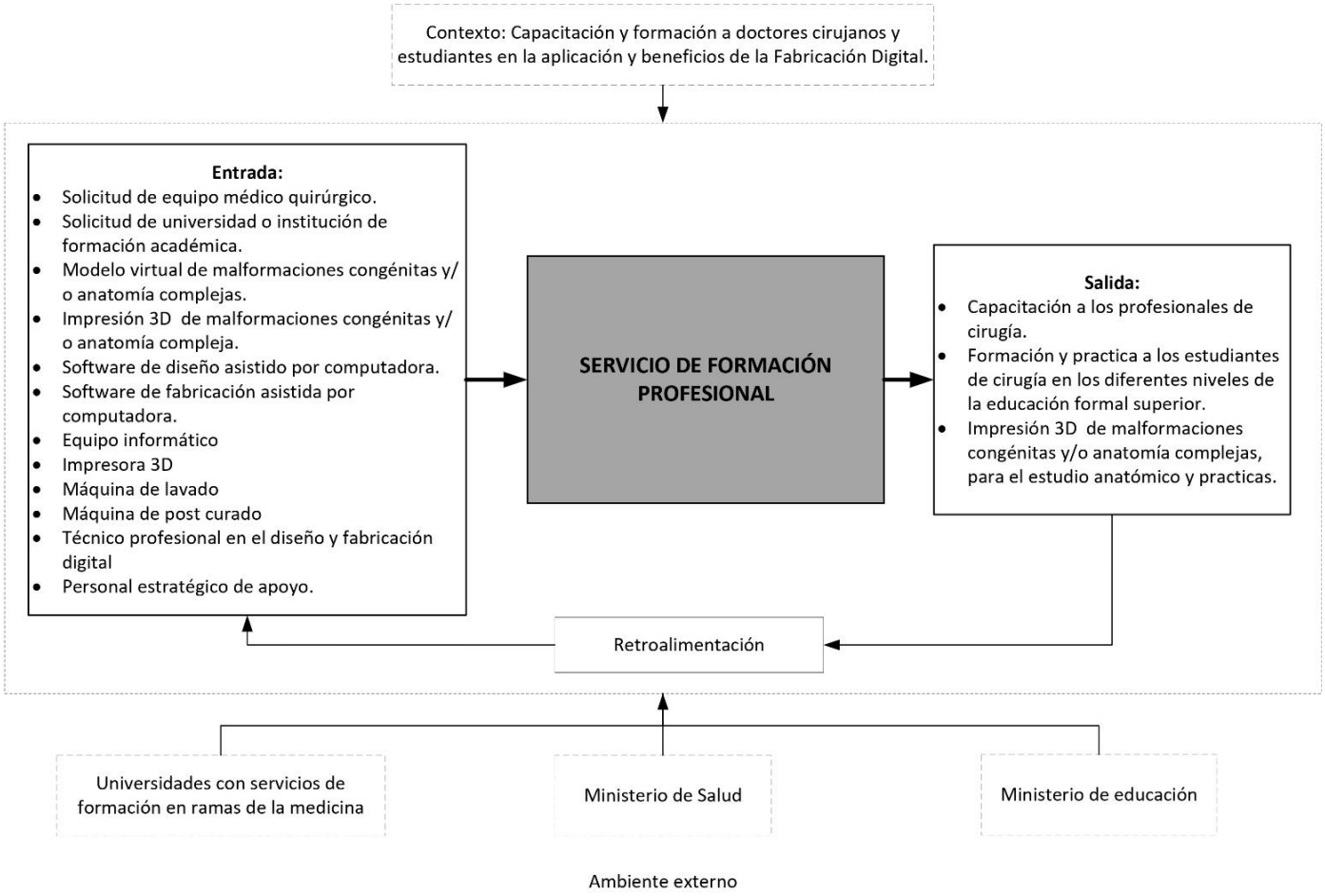
La impresión se ha convertido en un gran aliado para los estudiantes y futuros profesionales de la medicina, pues la fabricación digital les permite a los profesionales de medicina crear impresiones 3D de partes del cuerpo humano artificial para su estudio en las escuelas y hospitales en lugar de utilizar miembros que posiblemente no estén en el estado oportuno para brindar los conocimientos requeridos a los estudiantes y profesionales.

Las impresoras 3D tienen una apariencia identifica a los partes del cuerpo deseadas, puede ser fabricados a escala natural o ampliada, es posible cuidar la calidad superficial y además no se deterioran con el paso del tiempo y mucho menos requieren de condiciones ambientales y de temperatura específicas para su almacenamiento.

Para su fabricación se utilizan archivos DICOM provenientes de radiografías computarizadas o resonancias magnéticas y luego son estudiados como un volumen virtual en la computadora en donde es posible segmentar partes del cuerpo para luego crear un conjunto de órganos capaz de ser ensamblados, con diferentes colores y texturas para denotar alguna característica específica de su funcionamiento.

El planteamiento de este servicio será detallado más adelantes en dos apartados principales, uno orientado a abordar a los profesionales actuales a través de capacitaciones de las nuevas tecnologías y la evolución de la innovación médica, y para el caso de los estudiantes, se tomó como referente el hecho de que el hospital tipo es un hospital escuela que permite que los profesionales de la salud ejerzan sus prácticas acompañadas del apoyo de médicos experimentados en el área y que puede generar mayor destreza y habilidades en ellos.

Ilustración 97: Entradas y salidas del servicio de formación profesional.



Fuente: Elaboración propia.

- **Descripción de la relación y secuencia de los servicios**

Los tres servicios descritos anteriormente tienen su propia relación entre ellos, al pertenecer a un sistema operativo crean relaciones de trabajo siguiendo una secuencia ordenada.

Tabla 93: Secuencia de pasos para los servicios

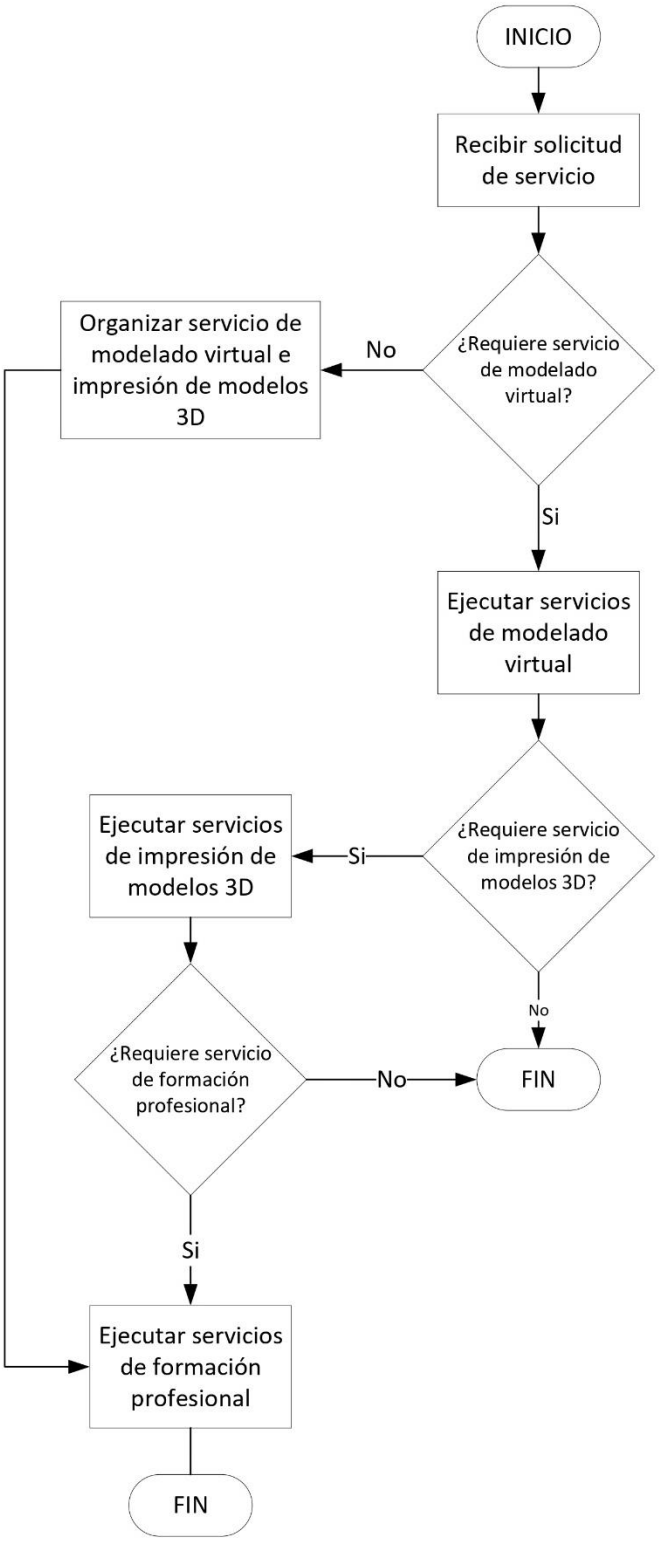
No	Paso	Descripción
1	Recibir solicitud de servicio	El primero paso es recibir la solicitud de trabajo del cliente interno o de clientes externos institucionales o nacionales, indicado el servicio final que requieren, posteriormente se ejecuta el servicio final, o la serie de servicios para atender el requerimiento final.
2	Identificar si es requerido el servicio de modelado virtual.	Se identifica y clasifica el tipo de servicio requerido, por lo tanto, el primer filtro es identificar si es requerido un servicio de modelado virtual, impresión 3D o de formación profesional. Si se requiere el servicio de modelado virtual, ir al paso 3, de lo contrario ir al paso 4. Se debe tomar en cuenta las siguientes **pautas de trabajo:** 1. El servicio de modelado virtual es el primero de los tres, y no depende de otro servicio, su solicitud y ejecución es inmediata. 2. El servicio de impresión de modelos 3D es el segundo de los servicios, y su ejecución requiere de la ejecución previa del servicio de modelado virtual. 3. El servicio de formación profesional es el tercer servicio, y su ejecución requiere la ejecución organizada de los dos primeros servicios, pues para formar es requerido el servicio de modelado virtual y el servicio de impresión de modelos 3D, en algunos casos la formación requerida será únicamente transmitir conocimiento de modelado virtual, lo cual depende únicamente del servicio primero, pero una formación completa requerirá los dos servicios previos.

No	Paso	Descripción
3	Ejecutar servicio de modelado virtual	La ejecución del servicio de modelado virtual requiere del trabajo organizado los procesos de registro de solicitud de trabajo y del proceso de modelos virtuales. Los procedimientos son detallados en el manual técnico de este modelo. El producto final será un modelo virtual del área anatómica requerida.
4	Organizar servicio de modelado virtual y e impresión de modelos 3D.	Organizar los servicios de modelado virtual si la formación requiere solamente desarrollar habilidades de modelado virtual, pero si la formación requiere desarrollar todas las habilidades de la Fabricación Digital se deben ejecutar el servicio de modelado virtual y luego el de impresión de modelos 3D con el objetivo de transmitir y practicar conocimiento y aplicación de la Fabricación Digital. Al finalizar la organización, se ejecuta como tal la formación profesional, ir al paso.
5	Identificar si es requerido el servicio de impresión de modelos 3D.	Al finalizar el modelo virtual, se debe evaluar si la solicitud ha querido únicamente dicho servicio, o si realmente se ha solicitud impresión 3D, siendo este el caso, se debe trasladar el producto final del servicio al siguiente servicio, al de impresión de modelos 3D. Ir al paso 6. Si la impresión 3D no es requerida, entonces se registra la entrega del servicio y el trabajo solicitado se da por finalizado.
6	Ejecutar servicio de impresión de modelos 3D	Ejecución de los procesos del servicio de impresión 3D de los modelos virtuales trabajados, lo cual consiste en la programación de la impresión 3D, su fabricación en la impresora 3D y los procedimientos de post acabado y registro de producto terminado.
7	Identificar si se requiere el servicio de formación profesional.	Al finalizar el servicio de impresión de modelos virtuales, se debe identificar si existe un además un requerimiento de formación profesional, y al existir esa necesidad de debe ejecutar el servicio según los criterios de alcance de formación, ir al paso 8.

No	Paso	Descripción
		Si no existe requerimiento de formación profesional, el servicio de impresión 3D se da por finalizado y se registra el final y entrega del servicio.
8	Ejecutar servicio de formación profesional.	Ejecución del servicio de formación profesional a estudiantes de universidades de medicina general, especialidades quirúrgicas, médicos residentes, médicos internos y médicos especialistas para desarrollar conocimiento y habilidades de la Fabricación Digital. **La formación se enfocada en dos principales alcances:** 1 – Formación enfocada en el desarrollo de conocimiento y habilidades en el modelado virtual. 2 – Formación enfocada en el desarrollo de conocimiento y habilidades en modelado virtual e impresión 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 98: Relación y secuencia de los 3 servicios del modelo.



Fuente: Elaboración propia.

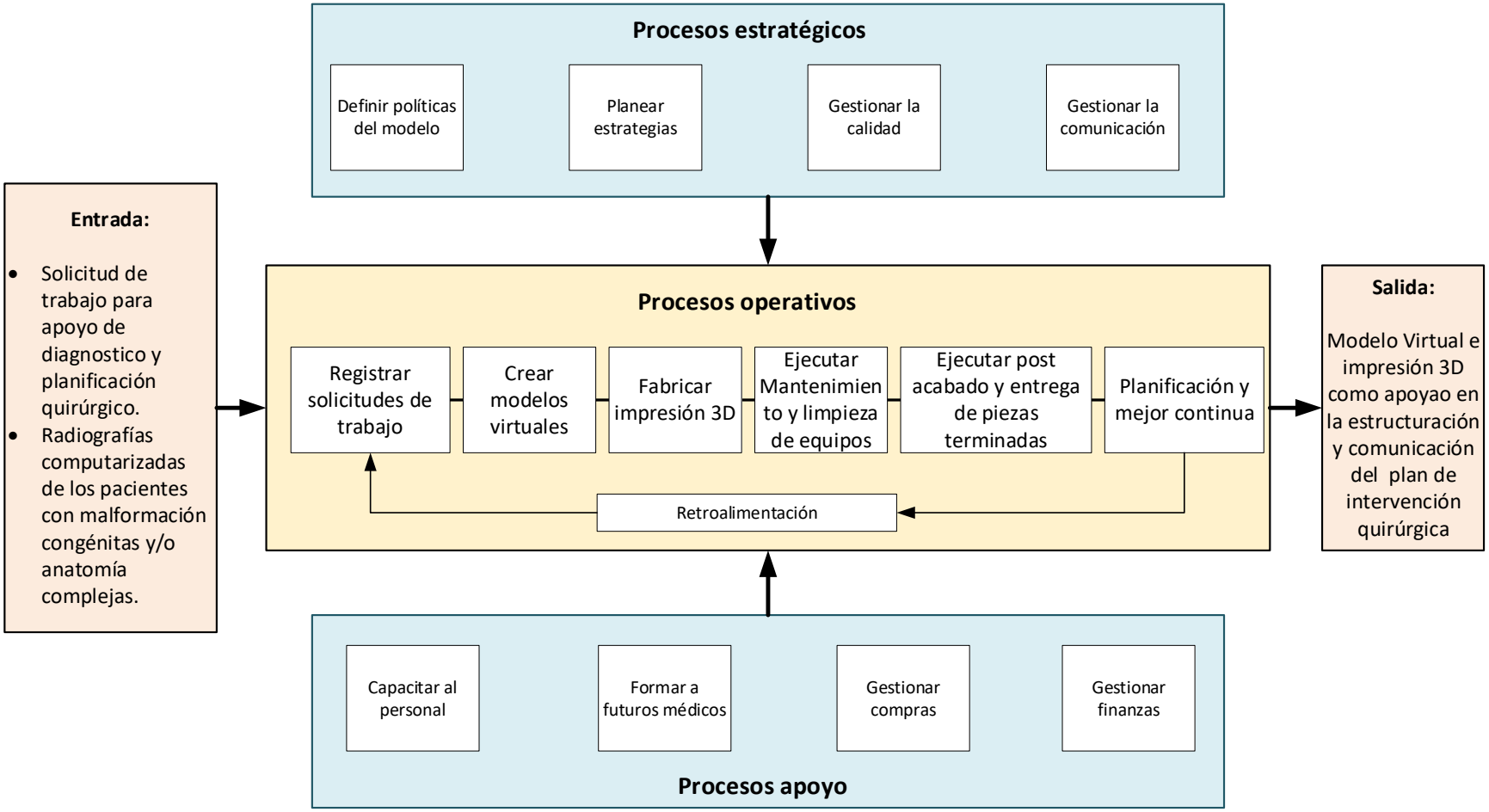
10.7.2.2. Descripción general de la prestación del servicio

Para la ejecución de este apartado, se toma en cuenta la presentación de los procesos que se ven relacionados con el servicio de impresión 3D, se tiene en cuenta la representación graficas que se pueden ejecutar para el modelo según sus necesidades, a continuación, se presentara cada una de ellas.

Mapa de procesos generales.

Este mapa representa de manera esquematizada los procesos ejecutados para el modelo, teniendo en cuenta sus tres áreas las cuales son operativas, de apoyo y estratégicas, con las cuales se busca el mejor manejo de modelo para la aplicación de la Fabricación Digital.

Ilustración 99: Mapa de proceso general.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama Blueprint del servicio de modelado e impresión 3D

Antes de presentar el diagrama Blueprint del servicio de impresión 3D, se hace una descripción de los pasos que se desarrollan buscan detallas de una manera más específica lo ejecutado en por cada una de las etapas relacionados en brindar este servicio y por ello se presenta lo siguiente:

Tabla 94: Descripción de servicio de modelado virtual e impresión 3D

Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
Entrada	1. Se ejecuta estudios de radiología e imagen pertinentes de los pacientes para definir el diagnostico. 2. El doctor diagnostica una malformación congénita y analiza los procesos a seguir con el paciente. 3. Se evalúa la necesidad de generar el modelo de impresión 3D, según el padecimiento del paciente.	• Personal de radiología e imagen. • Cirujano de cardiología. • Equipo de radiología e imagen • Archivos DICOM del paciente
Solicitud de impresión 3D	4. Se solicita la creación de modelo de impresión 3D. 5. Evalúa la calidad de las imágenes proporcionadas por n el archivo DICOM. 6. Si las imágenes son de mala calidad se solicita la creación de nuevas imágenes para el paciente en estudio. 7. Se toman las nuevas imágenes del paciente evitado cometer errores de las tomas pasadas.	• Personal de radiología e imagen. • Cirujano de cardiología. • Equipo de radiología e imagen • Archivos DICOM del paciente

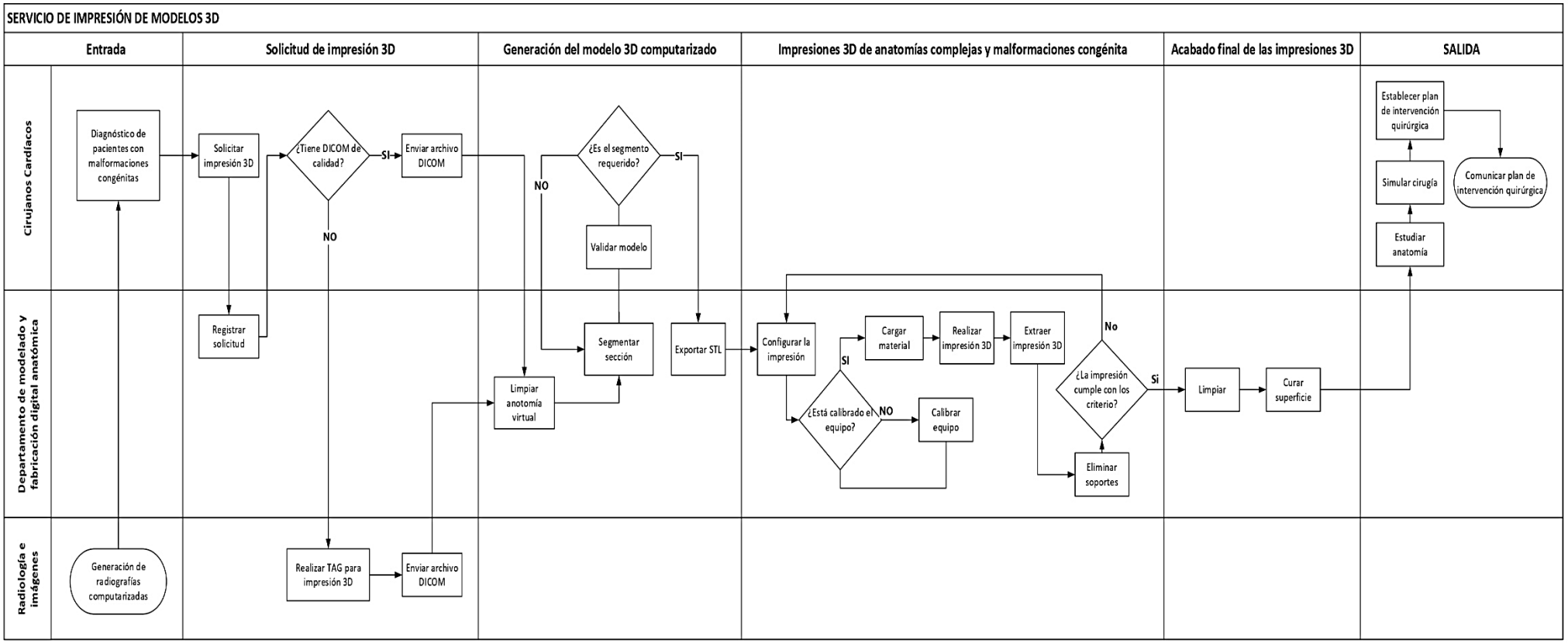
Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
	8. Cuando el archivo DICOM está de acuerdo con las necesidades identificadas por el medico se cómprate el archivo al área pertinente.	• Personal de área de impresión 3D.
Generación del modelo 3D computarizado	9. El personal del área de impresión 3D se encarga de limpiar de manera virtual la anatomía del paciente que se está abordando. 10. con la anatomía limpia del paciente, se procede a generar secciones de la anatomía para ser procesada en la impresión 3D. 11. Se comparte las secciones con el medico a cargo del caso del paciente, para que valide el modelo antes de ser impreso. 12. Si el modelo de paciente es el aceptado por el medico se procede con la impresión, sino este vuelve a ser seccionado. 13. Ya con las secciones aprobadas, se procede a exportar el documento a STL, para seguir con la generación del modelo de impresión 3D.	• Personal del área de impresión 3D. • Personal médico del caso. • Equipo informático • Software para diseño del modelo.
Impresiones 3D de anatomías complejas y malformaciones congénita	14. Con los documentos STL ya estructurados, se procede a configurar a la máquina de impresión 3D. 15. Se verifica si el equipo esta calibrado adecuadamente para iniciar la impresión 3D, si este no está calibrado, se procede a realizar los procesos de calibración requeridos.	• Personal del área de impresión 3D. • Equipo informático • Software para diseño del modelo

Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
	16. Cuando se verifica que el equipo esta calibrado adecuadamente se procede a carga el material requerido para iniciar la impresión 3D del modelo. 17. Se acciona la maquinaria para que se ejecute el proceso de impresión 3D por medio de la maquinaria requerida. 18. Luego que se tiene el modelo de impresión 3D, se retira para que este siga el proceso correspondiente. 19. Se le retiran los soportes del modelo de impresión 3D, para que se pueda visualizar la pieza adecuada. 20. Se verifica que los modelos impresos cumplan con los criterios exigidos de parte del médico. 21. si el modelo cumple sigue el proceso de acabados, pero si este no cumple con tales criterios se procede a reimpresión de la pieza.	• Maquinaria de impresión 3D • Materiales para la impresión 3D.
Acabado final de las impresiones 3D	22. Cuando la pieza o modelo es aprobada, se procede a ejecutar limpieza por exceso de materiales o rebabas, para dejar un mejor acabado a la pieza. 23. La pieza con la limpieza correspondiente procede a someterse a una cámara de curado superficial a través de rayos UV.	• Personal del área de impresión 3D. • Modelo de impresión 3D • Maquinaria curada para impresión 3D
Salida	24. Con el modelo de impresión 3D ya obtenido, el personal médico se encargará de explorar y estudiar la anatomía del paciente.	• Personal medico • Modelo de impresión 3D

Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
	25. El personal médico puede simular cirugías con los modelos de impresión 3D. 26. Basado en lo observado el medico a cargo del caso puede ejecutar su plan de intervención quirúrgico. 27. Al final el medico posee una forma más clara de comunicar su plan de abordaje del paciente.	

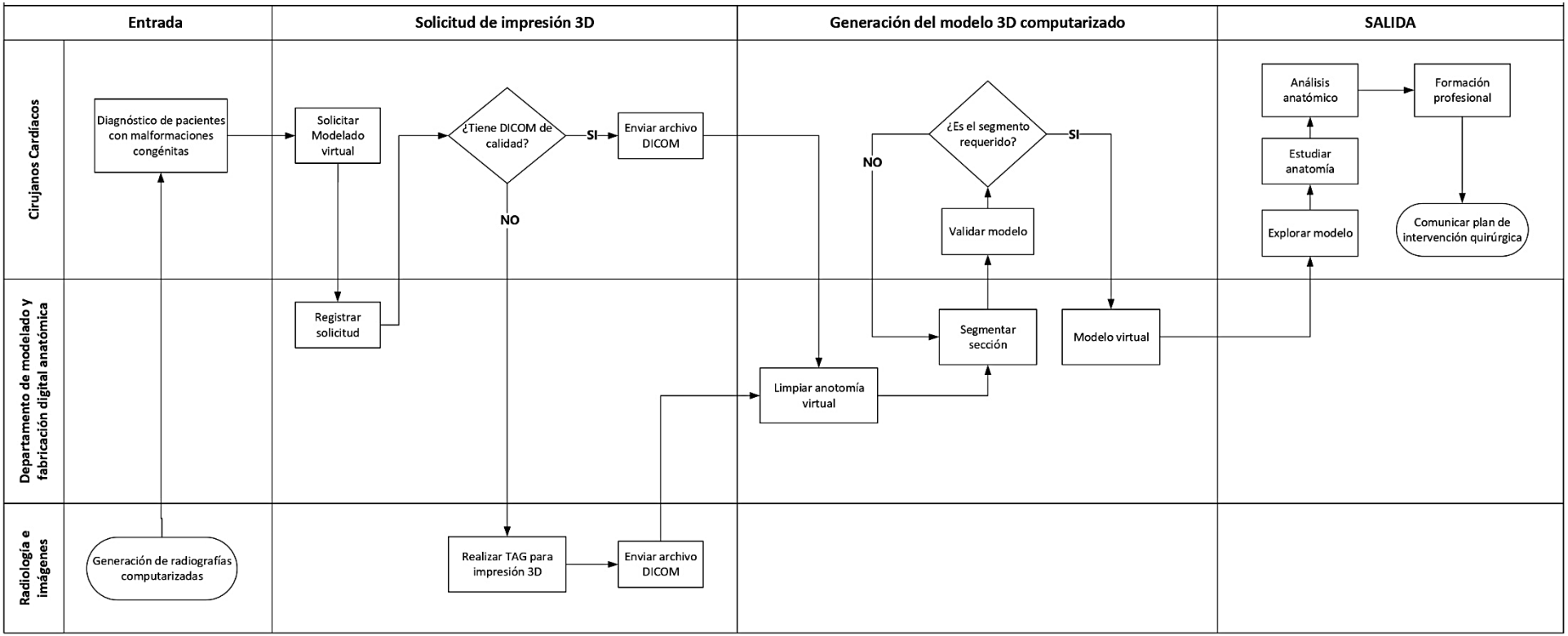
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 100: Proceso del servicio de impresión de modelos 3D.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 101: Proceso del servicio de modelado virtual.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama Blueprint del servicio de formación profesional en la aplicación de la fabricación digital

El modelo de aplicación de aplicación de la fabricación digital contempla el hecho de formar a futuros profesionales de la medicina en el área innovadora en el proceso de modelado y desarrollo de prototipos 3D como apoyo en los procesos médicos, por lo que teniendo esa referencia se presenta la necesidad de contribuir a los profesionales en conocimientos y habilidades de estos elementos relacionados con la fabricación digital.

Tabla 95: Descripción del servicio de formación profesional

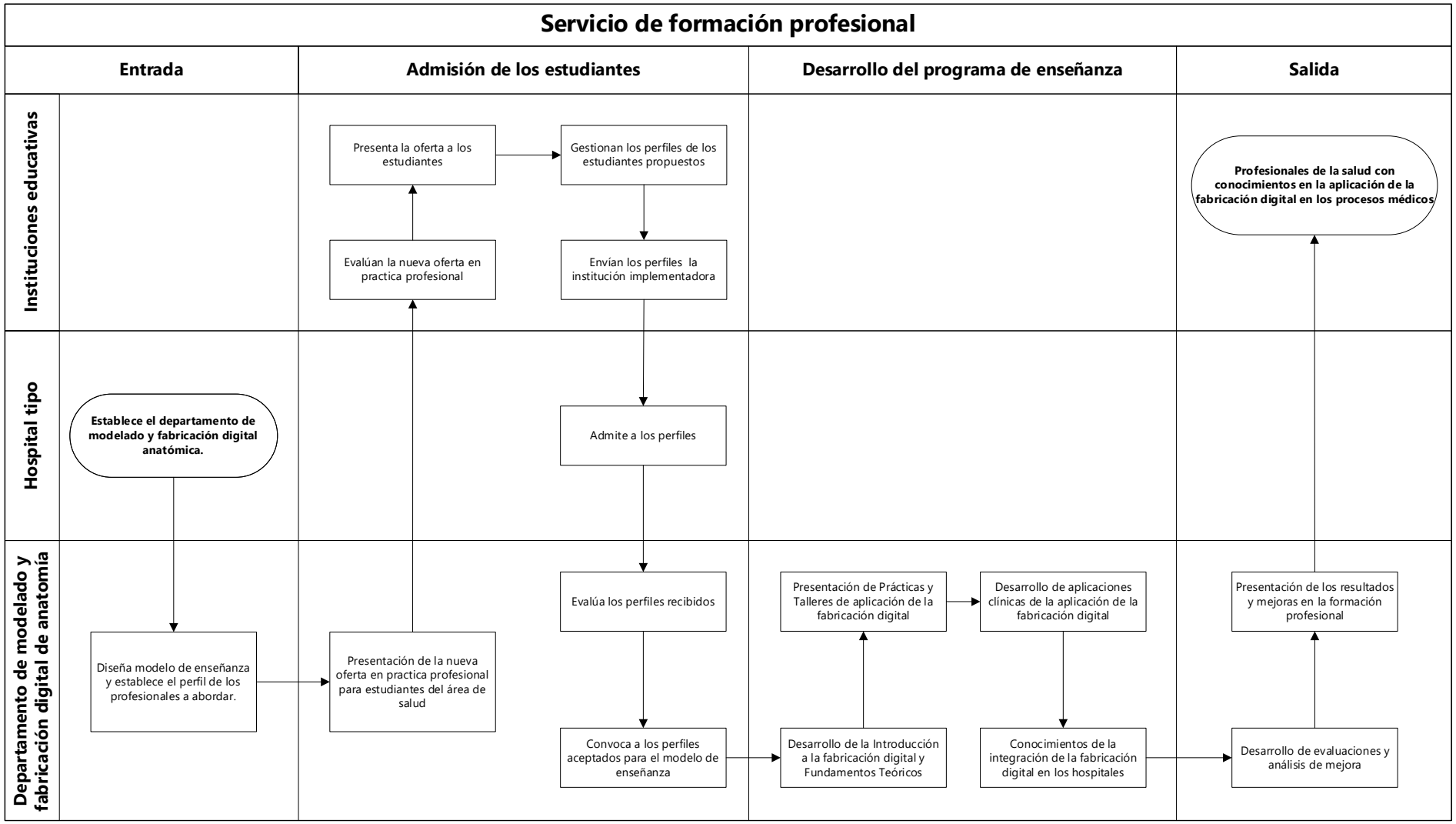
Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
Entrada	1. Establecimiento del departamento de modelado y fabricación digital anatómica en la institución que brindara este servicio. 2. Diseño del modelo de enseñanza que el departamento de modelado y fabricación digital busca implementar en la formación de futuros profesionales	• Maquinaria para desarrolla modelos 3D. • Maquinaria y equipo para desarrollar impresión de modelos 3D. • Personal del departamento de modelado y fabricación digital anatómica
Admisión de los estudiantes	3. Presentación a instituciones educativas de la nueva oferta en práctica profesional para estudiantes del área de salud. 4. Las instituciones interesadas evalúan la propuesta para la nueva oferta de formación profesional. 5. Las instituciones interesadas presentan a los estudiantes la nueva oferta de formación profesional.	• Personal del departamento de modelado y fabricación digital anatómica • Personal de la institución educativa interesada en

Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
	6. Las instituciones gestionan los perfiles de las estudiantes interesadas en formar parte del programa de formación profesional. 7. Los perfiles son compartidos con el directos del departamento de modelado y fabricación digital anatómica para ser revisados. 8. El departamento evalúa y convoca aquellos profesionales que presentan los requerimientos de los perfiles deseados para el modelo en de enseñanza desarrollado.	formar parte del modelo de enseñanza.
Desarrollo del programa de enseñanza	9. Inicia el desarrollo del modelo de enseñanza presentado los fundamentos teóricos para la introducción en los conocimientos de la fabricación digital. 10. Desarrolla prácticas y talleres de aplicación de la fabricación digital, teniendo en cuenta el uso de esta en la medicina. 11. Presentación de las aplicaciones de la fabricación digital en el área clínica, 12. Adaptación de la aplicación de la fabricación digital en el entorno hospitalario, presentado sus beneficios y cambios en los procesos ejecutados actualmente.	• Maquinaria para desarrolla modelos 3D. • Maquinaria y equipo para desarrollar impresión de modelos 3D. • Personal del departamento de modelado y fabricación digital anatómica
Salida	13. Desarrollo de evaluaciones finales a los estudiantes pertenecientes al modelo de enseñanza y análisis de mejoras del modelo.	• Personal del departamento de modelado y fabricación digital anatómica

Etapas	Pasos por ejecutar	Recursos
	14. Presentación de las mejoras en cuanto al desarrollo del modelo de enseñanza y el desempeño de los estudiantes sometidos al proceso de prácticas profesionales. 15. Profesionales de la salud con conocimientos en la aplicación de la fabricación digital en los procesos médicos	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 102: Proceso del servicio de formación profesional.



Fuente: Elaboración propia.

10.7.2.3. Definición del sistema Operativo para el Modelo

Como es sabido todo producto o servicio es el resultado de un trabajo sistemático operativo para la generación de este, por lo tanto, para el funcionamiento sostenible y escalable del modelo se presenta la definición del tipi de sistema a utilizar, teniendo en cuenta que se ha de establecer un servicio técnico profesional para el área de cardiología.

Como primer paso se presenta la definición de un sistema de producción, el cual es visto como “el conjunto de procesos, tecnologías y personas que permiten a las empresas fabricar productos o prestar servicios de manera sistemática y rentable” (Javier de Miguel, s.f.). Otra definición más detallada lo presenta como lo describe Anna Pérez (2021) pues afirma que “los sistemas de producción son un conjunto de elementos tales como materias primas, máquinas o capital humano, que tienen como objetivo crear un producto que, posteriormente, se venderá en el mercado”. Además, en general un sistema de producción cuenta con entradas, procesos de transformación o generación del valor agregado y luego salida de productos o servicios con sus propias características y elementos de información y desechos.

Es importante tener en cuenta que al acuñar la palabra sistema, se hace referencia a que los recursos mencionados son componentes relacionados entre sí, que forman un todo funcional en busca de un objetivo concreto y común.

Al profundizar en el tema de sistema de producción que será el mismo sistema operativo del modelo, debemos tomar en cuenta que hay diferentes tipos de este, como lo son sistemas de producción de flujo continuo, sistemas de producción en masa, sistemas de producción por lotes y sistemas de producción por trabajo o por pedido.

Retomando el trabajo de Anna Pérez (2021) en la página web OBS Business School, a continuación, se presenta una breve definición de los diferentes tipos de sistemas de producción:

Tabla 96: Tipos de sistemas de producción

Tipo de sistema de producción	Descripción
De flujo continuo	Genera muchas unidades homogéneas, poseen una elevada demanda en el mercado y la cadena de producción funciona continuamente, generalmente en este tipo las maquinas no paran de funcionar pues los costes de encendido y apagado son significativos.
En masa	Es similar al de producción continua, pero en una forma menos evolucionada pues las cantidades fabricadas son menores, fabrica unidades homogéneas, poseen una alta rotación de productos en el mercado, suelen incluir piezas individuales que deben ensamblarse mediante un proceso en cadena que funciona a partir de máquinas.
Por lote	Las unidades por fabricar son similares entres sí, utilizando tanto maquinas como mano de obra, la demanda en comparación a las dos anteriores es mucho menor, y por ello se fabrican ordenes o lotes de diferentes productos.
Por pedido	Es este se generan productos únicos, heterogéneos, se utilizan máquinas y un grado importante la mano de obra humana, los productos o servicios son personalizados en función de los deseos y necesidades del cliente.

Fuente: Elaboración propia

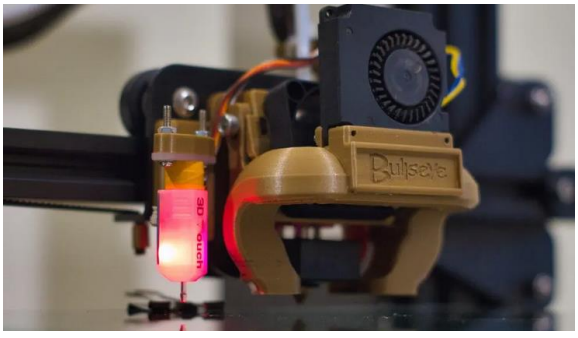
Por lo tanto, **en el modelo** para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre operación quirúrgica en pacientes de cardiología **se establecerá un sistema operativo basado en el sistema de producción por pedido, utilizando un servicio de diseño y fabricación asistido por computadora e impresión 3D**, pues cada modelo anatómico será impreso en 3D en función de las características y necesidades de los pacientes y de los requerimientos de los cirujanos que lo soliciten, lo que significa que son unidades heterogéneas y a la orden.

10.7.2.4. Descripción del proceso de impresión 3D

La fabricación digital es un tema que gana relevancia y protagonismo cada año, debido a que habilita nuevas posibilidades en el mundo de la manufactura, pues permite crear objetos de cualquier forma con eficacia geométrica y eficiencia en el consumo de recursos. La fabricación digital es conocida como fabricación 3D o fabricación aditiva, y en esencia es un proceso de producción que utiliza tecnologías que permite imprimir objetos en tres dimensiones por medio de la deposición de material fundido capa por capa, por lo que es importante recalcar que el producto final es una impresión 3D. A diferencia de los métodos tradicionales de fabricación, que implican la eliminación de material, la fabricación digital se basa en la adición de materiales para crear formas tridimensionales.

Siendo la fabricación digital un proceso de producción es necesario describir sus diferentes fases. El primero es el diseño asistido por computadora (CAD), o bien el modelado 3D en computadora de aquel objeto que se requiere fabricar, una vez finalizada la fase anterior, se inicia la fabricación asistida por computadora (CAM), para lo cual se utilizan diferentes softwares e impresoras 3D en la creación del objeto capa por capa utilizando diversos materiales, como plásticos, metales, cerámicas e incluso materiales biológicos.

Ilustración 103: Ejemplo de ilustración de extrusor de impresión 3D (CAM).



Fuente: Sitio web Tiffin University

Con base a lo anterior es necesario recalcar dos aspectos importantes, el primero de ellos es recordar que el sistema de producción para el modelo debe ser un sistema de producción por

trabajo según las solicitudes los cirujanos de cardiología en función de las características de la anotomía y necesidad del paciente, el segundo aspecto es el tipo de impresión 3D que satisface las necesidades del usuario, siendo este los cirujanos, pero al respecto a este segundo elemento lo importante es cuestionar, ¿Qué tipo de impresión 3D requieren los cirujanos del modelo de malformaciones congénitas de los pacientes?

Retomando algunos hallazgos del capítulo de diagnóstico de esta investigación, el jefe de cirugía cardiología vascular en el hospital Bloom, el Dr. Daniel Cortez, con especialidad en cirujano pediatra y cirugía cardiovascular pediátrica, afirma que

"el personal de la universidad nos regaló un material que no es tan rígido que lo empezamos a utilizar que es más amigable. Comentamos el caso de usar un material más maleable o cortable para evidenciar las estructuras internas a nivel cardiaco, pero que sean estructuras internas abiertas que nos puedan ayudar a visualizar otro tipo de patologías."

Se toma como base este comentario aportado durante la entrevista al doctor, El cirujano hace hincapié en la necesidad de utilizar materiales maleables, o dicho de otra forma flexibles, capaz de manipular de forma flexible las impresiones, realizar pruebas de corte y por supuesto, que representen de la manera más aproximada a la realidad las estructuras internas y externas de las malformaciones congénitas de las anatomías de los pacientes. Esto nos lleva a la siguiente pregunta ¿Con que tipo de tecnología y material se realizan las impresiones 3D flexibles?

Del diagnóstico de esta investigación, nuevamente se retoma un fragmento de la investigación, útil para responder a la interrogante, en este caso, del técnico coordinador del Laboratorio de Fabricación Digital de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, el ingeniero Saul Guardado Peña, quien afirma que la impresión 3D de tecnologías de deposición de filamentos no es la de mejor acabado, refiriéndose a la tecnología FDM las cuales usan filamento de PLA y ABS, ante lo cual recomienda utilizar impresiones con tecnología SLA la cual utiliza como materia

prima resinas. El ingeniero agrega que para fabricar piezas flexibles se puede utilizar resinas con propiedades flexibles o filamentos elastómeros, y que también existen impresoras de SLA y FDM que pueden realizar dicha fabricación flexible. Además, el técnico complementó explicando que al imprimir modelos 3D flexibles con tecnología SLA se debe cambiar el software y se debe proporcionar más exposición de luz UV para realizar un curado, ya que las impresiones 3D de resina quedan semi acuoso.

Por consiguiente, es necesario plantear y dar respuesta a la siguiente pregunta, **¿Qué tipo de tecnología de fabricación digital proporciona mayor calidad superficial y en menor tiempo?**

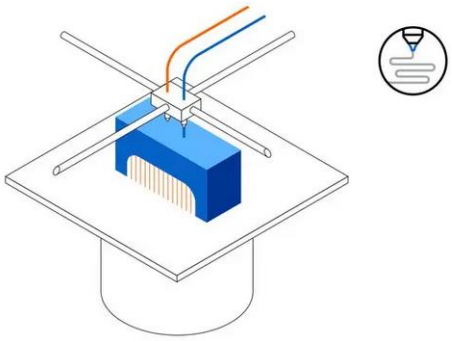
Es necesario explicar nuevamente los principales tipos de tecnología de fabricación digital los cuales son FDM, SLA y SLS, y realizar una comparación en función de la calidad superficial de los productos finales y describiendo cómo funciona cada tecnología.

A. Tecnología FDM: Modelado por deposición de material

Es la tecnología más conocida y comercializada, esta fábrica elementos derritiendo y extruyendo un filamento termoplástico (ABS y PLA) por medio de un extrusor el cual deposita capa por capa el filamento derretido sobre una base de impresión, en esencia derrite y extruye filamento termoplástico, además su producto final es fabricado con soportes. Este tipo de tecnología, según el fabricante de tecnología de impresión 3D form labs, indica que:

Es adecuada para modelos básicos de prueba de concepto, así como para la realización de prototipos rápidos y de bajo coste de piezas sencillas, como piezas que podrían acabar pasando por un proceso de mecanizado. (form labs, s.f.).

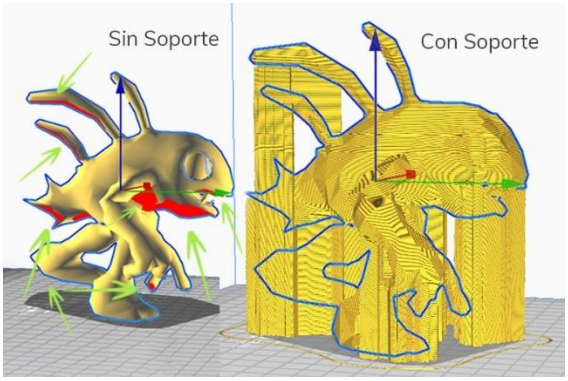
Ilustración 104: Funcionamiento de fabricación 3D con la tecnología FDM



Fuente: Sitio web Formlabs

Por lo tanto, la tecnología tiene mucha aceptación por público en general, presencia en el mercado y gran utilidad, pero debido a su naturaleza de fundición capa a capa, presente una calidad superficial menor respecto a otras tecnologías. Debido a su naturaleza la presencia de soportes es mucho más frecuente, estas son estructuras que se imprimen junto al modelo pero que no son parte de la pieza original. Son creados para soportar aquellas partes que sobresalen 45º respecto a la línea vertical, y que al no ser parte del diseño son eliminados al finalizar la impresión.

Ilustración 105: Ejemplo de creación de soportes estructurales para una impresión 3D.

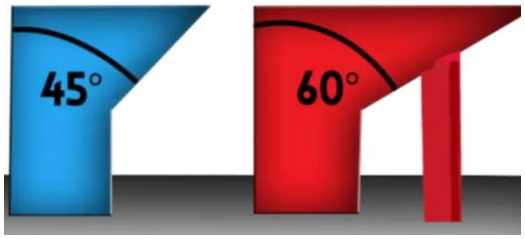


Fuente: Sitio web Impresoras3D.com

Los soportes son creados manual o automáticamente en un software, para aquellos partes de la pieza en voladizo que superan los 45 grados y que requieren una estructura que soporte el peso de las capas superiores. En las impresiones 3D, es posible fabricar piezas con

partes en voladizo hasta 45 grados de inclinación sin perder calidad, esto se debe a que cada nueva capa tiene suficiente soporte para permanecer intacta y hacer posible la impresión.

Ilustración 106: Comparación de inclinaciones paras las que se requiere estructura de soporte.



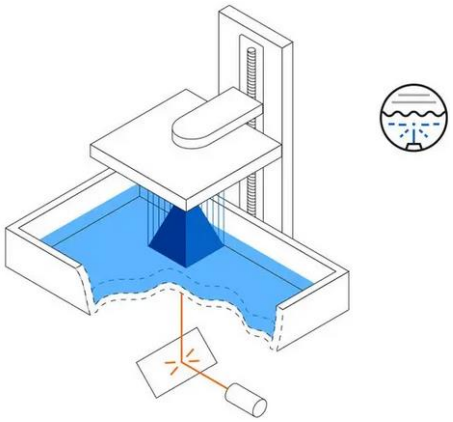
Fuente: Sitio web imprimakers

Sin embargo, cualquier parte de una pieza que supere los 45 grados se acerca a la horizontalidad y puede ser difícil de imprimir debido a que esos voladizos son propensos a curvarse o caerse, por lo que es necesario y natural crear soportes en las piezas a fabricar. Finalmente, respecto a este tema en la página web imprimakers se describe de manera excelente la relación entre acabado superficial y los soportes, “el uso de estos soportes supone que el acabado superficial de la pieza sea más rugoso en estas zonas, aunque esto también depende del material de soporte utilizado.” (Imprimakers, s.f.).

B. Tecnología SLA: Estereolitografía

Conocida como impresión de resina, es un tipo de tecnología que utiliza un láser de luz ultravioleta para curar resina líquida compuesta por fotopolímeros y convertirla en plástico endurecido en un proceso conocido como fotopolimerización.

Ilustración 107: Proceso de fabricación 3D con la tecnología SLA.



Fuente: Sitio web formlabs.

Según formlabs, una empresa estadounidense dedicada a la producción de tecnología de impresión 3D, describe que

Las piezas realizadas mediante SLA ofrecen el mayor grado de resolución y precisión, los detalles más nítidos y el acabado de la superficie más liso de todas las tecnologías de impresión 3D, pero la principal ventaja de la SLA se encuentra en su versatilidad. Los fabricantes de materiales han creado innovadoras fórmulas de resina foto polimerizables para SLA con una gran variedad de propiedades ópticas, materiales y térmicas capaces de igualar las de los termoplásticos estándar, industriales y para ingeniería. La impresión 3D de resina también ofrece la gama más amplia de materiales biocompatibles. La impresión 3D SLA es una opción excelente para crear prototipos con un alto nivel de detalle que requieren tolerancias ajustadas y superficies lisas. (formlabs, s.f.).

Por lo tanto, se evidencia que debido a su calidad superficial y versatilidad es la tecnología seleccionada en los casos que la calidad de la superficie es importantes y utilizada en el área de ingeniería, la odontología, medicina y educación. Las impresiones de este tipo utilizan soporte en su fabricación, y suele requerir de un curado con luz solar o luz UV para endurecer la impresión.

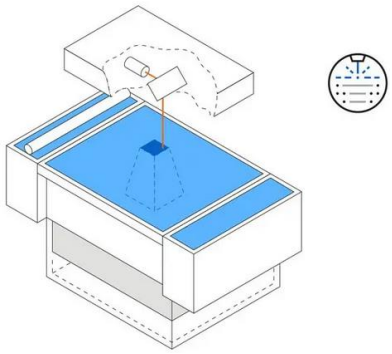
C. Tecnología SLS: Sinterizado selectivo por láser

La tecnología SLS utiliza un láser de alta potencia para fundir pequeñas partículas de polvo de polímero a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo y así crear piezas únicas y sin necesidad de soportes. Según el fabricante formlabs, el cual afirma que:

El polvo sin fundir sirve como soporte para la pieza durante la impresión y elimina la necesidad de agregar expresamente estructuras de soporte. Esto hace que la impresión por SLS sea ideal para geometrías complejas, como relieves interiores, socavados, paredes delgadas y negativos de piezas. Las piezas producidas mediante SLS tienen excelentes características

mecánicas, con una resistencia similar a la de las piezas moldeadas por inyección. (formlabs, s.f.).

Ilustración 108: Proceso de fabricación 3D con tecnología SLS.



Fuente: Sitio web Formlabs.

Esto deja en evidencia que el sinterizado selectivo por láser es la tecnología de fabricación aditiva más usada para aplicaciones industriales porque genera piezas resistentes y funcionales, sin embargo, su acabado superficial presente rugosidad, debido al polvo fundido.

La siguiente tabla resume y compara los tres tipos de tecnología de fabricación 3D.

Tabla 97: Comparación de tecnologías de impresión 3D

Criterio	Tipo de tecnología		
	Modelado por deposición fundida (FDM)	Estereolitografía (SLA)	Estereolitografía (SLA)
Costos de equipos	Son más asequibles, sin embargo, las impresoras de gama media y de mayor calidad pueden adquirirse desde los $2,200 y las impresoras 3D industriales desde los $16,000.	Las impresoras profesionales se adquieren desde los $2,600, las de trabajo de gran formato desde $9,700 y aquellas industriales de gran volumen desde los $86,000.	En este tipo, las impresoras son netamente del área industrial, aquellas de formato de mesa se adquieren desde $25,000 y las industriales tradicionales y más grandes desde $100,000.

Criterio	Tipo de tecnología		
	Modelado por deposición fundida (FDM)	Estereolitografía (SLA)	Estereolitografía (SLA)
Costo/Kg de material a utilizar	Para la mayoría de los filamentos estándar entre los $50/Kg y $160/Kg, esto tomando en cuenta los soportes.	Para las resinas estándar suelen costar entre $160/Kg y $200/Kg.	El costo ronda los $100/Kg para Nylon, esto debido a que no requiere estructuras de soporte.
Tipos de materiales que emplea	Termoplásticos estándar como el ABS y PLA, y sus diversas mezclas.	Variedades de resina (plásticos termo endurecibles). Resinas estándar, para ingeniería (similares al ABS y al polipropileno, flexibles, resistentes a la temperatura), para aplicaciones de fundición, dentales y médicas (biocompatibles).	Termoplásticos para ingeniería. Nylon 11 Powder, Nylon 12 Powder, materiales compuestos de nylon reforzados con vidrio o carbono, polipropileno, TPU (elastómero).
Necesidad de personal para post procesado	Eliminación manual de soportes (se puede automatizar en sistemas industriales con soportes solubles). Se requiere un largo proceso de post acabado para obtener un acabado de alta calidad.	Lavado y post curado (es posible automatizar ambos procesos). Post acabado sencillo para eliminar las marcas de los soportes.	Limpieza sencilla para retirar el polvo sobrante.
Nivel de formación requerida	Formación básica sobre la configuración de impresiones, el uso de la máquina y el acabado. Formación moderada sobre mantenimiento.	Formación básica sobre la configuración de impresiones, el uso de la máquina y el acabado.	Formación moderada sobre la configuración de impresiones, el mantenimiento, el uso de la máquina y el acabado.
Equipo auxiliar	Sistema de eliminación de soportes para máquinas con soportes solubles (al no ser soluble se utilizan herramientas para eliminación manual de	Estación de lavado y post curado (ambos se pueden automatizar) y herramientas de acabado.	Estación de post acabado para la limpieza de las piezas y la recuperación de materiales (polvo).

Criterio	Tipo de tecnología		
	Modelado por deposición fundida (FDM)	Estereolitografía (SLA)	Estereolitografía (SLA)
	soportes) y herramientas de acabado.		
Requisitos para las instalaciones	Entorno con aire acondicionado o preferiblemente ventilación a la medida para máquinas de escritorio.	Las máquinas de escritorio adecuadas para un entorno de oficina.	Un entorno de taller con requisitos de espacio moderados para sistemas de trabajo.
Volumen de impresión	Hasta 300 × 300 × 600 mm (impresoras 3D de escritorio y de trabajo)	Hasta 300 × 335 × 200 mm (impresoras 3D de escritorio y de trabajo)	Hasta 165 × 165 × 300 mm (impresoras 3D de trabajo industrial)
Aplicaciones	Prototipado rápido de bajo coste y modelos básicos de prueba de concepto.	Prototipado funcional, patrones, moldes, aplicaciones dentales y médicas, prototipado y joyería.	Creación de prototipos funcionales, fabricación limitada, personalizada o rápida de productos
Ventajas	Máquinas y materiales de consumo de bajo coste, rápido y fácil para piezas sencillas y pequeñas.	Excelente relación calidad-precio, gran precisión, acabado de la superficie liso, impresiones rápidas, variedad de aplicaciones funcionales.	Piezas resistentes y funcionales, libertad de diseño, no es necesario usar estructuras de soporte.
Desventajas de los modelos	Baja precisión, bajo nivel de detalle, compatibilidad de diseño limitada.	Sensibilidad a exposición prolongada a la luz UV.	Acabado de la superficie rugoso y opciones limitadas de materiales.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 109: Comparación del acabado superficial de impresión 3D en FDM, SLA y SLS.

FDM SLA SLS



Fuente: Sitio web formlabs.

Por lo tanto, tomando en cuenta como criterio principal la calidad superficial, la versatilidad de utilización, disponibilidad de equipo y materiales es seleccionado como tecnología principal a utilizar en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre operación quirúrgica la **estereolitografía (SLA)** o también llamada impresión 3D de resina, atendiendo así la necesidad diagnosticada en los doctores entrevistados en cuanto a la representación más aproximada de las anatomías cardiacas.

10.7.2.5. Diagramas del proceso de impresión 3D

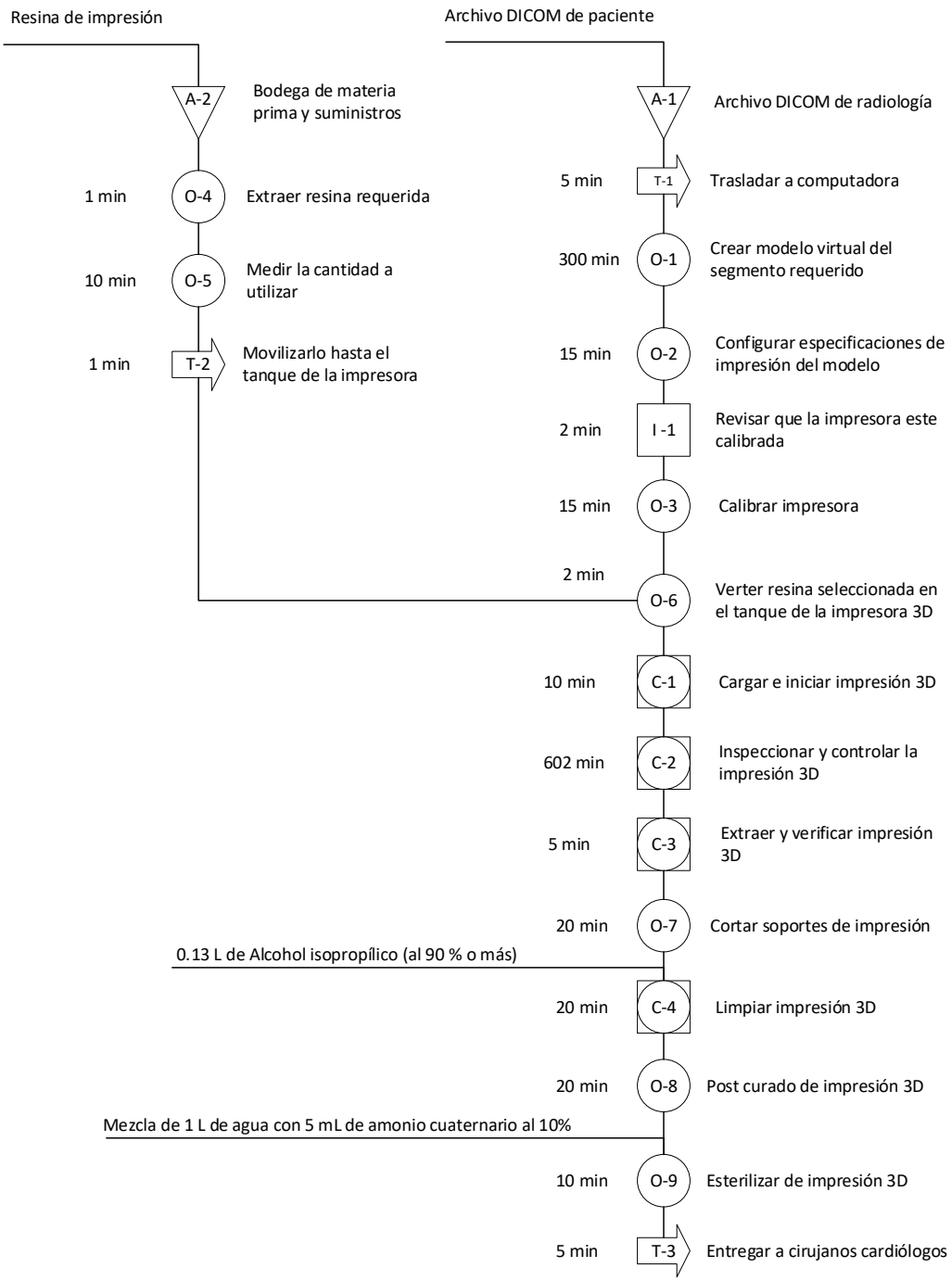
El proceso de fabricación 3D de un segmento anatómico de un paciente con malformaciones anatómicas en el marco de la pre-operación quirúrgica en el área de cardiología del Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom" se representa de la siguiente forma:

Ilustración 110: Diagrama de operaciones de la fabricación digital.

DIAGRAMA DE FLUJO OPERACIONES PARA LA FABRICACIÓN DIGITAL DE MODELOS ANATÓMICOS

Producto: Modelos anatómicos
Fecha de elaboración: Marzo 2024
Método: Propuesto

Elaborado por: Equipo de investigación
Área: Laboratorio de modelo y fabricación digital anatómico
Revisado por: Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 111: Tiempos y actividades de operaciones de la fabricación digital.

EVENTO	SIMBOLO	CANTIDAD	TIEMPO (min)
OPERACIONES		9	393
INSPECCIONES		1	2
TRANSPORTES		3	11
ALAMACENAMIENTOS		2	0
COMBINADAS		4	637
DEMORAS		0	0
TOTAL		19	1043

Fuente: Elaboración propia.

10.7.2.6. Análisis diagrama hombre maquina

El diagrama hombre maquina es una representación gráfica de la secuencia de elementos que componen las operaciones en que intervienen hombres y máquinas, este tiene como base los siguientes objetivos:

- Conocer el tiempo invertido por el operario y el utilizado por la máquina.
- Determinar la eficiencia de los hombres y de las máquinas para utilizarlos al máximo.
- Mejorar una sola estación de trabajo a la vez

Para el caso en estudio este diagrama es utilizado especialmente en aplicación del servicio de impresión 3d, donde se ven involucradas las maquinarias estudiadas en el proceso del modelo y la aplicación del mismos en el desarrollo de las operaciones de este, teniendo en cuenta este elemento se presenta lo siguiente:

Ilustración 112: Diagrama hombre - máquina del modelo.

DIAGRAMA HOMBRE - MAQUINA							
Hoja N° 1 De: 2 Diagrama N°: 1		Proceso: Servicio de impresión de modelos 3D					
Fecha: 10/07/2024		**Elaborado por:**		**Maquina 1: Impresora 3D**		**Maquina 3 Maquina de pos curado**	
El estudio Inicia:		**Operario: Tec. De Impresion**		**Maquina 2: Maquina de limpieza**			
Operario		**Maquina 1**		**Maquina 2**		**Maquina 3**	
Carga	Actividad	Carga	Actividad	Carga	Actividad	Carga	Actividad
15	Preparación de Imágenes para Modelado	15	Inactividad				
17	Revision y calibración de impresora según necesidades.	17	Revision y calibración de impresora según necesidades.				
11	Preparacíon de resina	11	Inactividad				
12	Carga de resina a maquina impresora	12	Carga de resina a maquina impresora				
16	Inspección inicial de la impresión	602	Impresión del modelo	682	Inactividad	704	Inactividad
120	Inactividad						
10	Inspección de proceso de impresión						
200	Inactividad						
10	Inspección de proceso de impresión						
230	Inactividad						
16	Inspección final del proceso						
25	Extraccion, verificación y corte de soportes	25	Extraccion, verificación y corte de soportes				
5	Aplicación de insumo de limpieza						

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 112: Diagrama hombre - máquina del modelo.

DIAGRAMA HOMBRE - MAQUINA							
Hoja N° 2 De: 2 Diagrama N°: 1		Proceso: Servicio de impresión de modelos 3D					
Fecha: 10/07/2024		**Elaborado por:**		**Maquina 1: Impresora 3D**			**Maquina 3 Maquina de pos curado**
El estudio Inicia:		**Operario: Tec. De Impresion**		**Maquina 2: Maquina de limpieza**			
17	Inactividad	52	Inactividad	22	Aplicación de insumo y limpieza de la impresión		
5	Colocación para poscurado			30	Inactividad	30	Procesos de poscurado de pieza
25	Inactividad						
734		734		734		734	

Fuente: Elaboración propia.

Resumen y análisis.

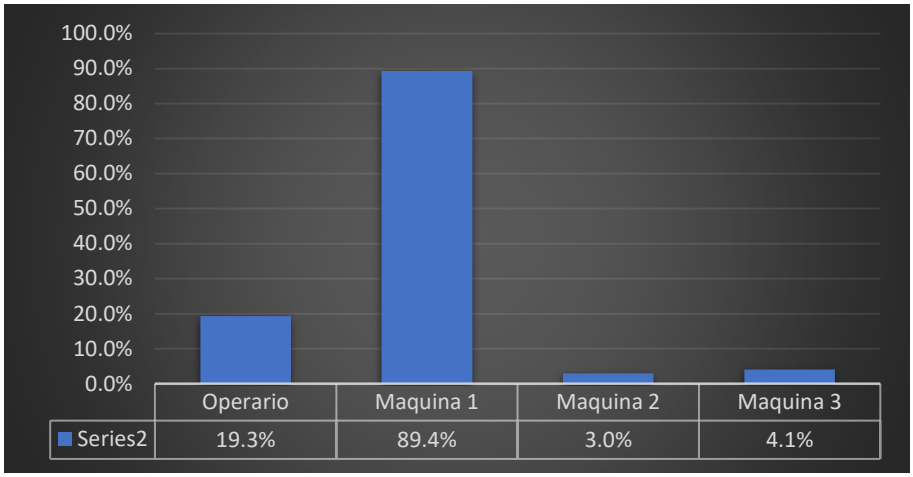
Bajo lo antes presentado en el diagrama se presenta el siguiente resumen y análisis de los elementos abordados a través del diagrama:

Tabla 98: Resumen de diagrama hombre - máquina.

Tipo	Tiempo del Ciclo Min.	Tiempo de Acción Min.	Tiempo de Inactividad Min.	% de Utilización	% de Utilización Optima
Operario	734.00	142.00	**592.00**	**19.3%**	**85.0%**
Maquina 1	734.00	656.00	**78.00**	**89.4%**	**85.0%**
Maquina 2	734.00	22.00	**712.00**	**3.0%**	**85.0%**
Maquina 3	734.00	30.00	**704.00**	**4.1%**	**85.0%**

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 113: Gráfica del resumen de diagrama hombre - máquina.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el resumen y la gráfica se puede concluir lo siguiente:

1. Tiempo del Ciclo: El tiempo del ciclo para cada recurso (operario y máquinas) es de 734 minutos. Esto indica que, en teoría, cada recurso debería estar disponible durante todo este tiempo para completar el ciclo completo. Este valor es un marco de referencia importante para planificar la capacidad operativa y la eficiencia.
2. Tiempo de Acción: Observamos que el tiempo de acción es considerablemente menor para el operario (142 minutos) en comparación con la Máquina 1 (656 minutos). Esto indica que el operario está activamente involucrado en menos del 20% del ciclo total, mientras que la Máquina 1 opera en más del 80% del tiempo. Esto sugiere una alta dependencia en la automatización del proceso, especialmente en la Máquina 1.
3. Tiempo de Inactividad: El operario tiene 592 minutos de inactividad durante el ciclo, mientras que la Máquina 1 solo tiene 78 minutos. Esto implica una subutilización significativa del tiempo del operario, en contraste con la alta ocupación de la Máquina 1. Las Máquinas 2 y 3 también muestran tiempos de inactividad altos, lo que indica que no están siendo aprovechadas al máximo.
4. Porcentaje de Utilización: El operario tiene una baja utilización de 19.3%, mientras que la Máquina 1 tiene una alta utilización de 89.4%. Esto indica que hay un desbalance en la carga

de trabajo y en la utilización de los recursos, con la Máquina 1 siendo el recurso más utilizado y eficiente en el ciclo.

5. % de Utilización Óptima: Todos los recursos, incluyendo el operario y las máquinas, tienen una utilización óptima marcada en 85%. Comparando con los valores reales de utilización, solo la Máquina 1 se acerca a este nivel. La baja utilización del operario y de las Máquinas 2 y 3 resalta áreas de oportunidad para optimizar la distribución de tareas o aumentar la carga de trabajo de estos recursos.
6. Gráfica de Barras: La gráfica de barras refuerza visualmente el alto nivel de utilización de la Máquina 1 y el bajo uso del operario y las otras dos máquinas. Esta representación gráfica facilita la identificación de los recursos subutilizados y es útil para respaldar decisiones de reestructuración o mejora.

Justificación para la toma de decisiones:

Este análisis orienta las decisiones de compra de equipo y contratación de personal para el servicio de impresión 3D. La alta dependencia de la Máquina 1 sugiere que invertir en equipo adicional similar podría reducir la carga sobre esta máquina y mejorar la eficiencia general. Además, la subutilización del operario muestra que existen oportunidades para optimizar la asignación de tareas, considerando que, en un escenario operativo real, el operario podría desempeñar actividades adicionales durante los tiempos de inactividad. Este modelo refleja una estructura lineal, pero en la práctica, un enfoque más flexible en las tareas del operario permitiría aprovechar mejor el tiempo de inactividad, aumentando la productividad del sistema sin necesariamente requerir más contratación.

10.7.2.7. Planificación de la producción

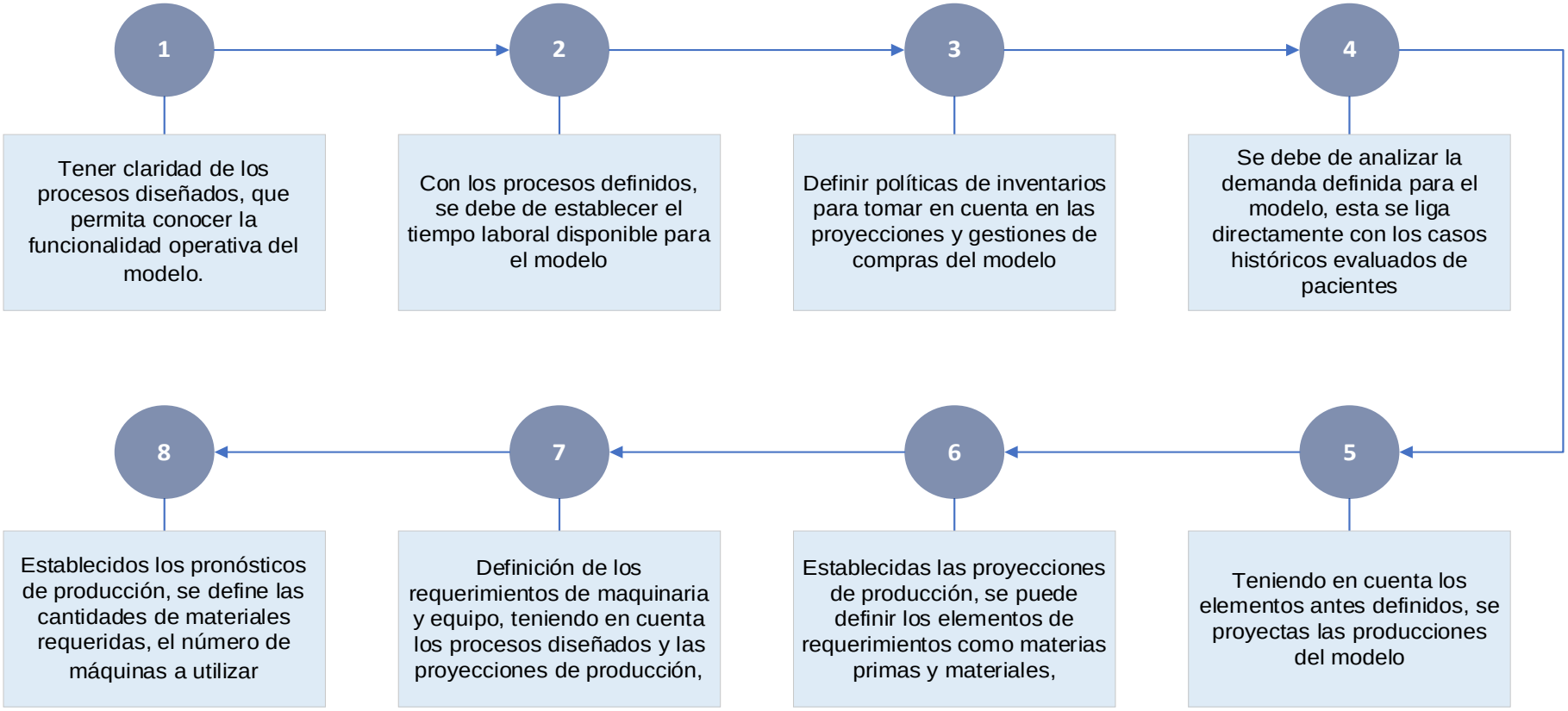
Para definir la planificación de la producción, se requiere de analizar elementos que se encuentran directamente relacionados con la mismas, por lo cual se estima conveniente detallar

las jornadas laborales, las políticas de inventarios, tener en cuenta las proyecciones principales, para luego definir los pronósticos de producción del modelo, por lo que a continuación serán detallado cada uno de los elementos.

Para definir de mejor manera este elemento, se detallará los pasos requeridos para ejercer el diseño de la planificación de la producción que permitirá analizar la planificación productiva en el momento que el ejecutor desee analizarla. teniendo en cuenta esto se define lo siguiente:

- **Metodología para ejecutar la planificación de la producción.**

Ilustración 114: Metodología de planificación de la producción.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: El esquema anterior muestra los pasos a ejecutar en el desarrollo de la planeación del modelo, esta muestra un panorama de general de como ejecutar dicha planificación, en el desarrollo del manual de procedimientos se definirá de manera más detallada este proceso, teniendo en cuenta todos los elementos involucrados.

Definidos esos elementos se puede definir los pronósticos de producción, así como también el análisis de los requerimientos de los recursos productivos para el funcionamiento optimo del modelo diseñado.

- **Cálculo de días laborales.**

Establecer el cálculo de los días laborales permitirá definir el tiempo real de operaciones para el diseño del modelo, esto permitirá definir claramente los requerimientos del modelo para que la funcionalidad de este ya que se establece el tiempo real para poder cumplir con la capacidad instalada.

En el caso del área médica, la operatividad del servicio para la red hospitalaria es en su mayoría las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana pues la atención a la salud es una prioridad por lo tanto el funcionamiento de estas instituciones es de importancia; se debe denotar que en el caso para estas instituciones existe la aplicación de horarios rotativos que permite brindar este servicio como se detalló con anterioridad.

Para el modelo diseñado se busca aprovechar al máximo el tiempo, apegando su funcionalidad a los horarios operativos del hospital tipo, ya que esto permitirá dar una respuesta lo más rápido posible a las necesidades de los médicos que evalúan a los pacientes con malformaciones congénitas. Tomando en cuenta lo antes mencionado se puede establecer lo siguiente:

TPOA (Tiempo Planificado de Operación)

Para establecer el tiempo planificado de operación, se toma en cuenta como base el año comercial correspondiente a 360 días, con 52 semanas al año, así se define lo siguiente:

$$TPOA = \left(24\ \frac{horas}{días}\right)\left(\ 360\ \frac{días}{\text{Año}}\right) = \mathbf{1,235}\ \frac{\boldsymbol{Horas}}{\boldsymbol{\text{año}}}\ \boldsymbol{aprox.}$$

por lo antes definido se estima que la disponibilidad de tiempo planificada para el modelo es aproximadamente de 1235 horas al año, en el cual se cuenta con el funcionamiento del modelo para responder a las necesidades, no obstante, se debe de considerar que existen tiempos necesarios para el descanso del personal operativo.

TROA (Tiempo Real de Operación)

En el análisis de tiempo disponible para la operación del modelo, no se debe de dejar de lado la consideración de los suplementos de tiempos definidos por estándares internacionales; estos suplementos se basan en el tipo de trabajo que se ejecutara en la operatividad del modelo diseñado. Teniendo en cuenta lo antes establecido, se define los suplementos de diseño de este modelo en base al sistema de necesidades personales (Anexo X):

Tabla 99: Suplementos de tiempo asociados al TROA

Tipo de suplemento	Porcentaje
Por necesidades personales	7%
Por fatiga	4%
Postura ligeramente incomoda	1%
Total	**12%**

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los suplementos definidos, se puede establecer el tiempo real de operaciones parea el modelo de la siguiente manera:

$$TROA = (1 - \%Suplementos)\ TPOA$$

$$TROA = (1 - 0.12)\ 1235\ \frac{Horas}{año}$$

$$TROA = \mathbf{1087}\ \frac{\boldsymbol{Horas}}{\boldsymbol{año}}$$

En base a los antes determinado, se puede definir que el tiempo real de operación disponible para la funcionalidad del modelo es de 1087 horas al año, sin dejar de la consideración del trabajar 24 horas los 7 días de la semana.

- **Políticas de inventario.**

El sistema de producción que alimenta este modelo está diseñado por trabajo, es decir que cada pieza diseñada es única y se aplica para una necesidad especifica, ya que cada paciente tiene padecimientos únicos. También se puede definir que el modelo hace uso del Make to order, hacer por pedido (MTO), o hecho por encargo, esto consta de una estrategia de producción empresarial que normalmente permite a los consumidores comprar productos personalizados según sus especificaciones, tal como se busca diseñar en el modelo.

Cabe mencionar que el MTO es un proceso de fabricación en el que la producción de un artículo comienza sólo después de que se recibe el pedido confirmado del cliente. También se le conoce como personalización masiva. Teniendo en cuenta esto se define lo siguiente:

Políticas de producto terminado

- El modelo no mantendrá stock de producto terminado, ya que ningún requerimiento del cliente se asume como igual, debido a que las malformaciones congénitas o anatomías complejas no presentan para todos los casos los mismos padecimientos.

- El reproceso de piezas ya impresa es algo que presentas dificultades de ejecución, por lo que si un modelo de impresión 3D no cumple con los requerimientos del médico deberá de imprimirse nuevamente con los cambios sugeridos.
- La aceptación del modelo de impresión 3D solo está ligada directamente con el medico a cargo del caso del paciente evaluado.
- Las piezas que ya no son funcionales por algún error de impresión o porque el medico ya utilizo y no es requerida nuevamente, se procederá a realizar el proceso de manejo de materiales no útiles que se detallará más adelante.
- La ejecución de manejo de piezas ya no útiles se deberá de ejecutar como minino dos veces al año, para que no exista acumulaciones excesivas de pieza ya no funcionales.
- Se establece que el nivel de producto defectuoso o modelos de impresión no conformes deberá de rondar por el 2% de la producción anual.

Políticas materiales

- Debido a que el material de resina posee una vida útil prologada almacenada en el lugar adecuado, se estima conveniente poseer material en stock como mínimo para producir durante 1 año.
- El proceso de compras de materiales deberá de ejecutarse al momento de que el stock actual este por debajo del 25% de lo requerido para el próximo año, esto debido a que la gestión de compra puede presentar complicaciones.
- El personal encargado del modelo deberá de tener control de las fechas de vencimiento de los materiales y poder gestionar adecuadamente los inventarios.

Proyecciones principales

Para establecer las proyecciones de producción, se tiene en cuenta la base fundamental para el desarrollo de la producción, esta base es el establecimiento de la demanda o necesidades basadas en los casos de malformaciones congénitas. Teniendo en cuenta lo antes definido se presentan las proyecciones establecidas anteriormente como se presentan a continuación:

Tabla 100: Proyección de la demanda por año

Año	Necesidades de producción
1	593
2	578
3	579
4	614
5	627

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de producción a establecer deben de tomar de base las necesidades o demandas presentadas en la tabla anterior, es por ello por lo que en base a estos se define los requerimientos de piezas a producción dentro del modelo, considerando el buen uso de los recursos y la optimación de estos para crear un modelo eficiente en su funcionamiento.

- **Pronósticos de producción**

Es esencial definir que las unidades planeadas a producir son las unidades que se produjeron sin defectos y están aptas para su uso, por lo que se considera para el diseño de este estudio las unidades a producir es igual a la demanda definida para cada año, por ello se define las unidades pronosticadas a producir de la siguiente manera:

$$UPP = Unidades\ requeridas\ o\ demanda$$

teniendo en cuenta la formulación anterior se define los pronósticos de producción de la siguiente manera:

Tabla 101: Proyección de la producción por año

Año	Necesidades de producción	Pronóstico de producción
1	593	593
2	578	578
3	579	579
4	614	614
5	627	627

Fuente: Elaboración propia

Ya definidos los pronósticos de producción anual para el funcionamiento del modelo, se procede a ejecutar análisis de requerimiento de materiales y otros factores de importancia para el funcionamiento.

10.7.2.8. Requerimientos productivos

Para definir los requerimientos de producción se debe de ejecutar un análisis de balance de materiales, análisis de la cantidad de maquinaria y equipo, así como las necesidades de la mano de obra necesaria para el funcionamiento del modelo. Ante la necesidad de definir estos elementos claramente se debe de tomar en cuenta consideraciones generales que son útiles para definir los elementos del modelo tal como se detalla en los siguientes apartados.

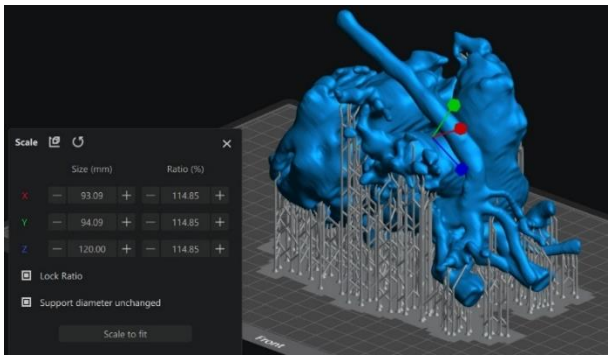
- **Consideraciones Generales.**

Para analizar el consumo de materiales se debe de tener claridad cuáles son los materiales e insumos que se ven relacionados con el modelo, así como también cual es la

estimación de consumo de material promedio por pieza, por ello se detallan los siguientes apartados que esclarecen la información para brindar el balance de materia prima.

1. Entre los materiales e insumos requeridos para la generación del modelo de impresión 3D, se encuentra la resina, el alcohol isopropílico, amonio y agua con los cuales el funcionamiento del modelo operar con normalidad.

Ilustración 115: Dimensiones y configuración de modelado para impresión 3D.



Fuente: Elaboración propia.

2. La estimación del uso de la resina se base en los datos proporcionados por el software de análisis denominado Chitubox, este es un software de corte, también llamados laminadores o slicers, se utilizan para preparar un archivo para el proceso de impresión en 3D. Teniendo en cuenta este elemento, los datos proporcionados para el software son los siguientes:

Se toma como estándar una pieza con medidas de altura: 120 mm, Profundidad: 94.09 mm y ancho: 93.09 mm; considerando estas medidas debido a que son proporcionales a las medidas naturales de un niño de 9 años, esto teniendo en cuenta que el modelo está enfocado a un hospital tipo que brinda servicios para niños. Tomando en cuenta lo mencionado el software proporciona un uso aproximado de resina de 250.349 ml por pieza según las medidas definidas como estándar para el deseño del modelo.

3. En cuanto al alcohol se estima un uso de 0.13 L por pieza o modelo, esto para ejecutar el proceso de limpieza de la pieza para posteriormente curar el modelo.
4. El amonio por utilizar se estima en un valor de 5 ml por cada litro de agua ocupado en el proceso de esterilización de la pieza o modelo, usando en este proceso 1L por pieza.

Teniendo en cuenta lo antes definido se puede estimar lo siguiente:

Tabla 102: Planificación de los materiales en función del pronóstico de la producción

Año	Pronóstico de producción Anual	Planificación de materiales			
		Resina (Litros)	Alcohol (Litros)	Agua (Litros)	Amonio (Litros)
1	593	149	78	593	3
2	578	145	76	578	3
3	579	145	76	579	3
4	614	154	80	614	4
5	627	157	82	627	4

Fuente: Elaboración propia

Establecido todos estos elementos generales en el diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital, se puede dar paso a la estructuración del diagrama de balance de material y los requerimientos necesarios en el mismo; se debe de tener en cuenta que, si bien esos son los requerimientos de consumo por unidad, no son los mismo requeridos para la mismas ya que se debe de evaluar el rendimiento del mismos en el proceso productivo.

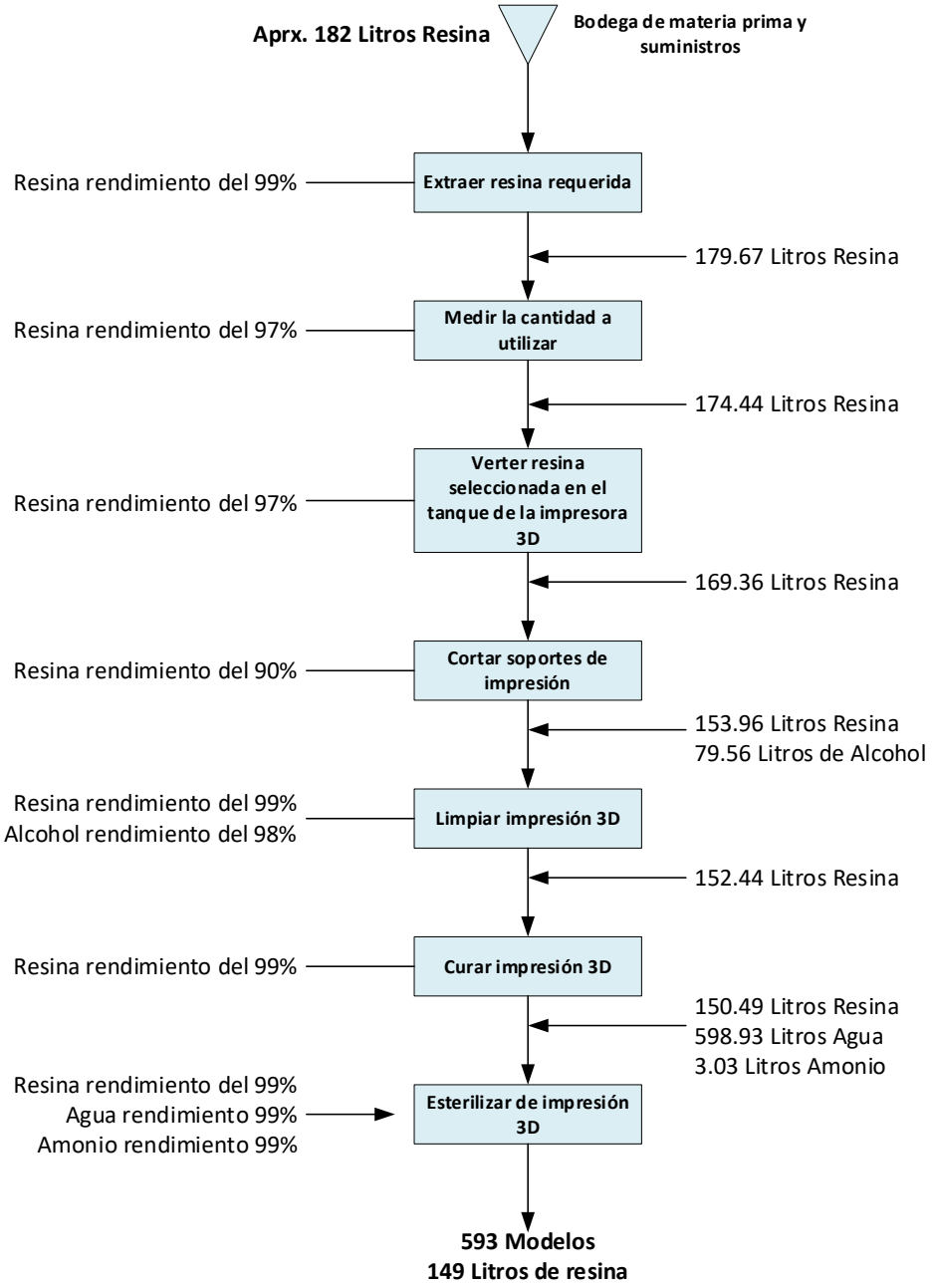
- **Balance de materiales**

Ilustración 116: Diagrama de balance de materiales de año 1.

DIAGRAMA DE BALANCE DE MATERIALES (1° AÑO)

Producto: Modelos anatómicos
Fecha de elaboración: Febrero 2024
Método: Propuesto

Elaborado: Equipo investigador
Revisado: Ing. Francisco Reyes
Enfoque: Diseño de tesis



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el análisis proporcionado en el diagrama de balance de materiales ejecutado para el primer año de análisis se puede plantear lo siguiente:

$$Aumento\ del\ material\ principal = \frac{(Requerido - planificado)}{planificado} x\ 100$$

$$Aumento\ del\ material\ principal = \frac{(182\ Litros - 149\ Litros)}{149\ Litros} x\ 100 = 22.15\ \%$$

Se puede visualizar que según el análisis de materiales debido a los procesos a ejecutar en la generación de la impresión 3D, el consumo de resina que es el material principal es del 22.15% más a lo estimado inicialmente o planificado. Para el caso del Alcohol solo aumenta un 2.0% de lo planificado, para el agua y el amonio solo se requiere un 1.0% más de lo estimado inicialmente.

Teniendo en cuenta lo antes proporcionado, se estima los requerimientos de materiales para los siguientes años como se muestra en la tabla:

Tabla 103: Requerimiento de materiales en función del pronóstico de la producción anual

Año	Pronóstico de producción Anual	Requerimientos de materiales			
		Resina (Litros)	Alcohol (Litros)	Agua (Litros)	Amonio (Litros)
1	593	182	79	599	3
2	578	177	77	584	3
3	579	178	77	585	3
4	614	188	82	621	4
5	627	192	84	634	4

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior presenta las necesidades de materiales que se deben de tomar como base para la aplicación del diseño de este modelo, ya que se evalúa según las proyecciones de los pacientes del área a ser atendido por padecimientos antes definidos.

teniendo en cuenta lo antes definido se presenta el manejo de los materiales, según el análisis de la política de inventario definida anteriormente, donde se establece que anualmente el inventario final de los materiales debe quedar proporcional al 20% de lo requerido para la producción del próximo año, teniendo en cuenta esto se establece lo siguiente:

Tabla 104: Análisis de requerimiento de materiales (Resina)

Material: Resina (Litros)					
Concepto	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Inventario inicial	182	35.4	35.6	37.6	38.4
Requerimientos de materiales	182	177	178	188	192
Compras de materiales	35.4	177.2	180	188.8	153.6
Inventario final	35.4	35.6	37.6	38.4	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105: Análisis de requerimiento de materiales (Alcohol)

Material: Alcohol (Litros)					
Concepto	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Inventario inicial	79	15.4	15.4	16.4	16.8
Requerimientos de materiales	79	77	77	82	84
Compras de materiales	15.4	77	78	82.4	67.2
Inventario final	15.4	15.4	16.4	16.8	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106: Análisis de requerimiento de materiales (Amonio)

Material: Amonio (Litros)					
Concepto	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Inventario inicial	3	0.6	0.6	0.8	0.8
Requerimientos de materiales	3	3	3	4	4
Compras de materiales	0.6	3	3.2	4	3.2
Inventario final	0.6	0.6	0.8	0.8	0

Fuente: Elaboración propia

Lo antes definido permite conocer con mayor claridad los requerimientos de compras para los materiales que se ven relacionados en el proceso de impresión en 3D y poder brindar respuestas oportunas a los médicos relacionados con el modelo.

- **Requerimiento de maquinarias**

Para profundizar el análisis de los requerimientos no se debe dejar de lados el equipo y maquinaria necesario para el funcionamiento operativo del modelo, teniendo en cuenta este elemento se plantea los siguientes:

$$N° \ de \ maquinaria \ o \ equipo = \frac{Tiempo \ de \ operación \ total \ de \ la \ maquinaria \ o \ equipo}{Tiempo \ disponible \ de \ operaciones.}$$

Como se ha definido con anterioridad el tiempo disponible de operaciones será igual al TRAO calculado en el apartado de planificación, donde se plantea que este es el tiempo real de operaciones y es igual a 1087 horas al año. También se debe definir que para que el modelo sea sostenible en el periodo de 5 años. se toma como demanda base la producción estimada para el quinto año que equivale a 640 modelos al año.

A continuación, se plantea el cálculo para los requerimientos de maquinaria y equipo:

Equipo Informático:

El equipo informático está ligado con las operaciones relacionadas al diseño de los archivos requeridos para la impresión en 3d, sus características serán detalladas más adelantes, en cuanto a su requemamiento se plantea el siguiente análisis:

$$Tiempo \ de \ operacion \ del \ equipo = \ Tiempo \ por \ modelos \ en \ horas \ x \ Demanda \ anual$$

$$Tiempo \ de \ operacion \ del \ equipo = \ 315 \ \frac{min.}{modelo} \ x \ \frac{1 \ hora}{60 \ min} \ x \ 784 \ \frac{Modelo}{\text{año}}$$

$$Tiempo \ de \ operacion \ del \ equipo = \ 4{,}116 \ \frac{horas}{\text{año}}$$

$$N° \ de \ equipo = \frac{4{,}116 \frac{horas}{\text{año}}}{1{,}087 \ \frac{horas}{\text{año}}} = 3.79 \ equipos \ \approx \mathbf{4 \ equipos \ informaticos}$$

Máquinas para impresión 3D

Como su nombre lo dice estas maquinarias son las utilizadas para generar las impresiones 3D, sus detalles técnicos serán presentados más según las necesidades en las que se requiere el modelo, a continuación, se detalla su requerimiento.

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = Tiempo\ por\ modelos\ en\ horas\ x\ Demanda\ anual$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = \ 602\ \frac{min.}{modelo}\ x\ \frac{1\ hora}{60\ min}\ x\ 627\ \frac{Modelo}{\text{año}}$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ del\ equipo = \ 6{,}419.2\ \frac{horas}{\text{año}}$$

$$N°\ de\ Máquinas = \frac{6{,}290.9\frac{horas}{\text{año}}}{1{,}087\ \frac{horas}{\text{año}}} = 5.79\ máquinas\ \approx \mathbf{6\ M\acute{a}squinas\ de\ impresi\acute{o}n}$$

Máquinas limpiadoras

La función de esta máquina es limpiar la pieza impresa usado alcohol isopropílico, lo que permite tener una mejor presentación de la pieza, sus características serán detalladas más adelante y su requerimiento son los siguientes:

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = Tiempo\ por\ modelos\ en\ horas\ x\ Demanda\ anual$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = \ 20\ \frac{min.}{modelo}\ x\ \frac{1\ hora}{60\ min}\ x\ 627\ \frac{Modelo}{\text{año}}$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = \ 213.33\frac{horas}{\text{año}}$$

$$N°\ de\ Máquinas = \frac{209\ \frac{horas}{\text{año}}}{1{,}087\ \frac{horas}{\text{año}}} = 0.192\ máquinas\ \approx \mathbf{1\ M\acute{a}squinas\ de\ limpieza}$$

Debida a que el modelo es diseñado bajo la estructura de investigación experimental, se recomienda la adquisición inicial de dos máquinas de limpieza ya que puede procederse inconvenientes de diferente índole y así no se ve detenida la operatividad.

Máquina de curado

La máquina de curado cumple la función de dar un mejor acabado a la pieza impresa, en este proceso se busca dejar una pieza con mejores condiciones para el uso de los médicos en el proceso de análisis de los padecimientos del paciente, sus especificaciones se presentan más adelante y sus requerimientos son los siguientes:

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = Tiempo\ por\ modelos\ en\ horas\ x\ Demanda\ anual$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = \ 20\ \frac{min.}{modelo}\ x\ \frac{1\ hora}{60\ min}\ x\ 627\ \frac{Modelo}{año}$$

$$Tiempo\ de\ operacion\ de\ la\ maquinaria = \ 213.33 \frac{horas}{año}$$

$$N°\ de\ Máquinas = \frac{209\ \frac{horas}{año}}{1{,}087\ \frac{horas}{año}} = 0.192\ máquinas \approx \mathbf{1\ M\acute{a}squinas\ de\ curado}$$

Al igual que en el elemento anterior, para esta maquinaria se recomienda la adquisición de una más por si en el proceso operativo y uso de la maquinaria llegara a surgir algún fallo y poder dar soluciones inmediatas a los médicos que utilizan el servicio.

En resumen, se menciona que a todas las maquinarias se le aproxima al número entero mayor, ya que se busca siempre brindar el cumplimiento de la demanda y dar respuestas eficientes en el proceso de generación de impresiones 3D, a continuación, se presenta un cuadro resumen que establece los requerimientos de maquinara.

Tabla 107: Requerimiento de Maquinaria y equipo

Tipo de equipo y maquinaria	Cantidad requerida
Equipo informático	4
Impresoras 3D	6
Máquinas de limpieza	2

Tipo de equipo y maquinaria	Cantidad requerida
Máquinas de curado	2

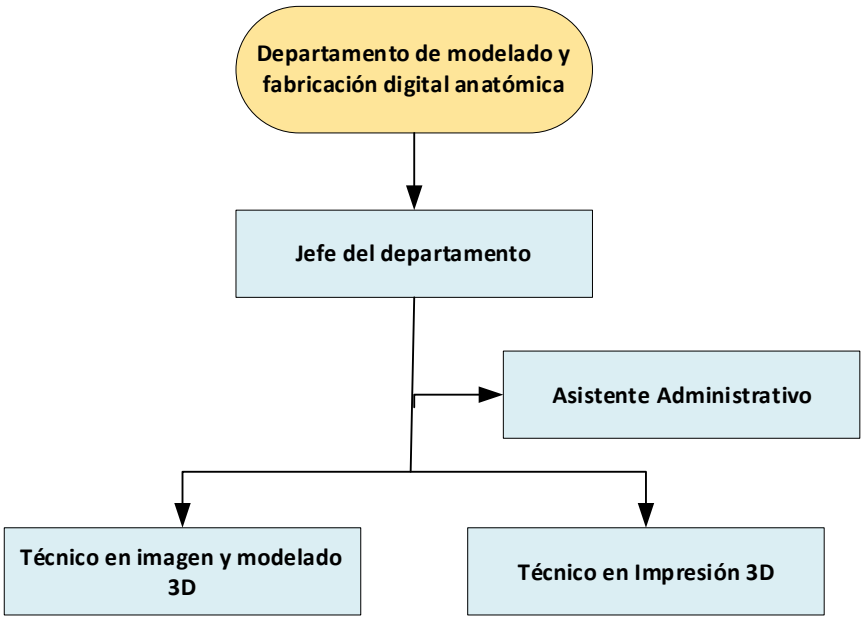
Fuente: Elaboración propia

- **Requerimiento de mano de obra**

Para el requerimiento de mano de obra se toma como base el manual organizacional que se detalla más adelante y así mismo los requerimientos de maquinaria que son la base para la operatividad del modelo, el manual organizacional toma como base la estructura organizacional de modelo, por lo cual se presenta las siguientes estructuras:

Estructura A.

Ilustración 117: Organigrama del departamento de modelado y fabricación digital anatómica.



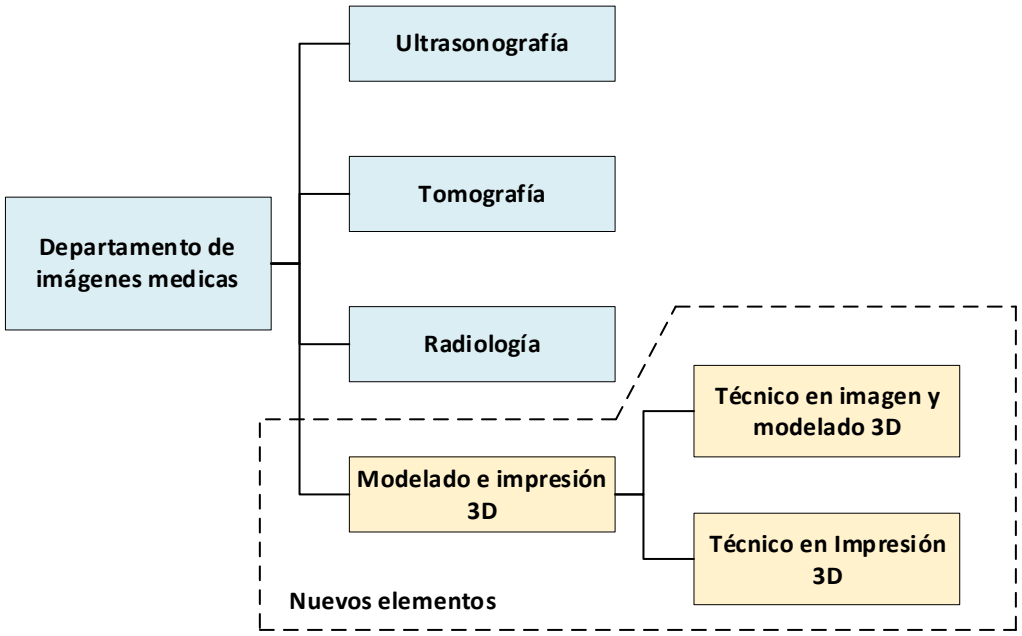
Fuente: Elaboración propia.

En La estructura organizacional "A" definida anteriormente, representa la incorporación del ***Departamento De Modelado Y Fabricación Digital Anatómica***, el cual se incorpora en la organización actual del hospital tipo, siendo el seno de esta ***La División De Servicios De Diagnóstico Y Apoyo*** este último es donde se radica la estructura organizacional a incorporar.

teniendo como base el funcionamiento del modelo en estudio; teniendo en cuenta los elementos a incorporar se establece la siguiente tabla que muestra la cantidad de personal requerido para operar el modelo.

Estructura B.

Ilustración 118: Organigrama para departamento de imágenes médicas.



Fuente: Elaboración propia.

La estructura organizacional "B" establece la incorporación del **área de modelado y fabricación digital anatómica**, en el **departamento de imagen medica** establecido en el hospital tipo, teniendo en cuenta la necesidad de establecer el área dentro de un sistema ya definido; aunque se considere estos dos factores, las funciones definidas para la mano de obra a incorporar no se ve afectada y su operatividad es la misma.

Nota: *En el apartado 3.3 denominado manuales técnicos, se puede identificar el manual organizacional que está enfocado en la estructura A, esto teniendo en cuenta que la institución implementadora desee crear un nuevo departamento para el funcionamiento del modelo. En el caso que la institución desee aplicar la estructura organizacional B, se debe de considerar del*

manual solo las funciones de los nuevos puestos de trabajo, que serían incorporados a manual que posea actualmente dicha institución, teniendo en cuenta que se desaparece elementos como jefatura del departamento ya que se incorporan a un departamento ya establecido.

Tabla 108: Puestos de trabajo para la estructura organizacional del departamento

Puesto de trabajo	Objetivo	Cantidad de personas
Jefe de departamento	Planificar, organizar, dirigir y controlar la gestión operativa del departamento, esto a través de la implementación de procesos administrativos innovadores y eficientes, en armonía con las normativas de la entidad, para realizar la Gestión administrativa eficaz y eficiente.	**1**
Asistente administrativo	Apoyar en el desarrollo de la gestión administrativa del departamento de modelado y fabricación digital anatómica, brindado apoyo en a la jefatura en el control documental y manejo de control de la carga de trabajo	**3**
Técnico en imagen y modelado 3D	Realizar el modelo virtual de la anatomía compleja que representa la malformación congénita de los pacientes atendidos en el área de cardiología para su posterior impresión 3D.	**12**
Técnico en impresión 3D	Realizar las impresiones 3D de las anatomías complejas que representan las malformaciones congénitas de los pacientes atendidos en el área de cardiología para apoyar en la simulación	**6**

Puesto de trabajo	Objetivo	Cantidad de personas
	quirúrgica, estructuración y comunicación del plan de intervención quirúrgica.	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se presenta la cantidad de personal requerido por cada puesto de trabajo establecido, pero se debe de justificar el porqué de estas cantidades para ello se plantea lo siguiente:

Tabla 109: Cantidad de personas en cada puesto de trabajo y justificación

Puesto de trabajo	Cantidad de personas	Justificación
Jefe de departamento	**1**	• Debido a que sus funciones son netamente de gestión y administración, se considera a bien asignar a una persona. • Una sola persona ejerce la jefatura y puede gestionar de una manera más apropiada las problemáticas. • Mejor control del personal asignado y no existen problemas de dualidad de mando.
Asistente administrativo	3	• Debido a que se ejecutaran turnos rotativos, es necesario tener a una persona por turno. • Debido a que dentro de sus funciones está el dar ingresos y salidas a los modelos solicitados es necesario una persona por turno.
Técnico en imagen y modelado 3D	**12**	• Teniendo en cuenta que estas personas son las diseñadoras de los modelos digital es necesario tener la cantidad necesaria en cada turno.

Puesto de trabajo	Cantidad de personas	Justificación
		• Se debe de mencionar que este es un trabajo donde se requiere de una persona directa operado una máquina, se estima esa cantidad de personal. • Se toma de referencia la necesidad de que se labore las 24 horas del día, los 7dias de la semana, se toma ha bien esta cantidad de persona. • El ideal es establecer tres turnos rotativos según lo defina la institución, por lo cual se estima 4 personas por turno.
Técnico en impresión 3D	**6**	• En el caso de los técnicos de impresión, se estima que se puede emplear dos técnicos por turno. • Cada técnico tendrá a su cargo un estimado de 3 máquinas, esto debido a que sus requerimientos nada más se emplea en el proceso de preparación y la impresión 3D es ejecutada directamente por la máquina. • Cabe mencionar que este también tendrá a su cargo el dar mantenimiento, generar el curado y limpieza de las piezas impresas.

Fuente: Elaboración propia

Como se ha mostrado en el cuadro anterior, se detallan justifican de las cantidades de personal requerido, todo esto se ve sujeto a las necesidades del hospital tipo, pero este tiene la libertad de acomodar los requerimientos de los recursos según lo consideren apropiado y optimo.

También se cabe mencionar que, para operar 24 horas, los 7 días de la semana, se sugieren tres turnos rotativos, donde el ente tomado como referencia tiene la libertad de generar

los turnos según estime conveniente y se puede acoplar la operatividad de las áreas de trabajo relacionadas con el mismo.

Estructura recomendada

Si bien la etapa de diseño se ha enfocado en el establecimiento de un departamento de modelado e impresión 3D de anatomías, es esencial presentar una comparativa de cuál es la mejor opción a nivel organizacional que la institución interesada en ejecutar su implementación, teniendo en cuenta esto se define los siguientes aspectos considerados para definir la opción más conveniente.

La integración de un área de modelado e impresión 3D de anatomías complejas en un departamento de imágenes médicas de un hospital, o la creación de un departamento específico para esta tarea, implica una serie de decisiones estratégicas que afectan la facilidad de búsqueda de inversión, la aceptación organizacional y el manejo de recursos. A continuación, se presenta una evolución de ambas opciones:

Opción 1: Integrar el área de modelado e impresión 3D en el departamento de imágenes médicas existente	***Opción 2: Crear un departamento específico para modelado e impresión 3D***
Ventajas: • Facilidad de Aceptación: La integración en un departamento existente puede ser más fácilmente aceptada por la organización. • Uso Eficiente de Recursos: Aprovechar los recursos y personal existentes del departamento de imágenes médicas. • Facilidad de Búsqueda de Inversión: Es más fácil justificar la	Ventajas: • Especialización: Un departamento específico puede enfocarse completamente en la tecnología 3D, lo que puede mejorar la calidad y eficiencia. • Innovación: Un departamento independiente puede ser más flexible y ágil en la adopción de nuevas tecnologías y métodos.

Opción 1: Integrar el área de modelado e impresión 3D en el departamento de imágenes médicas existente	*Opción 2: Crear un departamento específico para modelado e impresión 3D*
inversión al mejorar y ampliar las capacidades de un departamento ya existente. Desventajas: • Resistencia al Cambio: Puede haber resistencia por parte del personal existente que no está familiarizado con la tecnología 3D. • Limitaciones de Espacio y Recursos: El departamento de imágenes médicas puede tener limitaciones de espacio y recursos que dificulten la integración.	• Atracción de Inversión: Un nuevo departamento puede ser más atractivo para inversionistas interesados en innovación y tecnología médica. Desventajas: • Mayor Costo Inicial: Crear un nuevo departamento requiere una inversión inicial significativa. • Desafíos de Aceptación: Puede ser más difícil lograr la aceptación de la organización para un nuevo departamento en comparación con la integración en un departamento existente. • Duplicación de Recursos: Puede haber duplicación de recursos si no se coordina adecuadamente con otros departamentos.

<u>En resumen</u>

- La decisión entre integrar el área de modelado e impresión 3D en el departamento de imágenes médicas existente o crear un nuevo departamento específico depende de varios factores, incluidos los recursos disponibles, la cultura organizacional y las prioridades estratégicas del hospital.

- Integrar el área en un departamento existente puede ser más fácil de aceptar y justificar en términos de inversión, pero puede enfrentar desafíos de resistencia al cambio y limitaciones de recursos. Por otro lado, crear un nuevo departamento puede ofrecer más especialización y atraer inversión, pero requiere una mayor inversión inicial y puede ser más difícil de aceptar organizacionalmente.

10.7.2.9. Especificaciones de maquinaria y equipo

En este apartado se establecen las características físicas que los equipos de impresión 3D de tecnología SLA deben poseer para cumplir con las proyecciones de trabajo y calidad superficial esperada.

- **Maquinaria del modelo**

A. <u>Impresora 3D de resina.</u>

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas que la impresora 3D debe poseer para obtener los resultados esperados en cuanto a calidad superficial de la impresión y cantidad de trabajo en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en el área de cardiología.

Tabla 110: Especificaciones técnicas de impresora 3D

Especificaciones técnicas	Descripción
Tecnología	Estereolitografía (SLA)
Componentes claves del motor	• Tanque de resina con película flexible • Sistema de control digital con pantalla táctil • Manipulación automática de la resina a alta velocidad
Volumen de trabajo	Altura de 30 cm x profundidad de 20 cm x ancho de 30 cm. Equivalente a 21.4 L.
Área de impresión	Igual o mayor a 600 cm cuadrados
Longitud máxima de la pieza	30 cm
Fuente de luz	2 láseres de 250 mega W. Laser violeta de 405 nm.

Especificaciones técnicas	Descripción
Grosor de capas	25 – 300 µm (micrones)
Velocidad media de impresión	• 40 mm/h para todos los tipos de resinas • Intervalo de 15 – 100 mm/hora en función del tipo de resina
Velocidad máxima de impresión	100 mm/h
Vida útil estimada	• 600,000 – 1,900,000 capas, tomando en cuenta el material y el grosor de capa • Equivalente a 5,000 impresiones de 22 mm de altura y un grosor de capa de 100 µm
Temperatura de funcionamiento optimo	Ambiente de 18°c a 28°c
Requisitos de alimentación	• 100 – 240 VAC • 8.5 A • 50/60 Hz • 650W
Conectividad	• Wifi • Ethernet (1000 Mbit) USB-C 2.0
Tamaño total de la impresora	Ancho de 39,8 cm × profundidad de 36,7 cm × alto de 55,4 cm

Fuente: Elaboración propia

Ilustración de referencia

Ilustración 119: Impresora 3D de tecnología SLA de dimensiones mínimas de escritorio.



Fuente: Sitio web formlabs.

B. Especificaciones técnicas de la máquina de lavado

Se presentan las especificaciones técnicas del equipo de lavado de impresiones 3D de resina necesarias en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en el área de cardiología.

Tabla 111: Especificación técnica de máquina de lavado

Especificaciones técnicas	Descripción
Dimensiones máximas de impresiones	Altura de 30 cm X profundidad de 20 cm X ancho de 30 cm.
Dimensiones de equipo recomendadas	78 x 46 x 67 cm
Método de agitación	Automático por vibración o giratorio.
Disolventes compatibles	Alcohol isopropílico, éter mono metílico de tripropilenglicol, agua
Entorno de funcionamiento recomendado	Recomendado en el rango de 18 °C - 28 °C
Volumen de la cubeta	14 L
Requisitos de alimentación	220-240 V 2,0 a, 50/60 Hz 50 W
Adaptabilidad a bases de impresoras	Compatible con diferentes bases de impresión, con soportes ajustables y configurable a diversas alturas y anchuras.
Compatibilidad y acoplamiento con accesorios	• Hidrómetro para chequear la saturación del alcohol isopropílico • Bomba de sifón para la transferencia de alcohol isopropílico dentro y fuera de la cubeta

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 120: Máquina de lavado de tecnología SLA, dimensiones de escritorio.



Fuente: Sitio web formlabs.

C. Especificaciones técnicas de la máquina de post curado

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas mínimas necesarias en el equipo de post curado de impresiones 3D con resina para su utilización en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en el área de la cardiología.

Tabla 112: Especificaciones técnicas de máquina de post curado

Especificaciones técnicas	**Descripción**
Movimiento de curado	Giratorio para garantizar una exposición uniforme.
Diámetro de la plataforma giratoria	39 cm
Altura máxima de las impresiones	30 cm
Temperatura máxima de la cámara de curado	80 °C
Fuente de luz	De 10 a 45 leds multidireccionales
Potencia del led	De 40 W a 70 W
Potencia radiante del led	De 9 W a 36 W

Especificaciones técnicas	Descripción
Longitud de onda del led	De 375 nm a 405 nm
Temperatura de funcionamiento	18—28 °C
Requisitos de alimentación	220-240 VAC 50-60 Hz 8 A.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 121: Máquina de curado de tecnología SLA, dimensiones de escritorio.



Fuente: Sitio web formlabs.

D. <u>Especificaciones técnicas del equipo computacional</u>

Se presentan las especificaciones técnicas de la computadora requerida para el trabajo a realizar en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador. Se recalca que la computadora es clave para el diseño asistido por computadora, específicamente para el diseño y modelado virtual de anatomías cardiacas de mal formaciones congénitas complejas.

Tabla 113: Especificaciones técnicas de equipo computacional

Especificaciones técnicas	Descripción
Sistema operativo	64 bits, Windows 11
Procesador	De 2.9 a 4 GHz
RAM	16 GB

Especificaciones técnicas	Descripción
Almacenamiento	Mínimo de 512 GB
GPU	Mínimo de 1 a 4 GB de VRAM
Dispositivo de salida	Monitor de al menos 24″ Resolución: FHD 1080 p Frecuencia de actualización: 100 Hz Resolución de pantalla máxima: 1924 x 1080 Píxeles Alimentación de: 50/60 Hz, 100-240V.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 122: Equipo computacional para el diseño asistido por computadora.



Fuente: Sitio web Promed.

- **Software y programas del modelo**

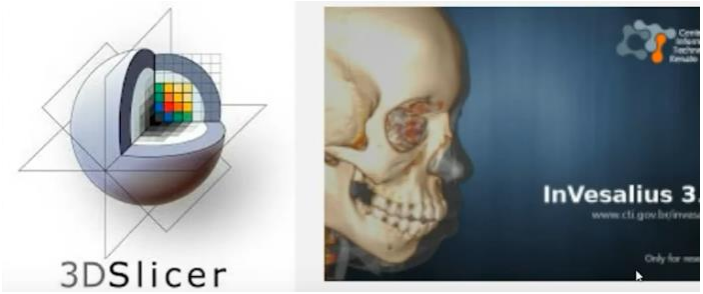
A. <u>Especificaciones de software para el modelado virtual e impresión 3D</u>

En el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre operación quirúrgica en el área de cardiología el modelado virtual y la segmentación de un órgano o arteria especifica es un factor clave y previo a la impresión 3D, sin embargo, con la evolución de la fabricación digital, los softwares CAD (Softwares para el diseño asistido por computadora) han proliferado y se han diversificado en diferentes áreas tales como la ingeniería civil, mecánica, industrial, arte y también medicina e ingeniería médica.

Los sistemas CAD para el área de la medicina son softwares de ingeniería médica basado en imágenes 3D o archivos DICOM que permite el análisis de imágenes de radiografía computarizada, estudio científico, modelado 3D en computadora, segmentar órganos o arterias de manera focalizada, escalar las dimensiones de los elementos y exportar los archivos a formatos que los softwares controladores de impresoras 3D son capaces de procesar.

Existe una gran variedad de estos softwares, siendo su calificación más común en función de si el software es gratuito o de código abierto o con licencia de paga. La diferencia principal entre los softwares son herramientas plus o que aportar un valor agregado único para cada proveedor.

Ilustración 123:Softwares libres de modelado virtual para imágenes médicas.



Fuente: Sitio web 3D Slicer.

Ilustración 124:Softwares de paga de modelado virtual para imágenes médicas.



Fuente: Sitio web Ostrix y Materialise Mimics

A continuación, se presentan las especificaciones y funciones requeridas en el software a utilizar en el modelo:

Tabla 114: Especificaciones de software de modelado

Funciones	Descripción
Archivos de entrada	Compatible con archivos DICOM
Visualización de radiografía	Visualización de radiografía computarizada como marco de referencia primario para los médicos y equipo diseñador
Visualización de elementos anatómicos	Visualización interactiva de imágenes volumétricas de Voxel, mallas poligonales y representaciones de volumen.
Edición	Herramientas de edición manual y automático
Segmentación	Segmente su anatomía de manera eficaz, de manera manual y automatizada por medio de herramientas de diseño inteligente para obtener modelos exactos en 3D
Estudio y análisis de anatomía	Identificación de puntos de referencia más importantes en la anatomía con un amplio grupo de herramientas de medida en 3D.
Foros públicos en la web	Acceso a foros públicos en la web para consultar dudas y obtener información y nuevas herramientas
Instalación	Compatible para equipos de Al menos 8 GB de RAM Windows 7 en adelante
Archivo de salida	Archivos STL

Fuente: Elaboración propia

Herramientas de trabajo

A. Espátula plástica

Esta herramienta es de utilidad en las actividades productivas del modelo, posee las siguientes características:



- Espátula de plástico
- Ancho de hoja 4 pulgadas
- Proporciona facilidad para limpiar o lavar

B. Alicate metálico de punta larga

Es otra de las herramientas requeridas en el proceso de fabricación de los modelos, teniendo en cuentas los procesos diseñados como herramienta de apoyo, sus características son:



- Tenaza de punta larga
- Elaborado en acero cr-n
- Longitud 6 pulgadas (15.2 centímetros)
- Mandíbulas estriadas
- Sección de corte a presión manual
- Mangos recubiertos con doble vinil antideslizante

C. Pinza metálica larga y curva

Pinzas largas de pinzas dobladas, son utilizadas en el proceso de producción y tiene características como se define lo siguiente:



- Material: hecho de material de acero inoxidable con excelente flexibilidad, resistente y resistente a la corrosión, duradero y confiable, conveniente para usar en la vida diaria.
- Diseño antideslizante: las pinzas curvadas tienen puntas dentadas para garantizar un agarre apretado sin deslizarse. el mango con ranura se puede agarrar con antideslizante, el mango acanalado proporciona seguridad, lo que es muy conveniente.
- Amplio uso: adecuado para cocinar, barbacoa, belleza, reparación eléctrica, fines de farmacia y manualidades

D. Bisturí o escalpelo de acero inoxidable



Durante los procesos de producción se define el uso de los bisturí para el desarrollo de las actividades, estos tienen las siguientes características:

- Acabado altamente pulido para resistencia estética y a la corrosión.
- Alto Grado de Precisión y Flexibilidad al realizar el Procedimiento Clínico.
- Acero inoxidable de primera calidad con artesanía superior.
- **Equipo de protección**

En este apartado se detalla elementos que son de principal ayuda en la seguridad del personal que opera en el modelo, su función es brindar la protección necesaria para evitar accidentes debido a la exposición de los riesgos a los que someten, tomando en cuenta los tipos de riesgos a los que se pueden ver expuesto el personal del área, a continuación, se presenta el equipo de protección personal requerido:

A. Respiradoras con filtros



Para máxima seguridad en la operatividad del operario, es esencial el empleo de máscaras respiradoras con filtros ante vapores orgánicos (clase de filtro: P100), algunas características:

- La mascarilla media cara siliconada brindar una protección más cómoda y su material está diseñado para ser más duradero.
- El peso del respirador con filtro: Aprox. 295.50 gr. y el peso eso de la mascarilla sin filtros: Aprox. 125.7gr.
- El respirador puede ser utilizado con diferentes tipos de cartucho o filtros para poder ser utilizado en las diferentes protecciones que los filtros ofrecen.

- Su diseño ofrece una mejor visibilidad al usuario, también ayuda a disminuir la fatiga; a su vez tiene la válvula de exhalación que ofrece una salida más rápida del aire caliente.

B. Mascarillas con carbón activo



Para manipulación rápida y para seguridad del personal que opere en el departamento, se implementa también el uso de mascarillas con carbón activo, algunas características de estas son:

- Respirador contra partículas R95. Fabricado en fibras de polipropileno Capa de carbón activado.
- La capa de carbón activado está diseñada para proteger contra niveles molestos* de vapores orgánicos.
- Usos y Aplicaciones Polvo Para procesos fundición, laboratorios, agricultura, petroquímica, industria farmacéutica, carpinterías, fábricas de calzado, petroquímica, entre otros.

C. Guantes de nitrilo libre de látex



Los guantes de nitrilo libre de látex desechable son útiles en la manipular la resina, evitando así el contacto directo con la piel y protegiendo así al colaborados, entre sus características se destaca:

- Solución ideal para personas sensibles al látex; proporcionan gran agarre y un movimiento adecuado para los dedos.
- Durabilidad y resistencia a pinchazos.
- Ideal para uso médico, bioseguridad, industria de alimentos, industria de belleza, cuidado personal, entre otro

D. Bata de protección (Reutilizables),



La bata de protección sirve para evitar el contacto de resina con las manos y el resto de la ropa, el material por el cual está estructurado es de tela que permite que esta sea reutilizable, se destaca elementos como:

- Tejido con excelentes materiales que aseguran un agradable confort.
- Fácil mantenimiento: la composición de cada pieza está estructurada cuidadosamente para asegurar un fácil lavado y durabilidad lavada tras lavado.
- No látex
- Espalda entallada con pinzas, cinturón y abertura trasera

E. Gafas de seguridad



Las gafas de seguridad sirven para proteger los ojos en caso de salpicaduras o derrames accidentales. se puede destacar características como:

- Lentes de seguridad autoajustables.
- Lentes de protección anti empañante y anti-rayaduras. Ya sea para el laboratorio, un sitio de construcción o donde sea que se utilicen para el trabajo.
- Puede obtener un equilibrio óptimo entre la protección visual,
- El rendimiento y la comodidad que necesita, todo en un diseño que se adapta a su estilo.
- Incluidas aplicaciones de fabricación, soldadura, construcción, militares, médicas y dentales.

10.7.2.10. Requerimientos físicos de las instalaciones de trabajo

La implantación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología requiere de condiciones físicas para el ambiente de trabajo con la finalidad de optimizar el proceso de fabricación 3D, el flujo de trabajo y un ambiente ergonómico y cómodo para los colaborares.

Los factores relevantes para el ambiente físico son la temperatura, la humedad, la ventilación, red eléctrica disponible y la ubicación estratégica de los equipos de fabricación 3D.

Temperatura y humedad

A continuación, se muestran los principales los lineamientos de temperatura y humedad a seguir para garantizar una óptima fabricación digital.

i. Para obtener impresiones de calidad tanto la temperatura como la humedad deben estar dentro de intervalos de limites admisibles. También, se debe tomar en cuenta que las impresoras y otros equipos aumentan su temperatura al trabajar.

Tabla 115: Intervalos de temperatura y humedad idóneos

Condiciones idóneas	Intervalo admisible
Temperatura	15° C a 25° C
Humedad relativa	30% a 70%

Fuente: Elaboración propia

ii. Gestionar la instalación de un sistema de aire acondicionado, pues en entornos muy calientes el flujo del material o las retracciones pueden verse afectadas, dejando hilos o burbujas sobre la superficie de la pieza.

iii. Utilizar un higrómetro para controla la humedad en la habitación. Tomar en cuenta que la humedad puede dañar los componentes electrónicos de los equipos, y afecta en mayor

medida a los materiales de impresión por los que se recomienda no exceder del 50% de humedad relativa y almacenar materiales e insumos después de utilizarlos.

iv. Proporcionar un ambiente ventilado, que permita controlar con facilidad la temperatura y la humedad. Se sugiere utilizar una habitación con ventanas de excelente ventilación, flujo de aire constante o instalar extractores de aire.

Ventilación

En cuanto a este factor, la importancia de una correcta ventilación en el ambiente alrededor de la impresora radica en evitar que se acumulen los gases emitidos durante el proceso de impresión y el fuerte olor de las resinas. Los gases mencionados pueden llegar a tener efectos nocivos para la salud al inhalarse constantemente. A continuación, se describen los principales lineamientos para una buena ventilación en el área de impresión 3D:

i. El espacio de trabajo debe poseer ventilación natural o artificial, pues una atmosfera cargada de disolvente puede llegar a provocar dolores de cabeza, somnolencia y vértigo en las personas.

ii. El aire debe circular en la habitación donde se ubica la impresora 3D y el resto de los equipos, proporcionando suficiente espacio entre los equipos y las paredes.

iii. Se recomienda una conexión a un conducto de ventilación externo, por lo que se debe gestionar la instalación de un extractor de aire en la pared externa, ubicado cerca de la parte posterior de la impresora 3D y del área de lavado de impresiones.

iv. Al no existir algún un sistema de extracción de aire, el sistema de ventilación de la sala debe cambiar el aire al menos cuatro veces por hora, (Stratasys, 2014).

v. Evitar cubrir las rejillas de ventilación de las impresoras 3D para asegurar la correcta circulación del aire entre los elementos electrónicos.

Instalación eléctrica

El factor eléctrico es determinante para asegurar el trabajo ininterrumpido de un proceso de modelado virtual, impresión 3D, de lavado o post curado, por lo que se mencionan los siguientes lineamientos principales:

i. Proporcionar una fuente de energía eléctrica estable y confiable.

ii. Instalar o procurar un tomacorriente cercano a las computadoras, impresoras, máquina de lavado y de post curado, conectados a través de dispositivos UPS.

iii. Las computadoras, impresoras 3D, máquina de lavado, máquina de post curado y dispositivos UPS deben conectarse a tierra mediante un enchufe de CA, asegurándose que la salida de CA esté conectada adecuadamente a tierra.

iv. Se recomienda que la energía eléctrica proporcionada a través de un UPS debe suministrarse directamente desde el panel eléctrico principal, sin otros tomacorrientes en la línea, de tal manera que los cortes eléctricos debido al sobre cargo energético paralice el trabajo de fabricación.

v. La instalación eléctrica debe tomar en cuenta los siguientes rangos de alimentación eléctrica nominal de las impresoras 3D.

Potencia nominal de la impresora:

- 100–120 VCA, 50–60 Hz, 13,5 A
- 200-240 VCA, 50–60 Hz, 7 A

vi. El dispositivo UPS debe cumplir con las funciones mostradas a continuación:

- Garantizar que la calidad de la impresión no sea afectada por fluctuaciones de electricidad de la red eléctrica.
- Cuidar que la impresora puede programarse para realizar un correcto paro de trabajo, en el caso de una falla eléctrica.

Tabla 116: Especificaciones técnicas del dispositivo UPS

Especificaciones técnicas	Descripción
Voltaje	100 – 120 VCA / 200-240 VCA
Corriente	16 a / 8 A
Energía eléctrica	1500 VA
Factor de potencia	0.9
Tiempo de alimentación puente	15 minutos
Interfaz	Puerto USB.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 125: Dispositivo UPS.



Fuente: Sitio web Aeon.

Condiciones físicas para las estaciones de fabricación

En cuanto a las condiciones físicas, se mencionan los siguientes lineamientos generales del espacio de trabajo:

i. Las computadoras, impresoras 3D, máquina de lavado, máquina de post curado y otros deben ser ubicados en la misma sala, o células de trabajo.

ii. Proporcionar libre acceso a las impresoras 3D para facilitar las tareas rutinarias y de mantenimiento, de tal manera que las impresoras y demás equipos involucrados tengan suficiente espacio en todos sus lados.

iii. El área de trabajo debe estar libre de fuentes de vibración e interferencia electromagnética que podrían afectar la funcionalidad apropiada de la impresora 3D.

iv. El piso del área de trabajo debe ser estable y debe soportar el peso de la impresora. El desnivel del piso debe ser inferior al 0,5% (no debe tener más de 5 mm por metro).

v. El espacio alrededor y por encima de la impresora 3D debe estar libre para asegurar un acceso y un mantenimiento convenientes.

vi. El área alrededor de la impresora debe permanecer seca. No colocar la estación de limpieza a menos de 5 metros (16 pies) de la impresora.

vii. Los estantes y gabinetes deben estar ubicados cerca de la impresora 3D para permitir el almacenamiento conveniente de herramientas, materiales e insumos.

viii. Realizar limpieza diaria y esterilizar el espacio de trabajo, en el equipo, mesas de trabajo y herramientas.

ix. El alcohol isopropílico debe almacenarse en un lugar alejado de lugares calientes, chispas, llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición.

Análisis y diseño de distribución de las instalaciones de trabajo para el modelo

El siguiente análisis busca establecer la distribución de las diferentes áreas de trabajo para optimizar la generación de los servicios que ofrece el modelo, de tal manera que guie y orienté la instalación de los elementos productivos al llegar el momento de la incorporación y aplicación del modelo. El presente apartado cuenta con una serie de análisis que se ejecutan de forma secuencial y ordenada para obtener una propuesta aproximada de la mejor distribución del área de trabajo que contendrá el departamento de modelado y fabricación digital anatómica.

Definición de las áreas de trabajo del modelo

Este elemento de análisis de la distribución en planta define las áreas que se ven involucradas de manera interna en las operaciones que deben realizarse para la generación de

los servicios de fabricación digital. La identificación de las áreas se realiza en función de la estructura de organizacional propuesta para el modelo.

Tabla 117: Áreas de trabajo del departamento de modelado y fabricación digital anatómica

Área de trabajo	Descripción
Administración	Alberga al jefe del departamento y al asistente administrativo. Conformara las oficinas administrativas del departamento.
Imagen y modelado 3D	Alberga al técnico en imagen y modelado 3D. Está área será destinada para la ubicación del equipo informático en los cuales se realizarán los diseños y modelados virtuales de las solicitudes de trabajo de anatomías complejas o malformaciones congénitas.
Almacenamiento de materiales y suministros	Consiste en el área en la que se deben almacenar los materiales de impresión 3D tales como las resinas y los insumos requeridos como el alcohol isopropílico, amonio cuaternario, herramientas y otros.
Impresión 3D	Es el área que albergará las impresoras 3D de tecnología SLA, de tal manera que consistirá en la zona de fabricación de las pizas solicitadas.
Mesas de trabajo	Área de trabajo en la que ejecutaran actividades de apoyo para todas las actividades principales que deben realizarse, y que, por lo tanto, debe poseer un área claramente definida evitando así la desorganización.
Limpieza y corte	Consiste en el área de trabajo enfocado en las primeras actividades de limpieza y corte de las estructuras de impresión 3D que son parte de las piezas anatómicas.
Lavado de impresión 3D	Es el área de trabajo en la que se deben ubicar los equipos de lavado de impresión 3D. El trabajo es realizado de manera automática por medio del equipo identificado.
Post curado	Consiste en el área de trabajo que busca otorgar un post curado a las impresiones 3D mejorando su resistencia mecánica y calidad superficial.
Esterilización y empaque	Está área de trabajo que esteriliza y empaca las piezas fabricadas debido a que deben ser enviadas a espacios esterilizados para su estudio, manipulación en prácticas y planificaciones quirúrgicas.

Área de trabajo	Descripción
Entrega de producto terminado	Es el área en la que el departamento hace la entrega las piezas fabricadas son entregadas a los solicitantes o bien para realizar el almacenamiento temporal y gestión de entregar a largas distancias.

Fuente: Elaboración propia

Carta de actividades relacionadas

A continuación, se presenta el diagrama de relación de actividades, enfocado en el departamento de modelado y fabricación digital anatómica, el cual permite identificar la ubicación de espacios de trabajo de acuerdo con la importancia de relación de cada una de las áreas, además que permite crear una representación clara y concisa de las diversas tareas que se relacionan entre sí en términos de secuencia y precedencia.

Para la construcción de la carta se establecen el código alfabético y el color de líneas para identificar la importancia de relación entre las áreas de trabajo identificadas, así como también tal como se muestra a continuación.

Tabla 118: Carta de actividades relacionadas.

Carta de actividades relacionadas	
Proceso: Modelado virtual e impresión 3D	Método: Propuesto
Elaborado por: Danilo Oviedo y Nelson Vásquez.	Departamento: Modelado y fabricación digital anatómica.
Fecha: 20/05/2024	Revisado por: Ing. Francisco Orlando Reyes

Fuente: Elaboración propia.

Código y relación de proximidad

Tabla 119: Tabla de códigos y colores de líneas asociados.

Código	Proximidad	Color
A	Absolutamente necesario	**Rojo**
E	Especialmente importante	**Verde**
I	Importante	**Purpura**
O	Ordinario o normal	**Azul**
U	Sin importancia	**Sin línea**
X	No recomendable	**Negra**

Fuente: Elaboración propia.

Código de criterio de proximidad

Tabla 120: Criterios de proximidad.

Código	Motivos
1	Estrecha relación entre las operaciones
2	Requieren el mismo espacio de trabajo
3	Manejo rápido y seguro de materiales y suministros
4	Supervisión y control inmediato
5	Relación y cercanía poco importante

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de relación de actividades

Ilustración 126: Diagrama de relación de actividades.



Fuente: Elaboración propia.

El diagrama muestra, para el caso del área 1 de administración que tiene una proximidad especialmente importante con el área 2 de imagen y modelado 3, con base al criterio 4 el cual indica que se debe a la supervisión y control inmediato, y así sucesivamente para las relaciones entre todas las áreas de trabajo identificadas para el departamento.

Tabla de relación de actividades

Con base al desarrollo de la carta de relación de actividades, se crea la tabla de relaciones de actividades, donde se presenta en manera resumida, como se relaciona cada área con el resto de área del departamento. Así, por ejemplo, el área 1 de administración tiene el área 2 y 10 con una proximidad especialmente importante, mientras que en proximidad importante y ordinario o normal no tiene área relacionado con ese nivel de importancia.

Tabla 121: Tabla de relación de actividades

No	Área de trabajo	A	E	I	O	U	X
1	Administración		2, 10	3	9	4, 5, 6, 7, 8	
2	Imagen y modelado 3D	4	1, 10			3, 5, 6, 8, 9	7
3	Almacenamiento de materiales y suministros	4, 5	7, 9	1, 10	8	2, 6	
4	Impresión 3D	2, 3, 6	5	7		1, 8, 9, 10	
5	Mesas de trabajo	3, 6	4, 7	8		1, 2, 9, 10	
6	Limpieza y corte	4, 5, 7	8			1, 2, 3, 10	9
7	Lavado de impresión 3D	6, 8	3, 5	4		1, 10	2, 9
8	Post curado	7, 9	6	5	3, 10	1, 2, 4	
9	Esterilización y empaque	8, 10	3		1	2, 4, 5	6, 7
10	Entrega de producto terminado	9	1, 2	3	8	4, 5, 6, 7	

Fuente: Elaboración propia

Resumen de análisis de cantidad de relaciones

La siguiente tabla muestra la cantidad de ocasiones en las que para cada una de las áreas aparece cierto tipo de relación, por ejemplo, en el área 2 de imagen y modelado 3D se detalla que cuenta con 1 proximidad de tipo absolutamente necesario, 2 de tipo especialmente necesario y así sucesivamente. El objetivo de esta tabla es resumir y mostrar los diferentes tipos de relaciones de proximidad para cada área. De este elemento es importante tomar las relaciones de proximidad de tipo absolutamente necesario (A) y del tipo especialmente necesario (E).

Tabla 122: Tabla de resumen de grados de relación por área de trabajo

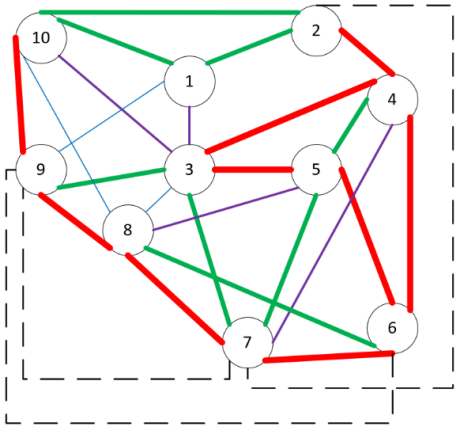
No	Área de trabajo	Grados de relación					
		A	E	I	O	U	X
1	Administración	0	2	1	1	5	0
2	Imagen y modelado 3D	1	2	0	0	5	1
3	Almacenamiento de materiales y suministros	2	2	2	1	2	0
4	Impresión 3D	3	1	1	0	4	0
5	Mesas de trabajo	2	2	1	0	4	0
6	Limpieza y corte	3	1	0	0	4	1
7	Lavado de impresión 3D	2	2	1	0	2	2
8	Post curado	2	1	1	2	3	0
9	Esterilización y empaque	2	1	0	1	3	2
10	Entrega de producto terminado	1	2	1	1	4	0

Fuente: Elaboración propia

Diagrama SLP (Planeación sistemática de la DIP)

Con base al diagrama de actividades relacionadas y las dos tables anteriores, se construye el diagrama de planeación sistémica de la distribución en planta, donde el tipo de relación de proximidad es representada por líneas de diferente color y grosor, mostrando así una representación visual de la ubicación aproximada y la ruta de trabajo a seguir en función de sus relaciones de proximidad.

Ilustración 127: Diagrama SLP del área de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Requerimiento de área

Antes de poder desarrollar una propuesta de distribución de las áreas de trabajo para el departamento de modelado y fabricación digital anatómica, se realiza un análisis de las áreas (en m2) y su asociación con las relaciones de proximidad de tipo A y E, tomando en cuenta la dimensión estimada de las áreas, y así establecer las ubicaciones esperadas. El análisis del requerimiento de área permite conocer el área total requerida y la cantidad bloques que permiten hacer configuraciones de espacio asignado, el cuadro que se puede apreciar a continuación detalla los requerimientos de áreas:

Tabla 123: Hoja de requerimiento de áreas

No.	Área de trabajo	Área (m^2)	Bloques (2m^2)	Relaciones A, E	Importancia
1	Administración	10.00	5	2	20.00
2	Imagen y modelado 3D	16.00	8	3	48.00
3	Almacenamiento de materiales y suministros	8.00	4	4	32.00
4	Impresión 3D	8.00	4	4	32.00
5	Mesas de trabajo	2.00	1	4	8.00
6	Limpieza y corte	2.00	1	4	8.00
7	Lavado de impresión 3D	2.00	1	4	8.00
8	Post curado	2.00	1	3	6.00

No.	Área de trabajo	Área (m^2)	Bloques (2m^2)	Relaciones A, E	Importancia
9	Esterilización y empaque	2.00	1	3	6.00
10	Entrega de producto terminado	1.00	1	3	3.00
	TOTAL	53.00	27		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 124: Puntuación de importancia de la mayor a la menor

No.	Área de trabajo	Importancia	Cantidad de bloques
2	Imagen y modelado 3D	48.00	8
3	Almacenamiento de materiales y suministros	32.00	4
4	Impresión 3D	32.00	4
1	Administración	20.00	5
5	Mesas de trabajo	8.00	1
6	Limpieza y corte	8.00	1
7	Lavado de impresión 3D	8.00	1
8	Post curado	6.00	1
9	Esterilización y empaque	6.00	1
10	Entrega de producto terminado	3.00	1

Fuente: Elaboración propia

Con base a la hoja de requerimiento de áreas se obtiene la tabla anterior, la cual muestra las áreas de mayor grado de importancia hacia la menor, en función del tipo reacción de proximidad y cantidad de área estimada para cada área de trabajo.

Layout de las áreas de trabajo del departamento

El establecimiento de la hoja de requerimiento de áreas anterior da paso al diseño del departamento, lo cual es la propuesta sugerida por la técnica de análisis, sin embargo, en la práctica la instalación y distribución de los equipos está sujeta a la disponibilidad de espacio real y costos de construcción.

Finalmente, se presentan dos propuestas Layout obtenidas con base a los análisis anteriores, en la que se muestran las áreas de trabajo del departamento de modelado y

fabricación digital anatómica. Las propuestas son formadas por medio de cuadros como unidades de representación del espacio requerido, cada uno de los cuadros representan un área de 2 metros cuadrados.

Propuesta 1

Ilustración 128: Propuesta 1 de distribución en bloques.



Fuente: Elaboración propia.

Propuesta 2

Ilustración 129: Propuesta 2 de distribución en bloques.



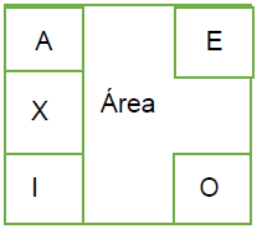
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama adimensional de bloques

En base a la tabla de relación de actividades, diagrama SLP y las propuestas de layout se crea el diagrama de adimensional de bloques, dentro del cual, se analizan cuadros

adimensionales que ayudan a concretar la distribución optima requerida para el departamento, entre los distintos niveles proximidad están: A (esquina superior izquierda), E (esquina superior derecha), I (esquina inferior izquierda), X (centro del lado izquierdo) y O (esquina inferior derecha), recordando que los códigos alfabéticos han sido declarados y descritos en la anterior carta de actividades relacionadas.

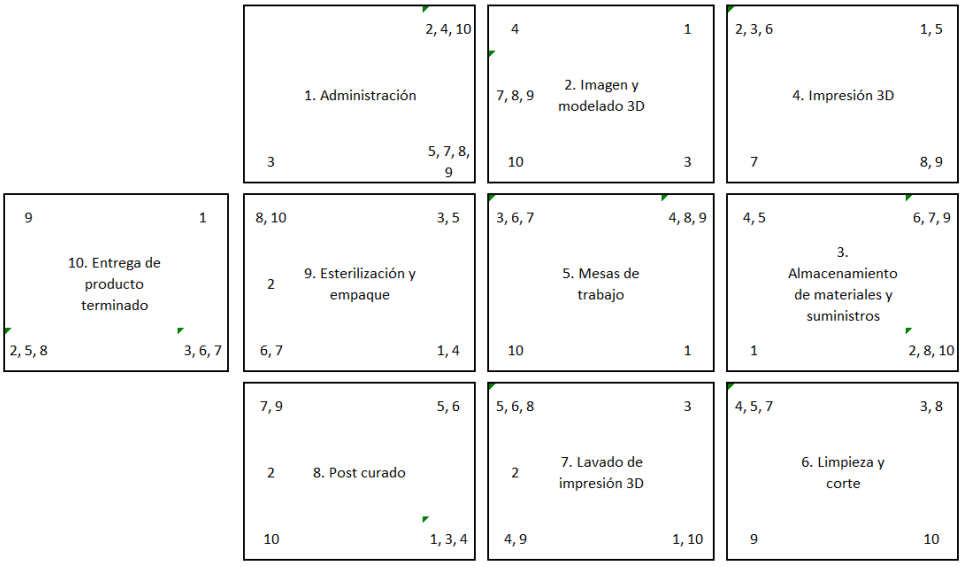
Ilustración 130: Asignación de códigos de proximidad en el cuadro adimensional del área.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de bloques adimensionales

Ilustración 131: Diagrama de bloques adimensional.

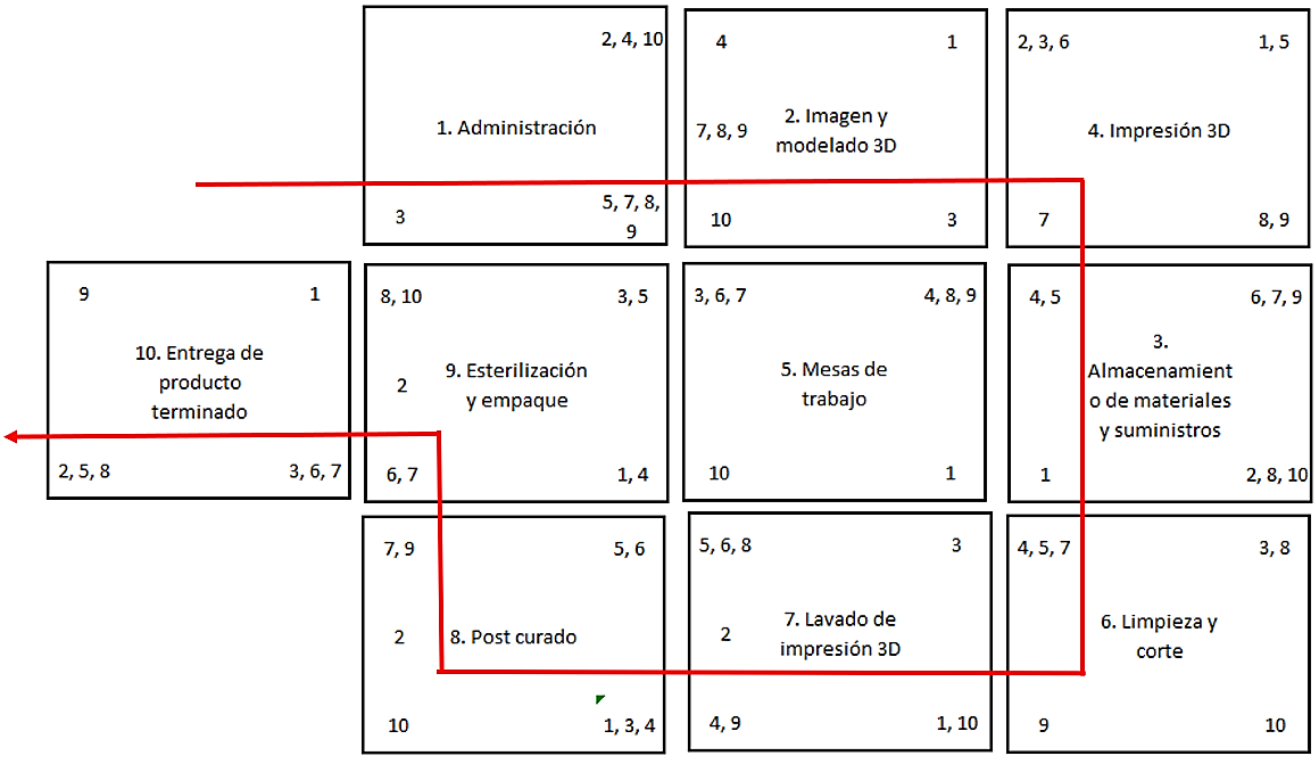


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques adimensionales en el que se identifica el flujo de fabricación 3D de las piezas anatómicas, tomando en cuentas las áreas que intervienen y el tipo de relación de proximidad entre ellas.

Diagrama de bloques adimensionales con flujo de fabricación 3D

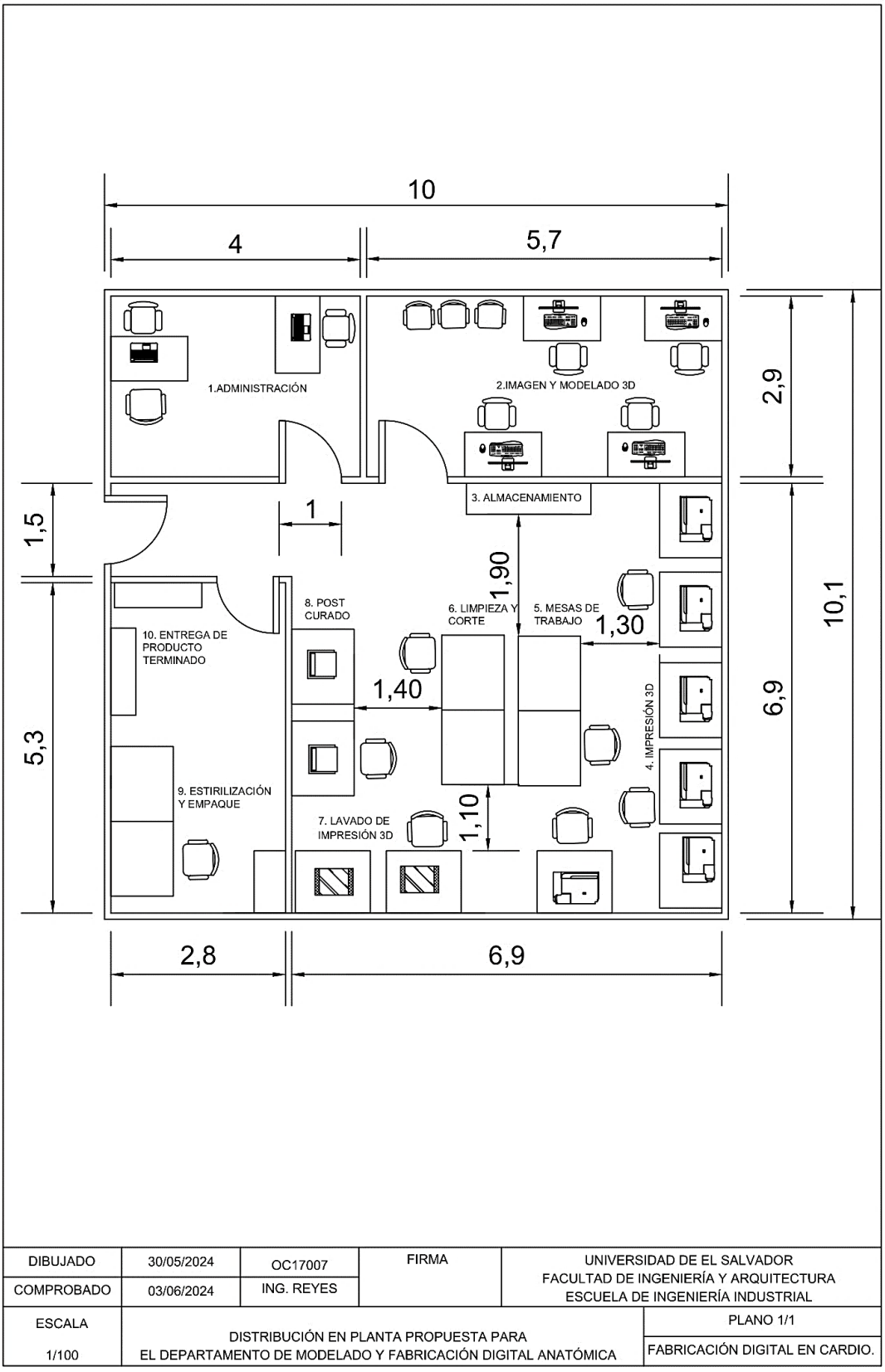
Ilustración 132: Diagrama de bloque adimensional y recorrido de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Con base a los análisis anteriores, se presenta la siguiente propuesta de distribución de los equipos y mobiliario para el departamento de modelado y fabricación digital del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología de El Salvador, como un diseño general e idóneo para el hospital tipo y otras instituciones dispuestas a invertir en la creación de este departamento.

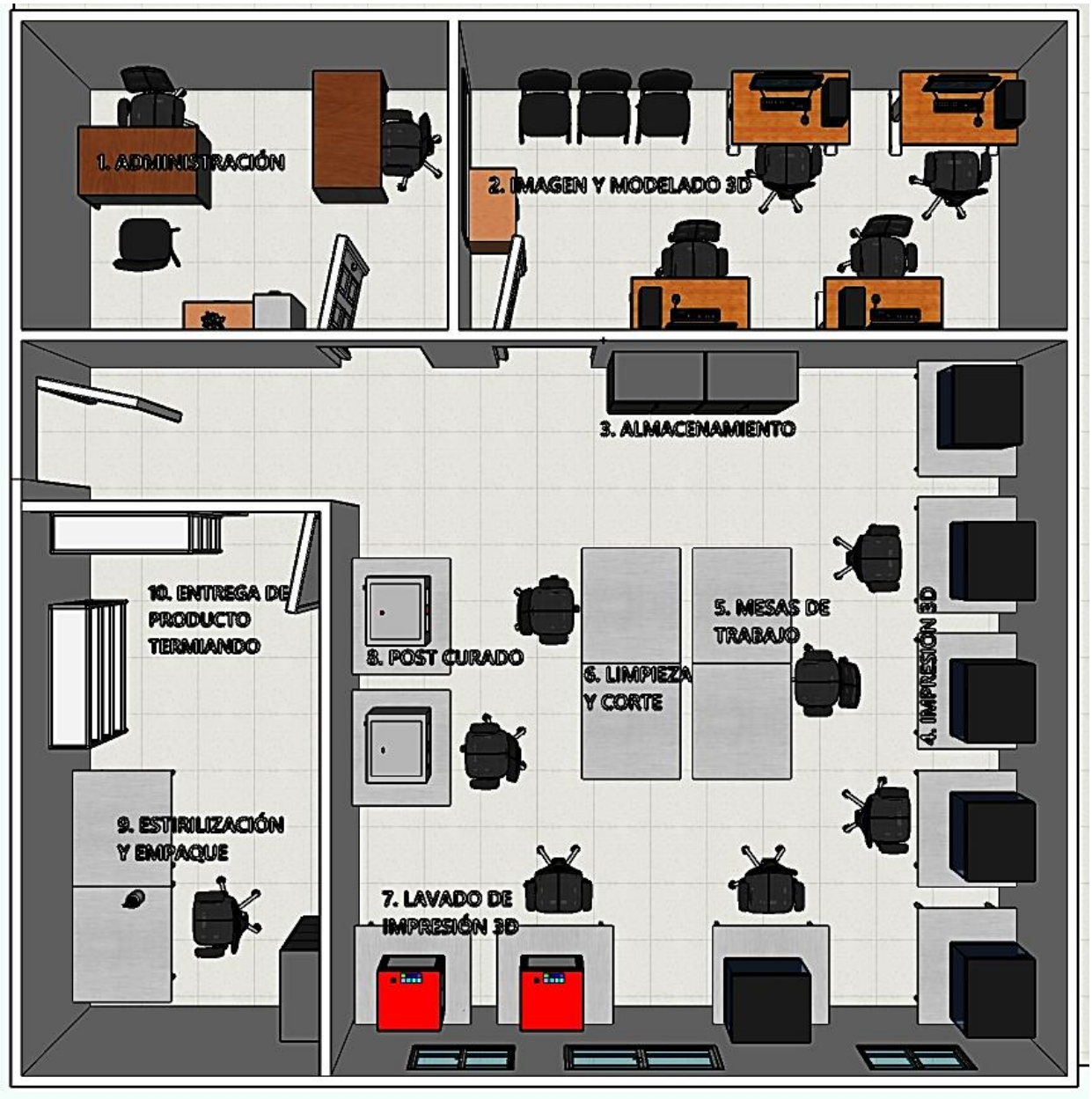
Ilustración 133: Distribución en planta propuesta para el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la representación tridimensional de la distribución en planta propuesta como una muestra más próxima a la realidad, incorporando los requerimientos de equipos propuestos y elementos extra de mobiliario.

Ilustración 134: Vista superior de distribución de trabajo para el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 135: Vista del área de almacenamiento, impresión 3D, mesas de trabajo y mesas de corte y limpieza.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 136: Vista de área de lavado y post curado de impresión 3D.



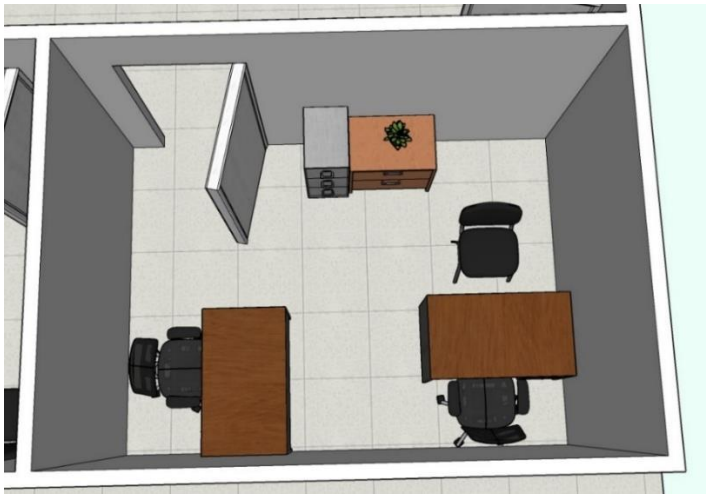
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 137: Vista del área de modelado 3D y apoyo formativo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 138: Área de administración.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 139: Área de esterilización y entrega de producto terminado.



Fuente: Elaboración propia.

10.7.3. Manual técnico del modelo

El manual técnico consiste en un conjunto de dos manuales que orientan y comunican el funcionamiento ordenado y sistemático del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología con malformaciones congénitas en el Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom" de El Salvador. El manual provee de información orienta a establecer la estructura organizacional y funciones, así como también procedimientos visualizados para proveer del servicio de fabricación digital para el diseño de los planes de intervención quirúrgica.

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	01 de marzo 2024
Fecha de revisión:	24 de abril 2024

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR

MANUAL DE ORGANIZACIONES Y FUNCIONES

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 435

2. Marco Normativo Legal 436

2.1. Marco Legal De El Salvador 436

2.2. Normativas Del Hospital Tipo 437

3. Objetivos 438

3.1. Objetivo General 438

3.2. Objetivos Específicos 438

4. Estructura Organizacional 439

4.1. Elementos Organizacionales Actuales De La División De Servicios De Diagnóstico Y Apoyo 439

4.2. Estructura Organizacional Actual 441

4.3. Elementos Organizacionales Ha Incorporados 442

5. Descripción De Funciones De Los Puestos De Trabajo 446

5.1. Jefe Del Departamento 446

5.2. Asistente Administrativo 450

5.3. Técnico En Imagen Y Modelado 3d 453

5.4. Técnico De Impresión 3d 456

6. Bibliografía 459

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

1. Introducción

El presente manual de Organización y Funciones proporciona una guía clara y específica para garantizar el óptimo funcionamiento del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en el hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador.

En este se establece la estructura organizacional definiendo jerarquías, objetivo del puesto, funciones del personal involucrado en el laboratorio **"Laboratorio de modelado y fabricación digital anatómico"**, así como también su posición y relación con la estructura organizacional existente en el hospital.

Cabe mencionar que el manual engloba elementos legales, presentación de la organización actual del hospital tipo incorporado y análisis de la incorporación de los nuevos elementos organizativos para el funcionamiento del diseño del modelo, se tiene en claro la necesidad de delimitar aspectos de importancias para la gestión de este.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

2. Marco normativo legal

El presente manual contempla el marco legal nacional del sistema de salud como un sistema de regulación general, dado que la naturaleza de este modelo es flexible y capaz de ser adaptado en otros hospitales e instituciones del sistema de salud de El Salvador se pone especial énfasis en dicho marco. En segundo lugar, pero no menos importante, se toma en cuenta la regulación legal propia del hospital tipo, que para este caso es el hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador.

2.1. Marco legal de El Salvador

Para la elaboración del presente manual se toman en cuenta el siguiente marco jurídico, el cual es también el adaptado por el hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador.

- Carta Iberoamericana de la Calidad
- Código de Salud (y sus reformas)
- Código de trabajo
- Ley de Asuetos, Vacaciones y Licencia de los Empleados Públicos
- Ley de Competencia
- Ley de Ética Gubernamental
- Política Nacional de Calidad
- Lineamientos Técnicos de Seguridad y Salud Ocupacional del MINSAL

2.2. Normativas del hospital tipo

De manera particular se deben considerar los manuales, políticas y lineamiento internos del hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador, y para este caso se destacan los siguientes:

- Manual de Organización y Funciones del HNNBB
- Manual de organización y funciones del departamento de imágenes médicas

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Establecer los lineamientos organizacionales y funciones para el funcionamiento del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en el hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador.

3.2. Objetivos específicos

- Optimizar el desempeño del personal del **"Laboratorio de modelado y fabricación digital anatómico"**, para contribuir al estudio, diagnóstico y diseño de planes de intervención quirúrgica en el área de cardiología para pacientes con malformaciones congénitas a través de la definición de sus funciones y responsabilidades.
- Reducir la duplicidad o superposición de funciones del personal del **"Laboratorio de modelado y fabricación digital anatómico",** y convertirse en agentes de apoyo técnico en el área de cardiología y otras áreas que requieren sus competencias específicas.
- Facilitar la identificación de competencias y habilidades y comunicar las funciones y responsabilidades del puesto de trabajo durante procesos de inducción del personal para el **"Laboratorio de modelado y fabricación digital anatómico",**

4. Estructura Organizacional

La estructura organizacional enfocado en el funcionamiento del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en el hospital nacional especializado de niños "Benjamín Bloom" de El Salvador, tomando como base la división de servicios de diagnóstico y apoyo de la entidad antes mencionada.

4.1. Elementos organizacionales actuales de la División de Servicios de Diagnóstico y apoyo

La división de servicios de diagnóstico y apoyo posee sus principales lineamientos del área operativa y que se presentan a detalle en los siguientes apartados:

- **Misión:**

Somos la División que provee servicios auxiliares de diagnóstico y apoyo de alta calidad con tecnología de punta y recursos humanos multidisciplinarios, para orientar el abordaje diagnóstico y terapéutico de la atención médica especializada institucional y de apoyo a la RIISS, desarrollando una gestión basada en valores que garantizan la satisfacción del usuario.

- **Visión**

Convertir los Departamentos de la División de Servicios de Diagnósticos y Apoyo en unidades acreditadas líderes que provean servicios especializados de avanzada a nivel institucional y de apoyo a la RIISS, en la búsqueda permanente del crecimiento profesional y

excelencia científica, comprometidos con un sistema de valores que evidencie y garantice la satisfacción del usuario

- **Objetivo general**

Planificar, dirigir, coordinar y monitorear las funciones de los Departamentos y servicios bajo la responsabilidad de la División, para proveer los servicios de diagnóstico y apoyo en forma eficiente y oportuna que contribuya a la atención integral de los pacientes, satisfaciendo los estándares de calidad institucional y de la RIISS.

- **Función Genera**

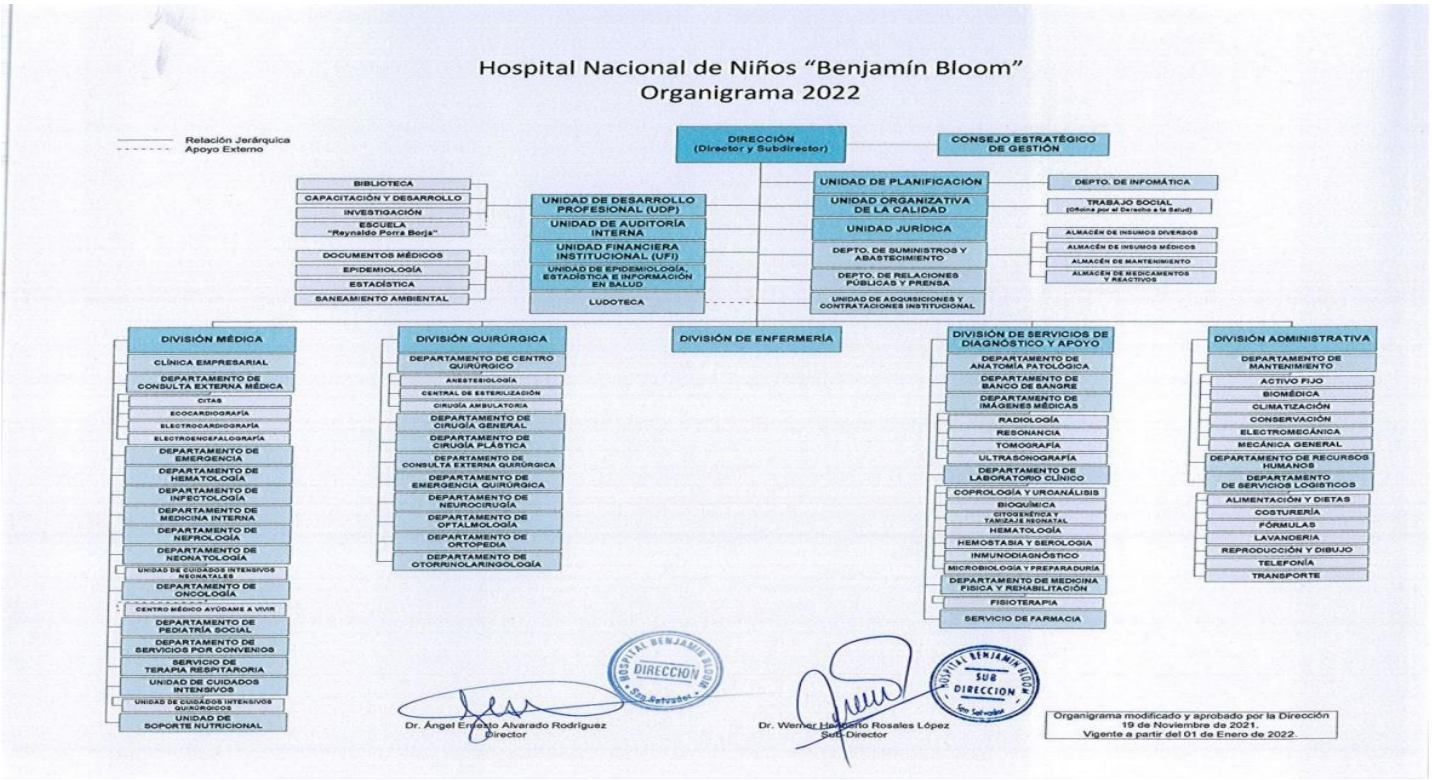
Analizar, avalar, coordinar y monitorear los programas y planes de trabajo de los Departamentos, en base a indicadores de resultado e impacto, de acuerdo con las políticas y estrategias de la institución, que apoyen a la Dirección en la gestión administrativa para cumplir con la misión, visión y los objetivos institucionales.

Tomando de referencia los elementos antes mencionados el modelo de aplicación de fabricación digital existirá en el seno de un laboratorio de fabricación digital el cual será parte de la División de Servicios de Diagnóstico y apoyo, el cual llevará por nombre representativo "**Departamento de modelado y fabricación digital anatómico"**, debido a que los títulos como unidad o división, según la estructura organizacional del hospital Benjamín Bloom suponen una jerarquía mayor.

A continuación, presentamos la estructura organizacional que relaciona el Hospital Benjamín Bloom y el laboratorio:

4.2. Estructura organizacional actual

Como se ha definido con anterioridad el modelo de aplicación para la fabricación digital, está orientado hacer incorporado a una organización existente y funcional, por lo que en este manual se plasma el organigrama aprobado y empleado actualmente por el hospital tipo, tal como se ejemplifica en la siguiente imagen.

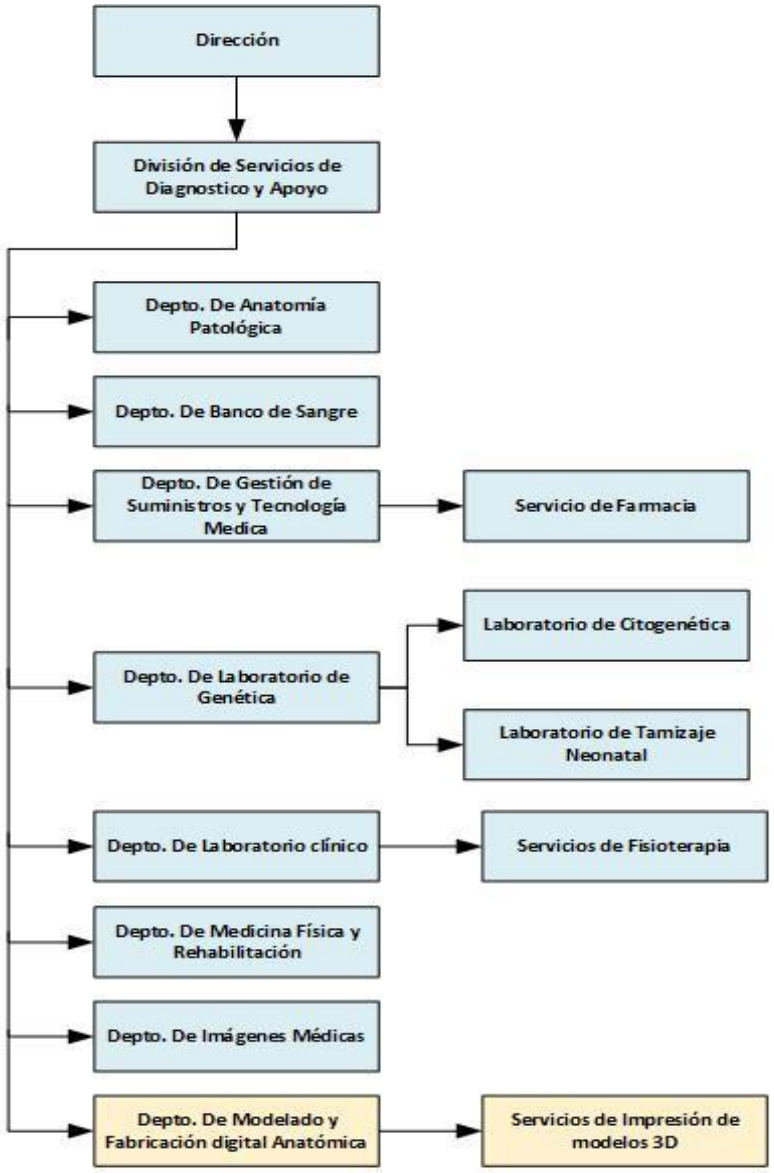


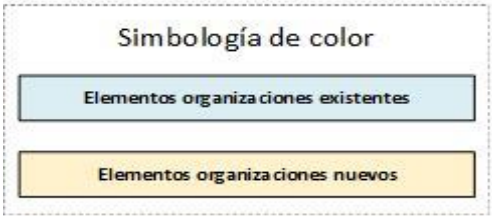
4.3. Elementos organizacionales ha incorporados

Los elementos organizacionales que serán incorporados al sistema de organización actual están enfatizados a las funciones de los puestos nuevos involucrados en el desarrollo operativo del moldeo para la aplicación de la fabricación digital, como parte del área de servicios de apoyo y diagnósticos del hospital tipo.

En el siguiente esquema se presentan tanto elementos de la organización actual, así como los nuevos que formaran parte de la División de Servicios de Diagnóstico y Apoyo del hospital de niños Benjamín Bloom (Hospital tipo), teniendo en cuenta esos factores se establece lo siguiente:

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	01 de marzo 2024
Fecha de revisión:	24 de abril 2024





Nota: Se presentan todos los elementos organizacionales existentes, pero el manual detalla solo aquellos elementos nuevos que serán incorporado a la organización como parte del diseño del modelo en estudio.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Con la incorporación del departamento de Modelado y Fabricación Digital Anatómica, se plantea la misión, visión, objetivo general y funcione general del departamento como se plantea a continuación:

- **Misión del departamento**

Somos el departamento que busca brindar apoyo en la estructuración de los planes de intervención quirúrgica electivas para el área de cardiología, teniendo en cuenta a los pacientes con padecimientos de malformaciones congénitas y anatomías complejas de intervención, esto cumpliendo con las normativas y estándares a las que se ve sujeta la institución.

- **Visión del departamento**

Ser un departamento clave de la división de Diagnóstico y Apoyo del Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom” proporcionada innovación a los procedimientos médicos en el apoyo de los planes de intervención quirúrgica que permita evolucionar las aplicaciones médicas actuales de la entidad.

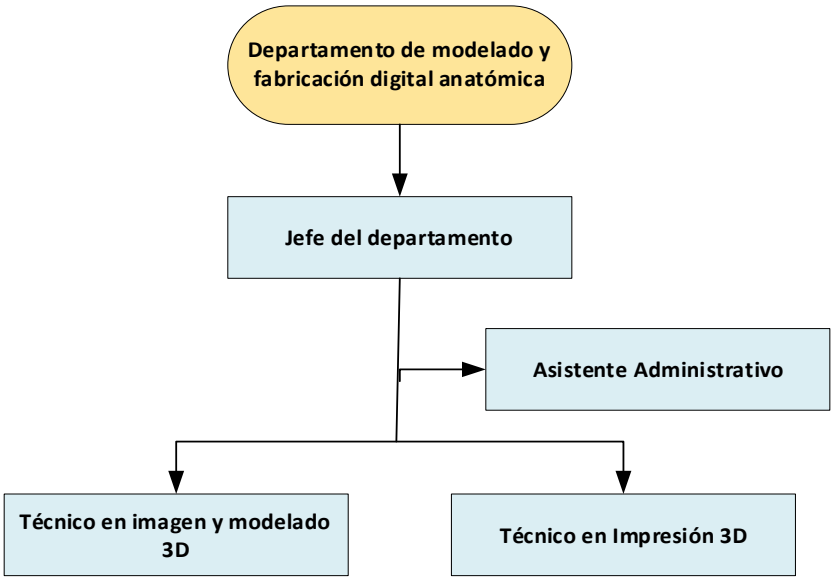
- **Objetivo general del departamento**

Trabajar de la mano con las diversas áreas de la red medicad de la entidad, permitiendo la aplicación de nuevos conocimientos a la red medica apoyados por diferentes áreas de estudios que permitan evolucionar el premiso brindado y ampliar las habilidades medicas de los actuales y futuros profesionales de la salud de la entidad,

- **Función General del departamento**

Generar impresión 3D de los órganos involucrados en las malformaciones congénitas de los pacientes de cardiología, que son de vital apoyo en la estructuración de los planes de intervención quirúrgicas, cumpliendo con los requerimientos de loe médicos y cumpliendo con los estándares pertinentes.

Bojo lo antes definido y teniendo como referencia la representación organizacional de la división de diagnóstico y de apoyo del hospital tipo, se emplea una estructurar partículas del departamento de modelado y fabricación digital anatómica, siendo este el componente organizacional principal que busca emplear el estudio y adaptar al actual sistema de funcionamiento de la entidad. Teniendo en cuenta este apartado se presenta la siguiente estructura por puesto de trabajo.



El esquema presentado anteriormente muestra como estará compuesto el departamento de modelado y fabricación digital anatómica, en donde se puede visualizar con claridad loa puestos incorporado al sistema actual y su línea de mando necesarios para el funcionamiento oportuno de modelos diseñado.

5. Descripción de funciones de los puestos de trabajo

El funcionamiento del modelo para aplicación de la fabricación digital en cardiología requiere de la ejecución de actividades las cuales serán responsabilidad de personas en ciertos puestos de trabajo, por lo tanto, a continuación, se presentan las descripciones de sus funciones y relaciones de trabajo para garantizar la optimización de su trabajo.

5.1. Jefe del departamento

Identificación y ubicación organizativa

Título del puesto:	Jefe de departamento	**Año:**	2024
Institución:	Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”		
Unidad Superior:	División de Servicios de Diagnóstico y apoyo		
Unidad inmediata	División de Servicios de Diagnóstico y apoyo		
Puesto inmediato superior:	Jefe de la División de Servicios de Diagnóstico y apoyo		
Clase ocupacional:	Puesto de dirección		
Misión:	Planificar, organizar, dirigir y controlar la gestión operativa del departamento, esto a través de la implementación de procesos administrativos innovadores y eficientes, en		

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Título del puesto:	Jefe de departamento	**Año:**	2024
	armonía con las normativas de la entidad, para realizar la Gestión administrativa eficaz y eficiente.		
Supervisión inmediata:	• Asistente Administrativo • Técnico de imagen y modelado • Técnico de impresión 3D		

Funciones Básicas.

1. Ejecutar el proceso administrativo con sus respectivos componentes (planeación, organización, dirección, y control) con sus equipos de trabajo, con la finalidad de que se cumplan los procedimientos de trabajo tal como estén establecidos.
2. Evaluar los casos de los pacientes y asignar las prioridades para agilizar el proceso de los modelos de impresión 3D.
3. Evaluar el desempeño del personal bajo su cargo.
4. Analizar consumos y uso de los recursos que permita tener control de las adquisiciones y evaluar los tiempos oportunos para adquirir nuevos recursos.
5. Controlar el cumplimiento de las demandas establecidas por el cliente interno, para brindar el servicio de impresión 3D
6. Asignar la carga de trabajo para los puestos bajo su cargo, controlando el cumplimiento de las metas según la demanda exigida.
7. Velar por el cumplimiento de las normativas y estándares establecidos por la entidad, teniendo en cuenta la importancia de su operatividad.
8. Ser el principal comunicador de los logros del área de trabajo, para emblematizar los avances obtenidos a través de las nuevas implementaciones innovadoras.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

9. Garantizar el involucramiento oportuno de los puestos bajo su mando, en la solución de problemas y operatividad oportuna del departamento
10. Garantizar la incorporación del enfoque de derechos humanos, género e inclusión en las decisiones y acciones realizadas en el ámbito laboral.
11. Realizar otras actividades en función de su cargo que designe su jefatura inmediata conforme a la ley.

Perfil de Contratación

Grado académico	I	D	Especialidad de referencia
Graduado Universitario	X		Licenciatura en Radiología e Imágenes
Maestría		X	Maestría en Gestión Hospitalaria o Maestría en Salud Pública

Idioma	I	D	¿Por qué?
Español	X		Comunicación fluida
Inglés	X		Traducción, consultas de textos, comunicación con colaboradores, capacitación de manejo de software y otros

Conocimientos específicos

Conocimientos	I	D
Normativas de la institución	X	
Administración hospitalaria	X	
Ingles intermedio		X
Paquetes de computación (Windows y office)	X	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Habilidad numérica	X	
Software de imagen y radiología	X	
Maneo de software de impresión 3D		X
Conocimientos en impresión 3D		X

Experiencia previa

Puesto / Especialidad de trabajo Previo	Hasta 1 año	1 a 2 años	+2 a 4 años	+4 a 6 años	+de 6 años
Puestos de Administración hospitalaria, especialmente en el área de imagen radiológicas.			X		

Competencias

Organizacionales	Generales	Especificas
Compromiso con la misión, visión y valores del departamento y entidad	Trabajo en equipo	Liderazgo
	Calidad de trabajo	Capacidad de planificación y organización
	Responsabilidad	
Conocimiento de las normas y leyes de la entidad	Automotivación	Dirección de equipos de trabajo
	Autocontrol	Desarrollo estratégico de recursos humanos
	Creatividad	
	Comunicación	Toma de decisiones

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

5.2. Asistente Administrativo

Identificación y ubicación organizativa

Título del puesto:	Asistente Administrativo	**Año:**	2024
Institución:	Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”		
Unidad Superior:	Jefe de departamento		
Unidad inmediata	• Técnicos de imagen y modelado 3D • Técnicos de impresión 3D		
Puesto inmediato superior:	Jefe de departamento		
Clase ocupacional:	Puesto Administrativo		
Misión:	Apoyar en el desarrollo de la gestión administrativa del departamento de modelado y fabricación digital anatómica, brindado apoyo en a la jefatura en el control documental y manejo de control de la carga de trabajo		
Supervisión inmediata:	No aplica		

Funciones Básicas.

1. Apoyar a la jefatura del departamento en la gestión de documentos que se ve involucrada en las operaciones de este.
2. Apoyar con el control de las asignaciones de trabajo de los puestos operativos del departamento.
3. Llevar el control a través de bitácoras de los casos ingresados y los casos que se han entregado a los médicos.
4. Recibir los casos de los cuales los médicos desean generar modelos de impresión 3D.

5. Comunicarse con el departamento de imagen para recibir los archivos pertinentes de los casos a estudiar.
6. Presentar los casos a la jefatura para evaluar las asignaciones de cargas y las prioridades de los casos.
7. Presentar informes de cumplimientos de la operatividad del departamento.
8. Evaluar los casos de incumplimiento de los modelos, para identificar problemáticas del área.
9. Presentar informes de demanda para el uso de los servicios.

Perfil de Contratación

Grado académico	I	D	Especialidad de referencia
Graduado técnico	X		Técnico en administración o Técnico en Ingeniería Industrial
Diplomado		X	Gestión de procesos Administrativos

Idioma	I	D	¿Por qué?
Español	X		Comunicación fluida
Inglés		X	Traducción, consultas de textos, comunicación con colaboradores.

Conocimientos específicos

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Organización y Funciones	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Conocimientos	I	D
Normativas de la institución	X	
Ingles intermedio		X
Paquetes de computación (Windows y office)	X	
Software de imagen y radiología		X
Conocimientos en impresión 3D		X

Experiencia previa

Puesto / Especialidad de trabajo Previo	Hasta 1 año	1 a 2 años	+2 a 4 años	+4 a 6 años	+de 6 años
Gestión de procesos como asistente administrativo.		X			

Competencias

Organizacionales	Generales	Especificas
Compromiso con la misión, visión y valores del departamento y entidad	Trabajo en equipo	Liderazgo
	Calidad de trabajo	Capacidad de planificación y organización
	Responsabilidad	
Conocimiento de las normas y leyes de la entidad	Automotivación	Toma de decisiones
	Autocontrol	Excelente Servicio al cliente interno
	Creatividad	
	Comunicación	Comunicación efectiva

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

5.3. Técnico en imagen y modelado 3D

Identificación y ubicación organizativa

Título del puesto:	Técnico en imagen y modelado 3D	**Año:**	2024
Institución:	Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”		
Unidad Superior:	Jefe de departamento		
Unidad inmediata	• Técnicos de impresión 3D		
Puesto inmediato superior:	Jefe de departamento		
Clase ocupacional:	Puesto Operativo		
Misión:	Realizar el modelo virtual de la anatomía compleja que representa la malformación congénita de los pacientes atendidos en el área de cardiología para su posterior impresión 3D.		
Supervisión inmediata:	No aplica		

Funciones Básicas.

1. Evaluar los archivos compartidos por el departamento de imagen, para verificar su funcionalidad para estructurar el modelo.
2. Limpiado virtual de las estructuras anatómicas de los casos abordos
3. Generación de los modelos virtuales de los casos solicitados por los médicos
4. Parametrizas los documentos requeridos para la impresión 3D
5. Notifican la generación de los modelos virtuales, para que los médicos verifiquen que es funcional y poder imprimirlo.

6. Ejecutan cambios en parámetros del modelo virtual si el medico a cargo del caso requiere de mejoras.
7. Suministran los modelos digitales para la impresión 3D y así empezar la generación física del modelo.
8. Ejecutan cambios pertinentes si el técnico de impresión en 3D lo solicita para mejorar la calidad del modelo.

Perfil de Contratación

Grado académico	I	D	Especialidad de referencia
Graduado técnico	X		Técnico en radiología e imagen Técnicos industriales
Diplomado		X	Manejo de tecnologías de Modelado e Impresión en 3D

Idioma	I	D	¿Por qué?
Español	X		Comunicación fluida
Inglés	X		Traducción de documento, manejo de software e innovaciones en sistemas operativos en uso.

Conocimientos específicos

Conocimientos	I	D

Normativas de la institución	X	
Ingles intermedio	X	
Paquetes de computación (Windows y office)	X	
Software de imagen y radiología	X	
Conocimiento en anatomía	X	
Conocimiento en modelado 3D	X	
Conocimientos en impresión 3D		X

Experiencia previa

Puesto / Especialidad de trabajo Previo	Hasta 1 año	1 a 2 años	+2 a 4 años	+4 a 6 años	+de 6 años
Puesto operativo en la generación de modelos de radiología e imagen, así como conocimiento de modelado en 3D		X			

Competencias

Organizacionales	Generales	Especificas
Compromiso con la misión, visión y valores del departamento y entidad	Trabajo en equipo	Liderazgo
	Calidad de trabajo	Capacidad de planificación y organización
	Responsabilidad	
Conocimiento de las normas y leyes de la entidad	Automotivación	Toma de decisiones
	Autocontrol	Excelente Servicio al cliente interno
	Creatividad	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Organizacionales	Generales	Especificas
	Comunicación	Comunicación efectiva

5.4. Técnico de impresión 3D

Identificación y ubicación organizativa

Título del puesto:	Técnico en impresión 3D	**Año:**	2024
Institución:	Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”		
Unidad Superior:	Jefe de departamento		
Unidad inmediata	• Técnico en imagen y modelado 3D		
Puesto inmediato superior:	Jefe de departamento		
Clase ocupacional:	Puesto Operativo		
Misión:	Realizar las impresiones 3D de las anatomías complejas que representan las malformaciones congénitas de los pacientes atendidos en el área de cardiología para apoyar en la simulación quirúrgica, estructuración y comunicación del plan de intervención quirúrgica.		
Supervisión inmediata:	No aplica		

Funciones Básicas.

1. Evaluar los diseños estructurados por los técnicos de imagen y modelado 3D, para considerar si son funcióneles

2. Proponer cambios pertinentes en el modelado virtual, para considerar una mejor calidad en la impresión.
3. Preparar el equipo o maquinaria de impresión 3D para que estén lista sus operaciones.
4. Accionar la maquinaria para que el proceso de impresión en 3D de inicio.
5. Ejecutar controles en el proceso donde la maquina esta generado el modelo de impresión 3D
6. Desmontar las piezas ya impresas para dar seguimiento en los pasos de preparación de pieza.
7. Prepara la máquina de limpieza y curado para que la pieza lesiva sus acabados finales.
8. Realizar el control del proceso de curado y limpieza de la pieza.
9. Revisar los acabados finales de las piezas ya impresas para ser proporcionadas a los médicos del caso.
10. Entregar las piezas finalizadas al asistente administrativo para que las impresiones 3D lleguen al médico.

Perfil de Contratación

Grado académico	I	D	Especialidad de referencia
Graduado técnico	X		Técnico en radiología e imagen Técnicos industriales
Diplomado		X	Manejo de tecnologías de Modelado e Impresión en 3D

Idioma	I	D	¿Por qué?

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Español	X		Comunicación fluida
Inglés	X		Traducción de documento, manejo de software e innovaciones en sistemas operativos en uso.

Conocimientos específicos

Conocimientos	I	D
Normativas de la institución	X	
Ingles intermedio	X	
Paquetes de computación (Windows y office)	X	
Software de imagen y radiología		X
Conocimiento en anatomía		X
Conocimiento en modelado 3D	X	
Conocimientos en impresión 3D	X	

Experiencia previa

Puesto / Especialidad de trabajo Previo	Hasta 1 año	1 a 2 años	+2 a 4 años	+4 a 6 años	+de 6 años
Puesto operativo de generación de impresión 3D		X			

Competencias

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Organizacionales	Generales	Especificas
Compromiso con la misión, visión y valores del departamento y entidad	Trabajo en equipo	Liderazgo
	Calidad de trabajo	Capacidad de planificación y organización
	Responsabilidad	
Conocimiento de las normas y leyes de la entidad	Automotivación	Toma de decisiones
	Autocontrol	Excelente Servicio al cliente interno
	Creatividad	
	Comunicación	Comunicación efectiva

6. Bibliografía

Portal de Transparencia - El Salvador. (s. f.). https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-bloom/documents/manuales-basicos-de-organizacion?page=2

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR

MANUAL DE PROCESO Y PROCEDIMIENTOS

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Tabla De Contenido

10. Introducción 462

11. Objetivo 462

12. Hoja De Ruta Del Macro Proceso De Impresión 3d 463

13. Procesos Y Procedimientos Para La Fabricación Digital En La Pre Operación Quirúrgica 468

A. PROCESO 1.0: REGISTRO DE SOLICITUDES DE TRABAJO 468

I.Procedimiento 1.1: Registro Y Control De Solicitudes De Servicio 468

B. PROCESO 2.0: CREACIÓN DE MODELOS VIRTUALES. 473

I.Procedimiento 2.1: Elaboración Del Modelado Anatómico 473

C. PROCESO 3.0: FABRICACIÓN 3D. 482

I.Procedimiento 3.1: Configuración De Impresión 3d 482

Ii Procedimiento 3.2: Calibración De Impresora 3d 486

Iii Procedimiento 3.3: Suministro De Material De Impresión. 493

Iv.Procedimiento 3.4: Iniciar Y Controlar Fabricación 3d. 502

D. PROCESO 4.0: POST ACABADO Y ENTREGA DE PIEZAS FABRICADAS 509

I.Procedimiento 4.1: Limpieza Y Post Curado De Piezas Fabricadas. 509

Ii.Procedimiento 4.2: Esterilización Y Entrega De Impresión 3d 518

E. PROCESO 5.0: MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS. 524

I.Procedimiento 5.1: Mantenimiento De Equipo Informático. 524

Ii.Procedimiento 5.2: Mantenimiento De Maquina Impresora 3d. 531

Iii.Procedimiento 5.3: Mantenimiento De Máquinas De Lavado Y Post Curado 538

F. PROCESO 6.0: PLANIFICACIÓN Y MEJOR CONTINUA 547

I.Procedimiento 6.1: Proyección De Producción Y Requerimientos Productivos. . 547

Ii. .. Procedimiento 6.2: Mejora Continua Del Modelo Para Aplicación De Fabricación Digital En Pre Operación Quirúrgica En Cardiología. 553

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

10. Introducción

El presente manual contiene los diferentes procesos requeridos para los servicios del modelo, los cuales son la creación de modelos virtuales, impresión 3D y apoyo para la formación y educación de profesionales de la medicina para el área de cardiología en el marco de la pre-operación quirúrgica. Cada uno de los procesos contiene procedimientos en los que se describe de forma lógica secuencial el paso a paso de las operaciones identificadas para la generación de los servicios del modelo.

Se detalla, además, un aparto para el registro, control y accionar en pro de la mejora continua de los procesos y procedimientos para la aplicación de este modelo, pues se debe tomar siempre en cuenta la rápida evolución de las tecnologías de la fabricación digital, el internet de las cosas y las nuevas e innovadoras tecnologías que la humanidad experimentará en el futuro.

11. Objetivo

Guiar la aplicación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en el Hospital Nacional para Niños Benjamín Bloom de El Salvador, para garantizar la eficaz generación de los servicios de modelado virtual, impresión 3D y apoyo educativo.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

12. Hoja de Ruta del Macroproceso de impresión 3D

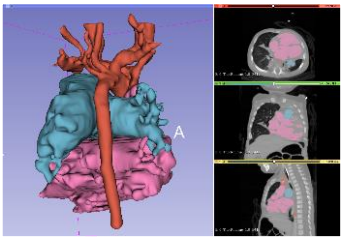
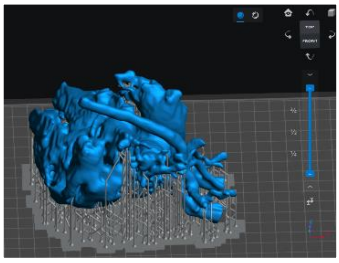
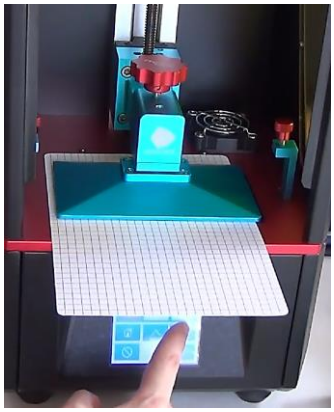
La presente hoja de proceso muestra la información del proceso a seguir para fabricación de impresiones 3D con equipo de tecnología SLA a base de resinas, el cual nace a partir del diagrama de flujo de operaciones anteriormente mostrado. La hoja de proceso muestra de forma secuencial las diferentes operaciones a seguir para la fabricación de piezas anatómicas de malformaciones congénitas o anatomías con un grado de complejidad debido a su particularidad, además contiene datos como el tipo de equipo a utilizar, las herramientas esenciales, el tiempo estimado de ejecución y el responsable de realizar la operación.

HOJA DE PROCESO		**Hoja número:**	1-ene
Servicio:	Impresión 3D	**Versión:**	1
Material:	Resina	**Fecha:**	19/5/2024
			

No	Operación	Ilustración	Equipo	Herramienta	Tiempo	Responsable
1	Solicitud de servicio de impresión 3D		Computadora de oficina	N/A	6 minutos	Solicitante
2	Registro y asignación de solicitud de trabajo	N/A	Computadora de oficina	N/A	16 minutos	Asistente administrativo

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No	Operación	Ilustración	Equipo	Herramienta	Tiempo	Responsable
3	Crear modelo virtual del segmento requerido		Computadora de diseño	3D Slicer	5 horas	Técnico en imagen y modelado 3D
4	Configurar especificaciones de impresión 3D		Computadora de diseño	Chitu Box/ Pre Form	17 minutos	Técnico en imagen y modelado 3D
5	Revisar calibración de impresora 3D		N/A	Nivel magnético, 8 pulgadas	8 minutos	Técnico en impresión 3D
6	Calibrar impresora 3D		N/A	Llave de Allen, 5 mm.	25 minutos	Técnico en impresión 3D

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No	Operación	Ilustración	Equipo	Herramienta	Tiempo	Responsable
7	Suministrar resina en impresora 3D		N/A	Recipiente medidor de volumen en L y mL. Filtro de papel para resina.	29 minutos	Técnico en impresión 3D
8	Iniciar y controlar impresión 3D		Impresora 3D	Dispositivo USB/ Cable LAN	8 - 10 horas	Técnico en impresión 3D
9	Cortar soportes de impresión		N/A	Alicate de punta larga. Pinza metálica larga y curva de disección. Escalpelo de acero inoxidable.	20 minutos	Técnico en impresión 3D

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No	Operación	Ilustración	Equipo	Herramienta	Tiempo	Responsable
10	Limpiar impresión 3D		Equipo de lavado para impresión de resina	Recipiente medidor de volumen en L y mL.	20 minutos	Técnico en impresión 3D
11	Post curado de impresión 3D		Equipo de luz UV para post curado	N/A	20 minutos	Técnico en impresión 3D
12	Esterilizar impresión 3D	 	N/A	Recipiente medidor de volumen en L y mL. quirúrgicos de látex. Atomizador.	10 minutos	Técnico en impresión 3D
13	Empacar impresión 3D		N/A	Empaque: Caja translucida de acetato (15 cm cúbicos)	5 minutos	Técnico en impresión 3D

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No	Operación	Ilustración	Equipo	Herramienta	Tiempo	Responsable
14	Entregar impresión 3D	N/A	N/A	N/A	10 minutos	Asistente administrativo
15	Registro de trabajo finalizado y entregado	N/A	Computadora de oficina	N/A	5 minutos	Asistente administrativo

13. Procesos y procedimientos para la fabricación digital en la pre-operación quirúrgica

A continuación, se muestran los 5 procesos que componen el macroproceso. Cada uno de estos procesos se subdivide en procedimientos en los que se detalla el paso a paso de manera ordenada y minuciosa.

a. Proceso 1.0: Registro de solicitudes de trabajo

i. Procedimiento 1.1: Registro y control de solicitudes de servicio

A continuación, se muestra el procedimiento que orienta sobre los pasos a seguir por los clientes y externos y el personal administrativo para la solicitud de los servicios que oferta el modelo, así como también el registro y asignación de trabajo para el cumplimiento y satisfacción de las solicitudes de trabajo.

Objetivo: Sistematizar y controlar las solicitudes de servicio para la elaboración de modelos virtuales, impresiones 3D para planificación quirúrgica e impresiones 3D para proyectos académicos de mal formaciones congénitas de pacientes del área de cardiología.
Alcance: El procedimiento inicia desde el llenado y recepción de la solicitud de servicio y finaliza con la asignación de trabajo al equipo competente.

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

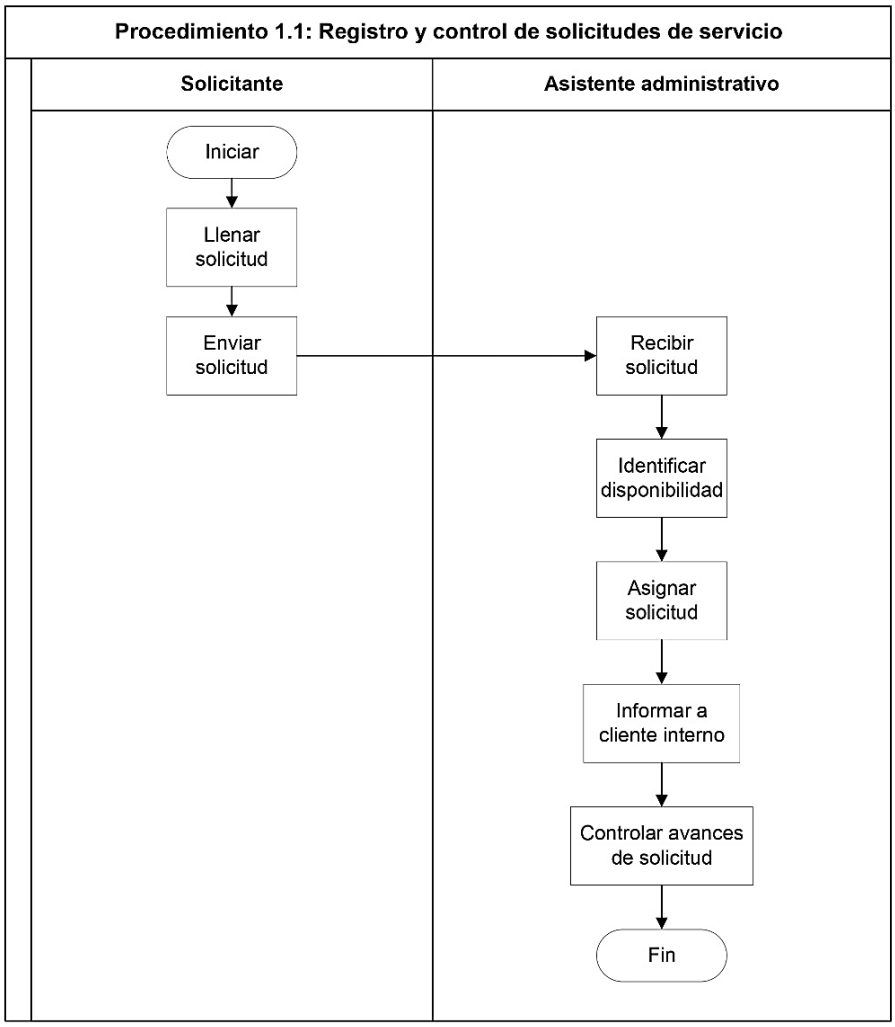
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Llenar solicitud	Solicitante	Accede al repositorio en la nube en la que se almacena el **formulario de solicitud de servicio** (Formulario 1.1), descargarlo y llenar cada uno de los campos establecidos en el formulario.	5
2	Enviar solicitud	Solicitante	Envía la solicitud de servicio al departamento de modelado y fabricación digital anatómica por medio del correo creado para tal caso. **Nota:** Se recomienda que sea por medio digitales para sistematizar y controlar las solicitudes recibidas, en proceso y finalizadas.	1
3	Recibir solicitud	Asistente administrativo	Recibe la solicitud de servicio poniendo especial atención en el tipo de servicio solicitado, los detalles de este y verificando que también este anexado el archivo DICOM o cualquier otro similar que permita iniciar con el trabajo requerido.	2
4	Identificar disponibilidad	Asistente administrativo	Verifica el sistema de control de trabajo para identificar trabajador, equipos y horario más próximo disponible.	2
5	Asignar solicitud	Asistente administrativo	Asigna el servicio solicitado en función del tipo de servicio requerido, nivel de urgencia y tiempo disponible al técnico disponible, reflejando dicha asignación en el sistema de control de trabajo y en la solicitud de servicio.	5

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
6	Informar a cliente interno	Asistente administrativo	Comunica por medio de un correo al solicitante del servicio que su mensaje fue recibido y que además el trabajo ha sido asignado a un técnico.	2
7	Controlar avance de solicitudes	Asistente administrativo	Dar seguimiento a las diferentes solicitudes de servicio, etiquetándolas como trabajo por iniciar, en proceso, finalizados y entregados, garantizando así un tiempo de respuesta oportuno en función de la urgencia y tipo de servicio solicitado. Fin del procedimiento.	5
Fin del procedimiento				
Tiempo			**22 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras


Procedimiento 1.1: Registro y control de solicitudes de servicio
Solicitante
Asistente administrativo
Iniciar
Llenar solicitud
Enviar solicitud
Recibir solicitud
Identificar disponibilidad
Asignar solicitud
Informar a cliente interno
Controlar avances de solicitud
Fin

Formulario 1.1: Solicitud de servicio

Manual de Procesos y Procedimientos		
Proceso 1.0: Registro de solicitudes de trabajo	Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom	
Procedimiento 1.0: Registro y control de solicitudes de trabajo	Departamento de modelado y fabricación digital anatómica	
Formulario 1.1: Solicitud de servicio	Fecha de aprobación: 10/04/2024	Versión: 01

Solicitud de servicio											
Información de la solicitud								Fecha:			
Tipo de servicio:	Modelado virtual		Impresión 3D		Apoyo académico						
Al necesitar impresiones 3D – Definir cantidad:											
Fin del servicio:	Diagnostico		Planificación quirúrgica		Formación profesional						
Al ser diagnostico/planificación quirúrgica, identificar nivel de urgencia			Emergencia		Moderado		Bajo				
Área, órgano o segmento deseado:											
Descripción de la solicitud:											
Fecha de entrega deseada:											

IMPORTANTE: ANEXAR JUNTO A ESTA NOTA EL ARCHIVO DICOM

Información del solicitante	Interno		Externo	
Nombre del solicitante				
Cargo				
Dependencia				
Ubicación				
Correo:			Teléfono:	

Asignación de solicitud			Fecha de asignación: / /
Nombre			
Técnico de imagen y modelado 3D		Técnico en impresión 3D	
Observaciones:			

Indicadores de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Cantidad de solicitudes recibidas		
Objetivo	Conocer la cantidad total de solicitudes que se reciben mensual y anualmente, para proyectar la demanda hacia los siguientes periodos.		
Formula	$Cantidad\ de\ solicitudes\ recibidas = Total\ de\ solicitudes - Solicitudes\ canceladas$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Demanda proyectada
Responsable	Asistente administrativo		

Nombre del indicador	Impresiones 3D solicitadas		
Objetivo	Conocer la demanda de impresiones 3D solicitadas con respecto a los otros servicios para planificar el trabajo y consumo de materiales.		
Formula	$Impresiones\ 3D\ solicitadas = \left(\frac{Impresiones\ 3D\ ordenadas}{Cantidad\ de\ solicitudes\ recibidas}\right) * 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Demanda proyectada
Responsable	Asistente administrativo		

b. Proceso 2.0: Creación de modelos virtuales.

i. Procedimiento 2.1: Elaboración del modelado anatómico

El siguiente procedimiento contiene los pasos e información relacionada al diseño de los modelos 3D virtuales de las anatomías complejas y malformaciones congénitas de los pacientes del área de cardiología, tanto para los servicios de modelado virtual para análisis, fabricación 3D y para la formación académica del área de cirugía cardiaca.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Objetivo: Establecer los pasos a seguir para garantizar la eficaz elaboración de los modelos virtuales solicitados tanto para el servicio de modelado virtual como también del requerido para las impresiones 3D.
Alcance: Este procedimiento inicia desde la recepción del archivo DICOM hasta la entrega final del modelado virtual, ya sea por medio de la entrega de un archivo STL o por medios visuales y en presentación.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Recibir asignación de servicio	Técnico en imagen y modelado 3D	Recibe la asignación de solicitud de modelado o impresión 3D de anotomías complejas o de malformaciones congénitas de un paciente, por parte de un equipo quirúrgico del área de cardiología, poniendo atención en el tipo de solicitud y descripción de esta.	1
2	Abrir DICOM en software de diseño	Técnico en imagen y modelado 3D	Abrir el software de modelado y corte virtual de aplicación médica, y luego se insertar y abrir el archivo DICOM, generándose de manera automática el volumen 3D de todo aquello que la tomografía computarizada ha capturado.	5
3	Verificar calidad de archivo DICOM	Técnico en imagen y modelado 3D	Abre y revisa el archivo DICOM en un software de modelado virtual de enfoque médico para verificar la calidad de la tomográfica computarizada. i.Si la calidad visual de la imagen en el software permite visibilizar	5

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			el sistema cardiaco del paciente satisfactoriamente se procede con la segmentación y extracción virtual del segmento solicitado. Ir al paso 4. ii. Si la calidad de la imagen en el software no permite visibilizar el sistema cardiaco del paciente y tampoco segmentarlo satisfactoriamente se indica al cirujano y equipo técnico de radiología sobre el evento para que se gestione una nueva radiográfica computarizada poniendo especial énfasis en mejorar la cantidad de cortes de imágenes de la tomografía y en la cantidad idónea de material de contrate en el paciente. Fin del procedimiento. iii. Si por motivos de fuerza mayor ya no es viable repetir la tomografía, se deberá proceder con la segmentación y extracción virtual del elemento anatómico informando al cirujano de la poca o insatisfactoria calidad final esperada en la impresión 3D. Ir al paso 4.	

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
4	Identificar el área a segmentar requerida	Técnico en imagen y modelado 3D	A partir de las especificaciones del equipo quirúrgico solicitante, identifica la arteria, corazón, elemento u otro conjunto de segmentos anotómicos que se requiere en el volumen 3D generado por en el software de modelado virtual.	5
5	Limpiar anatomía virtual	Técnico en imagen y modelado 3D	Emplea las herramientas del software para limpiar y eliminar todos aquellos elementos externos como piel, músculos, vasos sanguíneos y otros que no son requeridos en la impresión 3D, dejando únicamente el segmento necesario. Este trabajo es clave pues una sobre eliminación afectará al estudio, planificación y practicas quirúrgicas, por el contrario, cuando se dejan elementos que no son requeridos la impresión 3D será ineficiente en cuanto al tiempo de fabricación y consumo de material de impresión, además de que claramente tendrá elementos innecesarios que obstaculizarán la planificación quirúrgica.	60
6	Extraer segmento requerido	Técnico en imagen y modelado 3D	Extrae el segmento requerido delimitando totalmente el segmento anatómico requerido por el equipo quirúrgico solicitante en la medida que el software empleado lo permita. Posteriormente lo estudia junto al solicitante o lo envía en formato JPG, PNG o MP4 por medio de correo al solicitante.	60

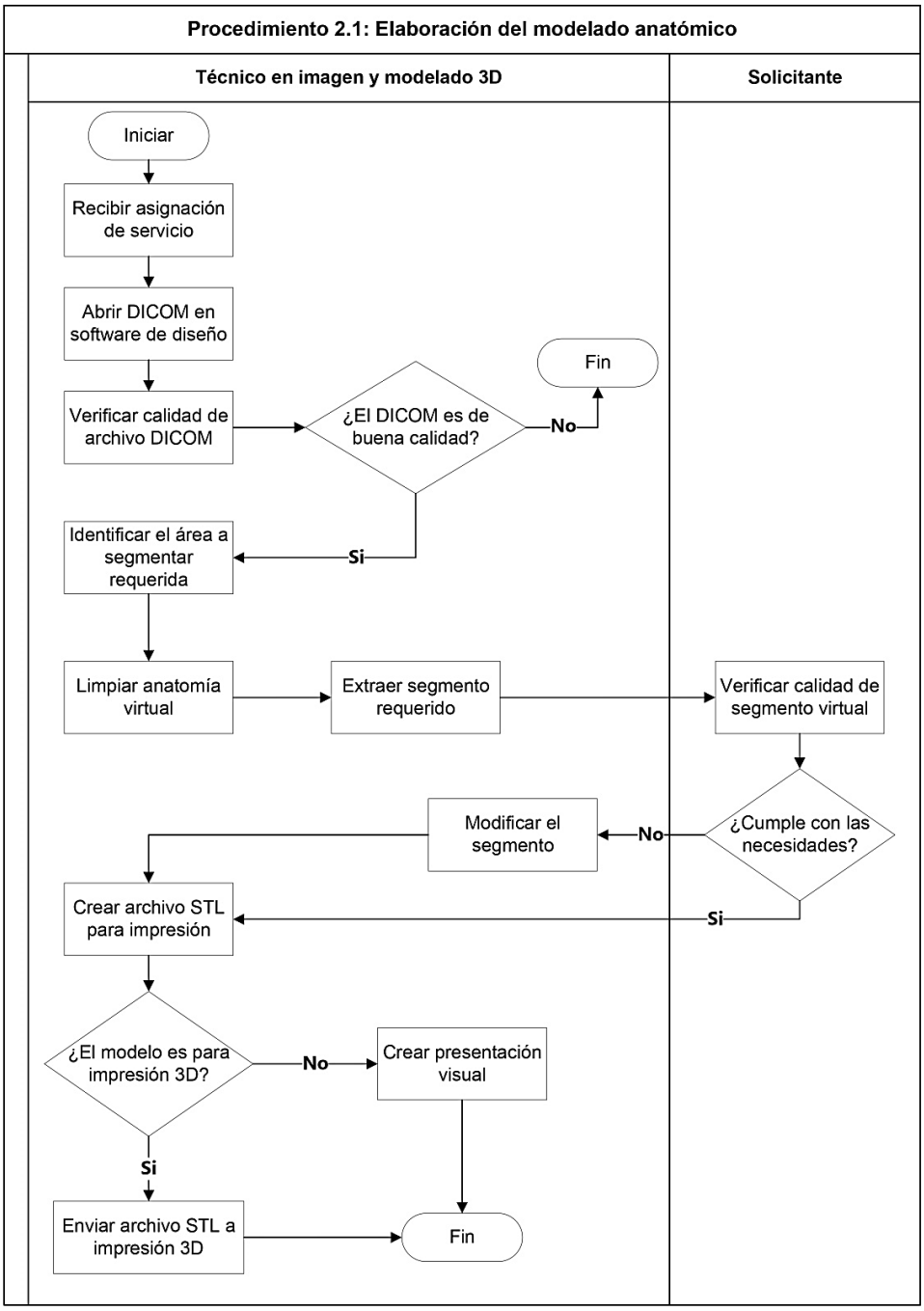
Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
7	Verificar calidad de segmento virtual	Solicitante	Verifica que el segmento cumpla con las necesidades requeridas para el estudio y planificación quirúrgica, por medio de la revisión de los elementos multimedia del segmento virtual de la anatomía solicitada que el técnico en imagen y modelado 3D ha compartido con la finalidad de: i. Determinar si cumple con las necesidades y continuar con el proceso de fabricación 3D. (Ir al paso 9) ii. Identificar aspectos en el modelo virtual que requieren una modificación y así poder continuar con el proceso de impresión 3D. (Ir al paso 8) La retro alimentación deberá ser comunicada por correo, en reunión virtual o presencial al técnico de imagen y modelado 3D.	15
8	Modificar el segmento virtual	Técnico de imagen y modelado 3D	Aplica las modificaciones indicadas y de ser necesario realiza el proceso de limpieza anotómica virtual para finalizar la creación del segmento requerido según las instrucciones anteriores. Continuar en el paso 9.	40

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
9	Crear archivo STL para impresión	Técnico en imagen y modelado 3D	Una vez finalizada la creación del segmento requerido, se configura todas las partes y factores relacionado al segmento virtual para finalizar y exportar el modelo 3D de la anatomía en formato STL. En función del tipo de solicitud continuar según: Si se ha solicitado una impresión 3D, ir al paso 11. Si se ha solicitado un modelo virtual y apoyo a estudio académico profesional continuar con en el paso 10.	10
10	Crear presentación visual	Técnico en imagen y modelado 3D	En función del tipo de solicitud comparte el archivo STL acompañado de una presentación con archivos JPG, PNG o MP4 del modelo virtual de la anotomía del paciente, y la comparte por correo al solicitante. Fin del procedimiento.	15
11	Enviar archivo STL a impresión 3D	Técnico en imagen y modelado 3D	Envía el archivo STL al área de impresión 3D por medio de correo electrónico, la nube o dispositivos electrónicos para continuar con el proceso de fabricación. Fin del procedimiento.	5
Fin del procedimiento				
Tiempo			**221 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Tiempo de diseño virtual promedio		
Objetivo	Controlar el tiempo de construcción del volumen virtual para los servicios de modelado virtual, impresión 3D y apoyo de formación académica, para optimizar y mejorar los tiempos de respuesta ante las solicitudes. Nota: Todos los servicios requieren siempre un diseño virtual de la anatomía en estudio la cual nace a partir de un archivo DICOM.		
Formula	$Tiempo\ de\ diseño\ virtual\ promedio = \frac{Tiempo\ total\ para\ crear\ diseño\ virtual}{Total\ de\ solicitudes\ de\ servicios}$		
Periodicidad	Mensual	Rango aceptable	3 – 5 horas
Responsable	Jefe de departamento y Técnico en imagen y modelado 3D.		

Nombre del indicador	Eficacia de diseño virtual		
Objetivo	Determinar el nivel de eficacia y éxito de los trabajos en diseño virtual de las anatomías complejas o de malformaciones congénitas que son solicitadas por los cirujanos de cardiología.		
Formula	$Eficacia\ de\ diseño\ virtual = \frac{Cantidad\ de\ diseños\ virtuales\ satisfactorios}{Total\ de\ solicitud\ de\ servicio\ aceptadas}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	95%
Responsable	Jefe de departamento y Técnico en imagen y modelado 3D.		

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Formulario 1.2: Entrega de modelos virtuales

Manual de Procesos y Procedimientos		
Proceso 2.0: Creación de modelos virtuales.	Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom	
Procedimiento 2.1: Elaboración del modelado anatómico	Departamento de modelado y fabricación digital anatómica	
Formulario 1.2: Entrega de modelos virtuales	Fecha de aprobación: 10/04/2024	Versión: 01

Información de entrega	Interno		Externo	
Nombre del solicitante				
Cargo				
Dependencia				
Ubicación				
Correo:		Teléfono:		
Fecha de entrega:				
FIRMA:				

Retroalimentación	Fecha:			
El modelo virtual satisface la necesidad	SI		NO	
Observaciones:				
Tiempo total invertido en el diseño virtual				
Observaciones:				

c. Proceso 3.0: Fabricación 3D.

i. Procedimiento 3.1: Configuración de impresión 3D

Esta operación consiste en ingresar el archivo STL del modelado anatómico del paciente a un segundo software en el que se configuran diferentes parámetros para su impresión 3D, se construyen las estructuras de soporte de impresión 3D y se obtienen datos automáticos como la cantidad de resina a utilizar, el tiempo de impresión 3D y otros detalles más.

Objetivo: Establecer los pasos a seguir de manera ordenada para la configuración de la impresión 3D por medio del software de fabricación asistido por computadora.
Alcance: Este procedimiento inicia con la recepción del archivo STL del modelo virtual del paciente y finaliza con la configuración del equipo de impresión 3D.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Abrir archivo STL	Técnico en impresión 3D	Abre el software de configuración de impresión 3D e inserta archivo STL del modelo virtual anatómico requerido de los pacientes del área de cardiología.	2
2	Seleccionar escala de modelo	Técnico en impresión 3D	Establece la escala requerida por en el solicitante en función del tipo de solicitud o sugerencia de este.	2
3	Orientar modelo a imprimir	Técnico en impresión 3D	Identifica la mejor orientación y ubicación de la pieza en el área de impresión de la máquina para la ejecución de la impresión 3D utilizando las herramientas	2

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			de movimiento y rotación del software de impresión 3D.	
4	Generar soportes de impresión 3D	Técnico en impresión 3D	Crea las estructuras de soporte por medio de la herramienta de generado automático o manual del software, lo que a su vez crea la primera capa de adhesión para la impresión 3D.	5
5	Verificar configuración final	Técnico en impresión 3D	Posteriormente se ejecuta la acción de **Slice**, o **Start the Slicing process**, o **cargar impresión**, lo que significa proceso de rebanado, lo que equivale al proceso de capa sobre capa que ejecuta la impresora 3D. El proceso de Slice aporta los datos de cantidad de resina a utilizar y el tiempo de fabricación del modelo. Si la cantidad de resina a utilizar o el tiempo de fabricación es demasiado, se puede optimizar regresando hasta el paso 2 para cambiar las dimensiones y ubicación del modelo. **Nota:** Dependiendo del tamaño y complejidad del modelo está actividad puede durar mucho tiempo.	5
6	Guardar configuración de impresión	Técnico en impresión 3D	Finalizada la configuración de impresión y se procede al guardado de configuración de impresión 3D, y se traslada a la impresora de resina por	1

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

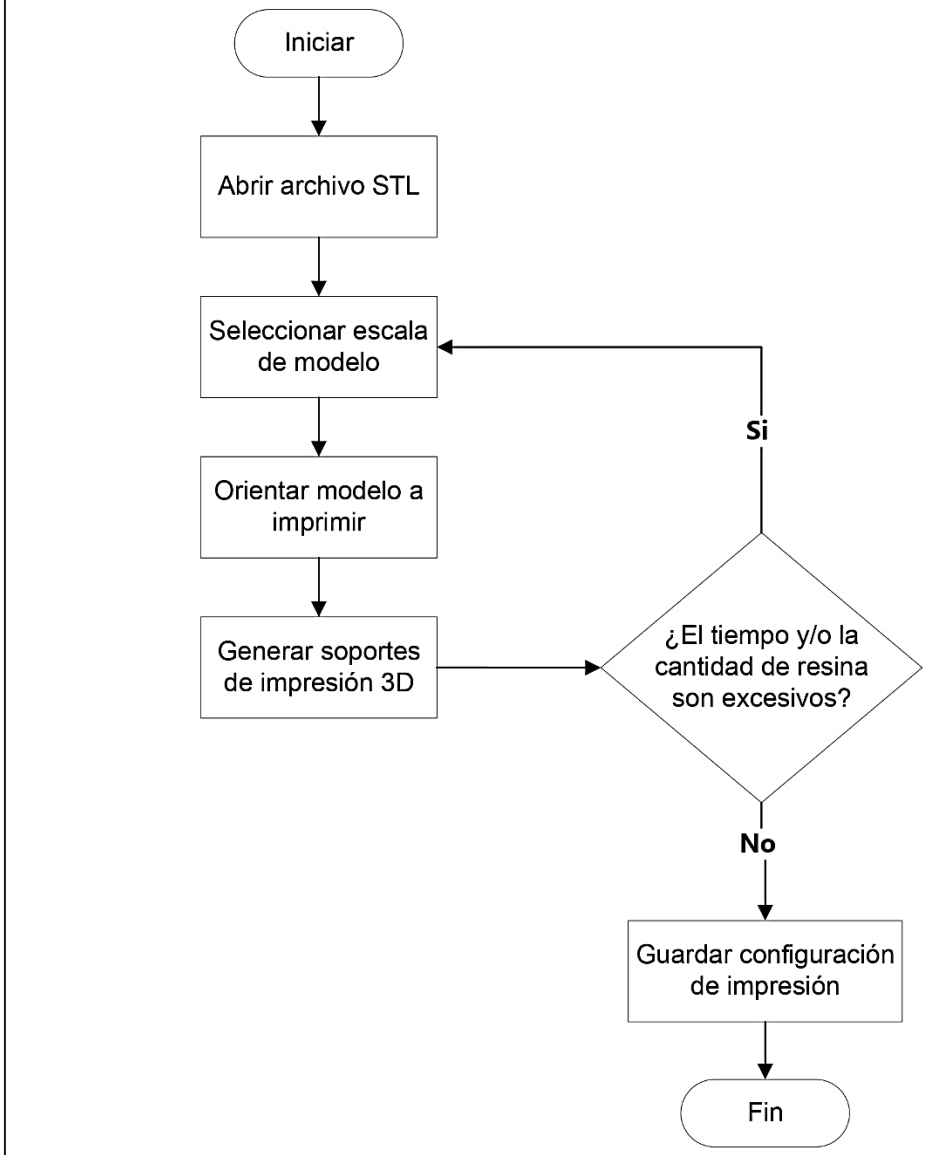
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			medio de un dispositivo USB, utilizando una conexión LAN o por medio de conexión WIFI. Fin del procedimiento.	
Fin del procedimiento				
Tiempo			**17 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Procedimiento 3.1: Configuración de impresión 3D

Técnico en impresión 3D



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Configuraciones de Retroceso de Trabajo (Configuraciones R.T.)		
Objetivo	Disminuir la cantidad de configuraciones de impresiones 3D que resultan defectuosas al ejecutar el proceso de fabricación en las impresoras 3D, para controlar el consumo de recursos y tiempo, evitando retrabajos y detectando fallas comunes en la configuración de fabricación.		
Formula	$Configuraciones\ R.T. = \frac{Cantidad\ de\ configuraciones\ defectuosas}{Total\ de\ configuraciones\ realizadas}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Rango aceptable	0 – 10%
Responsable	Técnico en imagen y modelado 3D.		

ii. Procedimiento 3.2: Calibración de impresora 3D

Previo al inicio de la impresión 3D es requerido inspeccionar la nivelación y calibración de la plataforma o plato de impresión 3D y de ser necesario realizar el ajuste necesario para garantizar una fabricación efectiva y de calidad, pues es muy importante que la primera capa de la pieza debe adherirse eficazmente a la superficie del plato, de lo contrario, cuando la plataforma está inclinada o desalineada con respecto a la parte inferior donde está la pantalla de luz UV, el espacio es demasiado grande para curar la resina en la placa de construcción.

Este procedimiento consiste en revisar si el área de impresión 3D esta alineada y rígida, refiriéndose con esto a la alineación al plato de impresión metálica con respecto a la horizontal del tanque o con respecto a la pantalla de luz UV.

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Objetivo: Establecer los pasos a seguir para inspeccionar la calibración de la impresora 3D y realizar ajustes de calibración necesarios para garantizar impresiones 3D de los modelos anatómicos de pacientes de cardiología efectivos y de calidad.
Alcance: Este procedimiento inicia con la inspección de la calibración del equipo y finaliza cuando el equipo de impresión 3D está complemente calibrado.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Verificar alineación de impresora 3D	Técnico en impresión 3D	Verificar que el plato este elevado y colocar un instrumento de nivel contra el plato metálico de impresión 3D para observar si existe una desnivelación respecto a la horizontal. Si el nivel muestra una desalineación horizontal, continuar en el paso 2. Si el instrumento de nivel muestra una alineación con respecto a la horizontal correcta significa que el equipo está en buen estado para continuar con la impresión de la anatomía solicitada. Fin del procedimiento.	3
2	Retirar tanque de resina	Técnico en impresión 3D	Aflojar los tornillos de sujeción girándolos en el sentido contrario al del reloj, hasta que el tanque pueda desplazarse. Estos tornillos suelen poseer un moleteado o cabeza grande y ergonómica para girarlos con los dedos.	1

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			Luego, retirar el tanque de resina, y colocarlo al lado la impresora. Se advierte que se debe tener cuidado con la superficie del fondo del tanque, y manipularlo con precaución si este contiene resina.	
3	Desplazar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Activar las herramientas de movimiento del eje vertical para mover el plato metálico de impresión 3D hacia abajo, luego aplicar la herramienta “Go home” o ir a z=0 (según la configuración del equipo adquirido) para que el plato de impresión llegue hasta su altura identificada como cero. Mientras el plato se desplaza hacia abajo colocar un hola de papel (es un elemento idóneo para comprobar la calibración del equipo debido a las micras de grosor del papel).	2
4	Verificar calibración de impresora	Técnico en impresión 3D	En la posición z=0 se debe halarse y deslizar la hoja de papel entre el plato y la pantalla de UV. El quipo requiere calibración para realizar las siguientes impresiones si ocurre uno de los siguientes eventos:	2

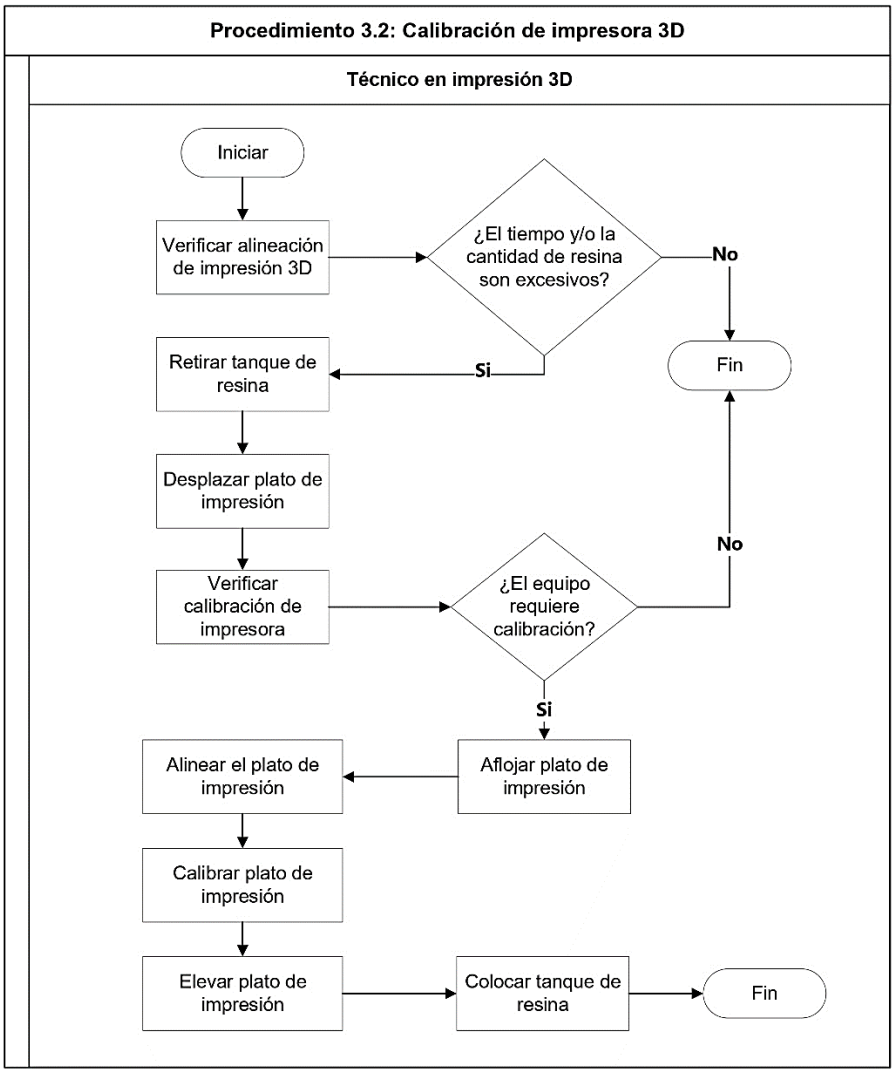
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			• Si la hoja de papel desliza fácilmente. • Si la hoja de papel desliza irregularmente, quedando atrapado solo en dos o una esquina. Por lo tanto, si requiere calibración ir al paso 5. El equipo no requiere calibración para realizar la siguiente impresión si: • La hoja de papel se mantiene relativamente estática entre el plato y la pantalla de luz UV. • Existe algo de resistencia, pero aún se puede deslizar la hoja de papel con un ligero esfuerzo. Por lo tanto, el equipo no requiere calibración y es posible continuar con la impresión de la anatomía solicitada. Fin del procedimiento.	
5	Aflojar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Elevar el planto de impresión a una altura aproximada de 2 a 5 cm con las herramientas de desplazamiento vertical de la impresora 3D (Según las características del equipo adquirido). Luego se deben aflojar el o los tornillos que sujetan el plato de impresión con el brazo de desplazamiento vertical	10

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			haciendo uso de una llave de Allen (de 10 a 5 mm en función de la características y dimensiones del equipo adquirido).	
6	Alinear el plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Mientras el plato está flojo, bajar el plato poco a poco en escala de 1 mm y luego 0.1 mm hasta que el equipo impida el desplazamiento hacia abajo (Esto debido a las funciones mecánicas automáticas de las impresoras 3D). Posteriormente verificar que el plato este alineado con la superficie de la pantalla de luz UV en todas las direcciones, una vez la posición del plato este alineada apretar el o los tornillos de manera uniforme con la llave de Allen; evitar apretar completamente solo uno, si no ir apretando poco a poco y de manera equilibrada cada tornillo hasta finalizar.	8
7	Calibrar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Establecer la altura en la que se ha alineado y apretado los tornillos del plato de impresión como z=0, lo que significa que será la coordenada cero en el eje vertical. Generalmente las impresoras 3D identifican esta altura como la posición inicial o “home”, convirtiéndola en su punto de referencia.	2
8	Elevar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Elevar el plató de impresión para introducir el tanque de resina nuevamente. El plato debe ser elevado	3

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			hasta la altura máxima o a una altura que permita colocar el tanque y la resina posteriormente.	
9	Colocar tanque de resina	Técnico en impresión 3D	Colocar y desplazar el tanque de resina hasta su posición de trabajo, la cual es sobre la pantalla de luz UV, luego se deben apretar los tornillos de sujeción para continuar con la impresión de la anatomía solicitada. Fin del procedimiento.	2
Fin del procedimiento				
Tiempo			**33 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras



Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Tiempo promedio de calibración de impresora 3D (TPC-I3D)
Objetivo	Controlar el tiempo promedio que el personal de impresión 3D invierte en la calibración de las impresoras 3D de resina mensualmente para garantizar que sea una operación que no consuma mucho más

	tiempo del requerido. Además, permitirá determinar la cantidad de veces que el equipo requiere calibración.		
Formula	$TPC - I3D = \frac{Tiempo\ total\ invertido\ en\ calibraciones\ de\ impresión\ 3D}{Cantidad\ de\ calibraciones\ realizadas\ en\ las\ impresoras\ 3D}$		
Periodicidad	Mensual	Rango aceptable	20 – 35 minutos
Responsable	Técnico en impresión 3D.		

iii. Procedimiento 3.3: Suministro de material de impresión.

A continuación, se presenta el procedimiento que establece los pasos que deben seguirse para garantizar la correcta forma de manipulación de la materia prima con la finalidad de optimizar su consumo y salva guardar la integridad física de los técnicos de impresión 3D.

Por lo tanto, en este procedimiento se advierte sobre la importancia de utilizar el equipo de protección personal y las herramientas de manipulación de resinas adecuadas debido a que las resinas de impresión 3D suelen contener monómeros, foto iniciadores, aditivos y como muchos otros químicos también contiene compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales en concentraciones altas, en contacto directo y frecuente con la piel representan un riesgo para salud, quemaduras o ampollas menores en la piel al contacto con la luz UV, reacciones alérgicas o irritaciones.

Objetivo: Establecer los pasos a seguir para el correcto suministro de materia prima en la impresora 3D garantizando su manipulación de forma segura para cuidar la integridad física de los trabajadores y optimizar el consumo de esta.

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Alcance: Este procedimiento inicia con la verificación del tanque de resina y hasta que la resina es vertida en el tanque de la impresora 3D.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Utilizar equipo de protección personal	Técnico en impresión 3D	Colocar el equipo de protección personal debido a la próxima manipulación de resina, el cual está integrado por: • Para máxima seguridad mascaras respiradoras con filtros ante vapores orgánicos (clase de filtro: P100). • Para manipulación rápida mascarillas con carbón activo. • Guantes de nitrilo libre de látex desechable para manipular la resina, evitando así el contacto directo con la piel de las manos. • Bata de protección, para evitar el contacto de resina en los brazos y la ropa. • Gafas de seguridad para proteger los ojos en caso de salpicaduras o derrames accidentales.	5
2	Revisar tanque de impresión	Técnico en impresión 3D	Verificar que la superficie del fondo de tanque de resina esté limpio, seco, libre de partículas de resina solidificada, polvo y otros elementos que pudieran haberse introducido.	1

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			• Si el tanque contiene resina liquida continuar en el paso 3. • Si el tanque solamente contiene residuos de resina o partículas sólidas ir al paso 4. Se advierte que el tanque debe limpiarse al finalizar la impresión de anatomías solicitadas para disponer del mismo en la próxima fabricación de piezas. Nota 1: El fondo del tanque es una capa plástica transparente que no debe poseer daños o rallas al grado que impidan el paso de la luz UV. Se advierte que el fondo de los tanques sufre daños, por lo tanto, debe ser sustituida cada cierto tiempo, en función de desgaste observado. Nota 2: Las resinas de impresión 3D incluyen foto iniciadores, unas moléculas que en presencia de luz inician la reacción de polimerización haciendo que la resina se solidifique. Es por esto por lo que para conservar las resinas se deberán proteger de todo tipo de luz. Cuando no se realicen impresiones se retirará la resina del tanque y se guardará	

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			en el recipiente suministrado por el fabricante. La mayoría de las impresoras 3D de resina incluyen una cubierta de color ámbar o rojo para proteger el interior de la entrada de luz azul (UV).	
3	Verificar tiempo de resina	Técnico en impresión 3D	Cuando el tanque aun contiene resina en estado líquido de la impresión anterior, se debe evaluar si la resina ha estado más de tres días en el tanque. Si la resina tiene menos de 3 días en el tanque es permitido utilizar el remanente de resina para iniciar la siguiente impresión 3D. Ir al paso de 8. Si la resina en el tanque tiene más de 3 días se debe extraer del tanque.	2
4	Extraer tanque de resina	Técnico en impresión 3D	Extraer el tanque de impresión 3D, estos suelen tener dos tornillos de sujeción, uno a la izquierda y otro a la derecha los cuales se deben girar en sentido antihorario para aflojar y extraer el tanque de la zona de impresión 3D.	2
5	Vaciar resina vieja del tanque	Técnico en impresión 3D	En la mesa de trabajo y sobre una bandeja metálica, posicionar el tanque de forma inclinada para vaciar la vieja resina en un envase de paredes oscuras vacío utilizando filtros de papel para	4

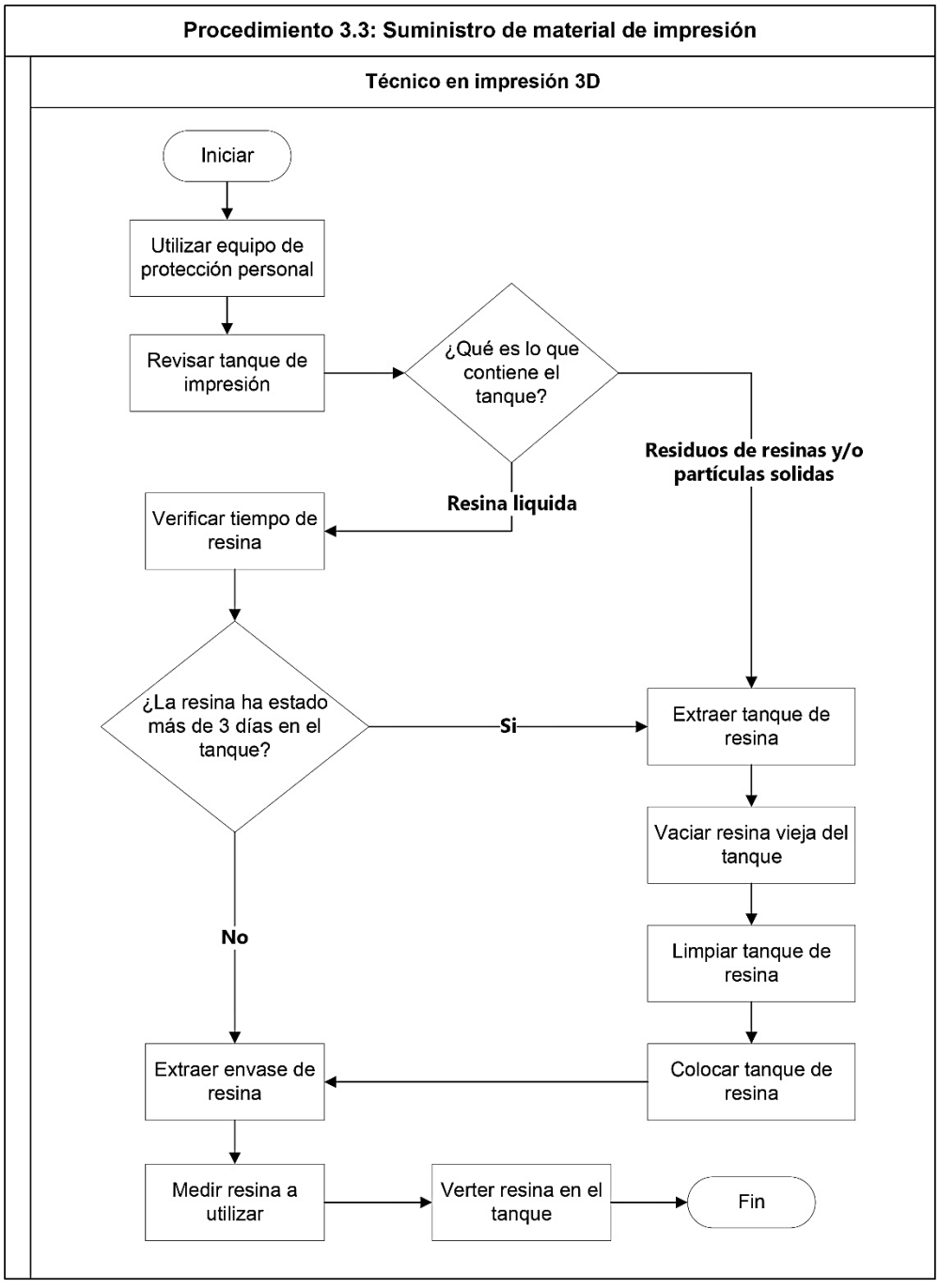
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			resina o coladores finos para filtrar y retener resina solidificada. Si el tanque contiene solamente contiene residuos de resina o partículas sólidas continuar en el paso 6.	
6	Limpiar tanque de resina	Técnico en impresión 3D	Aplicarse alcohol isopropílico con un atomizador y papel toalla para eliminar los residuos de resina de la superficie del tanque. Luego, con ayuda de una espátula de plástico remover cualquier material solido que este adherido en la superficie del fondo del tanque de forma suave y uniforme. Posteriormente, dejar un momento secando al aire libre y finalmente con papel toalla secar las zonas en las que aún queda resina oculta.	7
7	Colocar tanque de resina	Técnico en impresión 3D	Colocar el tanque con la resina sobre el área de la pantalla de luz UV y deslizarlo suavemente hasta que encaje y quede en su posición, luego apretar los tornillos de sujeción en sentido horario hasta que el tanque quede completamente fijo.	2
8	Extraer envase de resina	Técnico en impresión 3D	Extraer envase de resina de su lugar de almacenamiento y transportarlo hasta la mesa de trabajo y colocarlos sobre una	1

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			bandeja de acero, cuidando de poseer el equipo de protección personal.	
9	Medir resina a utilizar	Técnico en impresión 3D	Agitar el envase de resina por al menos 1 minuto para homogenizar el contenido interno y verterlo en un envase que contenga una escala de medición en L o en mL, y llenarlo hasta la cantidad requerida. Si el tanque de resina de la impresora 3D cuenta con una escala de medición propia, se sugiere realizar la medición de la cantidad de resina a utilizar directamente sobre dicho tanque. El envase de resina debe cerrarse herméticamente, para proteger el material de la contaminación y de la radiación UV y de derrames accidentales. Luego colocar el envase en su lugar de almacenamiento. En esta operación es requerido utilizar una bandeja metálica como superficie de trabajo para evitar ensuciar la mesa ante cualquier derramamiento o accidente al manipular la resina y disponer de papel absorbente para limpiar las superficies de trabajo y envase.	4

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			Nota: La cantidad de resina a utilizar es determinada por el software de configuración de impresión 3D, por lo que es importante haber realizado la configuración de impresión previamente. Se debe agregar la cantidad indicada por el software más un 4% más para contrarrestar los desperdicios de resina en las superficies de contacto.	
10	Verter resina en el tanque	Técnico en impresión 3D	Transportar la resina en el envase utilizado para la medición y verter suave y uniformemente toda la resina en el tanque para dar inicio al proceso de impresión. Fin del procedimiento.	1
Fin del procedimiento				
Tiempo			**29 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras


Procedimiento 3.3: Suministro de material de impresión
Técnico en impresión 3D
Iniciar
Utilizar equipo de protección personal
Revisar tanque de impresión
¿Qué es lo que contiene el tanque?
Residuos de resinas y/o partículas solidas
Resina liquida
Verificar tiempo de resina
¿La resina ha estado más de 3 días en el tanque?
Si
Extraer tanque de resina
Vaciar resina vieja del tanque
Limpiar tanque de resina
Colocar tanque de resina
No
Extraer envase de resina
Medir resina a utilizar
Verter resina en el tanque
Fin

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Rotación de resina		
Objetivo	Conocer la cantidad de veces se renueva el inventario de resina anualmente, para determinar con qué frecuencia realizar pedidos de reposición y cuánta resina mantener en almacenamiento.		
Formula	$$Rotación\ de\ resina = \frac{Costo\ total\ de\ las\ piezas\ anatómicas\ fabricadas}{Costo\ promedio\ de\ resina}$$ $$Donde:$$ $$Costo\ promedio\ de\ resina = \frac{Costo\ de\ inventario\ de\ resina\ inicial + costo\ de\ inventario\ de\ resina\ final}{2}$$		
Periodicidad	Anual	Criterio de buena gestión	Garantizar un mayor índice de rotación de resina: Indica que se han fabricado muchas piezas anatómicas y que se ha renovado frecuentemente la resina.
Responsable	Asistente administrativo y Técnico en imagen y modelado 3D.		

Nombre del indicador	Porcentaje de resina desperdiciada
Objetivo	Determinar la cantidad de resina en mL que se desperdicia debido a la mala gestión y manipulación de esta, con el fin de minimizar la pérdida del material de impresión.
Formula	$$\%\ de\ resina\ desperdiciada = \frac{Total\ de\ mL\ de\ resina\ desperdiciada}{Total\ de\ mL\ de\ resina\ en\ almacenamiento}\ x\ 100\%$$

	$Donde$: $Resina\ desperdiciada: Es\ aquella\ que\ supera\ 3\ días\ en\ el\ tanque\ y\ expuesta\ al\ aire\ libre$		
Periodicidad	Anual	Meta	5%
Responsable	Asistente administrativo y Técnico en imagen y modelado 3D.		

iv. Procedimiento 3.4: Iniciar y controlar fabricación 3D.

A continuación, se muestra el procedimiento enfocado en iniciar e inspeccionar el proceso de fabricación digital realizado por medio de la impresora 3D de tecnología SLA la cual utiliza resina como material de fabricación, para lo cual es necesario contar con inspección del técnico en impresión 3D para garantizar la eficacia de la fabricación.

Objetivo: Establecer los pasos a seguir para iniciar e inspeccionar el proceso de fabricación 3D de la pieza anatómica solicitada.
Alcance: El presente procedimiento inicia al introducir el archivo de configuración de la impresión a la impresora y finaliza al extraer la pieza anatómica solicitada de la impresora 3D.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Utilizar equipo de protección personal	Técnico en impresión 3D	Utilizar el equipo de protección personal para protegerse de los vapores y olores que emanan durante el proceso de estereolitografía de la impresora 3D con resina.	10

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

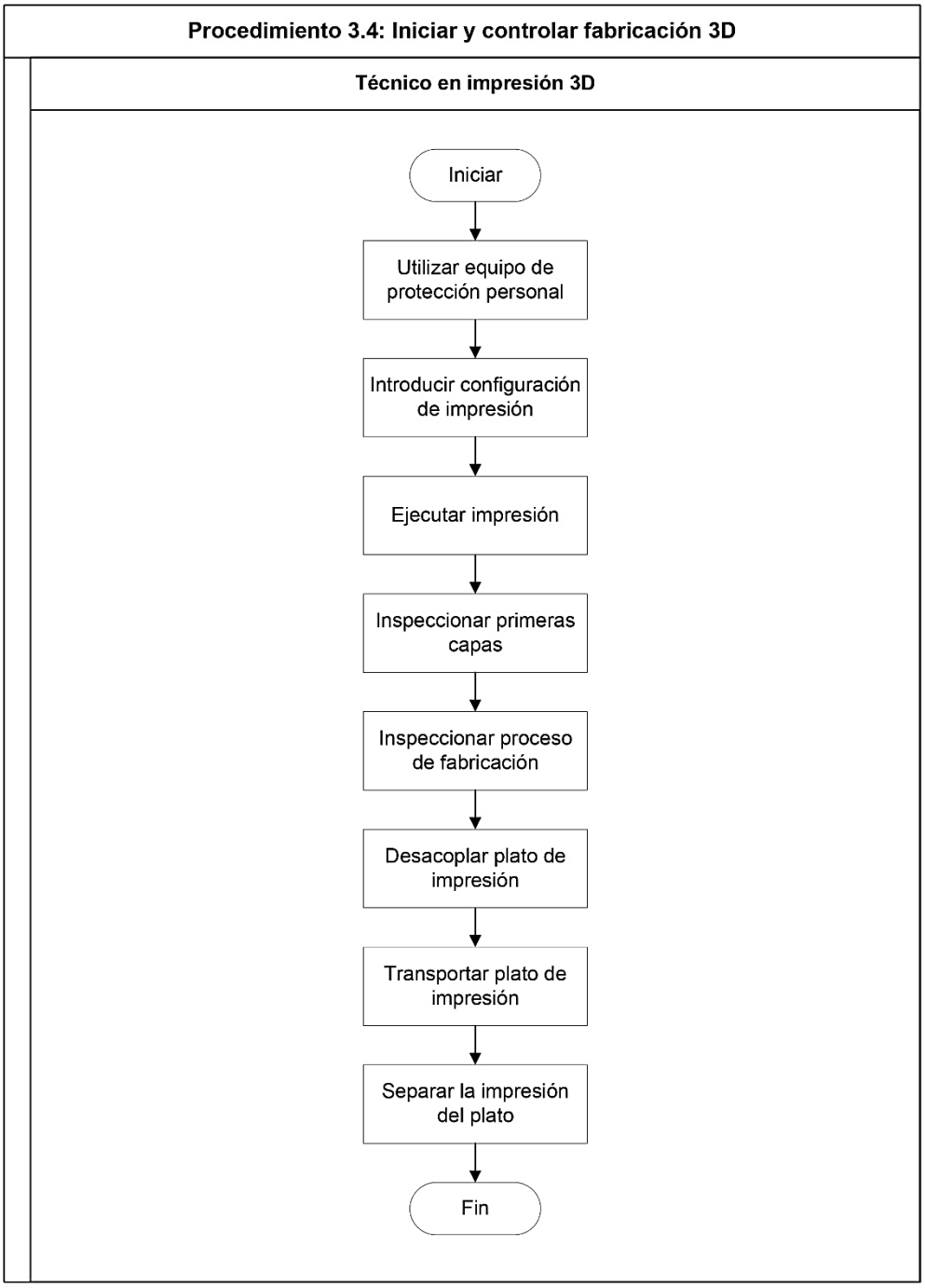
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			Nota: La exposición ser prolongada a estos vapores y olores producen irritación y son nocivos para la salud cuando no se tiene cuidado en su manipulación y supervisión durante grandes periodos de exposición.	
2	Introducir configuración de impresión	Técnico en impresión 3D	Introducir el archivo de impresión 3D por medio de una red network, wifi o a través de una memoria USB. • Si se utiliza la red network la configuración se cargará automáticamente desde la computadora hasta la impresora 3D por medio de un cable LAN. • Si se selecciona trabajar con una memoria USB la transferencia del archivo a la impresora 3D es directa y mucho más confiable. Para navegar entre los archivos y seleccionar el que se desea imprimir se utiliza los comandos de control y la pantalla táctil destinados a dicha tarea. • La conexión wifia depende de la característica de la impresora 3D adquirida.	2
3	Ejecutar impresión	Técnico en impresión 3D	La selección y ejecución se realiza según los casos siguientes: • Utilizando memoria USB: Identificar el archivo que se desea imprimir por medio del sistema	

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			operativo que la impresora 3D muestra en su pantalla táctil, seleccionar e iniciar el archivo de la anatomía solicitada. • Utilizando Wifi o red network: Se utiliza el software de configuración de impresión y desde el mismo se inicia el proceso de impresión 3D.	
4	Inspeccionar primeras capas	Técnico en impresión 3D	Inspeccionar la impresión 3D durante los primeros 5 minutos para verificar que las primeras capas de la pieza en fabricación se están ejecutando correctamente. Adicionalmente se deben controlar los siguientes aspectos: • Cerrar todas las puertas y/o capas protectoras de la impresora 3D pues su función es proteger a las personas. • Procurar que la impresora 3D se encuentre ubicada en un lugar donde el aire mantenga una circula fluida y así evitar que el aire se estanque. Nota: Las primeras capas son la base de la pieza anatómica solicitada y son clave para que el producto final sea satisfactorio.	5
5	Inspeccionar proceso de fabricación	Técnico en impresión 3D	Realizar tres pausas breves al proceso de impresión 3D de la pieza anatómica	540

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			solicitada para verificar que la fabricación de capas marcha correctamente. Al finalizar la impresión, la impresora 3D automáticamente desplazan la pieza hasta su altura máxima para su extracción, sin embargo, se recomienda conservar ese estado de reposo un tiempo de 5 minutos para que la resina liquida se desprenda por gravedad de la pieza fabricada. Nota: El proceso de fabricación es la operación en la cual la luz ultravioleta cura la resina líquida compuesta por fotopolímeros y la convierte en plástico endurecido en un proceso conocido como fotopolimerización.	
6	Desacoplar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Abrir la puerta o capa protectora de la impresora 3D y girar el tornillo de sujeción grande en sentido antihorario lo cual permite desacoplar todo el conjunto del plato de impresión del equipo para extraer la pieza anatómica solicitada. Nuevamente se advierte la utilización del equipo de protección personal sobre todo en las manos y ojos. El equipo se compone por guantes de nitrilo, mascarillas con carbón activo, anteojos	5

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
			de seguridad y una gabacha para proteger brazos y vestuario. Nota: Cuando la resina ha sido curada no hay riesgo para la salud, sin embargo, se recomienda el uso de mascarilla como medida de seguridad y para evitar respirar el fuerte e incómodo olor de algunas resinas.	
7	Transportar plato de impresión	Técnico en impresión 3D	Transportar el plato de impresión la cual contiene la pieza anatómica solicitada y colocarlo sobre una bandeja metálica para que el residuo de resina liquida continue escurriendo de la pieza fabricada por 5 minutos.	1
8	Separar la impresión del plato	Técnico en impresión 3D	Separar aplicando un poco de fuerza la pieza fabricada de la superficie del plato de impresión con ayuda de una espátula de plástico (debe ser así para no dañar la pieza y cuidar la superficie metálica de la base de impresión), se debe presionar horizontalmente la base de la pieza fabricada hasta separarla de la superficie metálica. Posteriormente la pieza fabricada y el plato de impresión se deben colocar sobre papel toalla para su posterior limpieza.	5
Fin del procedimiento				
Tiempo			**568 minutos**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras


Procedimiento 3.4: Iniciar y controlar fabricación 3D
Técnico en impresión 3D
Iniciar
Utilizar equipo de protección personal
Introducir configuración de impresión
Ejecutar impresión
Inspeccionar primeras capas
Inspeccionar proceso de fabricación
Desacoplar plato de impresión
Transportar plato de impresión
Separar la impresión del plato
Fin

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Tiempo promedio de fabricación 3D (TPF-3D)		
Objetivo	Determinar la cantidad de tiempo requerido para los diferentes tipos de impresiones 3D según los usos y dimensiones para controlar y optimizar los casos que sobre pasan los tiempos estimados identificando los factores que prolongas más de los debido la fabricación 3D.		
Formula	$TPF - 3D = \frac{Tiempo\ total\ de\ fabricación\ 3D}{Total\ de\ piezas\ anatómicas\ 3D\ finalizadas}$		
Periodicidad	Mensual	Rangos aceptables: Solicitud de anatomías para estudios Malformaciones congénitas (10 a 15 cm) Anatómicas con altura menor a 10 cm	 10 - 24 horas 5 – 9 horas 2 – 8 horas
Responsable	Jefe de departamento y Técnico en impresión 3D.		

Nombre del indicador	Porcentaje de uso de impresora 3D		
Objetivo	Conocer el nivel de uso de la o las impresoras 3D para crear estrategias que permitan maximizar su utilización o identificar factores que le impiden trabajar con normalidad y frecuencia.		
Formula	$\%\ de\ uso\ de\ impresora\ 3D = \frac{Horas\ de\ trabajo\ activo\ de\ impresora\ 3D}{Total\ de\ horas\ de\ trabajo\ del\ mes}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	80%
Responsable	Jefe de departamento y Técnico en impresión 3D.		

d. Proceso 4.0: Post acabado y entrega de piezas fabricadas

i. Procedimiento 4.1: Limpieza y post curado de piezas fabricadas.

El presente procedimiento establece los pasos a seguir para eliminar las estructuras de soporte de impresión, realizar la limpieza de la pieza y realizar el post curado de las piezas anatómicas solicitadas. La manipulación de la pieza fabricada debe ser cuidadosa dado que aún no sufre un post curado de endurecimiento, por lo que botarla o aplicar fuerza en exceso de algún tipo podría llegar a dañarla.

Nuevamente se recomienda el uso del equipo protección personal compuesto por guantes de nitrilo, mascarillas con carbón activo, anteojos de seguridad y una gabacha para proteger brazos y vestuario. Es importante mencionar que el riesgo a la salud es mínimo pues la resina ya ha sufrido un cambio físico y químico.

Posterior a la limpieza, la pieza fabricada requiere post curado para otorgarle una estructura sólida y resistente, para lo cual se somete la pieza fabricada a un baño continuo de luz UV y en algunos casos acompañado de un aumento de temperatura para curar definitivamente la pieza y así maximizar sus propiedades mecánicas.

Objetivo: Orientar al personal de impresión 3D en los pasos a seguir para el eficaz limpieza y post curado de las piezas anatómicas fabricadas para garantizar una pieza totalmente lista y con acabado para ser entregada.
Alcance: El procedimiento inicia con la eliminación los soportes de impresión 3D y finaliza con el post curado final de las piezas fabricadas.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Cortar los soportes de impresión	Técnico en impresión 3D	Cortar las estructuras de soporte con la que fue fabricada la pieza anatómica solicitada sobre una mesa metálica, la pieza debe tomarse con la mano izquierda (o la mano de uso secundario) para que con la mano derecha se tome un alicate metálico de punta larga para cortar y desprender cuidadosamente los soportes de impresión. Eliminar todos los soportes y protuberancias residuales para continuar con la limpieza de la pieza anatómica. Los desechos de los soportes deben ser depositados en una bolsa plástica cuidando que no se mezcle con ningún otro tipo de material o basura. Además del alicate de punta larga, utilizar una pinza metálica larga y curva de disección, así como también un bisturí o escalpelo de acero inoxidable para realizar cortes de precisión para desprender los soportes difíciles sin dañar la pieza.	10
2	Revisar contenido del tanque	Técnico en impresión 3D	Revisar si la maquina limpiadora contiene alcohol isopropílico en el tanque. • Si el tanque de la maquina contiene alcohol isopropílico ir al paso 3.	1

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

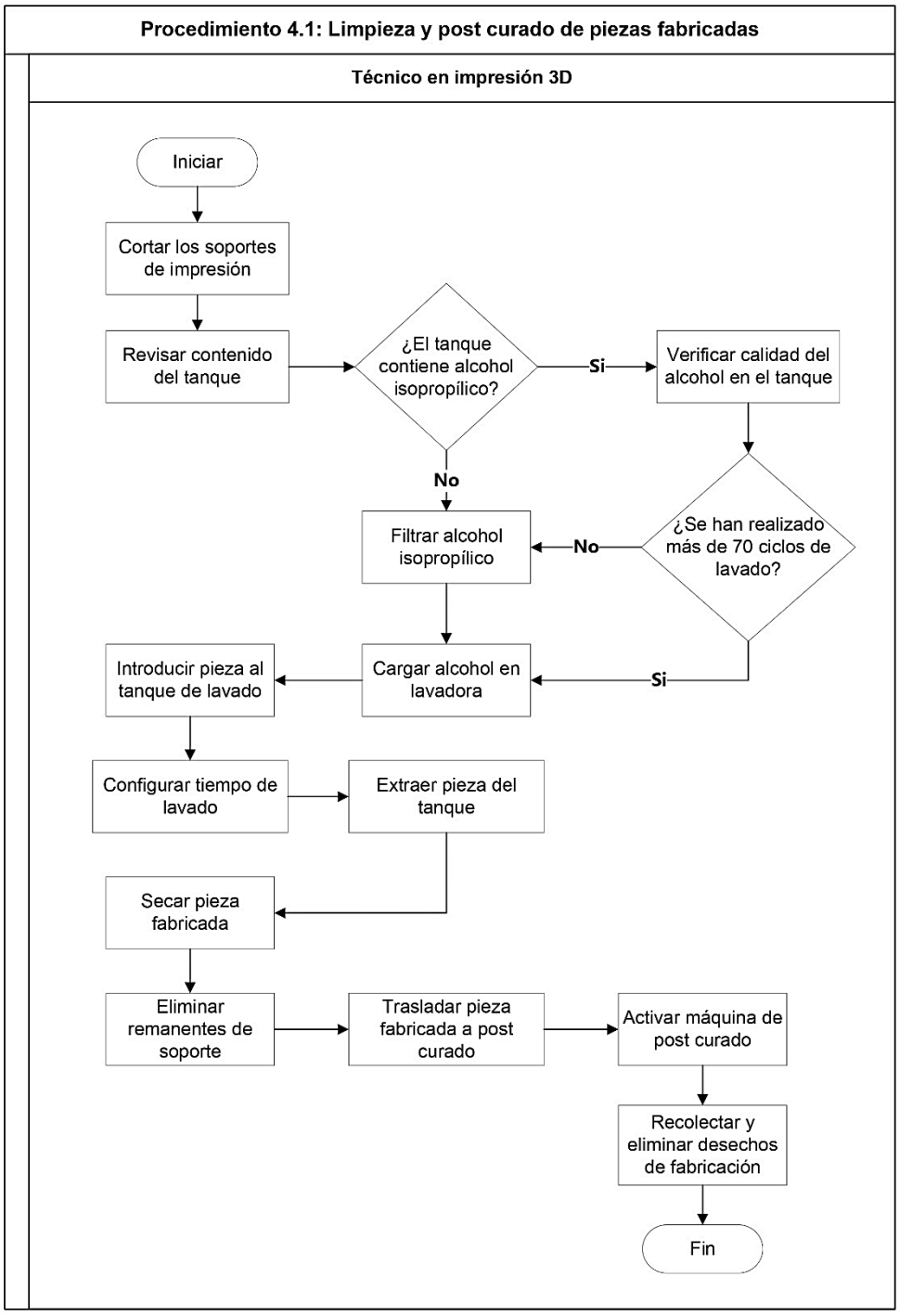
			• Si el tanque está limpio y vacío ir al paso 5.	
3	Verificar calidad del alcohol en el tanque	Técnico en impresión 3D	Verificar la cantidad de ciclos de lavados que el alcohol isopropílico contenido en el tanque de lavado ha realizado por medio de la bitácora de registro de trabajo. • Si han sido menor a 70 ciclos de lavado, pero contiene partículas sólidas se debe continuar en el paso 4. • Si es mayor a 70 ciclos de lavado, extraer alcohol isopropílico, verter en el envase del proveedor y botarlo. Luego ir al paso 5. Nota: Las maquinas lavadoras de resina tienen un rendimiento de 70 operaciones de lavado por cada 8.6 L de alcohol isopropílico cargado en el tanque, por lo que cada impresión consume aproximadamente 0.13 L.	1
4	Filtrar alcohol isopropílico	Técnico en impresión 3D	Extraer alcohol isopropílico del tanque y verterlo sobre un envase temporal utilizando un filtro fino para extraer las partículas de resina solidificada. La extracción del alcohol del tanque se hace desacoplando y sacando el tanque de resina según sus características mecánicas.	5

5	Cargar alcohol en lavadora	Técnico en impresión 3D	Extraer 8.6 L alcohol isopropílico del almacenamiento y llenar el tanque de la máquina lavadoras de impresiones SLA. El lavado se realiza aplicando un baño de alcohol isopropílico del 90% o más, llegando hasta el 99% para una máxima limpieza, siendo un disolvente de rápida evaporación	5
6	Introducir pieza al tanque de lavado	Técnico en impresión 3D	Tomar impresión 3D y movilizarla hasta el área en la que se ubica la máquina de lavado e introducir la pieza al interior del tanque de lavado de la máquina. La pieza debe estar completamente sumergida y en una posición que le permita al líquido entrar a todos los canales y estrías irregulares de la pieza anatómica.	1
7	Configurar tiempo de lavado	Técnico en impresión 3D	Configurar el tiempo de lavado de la máquina, el tiempo estándar es de 15 minutos, sin embargo, puede variar en función del tamaño e irregularidad de la superficie. El lavado debe eliminar toda la resina residual que no ha sido solidificada de la superficie de la pieza fabricada.	17

			Nota: El movimiento que las máquinas de lavado aplican suele ser vibratorio o giratorio.	
8	Extraer pieza del tanque	Técnico en impresión 3D	Al final el periodo de lavado en la máquina extraer la pieza del tanque con ayuda de un alicate de punta larga y colocarlo sobre papel toalla en una superficie metálica, procurando que la pieza bote el alcohol adherido a la superficie.	1
9	Secar pieza fabricada	Técnico en impresión 3D	Colocar la pieza en una mesa de trabajo sobre papel toalla. El secado debe realizarse con ayuda de papel toalla para evitar que otro tipo de material se adhiera a la superficie, luego dejarlo al aire libre para que el disolvente restante se evapore completamente. Desechar el papel toalla sucio en una bolsa plástica y sellarla para evitar que contaminar el aire con el fuerte olor del alcohol isopropílico.	2
10	Eliminar remanentes de soporte	Técnico en impresión 3D	Verificar que la pieza esta seca y cortar o lijar los remanentes de soporte no deseados, residuos de resina no deseados o cualquier otro elemento en la superficie que no deba formar parte de la pieza anatómica solicitada.	5
11	Trasladar pieza fabricada a post curado	Técnico en impresión 3D	Trasladar la pieza hasta la máquina de post curado y colocarla en el espacio de curado de tal manera que toda la superficie reciba luz UV, y luego cerrar el espacio de trabajo de la máquina.	1

12	Activar máquina de post curado	Técnico en impresión 3D	Configurar la máquina de post curado para darle a la pieza fabricada las propiedades superficiales requeridas. El tiempo de exposición y la temperatura dependerán de las especificaciones técnicas de la resina utilizada, la calidad final deseada en la superficie y funcionamiento de la pieza. El tiempo de post curado para la resina estándar suele ser de 15 minutos. Posteriormente se debe activar la máquina de post curado y esperar hasta que la operación finalice para extraer la pieza de la máquina y trasladarla a la siguiente operación.	17
13	Recolectar y eliminar desechos de fabricación	Técnico en impresión 3D	Recolectar todos los desechos sólidos y líquidos provenientes de la resina e impresiones 3D, por medio de los protocolos, políticas y procedimientos internos propios de la institución interna. Fin del procedimiento. Las acciones de gestión de los desechos se ha de realizar a partir de los siguientes lineamientos: a) Resina liquida: Desechos líquidos de resina proveniente de los derrames durante el manejo de la materia prima y de residuos durante el proceso de limpieza de las impresiones 3D. Acción correctiva: Aplicar procedimientos internos y herramientas que faciliten la recolección, manipulación y eliminación de los residuos de resina de manera segura.	-

			b) Resina endurecida: Las resinas en general están compuestas por monómeros y polímeros fotosensibles que se solidifican cuando se exponen a la luz ultravioleta, lo cual ocurre durante la impresión 3D, y que durante el proceso de limpieza y acabado superficial se desechan secciones y partículas endurecidas. Acción correctiva: Aplicar procedimientos internos y herramientas para la recolección, manipulación y eliminación de los residuos platicos de manera segura. c) Gases de impresión 3D: Durante el proceso de solidificación de la resina con luz ultravioleta (proceso de impresión 3D), existe un proceso químico y físico del que se desprenden olores y gases que en grandes cantidades pueden ser levemente perjudiciales, sobre todo en espacios cerrados. Acción correctiva: Garantizar el flujo de aire constante en los espacios de fabricación por medio de ventanas. Incorporar sistemas de purificación de aire.	
Fin del procedimiento				
Tiempo			**66 minutos**	


Procedimiento 4.1: Limpieza y post curado de piezas fabricadas
Técnico en impresión 3D
Iniciar
Cortar los soportes de impresión
Revisar contenido del tanque
¿El tanque contiene alcohol isopropílico?
Si
Verificar calidad del alcohol en el tanque
No
¿Se han realizado más de 70 ciclos de lavado?
No
Filtrar alcohol isopropílico
Si
Introducir pieza al tanque de lavado
Cargar alcohol en lavadora
Configurar tiempo de lavado
Extraer pieza del tanque
Secar pieza fabricada
Eliminar remanentes de soporte
Trasladar pieza fabricada a post curado
Activar máquina de post curado
Recolectar y eliminar desechos de fabricación
Fin

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Cantidad de piezas estropeadas		
Objetivo	Determinar la cantidad de piezas que, dañadas por el personal en el proceso de eliminación de soportes de impresión, para establecer mejoras al procedimiento de eliminación de los soportes y limpieza de la superficie de las piezas anatómicas fabricadas.		
Formula	$$Cantidad\ de\ piezas\ estropeadas = Total\ de\ piezas\ estropeadas - Piezas\ dañadas\ por\ desperfectos\ mecanicos\ de\ equipos$$		
Periodicidad		Meta	
Responsable			

Nombre del indicador	Tiempo promedio de limpieza y lavado		
Objetivo	Conocer el tiempo promedio invertido en las actividades de limpieza y lavado de las piezas anatómicas fabricadas, para optimizar y mejorar los tiempos y actividades a realizar.		
Formula	$$TP\ de\ limpieza\ y\ lavado = \frac{Tiempo\ total\ invertido\ en\ actividades\ de\ limpieza\ y\ lavado}{Cantidad\ de\ piezas\ trabajadas\ al\ mes}$$		
Periodicidad	Mensual	Rango aceptable	20 a 40 minutos
Responsable			

Nombre del indicador	Tiempo promedio de post curado
Objetivo	Controlar el tiempo promedio requerido para realizar el post curado de las piezas anatómicas fabricadas, con la finalidad de controlar que la actividad se convierta en un obstáculo de entregas a tiempo.

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Formula	$TP\ de\ post\ curado = \frac{Tiempo\ total\ invertido\ en\ actividades\ de\ post\ curado}{Cantidad\ de\ piezas\ trabajadas\ al\ mes}$		
Periodicidad	Mensual	Rango aceptable	15 a 30 minutos
Responsable			

ii. Procedimiento 4.2: Esterilización y entrega de impresión 3D

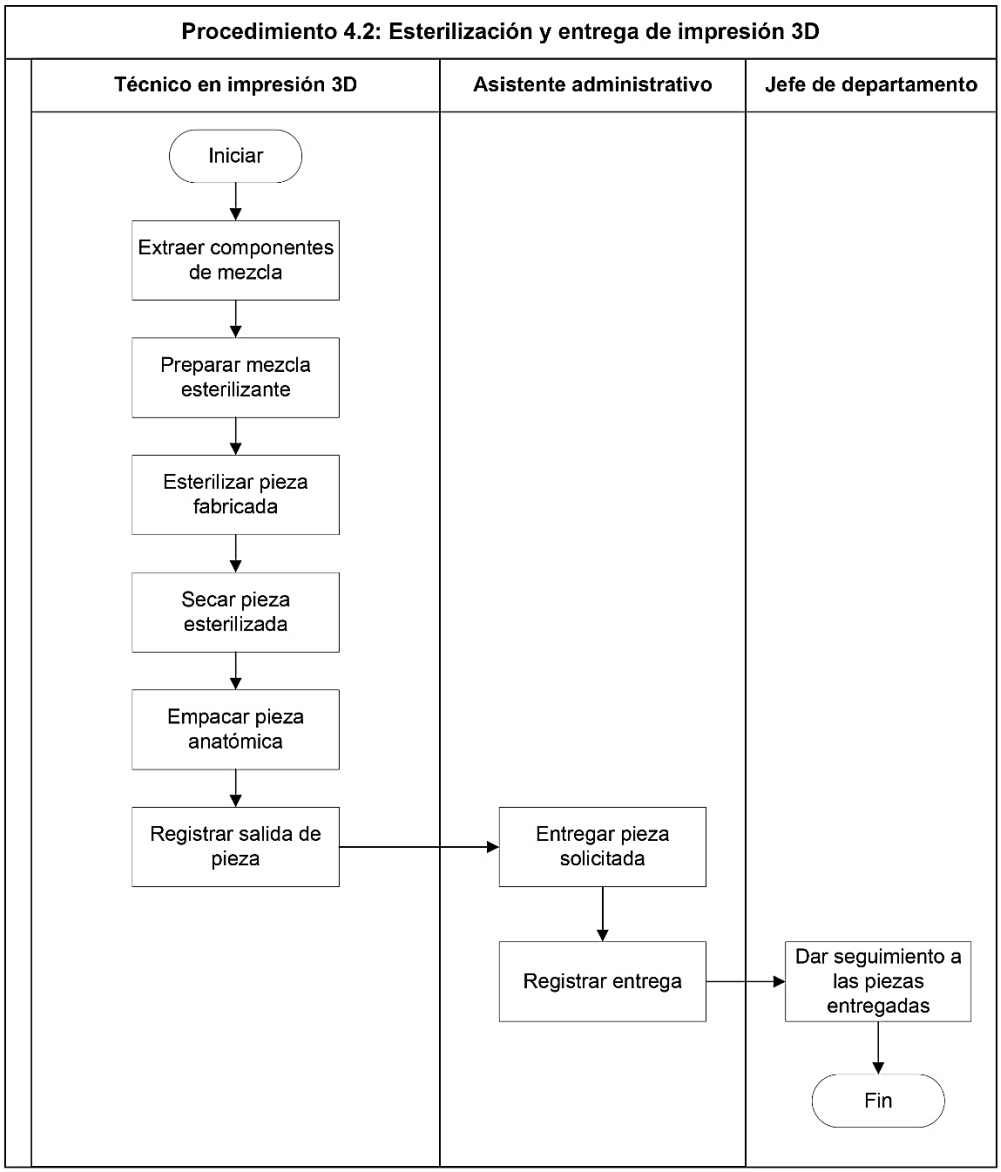
El presente procedimiento establece los pasos a seguir para eliminar todas las partículas orgánicas que se adhieren en la superficie de la pieza durante el proceso de fabricación, debido a que su destino son espacios médicos en el que estará en contacto directo con cirujanos y pacientes es de vital importancia garantizar su completa esterilización.

Objetivo: Establecer la forma idónea para la entrega de las piezas anatómicas fabricadas para garantizar un producto completamente limpio, empacado y entregado de forma oportuna y sistémica.
Alcance: El procedimiento a continuación abarca desde la extracción de los suministros de la mezcla de esterilización de la pieza anatómica fabricada hasta el seguimiento de satisfacción de las piezas entregadas a los clientes internos o externos.

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (min)
1	Extraer componente de mezcla	Técnico en impresión 3D	Extraer envase de amonio cuaternario al 10% del almacén de suministros y con ayuda de un envase con escala de medición extraer 5 mL. Luego obtener 1 L de agua. Posteriormente trasladar todo a la mesa de trabajo.	5

2	Prepara mezcla esterilizante	Técnico en impresión 3D	Mezclar 1 L de agua con 5 mL de amonio cuaternario al 10%. Si es requerido una mayor cantidad de mezcla, mantener la proporción de 5 mL de amonio cuaternario por cada litro de agua.	1
3	Esterilizar pieza fabricada	Técnico en impresión 3D	Verter la mezcla en un recipiente atomizador y colocar en las manos guantes quirúrgicos de látex. Seguidamente esterilizar la pieza anatómica por aspersión utilizando el atomizador hasta que la pieza quede completamente cubierta por la mezcla, durante 3 minutos, permitiendo que la mezcla se deslice por toda la superficie.	4
4	Secar pieza esterilizada	Técnico en impresión 3D	Permitir que la pieza se seque al aire libre y luego secar totalmente utilizando papel toalla u material que no deje residuos en la superficie.	2
5	Empacar pieza anatómica	Técnico en impresión 3D	Tomar y trasladar caja transparente de acetato de su lugar de almacenamiento e introducir la pieza anatómica en una caja de acetato para garantizar su hermeticidad y seguridad previo a la entrega al solicitante.	5
6	Registrar salida de pieza	Técnico en impresión 3D	Registrar la finalización de la pieza solicitada y notificar al cirujano solicitante por medio de correo electrónico. Destacando que la pieza pasar de estar en proceso a estar terminada.	5
7	Entregar pieza solicitada	Asistente administrativo	Ir y entregar pieza empacada al cirujano solicitante y registrar la firmar de recibido en el registro de entrega. Si el solicitante es un cirujano o equipo médico externo al área de cardiología o externo al hospital, informarle que el	10

			trabajo de fabricación ha finalizado para que llegue a recibir la pieza anatómica.	
8	Registrar entrega	Asistente administrativo	Actualizar en sistema digital de seguimiento y control de impresiones 3D el estatus de pieza entregada.	5
9	Dar seguimiento de las piezas entregadas	Jefe de departamento	Dar seguimiento de las piezas que han sido entregadas por medio de un formulario de satisfacción y comentarios de mejora para conocer las necesidades y oportunidades de mejora identificadas por los cirujanos solicitantes o clientes externos, por lo que el periodo de seguimiento debe ser al menos por 30 días y en segundo plano de manera constante. Fin del procedimiento.	--
Fin del procedimiento				
Tiempo			**37 minutos**	


Procedimiento 4.2: Esterilización y entrega de impresión 3D
Técnico en impresión 3D
Asistente administrativo
Jefe de departamento
Iniciar
Extraer componentes de mezcla
Preparar mezcla esterilizante
Esterilizar pieza fabricada
Secar pieza esterilizada
Empacar pieza anatómica
Registrar salida de pieza
Entregar pieza solicitada
Registrar entrega
Dar seguimiento a las piezas entregadas
Fin

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Entregas a tiempo (EAT)		
Objetivo	Determinar el porcentaje de solicitudes que fueron entregados a tiempo, midiendo el tiempo desde que fue recibida la solicitud hasta el registro de su entrega, garantizando la puntualidad de trabajo y entrega del personal del departamento de modelado y fabricación digital anatómica. Se recalca que la entrega puntual es crucial para la planificación quirúrgica y atención de calidad a los pacientes de cardiología.		
Formula	$EAT = \frac{Piezas\ anatomicas\ entregadas\ a\ tiempo}{Total\ de\ piezas\ anatomicas\ entregadas} x100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	100%
Responsable	Asistente administrativo		

Nombre del indicador	Satisfacción de los solicitantes (SS)		
Objetivo	Conocer el nivel de satisfacción que experimentan los clientes con los servicios de impresión 3D, modelado virtual y apoyo en formación académica, para determinar si se cumplen con las expectativas y necesidades de los solicitantes internos y externos.		
Formula	$EAT = \frac{Número\ de\ solicitantes\ satisfechos}{Total\ de\ solicitantes\ de\ servicios}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	90%
Responsable	Asistente administrativo		

Formulario 1.3 Entrega de impresiones 3D

Manual de Procesos y Procedimientos		
Proceso 4.0: Post acabado y entrega de piezas fabricadas	Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom	
Procedimiento 4.2: Esterilización y entrega de impresión 3D	Departamento de modelado y fabricación digital anatómica	
Formulario 1.3: Entrega de impresiones 3D	Fecha de aprobación: 10/04/2024	Versión: 01

Información de entrega	Interno		Externo	
Nombre del solicitante				
Cargo				
Dependencia				
Ubicación				
Correo:			Teléfono:	
Fecha de entrega:				
FIRMA:				

Retroalimentación	Fecha:			
La entrega satisface la necesidad	SI		NO	
Observaciones:				
La entrega fue realizada en los tiempos planeados	SI		NO	
Observaciones:				

e. Proceso 5.0: Mantenimiento de maquinaria y equipos.

Los procedimientos que se detallan a continuación buscan el establecimiento de lineamientos para el mantenimiento y limpieza de equipo y maquinaria, para garantizar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil de los equipos de modelado e impresión 3D en aplicaciones médicas, asegurando la calidad y seguridad de las piezas producidas.

Este proceso tiene como objetivo aplicarse a los siguientes equipos:

- Equipos informáticos
- Máquina de impresión 3D en resina
- Máquinas de curado y limpieza de piezas en resina

Tomando en cuenta lo antes definidos, se procede a describir de manera especifico los lineamientos en cada uno de los procedimientos que conforma el proceso ha establecido.

i. Procedimiento 5.1: Mantenimiento de equipo informático.

Objetivo:	Asegurar la operación continua y eficiente del equipo informático, buscando la disminución de tiempos por fallos en hardware y a su vez prevenir problemas de software mediante actualizaciones y copias de seguridad regulares
Alcance:	Este procedimiento cubre todas las actividades necesarias para mantener en óptimas condiciones los equipos informáticos utilizados en el laboratorio, incluidos ordenadores, teclados, monitores y periférico

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
Inicio del procedimiento				
1.	Apagar y desconectar los equipos.	Usuario	El usuario del equipo informático deberá de asegurarse de que este se encuentre apagado y desconectado para iniciar una limpieza diaria enfocada en elementos superficiales del mismo.	Diario
2.	Limpiar el polvo de la superficie	Usuario	Utilizar un paño de microfibra ligeramente humedecido para limpiar monitores, teclados y mouse de manera superficial, evitando la acumulación de polvo en el equipo en operación.	
3.	Control de limpieza	Asistentes del laboratorio	Los asistentes de laboratorio tendrán la obligación periódica de revisar que se ejecute las limpiezas diarias y que se mantenga el orden en los lugares de trabajo y recopilar información si se requiere de alguna acción correctiva en el equipo (**Anexo 1**).	
4.	Acciones correctivas	Técnico informático	El técnico recibe la información que se presentan problemas en el funcionamiento del equipo informático y gestiona las acciones correctivas requeridas.	
5.	Limpieza interna	Técnico informático	Se debe de ejecutar la actividad de limpieza bajo la utilización de aire comprimido para eliminar polvo de	Semanal

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			las rejillas de ventilación, componentes interno y teclados.	
6.	Revisión componentes internos	Técnico informático	Revisar el funcionamiento de los ventiladores, las rejillas de ventilación, disparadores de calor y otros elementos requeridos.	
7.	Verificar el estado de los componentes periféricos	Técnico informático	Es esencial verificar el correcto funcionamiento de periféricos, donde se considera todas herramientas de hardware que sirven como interface entre el usuario y la computadora, como por ejemplo mouse, teclado, cámara y otros.	
8.	Verificar las conexiones y el estado de los cables	Técnico informático	El técnico informático, debe de revisar que las conexiones de los equipos informáticos estén en buen estado y que el funcionamiento este rindiendo adecuadamente al usuario.	
9.	Llenado de bitácora	Técnico informático	El técnico encargado de ejecutar las tareas de revisión semanal tendrá en su obligación llenar la bitácora de control requerido para que se establece un registro de la ejecución de las actividades y evaluar el desempeño del funcionamiento del equipo. Este también tiene en su obligación reportar todo tipo de acción	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			correctiva que se deba desarrollar (**Anexo 2**).	
10.	Ejecución de acciones correctivas	Técnico informático	El técnico informático bajo las gestiones requeridas debe de ejecutar los mantenimientos correctivos de las fallas en el equipo detectadas en su revisión preventiva.	
11.	Realizar copia de seguridad	Técnico informático	Se debe de proteger la información procesada en el modelado de los pacientes atendidos, teniendo en cuenta la necesidad de futuras consultas y a su vez resguardar historial de trabajo de los operadores del equipo.	Mensual
12.	Actualizar software y sistemas operativos	Técnico informático	Se debe de revisar y actualizar el sistema operativo del equipo informático, así como también los softwares requeridos para los procesos operativos de la ejecución del laboratorio.	
13.	Aplicación de antivirus	Técnico informático	Ejecutar software antivirus y programas de mantenimiento para asegurar el rendimiento del equipo, de esta manera se asegura el buen funcionamiento del equipo, establecido condiciones adecuadas para que usuario a utilizar pueda operar de forma	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			segura el sistema operativo y software	
14.	Registro de control	Técnico informático	Se tendrá que reportar los hallazgos encontrados en la ejecución de la revisión preventiva mensual, estas relacionadas con los sistemas operativos, software y antivirus aplicado al equipo informático (**Anexo 3**).	
15.	Ejecución de acciones correctivas	Técnico informático	Se ejecutará acciones correctivas si el equipo informático lo requiere para sus sistemas operativos, software y antivirus buscando garantizar el óptimo funcionamiento de este; para ejecutar procesos con alta calidad que satisfagan la necesidad del servicio a brindar.	
Fin del procedimiento				

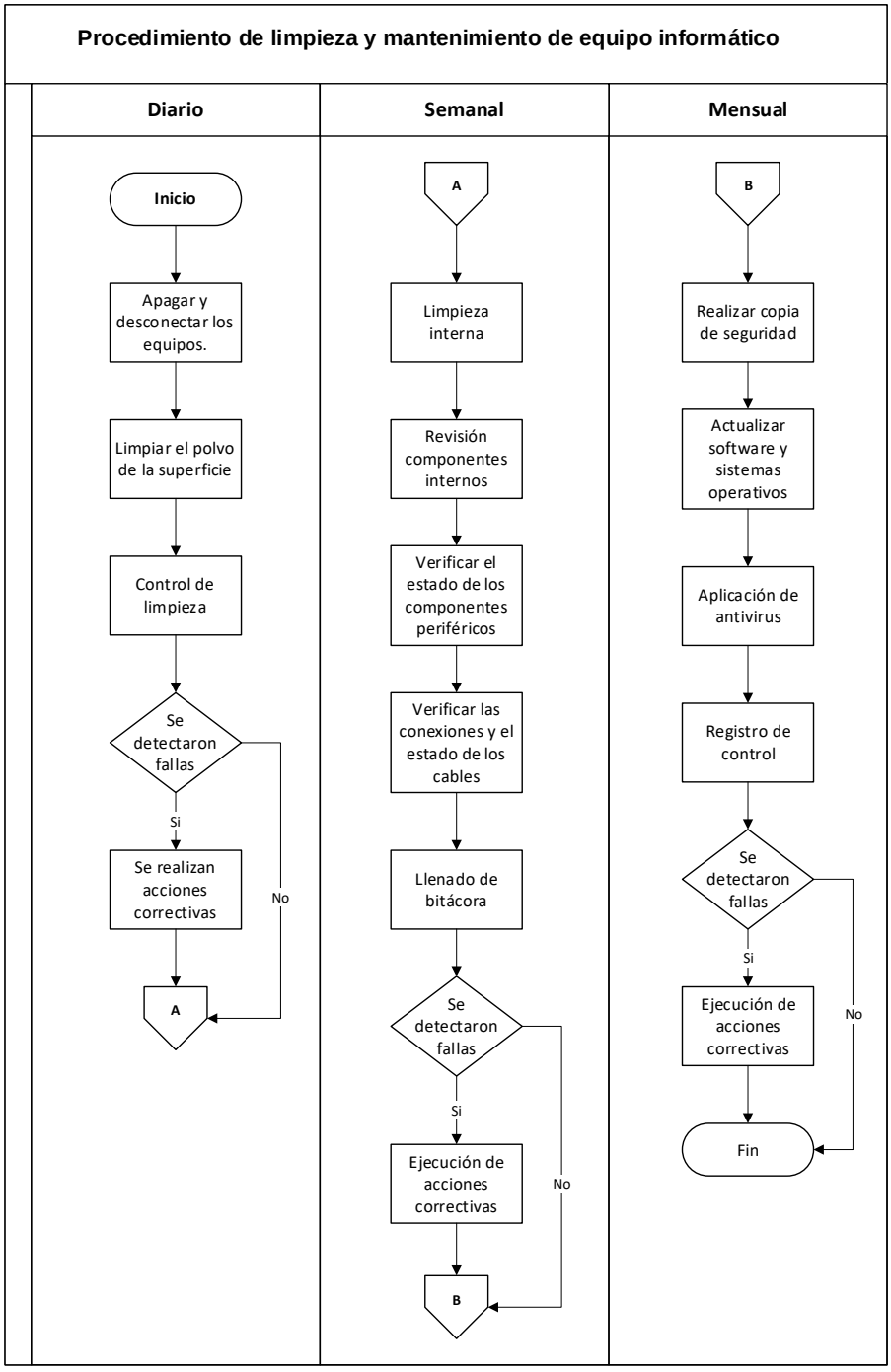
Nombre del indicador	Tasa de Incidentes de Hardware
Objetivo	Número de fallos de hardware reportados de parte de los usuarios que maneja el equipo informático, teniendo en cuenta un periodo de evolución mensual.
Medidor	$Cantidad\ de\ incidentes\ repotados$

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Periodicidad	Mensual	Meta	Menos de 1 fallo por mes.
Responsable	Técnicos informáticos		

Nombre del indicador	Disponibilidad del Sistema		
Objetivo	Este indicador muestra la proporción del tiempo durante el cual los sistemas están funcionando correctamente y están accesibles para los usuarios, en comparación con el tiempo total posible de operación.		
Medidor	$Disponibilidad = \frac{Total\ de\ tiempo\ en\ actividad}{Total\ de\ tiempo\ posible\ de\ operar}$		
Periodicidad	Mensual	Meta	99.0%
Responsable	Técnicos informáticos		

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

ii. Procedimiento 5.2: Mantenimiento de maquina impresora 3D.

Objetivo:	Prolongar la vida útil de las impresoras mediante un mantenimiento preventivo regula, que busque garantizar la calidad y precisión de las impresiones, garantizando la reducción en fallas y la optimización en la utilización de materias primas.
Alcance:	Este procedimiento abarca la limpieza y mantenimiento de las impresoras 3D de resina, incluyendo la plataforma de impresión, el tanque de resina y las partes móviles.

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
Inicio del procedimiento				
1.	Apagar y desconectar la máquina	Técnico de impresión 3D	El técnico de impresión en 3D se debe de asegurarse de que su equipo este debidamente desconectado para iniciar su limpieza diaria	Diario
2.	Limpieza del tanque de resina	Técnico de impresión 3D	La limpieza inicia por el tanque de resina, donde el técnico debe de asegurarse que no exista excesiva acumulación de residuo que perjudique la vida útil del equipo.	
3.	Limpieza de la plataforma de impresión	Técnico de impresión 3D	Es esencial que el técnico de impresión en 3D, asegure de que la plataforma de impresión no posea acumulación de residuo de impresiones pasadas, ya que esto	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			puede perjudicar la generación de nuevas piezas.	
4.	Limpieza de la carcasa externa	Técnico de impresión 3D	Debido a la interacción de particular como el polvo u otras, se debe de asegurar que el exterior de la maquinaria de impresión en 3D, se encuentre perfectamente limpia, para mayor orden del área de trabajo.	
5.	Llenado de bitácora	Técnico de impresión 3D	El técnico debe de llenar las bitácoras de limpieza diaria, donde detalle las actividades ejecutadas y que a su vez reporte hallazgos que puedan requerir de acciones correctivas para que el equipo no se dañe (**Anexo 1**).	
6.	Realización de acciones correctivas	Técnico de impresión 3D	Si el técnico en impresión en 3D reporta la necesidad de aplicar acciones correctivas en la máquina, debido a fallos detectados, se procede con el mantenimiento de carácter correctivo para no detectar fallas en la calidad de la generación de las piezas.	
7.	Revisar y ajustar el nivel del	Técnico de impresión 3D	Si bien el técnico en la ejecución de las operaciones cotidianas debe de gestionar el control del funcionamiento de la maquinaria, es esencial asignar un tiempo	Semanales

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
	tanque de resina		específico para que este se enfoque en revisar a detalles elementos como los niveles del tanque de resina.	
8.	Verificar el estado de la pantalla LCD y el proyector UV	Técnico de impresión 3D	El técnico también deberá de verificar el funcionamiento optimo del proyector UV de la maquina impresora, la pantalla LDC, que son esenciales para el control y generación de piezas con una buena calidad.	
9.	Lubricar piezas móviles	Técnico de impresión 3D	El técnico de impresión en 3D en un periodo mensual, deberá de dar un mantenimiento preventivo revisando las piezas móviles de la maquinaria de impresión 3D, lubricando y verificando el buen uso de estas.	
10.	Registrar hallazgos	Técnico de impresión 3D	Se deberá de registrar las actividades del técnico de impresión en 3D en cuanto a las acciones de mantenimiento preventivo semanal, donde se detalle lo ejecutado y los hallazgos detectados (**Anexo 2**).	
11.	Ejecutar acciones de corrección	Técnico de impresión 3D	Si en el desarrollo del registro de las actividades realizadas, se encuentra con problemas que requieran de acciones correctivas	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			se deberán de ejecutar por el técnico de impresión en 3D.	
12.	Calibrar la plataforma de impresión	Técnico de impresión 3D	En un periodo mensual, se deberá de ejecutar acciones de calibraciones general de la máquina, este según lo establecido por el diseñador de esta, se debe de considerar que en el desarrollo de las actividades de operación el operador calibra la maquina según la pieza a modelar, pero este tipo de calibración se enfoca a analizar si el funcionamiento general de la maquina es el adecuado y se no presenta fallas en el sistema interno.	Mensual
13.	Realizar una limpieza profunda	Técnico de impresión 3D	El técnico deberá una vez al mes ejecutar una limpieza profunda a las máquinas de impresión en 3D, donde se garantice la limpieza interna del equipo y se busque una durabilidad más alta del equipo utilizado.	
14.	Registrar hallazgos	Técnico de impresión 3D	Se deberá de ejecutar un registro de las actividades de mantenimiento preventivo ejecutadas mensualmente, para llevar un control de lo ejecutado y de los hallazgos de fallas detectadas (**Anexo 3**).	

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
15.	Ejecutar acciones de corrección	Técnico de impresión 3D	Si en el registro mensual se detecta fallas que impiden el buen rendimiento y funcionamiento del equipo de impresión 3D, el técnico deberá de ejecutar las acciones correctivas necesarias, teniendo en cuenta la autorización del jefe inmediato.	
Fin del procedimiento				

Nombre del indicador	Tiempo de Inactividad de la Impresora		
Objetivo	Tiempo total que la impresora está fuera de servicio debido a mantenimiento o reparaciones, que se vuelve una complicación para la ejecución de las operaciones del laboratorio.		
Medidor	$Inactividad\ del\ equipo = \frac{Tiempo\ de\ inactividad\ del\ equipo}{Tiempo\ disponible\ de\ operaciones}\ x\ 100$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Menos del 2% del tiempo operativo mensual.
Responsable	Técnicos de impresión 3D		

Nombre del indicador	Consumo de Resina

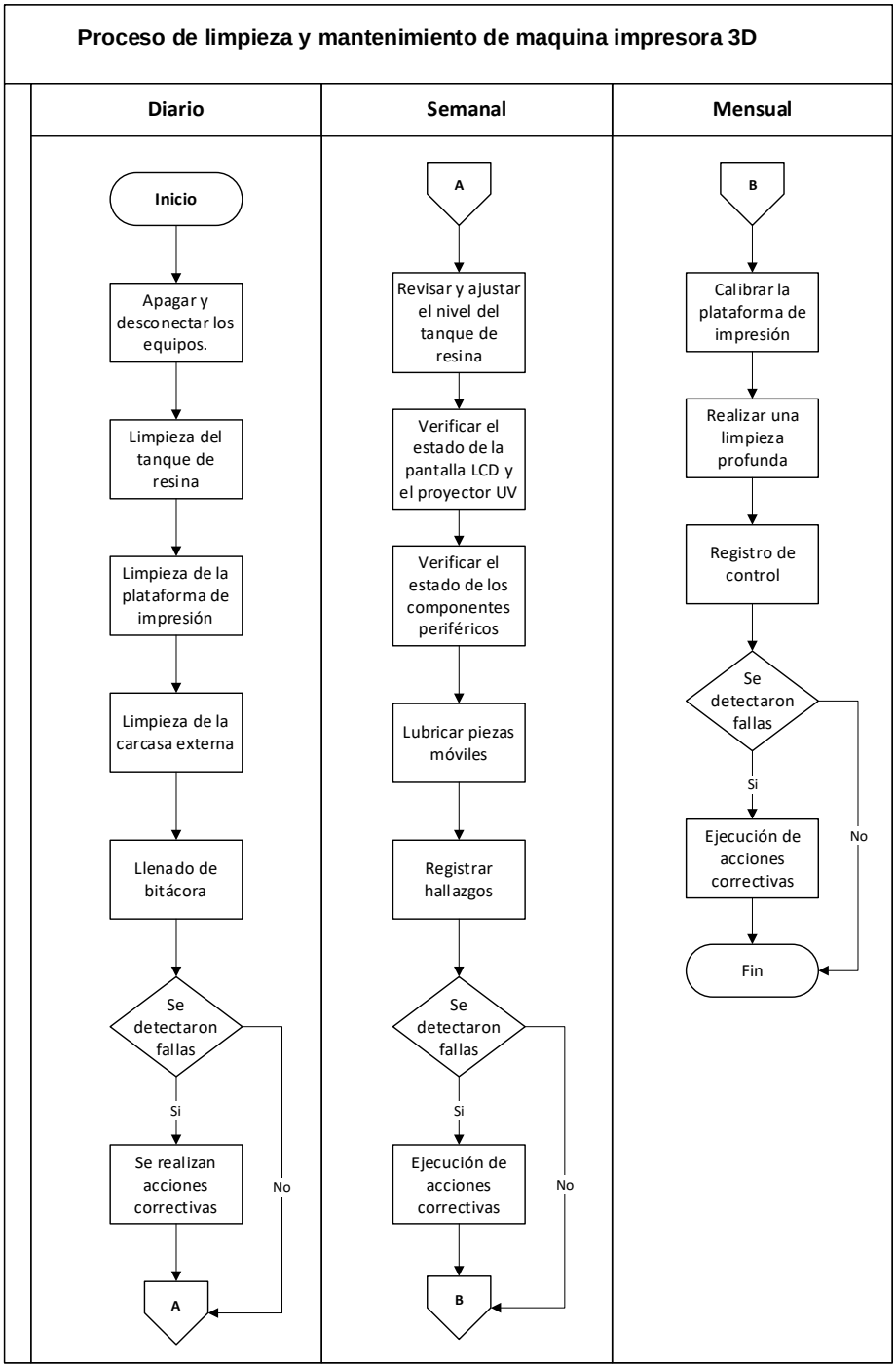
Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

Objetivo	Cantidad de resina utilizada por mes comparada con la producción de piezas impresas, teniendo en cuenta los niveles de consumo planificados para el funcionamiento del modelo.		
Medidor	$$consumo\ de\ resina\ = \frac{Cantidad\ de\ resina\ utilizada}{Número\ de\ piezas\ producidas}$$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Taza de 0.3069 de resina por pieza según lo planificado
Responsable	Técnicos de impresión 3D		

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

iii. Procedimiento 5.3: Mantenimiento de máquinas de lavado y Post Curado

Objetivo:	Garantizar que las piezas impresas estén completamente libres de residuos de resina, asegurando un curado uniforme y adecuado de las piezas para maximizar su durabilidad y resistencia.
Alcance:	Este procedimiento incluye la limpieza y el mantenimiento de las máquinas utilizadas para el lavado y post curado de las piezas impresas en tecnología SLA, garantizando su eficiencia y seguridad.

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
Inicio del procedimiento				
1.	Apagar y desconectar la máquina	Técnico de impresión 3D	El técnico de impresión en 3D, encargado del mantenimiento preventivo del equipo de curado y limpieza de las piezas a imprimir, deberá de asegurar su limpieza diaria, por lo que se deberá de encargar de que el equipo este perfectamente apagado y desconectado para iniciar actividades de limpieza.	Diario
2.	Limpieza de las bandejas y contenedores	Técnico de impresión 3D	Cuando se encuentre seguro de que se ha desconectado y apagado adecuadamente el equipo, se deberá de iniciar las actividades de	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			limpieza de bandejas y contenedores de este equipo.	
3.	Registro de actividades	Técnico de impresión 3D	El técnico deberá de registrar las actividades de limpieza ejecutadas, para llevar un control de lo desarrollada en sus actividades diarias y plantear los hallazgos detectados en el desarrollo de las actividades (**Anexo 1**).	
4.	Desarrollo de acciones correctivas	Técnico de impresión 3D	De detectarse hallazgos que requieran de acciones correctivas, el técnico deberá de comunicar y ejecutar las actividades necesarias, para que el equipo siga funcionando en óptimas condiciones.	
5.	Limpieza de las lámparas de curado	Técnico de impresión 3D	Como parte de los mantenimientos preventivos los técnicos semanalmente deberán de revisar las lampara de las máquinas de curado, para asegurar su funcionamiento optimo y que la calidad de las piezas no se vea comprometida.	Semanal
6.	Limpiar las superficies reflectantes	Técnico de impresión 3D	De la misma manera se deberá de limpiar en un periodo semanal las superficies reflectantes del equipo	

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
			que aseguro el funcionamiento de este.	
7.	Llenado de bitácora	Técnico de impresión 3D	Los técnicos deberán de llevar el registro de las actividades ejecutas semanalmente en cuanto a mantenimiento preventivos y dejar aquellos detalles de requerimientos de mejoras o fallas detectadas (**Anexo 2**).	
8.	Aplicar acciones correctivas	Técnico de impresión 3D	En base a lo definido por los hallazgos del técnico, se deberá de ejecutar las pertinentes acciones de corrección si se han detectados elementos de fallas en el equipo.	
9.	Verificar la calibración de los temporizadores y ajustes de curado.	Técnico de impresión 3D	Tal como en el equipo definido anteriormente, se deberá de evaluar mensualmente el rendimiento de las máquinas de curados y limpieza para verificar el funcionamiento optimo haciendo pruebas de calibración como estableces el diseñador de este.	Mensual
10.	Revisar y ajustar los tiempos de lavado y curado	Técnico de impresión 3D	Así como se han hecho pruebas de calibración, el técnico deberá de establecer las revisiones y ajustes pertinentes en cuanto a elementos que intervienen en tiempos de lavados y curados de las piezas generadas.	

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No	Actividad	Responsable	Descripción	Periodo de ejecución
11.	Inspeccionar y limpiar los filtros	Técnico de impresión 3D	En periodos mensuales el técnico deberá de ejecutar inspecciones y limpiezas en los filtros de las máquinas, así también detectar el requerimiento de cambios en estos elementos si el equipo lo requiere.	
12.	Registrar hallazgos	Técnico de impresión 3D	El técnico de impresión en 3D deberá de registrar las actividades de mantenimientos preventivos ejecutadas en el periodo mensual, que garantice que la maquinaria está siendo controlada y monitoreada para su buen funcionamiento y evitar fallas graves en la misma (**Anexo 3**).	
13.	Ejecutar acciones correctivas	Técnico de impresión 3D	Si en el desarrollo del informe de registro de los mantenimientos preventivos mensuales, se detecta la necesidad de ejecutar acciones correctivas, el técnico de impresión en 3D, tendrá la obligación de comunicar y presentar lineamientos a ejecutar para solventar las fallas detectadas.	
Fin del procedimiento				

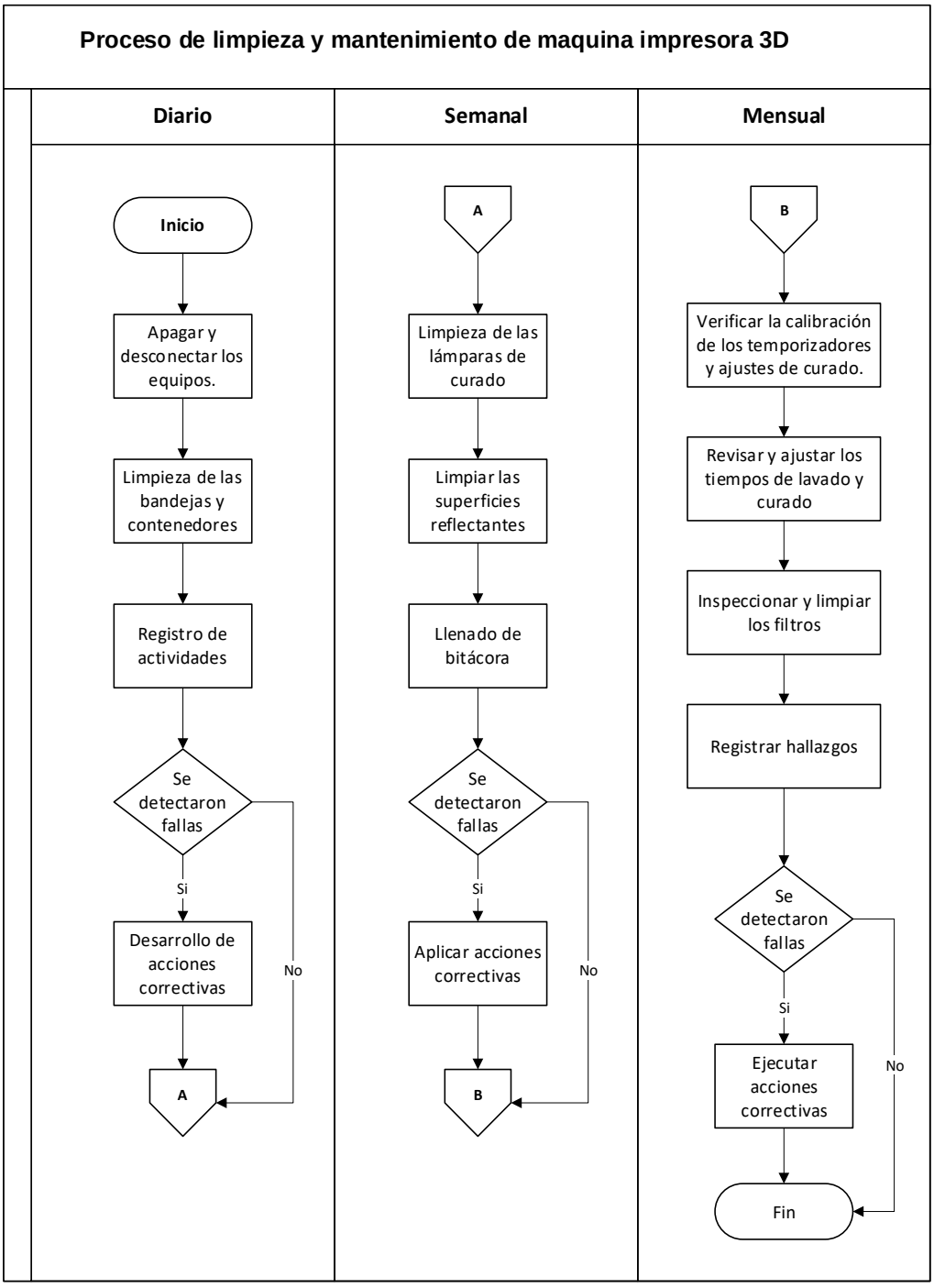
Nombre del indicador	Eficiencia del Lavado

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Objetivo	Porcentaje de piezas correctamente lavadas sin residuos de resina, en el proceso de operaciones del laboratorio de modelado e impresión de piezas 3D		
Medidor	$Eficiencia\ de\ lavado = \frac{Numero\ de\ piezas\ perfectamente\ lavadas}{Numero\ de\ piezas\ procesadas}\ x\ 100$		
Periodicidad	Mensual	Meta	100% de piezas correctamente lavadas.
Responsable	Técnicos de impresión 3D		

Nombre del indicador	Eficiencia del Post Curado		
Objetivo	Porcentaje de piezas que requieren un segundo ciclo de curado, ósea un reproceso de estas operaciones		
Medidor	$Eficiencia\ de\ post\ curado = \frac{Numero\ de\ piezas\ reprocesadas\ en\ el\ post\ curado}{Número\ de\ piezas\ procesadas}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Menos del 5% de piezas necesitan un segundo ciclo.
Responsable	Técnicos de impresión 3D		

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Anexo 1: Formato de control de registro diario.

HOSPITAL NACIONAL DE NIÑOS BENJAMIN BLOOM

Control de Limpieza Diaria

Fecha	Equipo / Maquinaria	Actividadad realizada	Observaciones o Hallazgos	Responsable

Anexo 2: Formato de control de registro semanal.

HOSPITAL NACIONAL DE NIÑOS BENJAMIN BLOOM

Control de Mantenimiento y Limpieza Semanal

Fecha	Equipo / Maquinaria	Actividadad realizada	Observaciones o Hallazgos	Responsable

Anexo 3: Formato de control de registro mensual.

HOSPITAL NACIONAL DE NIÑOS BENJAMIN BLOOM

Control de Mantenimiento y Limpieza Mensual

Fecha	Equipo / Maquinaria	Actividadad realizada	Observaciones o Hallazgos	Responsable

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

f. Proceso 6.0: Planificación y mejora continua

i. Procedimiento 6.1: Proyección de producción y requerimientos productivos.

El presente procedimiento busca orientar al departamento de modelado y fabricación digital anatómica a determinar las cantidades de materiales, suministro y equipos necesarios para cubrir la demanda proyectadas para un periodo de tiempo deseado.

Objetivo: Establecer los pasos a seguir para la determinación de la proyección de las unidades a fabricar en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación quirúrgica en pacientes de cardiología y los requerimientos productivos necesarios para cubrir la demanda.
Alcance: Este procedimiento abarca desde el conocimiento sobre el funcionamiento sistémico del modelo hasta la

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
1	Estudiar el funcionamiento del modelo	Jefe de departamento	Estudiar los procesos diseñados para conocer la funcionalidad operativa del modelo, así como los tiempos definidos para la ejecución operativa del mismos.	2
2	Calcular el tiempo operación planificado (TPOA)	Jefe de departamento	Calcular el tiempo laboral disponible para el modelo, esto será un referente para poder dar solución a la demanda que se halla establecido para un periodo de tiempo. El cálculo requiere las siguientes formulas:	0.5

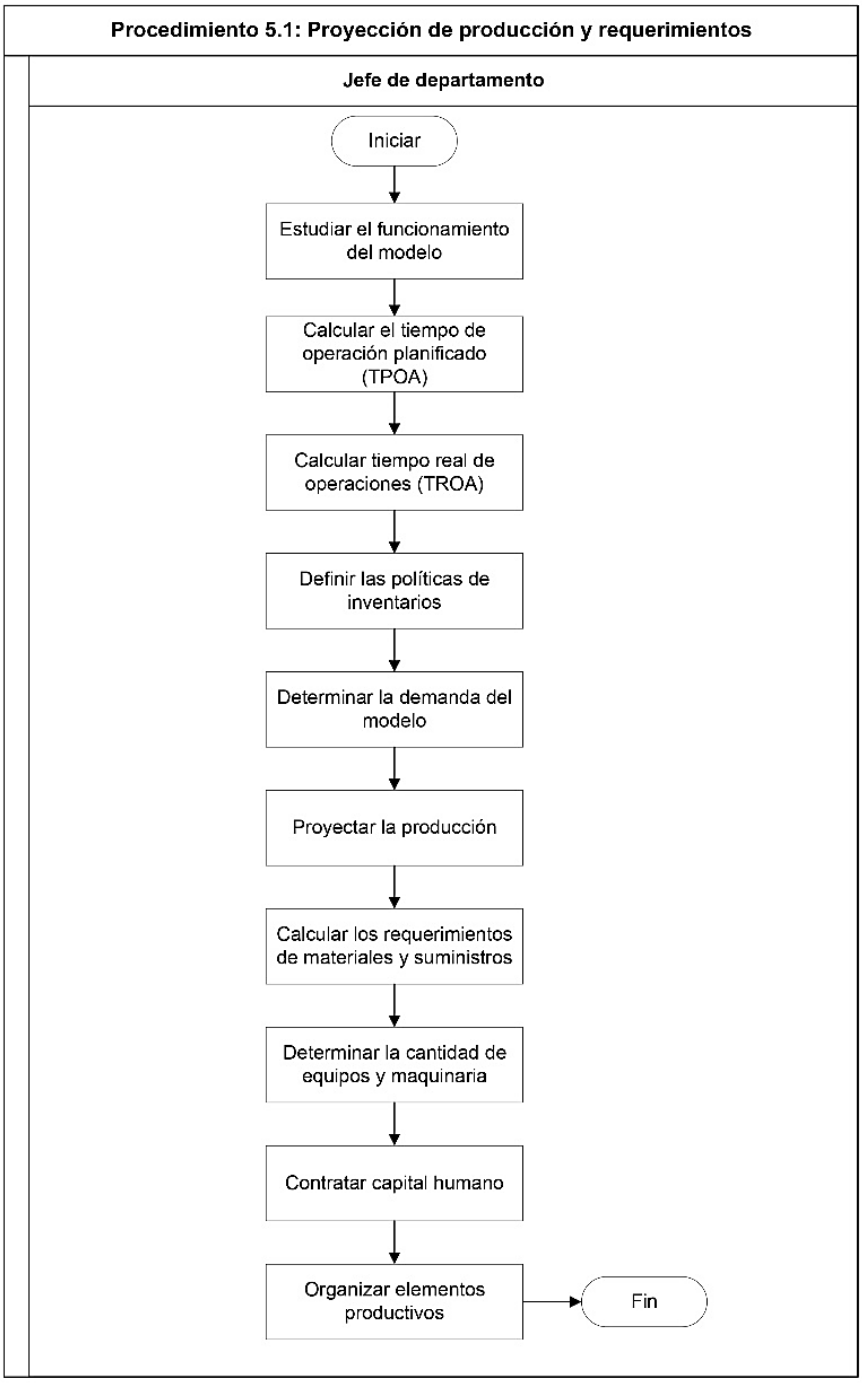
No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			$\boldsymbol{TPOA} = Tiempo\ de\ operacion\ planificado$ $\boldsymbol{TPOA} = Dias\ laborados\ x\ horas\ laboradas\ al\ día$ El cálculo de los días laborales se realiza teniendo en cuenta el periodo de un año menos los días considerados como asuetos o descanso, teniendo en cuenta las políticas de contratación del ente interesado en emplear el modelo.	
3	Calcular tiempo real de operaciones (TROA)	Jefe de departamento	Después de calcular el TPOA, se procede a calcular el tiempo real de operación como se plantea a continuación. $\boldsymbol{TROA} = Tiempo\ real\ de\ operaciones$ $\boldsymbol{TROA} = TPOA\ (\ 1 - \%\ Suplementos)$ El porcentaje de suplementos se define como los tiempos de porciones que se deben agregar a los tiempos normales para convertirlos en tiempos tipo o standard.	0.5
4	Definir las políticas de inventarios	Jefe de departamento	Definir políticas de inventarios para incorporarlo en las proyecciones y gestiones de compras del modelo, estas políticas permiten proyectar la producción y a su vez tener en cuenta las gestiones de stock, que para el caso de	1

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			este modelo de aplicación de fabricación digital se considera que el stock de producción terminada es cero.	
5	Determinar la demanda del modelo	Jefe de departamento	Determinar la demanda para el modelo, esta se relaciona directamente con los casos históricos evaluados de pacientes con malformaciones congénitas en el sistema cardio vascular, que permite tener elementos claros a nivel de unidades requeridas para producir.	2
6	Proyectar la producción	Jefe de departamento	Proyectar la producción para el modelo teniendo en cuenta los elementos antes definidos, para el caso de este diseño se consideran igual a la demanda ya que están ligados con los casos detectados en los pacientes del hospital tipo.	1
7	Calcular los requerimientos de materiales y suministros	Jefe de departamento	Calcular los requerimientos de materias primas y suministros con base a las proyecciones de producción, para el caso de este elemento se define lo siguiente: $\boldsymbol{Material\ requerido} = material\ usado\ por\ modelo\ x\ (1 + \%\ de\ desperdicio)$ El porcentaje de desperdicio se incorpora ya que en el proceso de fabricación se realizan actividades en las que los materiales tienen un porcentaje de desperdicio debido a	1

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

No.	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
8	Determinar la cantidad de equipos y maquinaria	Jefe de departamento	Determinar los requerimientos de maquinaria y equipo, teniendo en cuenta los procesos diseñados y las proyecciones de producción, definiendo la cantidad de máquinas y equipos identificados como necesarias para el modelo, se debe tener en cuenta la siguiente relación. $N° \text{ de maquinaria o equipo} = \frac{\text{Tiempo de operación total de la maquinaria o equipo}}{\text{Tiempo disponible de operaciones.}}$	1
9	Contratar capital humano	Jefe de departamento	Contratar capital humano requerido en función de las políticas de contratación que posea la institución implementadora del modelo y del manual organizacional de este modelo.	30
10	Organizar elementos productivos	Jefe de departamento	Organizar e integrar todos los elementos productos y capital humano para poner en marcha el plan de trabajo con los requerimientos descritos en los pasos anteriores. Fin del procedimiento.	15
Fin del procedimiento				
Tiempo			**54 días**	

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras


Procedimiento 5.1: Proyección de producción y requerimientos
Jefe de departamento
Iniciar
Estudiar el funcionamiento del modelo
Calcular el tiempo de operación planificado (TPOA)
Calcular tiempo real de operaciones (TROA)
Definir las políticas de inventarios
Determinar la demanda del modelo
Proyectar la producción
Calcular los requerimientos de materiales y suministros
Determinar la cantidad de equipos y maquinaria
Contratar capital humano
Organizar elementos productivos
Fin

Indicador de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Éxito de planificación		
Objetivo	Determinar el nivel de éxito en cuanto a la estimación de la demanda de trabajo anual, para relacionarlo con las planificaciones secundarias de los elementos productivos requeridos para suplir la demanda proyectada.		
Formula	$éxito\ de\ planificación = \left(\frac{\lvert Demanda\ real - Demanda\ planeada \rvert}{Demanda\ real} \right) x\ 100\%$		
Periodicidad	Anual	Meta	85%
Responsable	Jefe de departamento		

Nombre del indicador	Nivel de servicio		
Objetivo	Conocer el nivel de satisfacción de la demanda de los solicitantes interno y externo de cardiología dentro de los plazos prometidos, para determinar si el departamento de modelado y fabricación digital anatómica tiene un buen desempeño y planificación de trabajo.		
Formula	$Cantidad\ de\ solicitudes\ recibidas = \frac{Demanda\ satisfecha}{Demanda\ total\ real}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Anual	Meta	90%
Responsable	Jefe de departamento		

ii. Procedimiento 6.2: Mejora continua del modelo para aplicación de fabricación digital en pre-operación quirúrgica en cardiología.

El procedimiento está dirigido a garantizar la mejora continua del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador. Su desarrollo está basado en la metodología de la administración basada en actividades y el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

Objetivo: Impulsar la mejora continua como una práctica constante y ordenada en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador.
Alcance: El presente procedimiento abarca desde la identificación de una oportunidad de mejora hasta la ejecución del monitoreo de los cambios de corrección y mejora aplicados en el proceso de generación de los servicios del modelo.

No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
1	Identificar oportunidad de mejora	Jefe del departamento /Asistente administrativo	Identificar oportunidades mejora en los procesos de generación de servicios que ofrece el modelo, a partir de la monitorización de actividades, investigaciones, recepción de quejas y observaciones frecuentes, y las sugerencias de los colaboradores enfocadas en optimizar los tiempos, consumo de materiales y recursos, la reducción de costos, todo con la finalidad de proveer de servicios de calidad a los clientes internos y externos. Las técnicas	2

No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			sugeridas son: Check list, formularios de satisfacción, buzo y correos de quejas y observaciones, sugerencias de colaboradores y de clientes internos y externos.	
2	Investigar las causas raíz	Jefe del departamento /Asistente administrativo	Investigar el origen de aquellos eventos identificadas como oportunidad de mejora o efectivo negativos observados por los colabores o clientes. Es fundamental identificar las o la principal fuente de origen, revisando todos los elementos productivos: Procesos y operaciones, materiales y suministros, equipos y maquinaria, herramientas, instalaciones y espacios de trabajo, desempeño del capital humano, entre otros. Se sugiere utilizar las siguientes técnicas: Diagrama de Ishikawa (Causa y efecto), análisis de Pareto, árbol de problemas y la técnica de los 5 ¿por qué?	5
3	Diseñar la solución	Autoridades/ jefe del departamento /Asistente administrativo	Diseñar la solución para neutralizar la causa del o los efectos negativos, proponiendo diferentes propuestas de solución y seleccionando la mejor evaluada. El diseño de solución debe realizar por medio de la opinión y aporte de todos los involucrados, consultando incluso con los clientes interno y externos. Se debe incorporar una matriz de evaluación de soluciones como herramienta para seleccionar la solución a implementar. Complementariamente,	2

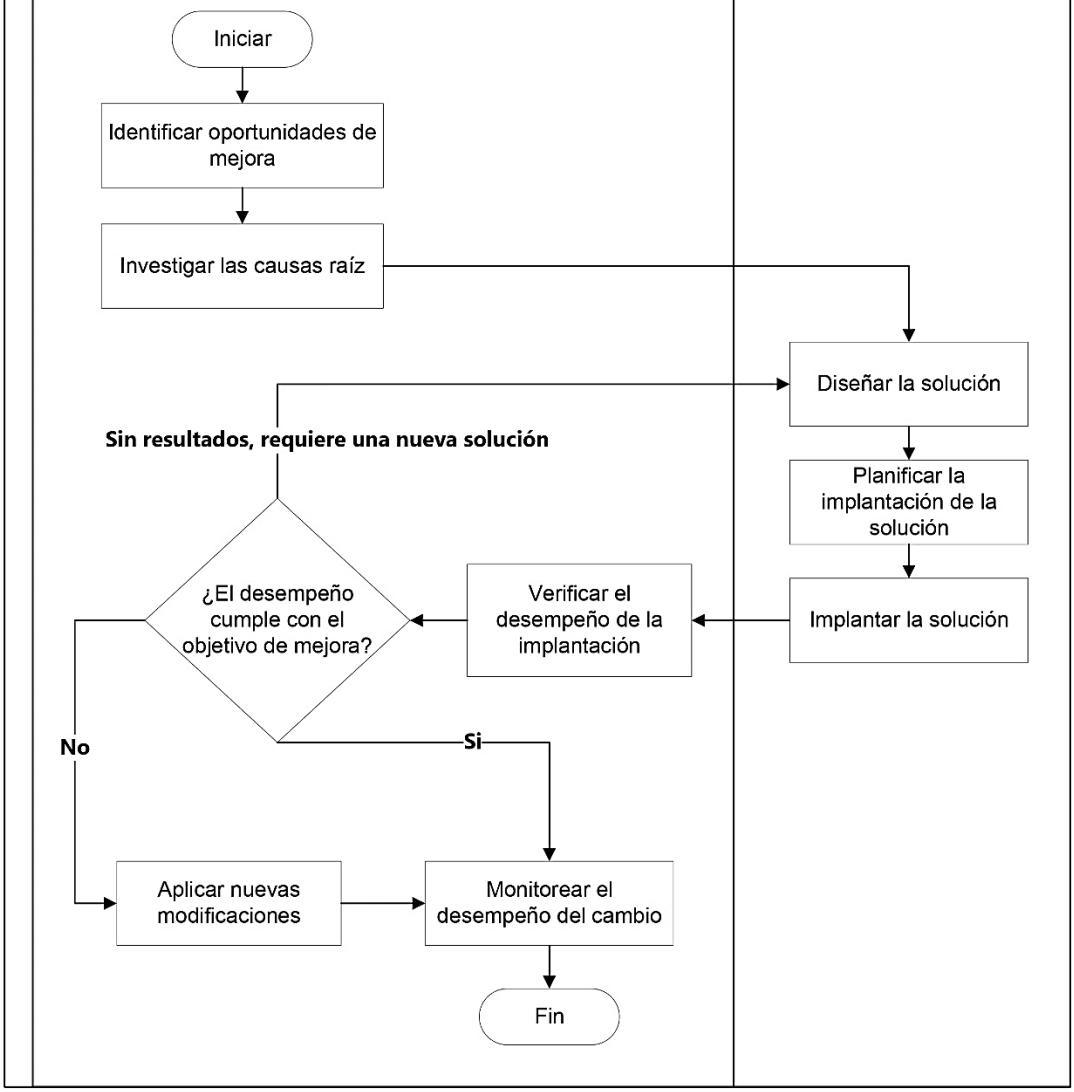
No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			las técnicas sugeridas para el diseño de la solución son: Lluvia de ideas, árbol de objetivos, design thinking, caja negra y marco lógico. El diseño de la solución requiere la participación, compromiso y acompañamiento de las autoridades de la institución.	
4	Planificar la implantación de la solución	Autoridades/ jefe del departamento /Asistente administrativo / Capital humano involucrado	Planificar la implementación de la solución diseñada, por medio de la formulación del objetivo de mejora continua, definiendo los parámetros, indicadores y escalas de medición para alcanzar el estado objetivos, los entregables, las actividades, recursos, presupuesto, personal y plazos de finalización. Posteriormente se debe comunicar todo el plan de implantación al capital humano correspondiente. Se recalca nuevamente, la importación de la participación, compromiso y acompañamiento de las autoridades correspondientes.	5
5	Implantar la solución	Autoridades/ jefe del departamento /Asistente administrativo	Implantar la solución diseñada poniendo en marcha las actividades y recursos establecidos, organizando y comunicando a los miembros de los equipos implicados. La implantación está	15

No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
		/ Capital humano involucrado	directamente relacionada con el hacer realidad la solución diseñada, integrando las modificaciones de mejora a los procesos, materiales y suministros, equipo y maquinaria, herramientas, instalaciones y espacios de trabajo, capacitaciones, entre otros. Siempre contando con la participación, compromiso y acompañamiento de las autoridades correspondientes.	
6	Verificar desempeño de implantación	Jefe del departamento Y Asistente administrativo	Verificar y evaluar el desempeño de la solución implantada por medio de la escala de medición establecida, desde su implantación hasta un periodo de 30 días, observando su correcta implantación o detectando pequeños problemas antes de que se vuelvan demasiado grandes. Si el desempeño cumple con el objetivo, parámetros e indicadores establecidos ir al paso 8. Si el desempeño cumple no con el objetivo, parámetros e indicadores, revisar el plan de implantación de la solución para garantizar que el proyecto siga avanzando en la consecución del objetivo, diseñando cambios en el plan de proyecto de mejora. Luego continuar con el paso 7.	30

No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			Si la solución no tuvo en ninguna forma el éxito esperado y no se obtuvo el beneficio propuesto, deberá aplicarse con otra alternativa. Volver al paso 3.	
7	Aplicar nuevas modificaciones	Jefe del departamento /Asistente administrativo / Capital humano involucrado.	Aplicar correcciones a la solución implantada, incorporando los cambios en al ambiente o área involucrada y comunicando al capital humano involucrado las razones y modificaciones a incorporar. Esta segunda implantación es necesaria para mejorar constantemente el proceso de generación de los servicios. Además, se debe incorporar los conocimientos y resultados adquiridos de la verificación anterior y documentarlos.	15
8	Monitorear el desempeño del cambio	Asistente administrativo / Técnico en imagen y modelos 3D/ Técnico en impresión 3D.	Monitorear y controlar el desempeño de las solución y modificaciones que han mostrado alcanzar los objetivos, parámetro e indicadores establecidos, controlando que sea sostenible en el tiempo, por lo tanto, es requerido documentar los aplicado, generar un informe y garantizar el seguimiento y evolución del nuevo proceso, materiales y suministros, equipo y maquinaria, herramientas, instalaciones y espacios de trabajo, capacitaciones, entre otros. El progreso debe evaluarse constantemente, verificando que la	15

No	Paso	Responsable	Descripción	T.A. (día)
			mejora se implante y sea efectiva, garantizando así la mejora continua. Analizar y documentar la experiencia adquirida en el proceso de resolución de problemas, y proponer políticas, normas, procedimientos y otros de actuación futura. Es imperativo comprender que el proceso de mejora continua es un proceso que no tiene fin. Fin del procedimiento.	
Fin del procedimiento				
Tiempo			**89 días**	

Procedimiento 5.2: Mejora continua del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre operación quirúrgica en cardiología.



Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Indicadores de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Oportunidades de mejora atendidas (OMA)		
Objetivo	Determinar el porcentaje de oportunidades de mejora que fueron identificadas, comenzadas y finalizadas en los procesos del modelo.		
Formula	$OMA = \frac{Oportunidades\ de\ mejora\ atendidas}{Total\ de\ oportunidades\ de\ mejora\ identificadas}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Anual	Meta	90%
Responsable	Jefe de departamento de modelado y fabricación digital anatómica		

Nombre del indicador	Eficiencia de las acciones correctivas (Eficiencia de A.C.)		
Objetivo	Determinar el porcentaje de eficiencia de las acciones correctivas de las soluciones diseñadas para mejorar los procesos.		
Formula	$Eficiencia\ de\ A.C. = \frac{Acciones\ satisfactorias}{Total\ de\ acciones\ correctivas}\ x\ 100\%$		
Prioridad	Anual	Meta	90%
Responsable	Jefe de departamento de modelado y fabricación digital anatómica		

Nombre del indicador	Cierre oportuno de acciones correctivas y preventivas (COACP)
Objetivo	Determinar el porcentaje de acciones correctivas y preventivas ejecutadas y finalizadas en los tiempos establecidos.
Formula	$COACP = \frac{Acciones\ satisfactorias}{Total\ de\ acciones\ correctivas\ y\ preventivas\ identificadas}\ x\ 100\%$

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Periodicidad	Anual	Meta	90%
Responsable	Jefe de departamento de modelado y fabricación digital anatómica.		

iii. Procedimiento 6.3: Prestación de servicios a instituciones de la red hospitalaria.

El procedimiento a presentará busca establecer lineamientos para la ejecución de prestaciones de servicios entre la res de hospitalaria del país, no limitando el alcance de los recursos que se buscan invertir en el modelo y los beneficiados por este sean más referente a la población posible a ser beneficiada por el modelo.

Objetivo: Establecer un proceso estandarizado para la referencia y contrarreferencia de pacientes entre hospitales de la red pública en El Salvador, garantizando la continuidad del cuidado, el acceso oportuno a exámenes de alta complejidad y la optimización de recursos del Sistema Nacional Integrado de Salud.
Alcance: Este proceso aplica a todos los hospitales y unidades de salud integrados en la red pública bajo la coordinación del Ministerio de Salud de El Salvador. Incluye desde la identificación de la necesidad clínica en el hospital de origen, la gestión de citas en los hospitales especializados (como el Hospital Nacional Rosales o el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom), hasta la entrega de resultados y el seguimiento clínico en el hospital de origen. Este flujo está diseñado para pacientes que requieran estudios diagnósticos especializados, como resonancias magnéticas, tomografías, o estudios genéticos, asegurando que los protocolos médicos y administrativos sean cumplidos en cada etapa

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

N.º Paso	Nombre del Paso	Descripción	Institución Responsable
1	Inicio	Identificación de la necesidad del examen especializado por el médico tratante en el hospital de origen.	Hospital de origen
2	Evaluación médica	Confirmación clínica de la necesidad del examen. Se completa la hoja de referencia oficial y se adjuntan documentos relevantes como el historial médico y exámenes previos.	Hospital de origen
3	Autorización interna	El jefe de servicio revisa y aprueba la referencia. Luego, se coordina con el Departamento de Trabajo Social o Administrativo para gestionar la solicitud.	Hospital de origen
4	Gestión de cita en hospital receptor	Comunicación con el hospital especializado para confirmar la disponibilidad del examen. Se programa la cita en función de la urgencia clínica.	Hospital especializado
5	Transporte del paciente	Coordinación del traslado del paciente, ya sea en ambulancia o por medios regulares. Se entrega	Hospital de origen (transporte)

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

N.º Paso	Nombre del Paso	Descripción	Institución Responsable
		la documentación correspondiente al paciente o acompañante.	
6	Realización del examen especializado	Recepción del paciente en el hospital receptor, verificación de la referencia y realización del examen correspondiente (resonancia, tomografía, etc.).	Hospital especializado
7	Contrarreferencia	Los resultados son entregados al paciente y enviados al hospital de origen. Se notifican hallazgos relevantes para el manejo clínico continuo.	Hospital especializado y hospital de origen
8	Seguimiento clínico en hospital de origen	El médico tratante del hospital de origen analiza los resultados del examen y realiza ajustes necesarios al tratamiento del paciente.	Hospital de origen
9	Fin del proceso	Conclusión del procedimiento de referencia y contrarreferencia, con el seguimiento clínico completado.	Hospital de origen

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

Para este proceso de debe de tener en cuenta lo siguiente:

- El ente encargado de fortalecer estos procesos es SNIS regula la red de atención hospitalaria y promueve la integración de los servicios de salud para garantizar la accesibilidad y continuidad del cuidado del paciente. Los hospitales dentro de la red pública trabajan bajo un enfoque de referencia y contrarreferencia para transferir pacientes entre niveles de atención según su complejidad.
- Referencia: Ocurre cuando un hospital o unidad de salud refiere a un paciente a otra institución que cuente con la capacidad técnica, equipamiento o personal especializado para realizar un examen o procedimiento.
- Contrarreferencia: Una vez realizado el examen o tratamiento en el hospital receptor, el paciente puede ser devuelto al hospital de origen con los resultados y recomendaciones para continuar su manejo.
- En algunos casos, es necesario que la autorización pase por instancias superiores, como la Dirección Nacional de Hospitales del MINSAL. Existen sistemas electrónicos, como el Sistema Único de Información en Salud (SUIS), que facilita la gestión de las referencias entre unidades de la red pública.

Indicadores de desempeño del procedimiento

Nombre del indicador	Tasa de Cumplimiento de Referencias (TCR)

Objetivo	Evaluar el porcentaje de referencias realizadas exitosamente respecto al total solicitado.		
Formula	$TCR = \frac{Número\ de\ referencias\ realizadas}{Número\ de\ referencias\ solicitadas}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Mensual	Meta	95%
Responsable	Jefe de Departamento del hospital de origen		

Nombre del indicador	Tiempo Promedio de Gestión de Cita (TPGC)		
Objetivo	Medir la eficiencia en el tiempo requerido para gestionar citas en hospitales especializados		
Formula	$TPGC = \frac{Tiempo\ total\ de\ gestión\ de\ cita}{Número\ de\ citas\ gestionadas}$		
Periodicidad	Mensual	Meta	Menor a 3 días
Responsable	Departamento Administrativo del hospital de origen		

iv. Procedimiento 6.4: Gestión para el control de la calidad

El presente proceso define las etapas necesarias para garantizar la calidad de los modelos de impresión 3D utilizados en la pre-operación de pacientes de cardiología. Este modelo se enfoca en el uso de maquinaria y materiales certificados, acompañado de un control sistemático que asegure la precisión, funcionalidad y cumplimiento de los requerimientos médicos.

Departamento De Imágenes Medicas	
Manual de Procesos y Procedimientos	
Fecha de creación:	**01 de marzo 2024**
Fecha de revisión:	**24 de abril 2024**

# Paso	Nombre del Paso	Descripción	Responsable
1	Selección de Equipos y Materiales	Identifica y valida maquinaria certificada y proveedores de materiales con estándares internacionales.	Encargado de compras
2	Estándares de Diseño	Garantiza que los diseños 3D cumplan con especificaciones clínicas y técnicas, y realiza validaciones con el equipo multidisciplinario.	Diseñador e Ingeniero líder
3	Configuración de Impresión	Configura los parámetros específicos para cada modelo y revisa que correspondan al diseño validado.	Operador de la impresora
4	Proceso de Impresión	Supervisa la ejecución de la impresión, asegurando que no haya errores durante la fabricación.	Operador de la impresora
5	Posprocesamiento	Realiza limpieza, curado y acabado de los modelos impresos, siguiendo las recomendaciones técnicas de los fabricantes de materiales.	Técnico en posprocesamiento
6	Control de Calidad	Inspecciona visual y dimensionalmente el modelo, asegurando que cumple con los requisitos del diseño y la funcionalidad deseada.	Analista de calidad
7	Capacitación del Personal	Proporciona entrenamiento técnico a los operadores y actualiza	Coordinador de capacitación

Elaborado	Revisado	Autorizado
Equipo de investigación	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras	Ing. Francisco Orlando Reyes Contreras

# Paso	Nombre del Paso	Descripción	Responsable
		conocimientos en normas y nuevas tecnologías.	
8	Trazabilidad	Documenta cada etapa del proceso, registrando materiales, configuraciones, operadores y resultados.	Responsable de documentación
9	Validación y Auditorías	Revisa periódicamente el cumplimiento del proceso mediante auditorías internas y retroalimentación clínica.	Auditor interno
10	Mejoras Continuas	Identifica áreas de mejora mediante el análisis de datos y retroalimentación, implementando cambios para optimizar el proceso.	Comité de mejora continua

Indicadores de desempeño del procedimiento.

Nombre del indicador	Precisión Dimensional del Modelo (PDM)		
Objetivo	Medir el Porcentaje promedio de desviación entre el diseño digital y el modelo impreso.		
Formula	$PDM = \frac{Dimensión\ Teorica - Dimensión\ real}{Dimensión\ teorica}\ x\ 100$		
Periodicidad	Semanal	Meta	Menor a 1
Responsable	Técnico de impresión 3D		

Nombre del indicador	Tasa de Rechazo (TR)		
Objetivo	Establecer el Porcentaje de modelos que no cumplen los estándares establecidos en el control de calidad.		
Formula	$TR = \frac{Modelos\ rechazados}{Total\ de\ modelo\ genrados}\ x\ 100$		
Periodicidad	Semanal	Meta	Menor a 5
Responsable	Técnico de impresión 3D		

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR

10.8 PLAN DE CAPACITACIONES

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 571
2. Justificación 571
3. Objetivo General. 573
4. Objetivos Específicos 573
5. Etapas Del Plan De Capacitación 574
6. Estrategias Del Plan De Capacitación 579
   - 6.1. Estrategias Etapa: Diagnósticos. 580
   - 6.2. Estrategias Etapa: Planificación. 580
   - 6.3. Estrategias Etapa: Ejecución. 580
   - 6.4. Estrategias Etapa: Evaluación. 581
7. Tipos De Capacitación 581
8. Modalidades De Capacitación 582
9. Programas Del Plan De Capacitación 584

1. Introducción

Uno de los ejes principales del diseño detallado, se basa en la necesidad de establecer las habilidades y conocimientos necesarios para el funcionamiento del modelo en condiciones óptimas con una mano de obra calificada, que permita el aprovechamiento de todos los recursos de manera eficiente, siguiendo lineamientos oportunos en el manejo de la operatividad de este.

El plan de capacitación busca reforzar los conocimientos del personal médico que opera en la institución donde se desea establecer el modelo para la aplicación de la fabricación digital, estos conocimientos están orientados en reforzar habilidades en temas técnicos relacionados en el modelado e impresión 3D, siendo este la base fundamental para operar el modelo teniendo en cuenta la relación con los conocimientos médicos de los profesionales que operan en la institución.

En el desarrollo del plan de capacitación se encuentras factores que involucran justificantes y propósitos del porqué de este plan, así como estrategias para su implementación tomando en cuenta todos los factores relacionados, el documento contiene los tipos de capacitaciones a implementar, su modalidad de implementación y programas de este.

Los programas del plan de capacitación definirán los princípiales lineamientos en cuanto a los temas a abordar, a quienes estarán enfocados y los responsables de ejecutar dichas capacitaciones, teniendo en cuentas los tipos y modalidades de implementación.

2. Justificación

Es esencial esclarecer que la capacitación en sus diferentes metodologías integra una herramienta que se orienta al logro de la meta del fortalecimiento del talento humano, desde la

adquisición de nuevos conocimientos, hasta la actualización de nuevas metodologías de trabajo, que permite que la evolución del personal sea la adecuada para el funcionamiento de nuevos cambios en las instituciones.

Como parte de la finalidad del estudio de la aplicación para la fabricación digital en la medicina es incorporar nuevas tecnologías y cambios en la forma de evaluar a pacientes con malformaciones congénitas en área de cardiología; no se deja de lado el hecho de la necesidad de que los profesionales que actualmente operan en el sistema de salud, queden fuera de esta etapa de la evolución médica, debido a esto se plantea el desarrollo de el plan de capacitaciones, que permita definir la incorporación de nuevos conocimientos y habilidades en los profesionales actuales en el área de la medicina.

El plan de capacitación abarcara todas las áreas pertinentes relacionadas con el diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital, este busca que los nuevos procesos, equipos y herramientas a incorporar como parte de las mejoras al sistema actual de salud, funcionen de una manera oportuna con personal capacitado para desarrollar nuevas actividades de evaluación de los pacientes.

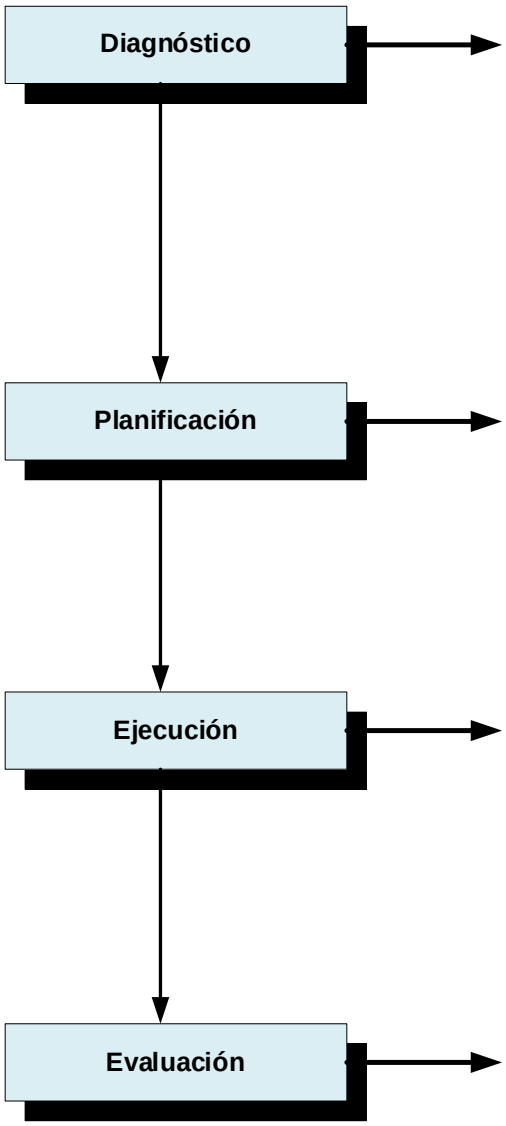
3. Objetivo General.

Establecer los lineamientos de incorporación de las capacitaciones al personal médico actual relacionado con la estructuración del plan de intervención quirúrgica para cirugías electivas de pacientes de cardiologías, para fortalecer las habilidades y conocimientos requeridas para el funcionamiento del modelo.

4. Objetivos Específicos

- Definir las etapas y estrategias del plan de capacitación técnicos para el personal médico involucrado con el diseño del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la evaluación de pacientes de malformaciones congénitas de pacientes de cardiología.
- Puntualizar los tipos y modalidades de capacitaciones a implementar con la estructuración del plan, teniendo en cuenta el involucramiento de todas las áreas relacionadas con el modelo, sin dejar de lado áreas operativas, estratégicas y de apoyo.
- Especificar el programa de plan de capacitaciones técnicas que permita dejar claridad en los temas a abordar, los encargados en ejecutarla, el personal a quien está orientado y la durabilidad de estos, teniendo en cuenta la modalidad y tipo de capacitación a ejecutar.

5. Etapas del plan de capacitación



Esta etapa del plan tiene como finalidad determinar los conocimientos actuales de los profesionales que operaran directamente en el modelo para la aplicación de la fabricación digital, teniendo en cuenta los diversos factores, recursos, conocimientos y habilidades requeridos para el funcionamiento del modelo, esta etapa puede dar orientación a las estrategias del plan.

El plan de capacitación se ve relacionado directamente con esta etapa, ya que esta etapa tiene como objetivo establecer los lineamentos en la ejecución de las capacitaciones, su enfoque se ve definido en el tipo, modalidad y funcionamiento del plan.

Esta etapa del plan de capacitación se relaciona con la definición del programa donde se busca establecer los lineamientos para la implementación de los diversos temas que se abordaran en base a lo extraído en el diagnostico del mismo.

Para esta etapa se busca definir los lineamientos que permita a los implementadores del modelo evaluar que el personal actual, tiene los conocimientos y habilidades actas para desarrollar la operatividad y funcionamiento del modelo en manera optima, teniendo en cuanta los recursos y elementos definidos para el mismo.

La etapa de diagnóstico es desarrollada antes del diseño de este plan, para el caso del estudio este se encuentra en la etapa de investigación estructurada anteriormente (Apartado 8.7), por lo que se puede definir que los temas que se requieren reforzar en los profesionales actuales, referente a la temática abordada en el estudio, hace énfasis en lo siguiente:

A. *La fabricación digital en la actualidad.*

B. *La fabricación digital y la medicina.*

C. *El modelado e impresión 3D aplicados en la medicina.*

D. *Beneficios del modelado e impresión en 3D en la medicina.*

E. *Innovación en los servicios médicos brindados en la actualidad.*

Los antes mencionados son algunos de los temas necesarias de reforzar en la comunidad médica actual, para poder ejecutar la aplicación de la fabricación digital en el entorno médico; no obstante, dentro del plan se sugiere estrategias para emplear un diagnóstico particular para el ente que desee implementar el modelo.

El diseño del plan de capacitación técnica está basado en el análisis realizado por los investigadores, teniendo de referencia el diagnostico mencionado en los apartados anteriores, pero es importante definir que, si la institución implementadora desea generar un diagnóstico partículas, puede utilizar el siguiente elemento de recopilación de datos e información necesaria para definir los temas requeridos a impartir al personal.

Tema: Aplicación de la Fabricación digital en la medicina (Impresión 3D)
Cuestionario de diagnostico

Objetivo: Identificar los conocimientos que el personal médico actual de la institución posee sobre la fabricación digital en la medicina, específicamente en el desarrollo de la impresión 3D de modelos anatómicos y su innovación en los procesos médicos actuales.

Sección 1: Información Demográfica

1. Edad:
   - 20-30
   - 31-40
   - 41-50
   - 51-60
   - 61 o más

2. Género:
   - Masculino
   - Femenino
   - Prefiero no decirlo

3. Especialidad Médica:
   - Cirugía
   - Ortopedia
   - Cardiología
   - Radiología
   - Odontología
   - Otro: _____

4. Años de experiencia en medicina:
   - 0-5 años
   - 6-10 años
   - 11-20 años
   - Más de 20 años

Sección 2: Conocimiento y Experiencia en Impresión 3D

5. ¿Conoce el concepto de impresión 3D?
   - Sí
   - No

6. ¿Ha recibido alguna formación específica sobre impresión 3D en medicina?
   - Sí
   - No

7. ¿Ha utilizado alguna vez la impresión 3D en su práctica médica?
   - Sí
   - No

8. Si la respuesta anterior es sí, ¿con qué frecuencia utiliza la impresión 3D en su práctica?
   - Frecuentemente
   - Ocasionalmente
   - Raramente

Sección 3: Aplicaciones de la Impresión 3D en Medicina

9. ¿En qué áreas ha utilizado o considera que se puede utilizar la impresión 3D en medicina? (Seleccione todas las que apliquen)

   - Modelos anatómicos para planificación quirúrgica
   - Prótesis y ortesis personalizadas
   - Guías quirúrgicas
   - Implantes personalizados
   - Formación y educación médica
   - Investigación y desarrollo
   - Otro (especificar): _____

10. ¿Qué ventajas cree que ofrece la impresión 3D en medicina? (Seleccione todas las que apliquen)

    - Personalización de tratamientos
    - Reducción de costos
    - Mejora en la precisión quirúrgica
    - Aceleración del tiempo de tratamiento
    - Mejora en la formación médica
    - Otro (especificar): _____

11. ¿Cuáles cree que son las limitaciones o desafíos de la impresión 3D en medicina? (Seleccione todas las que apliquen)

    - Costo de implementación
    - Falta de formación y conocimiento
    - Tiempo de producción
    - Regulaciones y aprobaciones
    - Calidad y durabilidad de los materiales
    - Otro (especificar): _____

Sección 4: Percepciones y Actitudes

12. ¿Qué tan dispuesto/a estaría a incorporar la impresión 3D en su práctica médica si tuviera acceso a la tecnología y la formación adecuada?

    - Muy dispuesto/a
    - Dispuesto/a
    - Neutral
    - Poco dispuesto/a
    - Nada dispuesto/a

13. ¿Cree que la impresión 3D revolucionará la medicina en los próximos 5-10 años?

    - Sí

- No
- No estoy seguro/a

14. ¿Considera que la adopción de la impresión 3D puede mejorar los resultados para los pacientes?

- Sí
- No
- No estoy seguro/a

Sección 5: Necesidades y Recomendaciones

15. ¿Qué recursos cree que serían necesarios para implementar eficazmente la impresión 3D en su práctica médica? (Seleccione todas las que apliquen)

- Formación especializada
- Equipamiento y software de impresión 3D
- Soporte técnico
- Guías y protocolos clínicos
- Financiamiento y subvenciones
- Otro (especificar): _____

16. ¿Estaría interesado/a en participar en cursos o talleres sobre impresión 3D en medicina?

- Sí
- No

17. Comentarios adicionales o sugerencias sobre la impresión 3D en medicina:

6. Estrategias Del Plan De Capacitación

Como se ha definido con anterioridad el plan de capacitación busca mejoras las habilidades y conocimientos del personal médico, que opera actualmente en las áreas que se verán involucradas con el modelo para la aplicación de la fabricación digital. Teniendo en cuenta

estos elementos se deberán definir estrategias para las etapas que se verán relacionadas en la aplicación de este, para ello se detalla los siguientes elementos.

6.1. Estrategias etapa: Diagnósticos.

- Emplear la aplicación de encuestas por medio digitales y físicas, que permita tener el referente del tema a implementar en la entidad, que para el caso es la fabricación digital en el desarrollo de modelos e impresión 3D de padecimientos de anatomías complejas.
- Establecer perfiles de los grupos a intervenir en las diferentes temáticas relacionadas con el modelado e impresión 3D, para generar grupos adecuados para cada tema desarrollado.

6.2. Estrategias etapa: Planificación.

- Desarrollar focus groups con profesional relacionados en la temática, que permita definir la manera oportuna en la ejecución de las temáticas a abordar.
- Estudiar la ejecución del plan con los directivos de las áreas involucradas, que permita definir el alcance del plan de una manera oportuna.

6.3. Estrategias etapa: Ejecución.

- Emplear capacitaciones con entes externos, que permitan brindar la experiencia oportuna a los profesionales relacionados con la ejecución de los nuevos procesos a incorporar.
- Emplear programas de capacitaciones virtuales, para aquellas áreas donde el conocimiento y habilidades deben ser más profundizadas y el tiempo se vuelve apremiante.

- Desarrollar foros y talleres, dentro de las instalaciones del ente implementador, para que el personal relacionado con los nuevos procesos posea un mejor conocimiento operativo.

6.4. Estrategias etapa: Evaluación.

- Implementar pruebas de conocimientos y habilidades en los talleres prácticos, que permitan tener un parámetro de los conocimientos adquiridos por el personal médico relacionado.

7. Tipos De Capacitación

El plan de capacitación se diseña con el fin de poder aplicar diferentes métodos de estudios, para fortalecer los conocimientos y habilidades de los profesionales actuales y poder llegar en un alcance amplio, sin dejar de lado ningún elemento o área del recurso involucrado en el diseño del estudio.

A. Capacitaciones inductivas.

Este tipo de capacitaciones a aplicar en el diseño del modelo, buscan facilitar la incorporación de los profesionales a los nuevos procesos y cambios en la ejecución de operaciones, así como también conocer los nuevos temas que se verán implicado en el análisis de los pacientes atendido; también este elemento se considera para los nuevos profesionales incorporados para conocer normativas, funciones y otros elementos de la entidad que aplique el modelo.

B. Desarrollo de habilidades.

Este tipo de capacitaciones se ven aplicadas con el fin de desarrollar nuevas habilidades y conocimientos en los profesionales actuales, permitiendo poseer nuevos elementos técnicos que servirán en el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas en la medicina.

C. Desarrollo de carrera.

Las capacitaciones que buscan el desarrollo de carrera de los profesionales de la salud son eventos que permitirán el desarrollar conocimientos específicos en la aplicación de fabricación digital en la medicina, creando profesionales con una ventaja competitiva más desarrollada, preparando a los mismos con el fin de asumir nuevos roles o funciones en la institución implementador.

8. Modalidades De Capacitación

La aplicación de diversas modalidades en el proceso de capacitaciones técnicas para el personal médico permitirá mejorar el alcance del recurso humano preparado para ser adaptados a los nuevos cambios. Los tipos de modalidades de aplicación de las capacitaciones, se define las siguientes:

D. Capacitaciones Internas.

Este tipo de capacitación es proporcionado por instructores internos que conocen perfectamente la entidad de aplicación del modelo y también es aplicado si en la misma institución aplacadora detecta personal con conocimientos y habilidades en el tema.

E. Capacitaciones Externas.

El tipo de capacitación externa es proporcionado por instructores externos que la propia institución aplacadora del modelo contrata, con el fin de recibir conocimientos y habilidades mejor definidas por profesionales con experiencia en el tema a implementar.

F. Capacitaciones De Modalidad Virtuales.

Este tipo de modalidad consiste en proporcionar a los empleados de la institución que busca la aplicación del modelo, proporcionando conocimientos y habilidades específicas, utilizando medios tecnológicos como videos, presentaciones, ejercicios interactivos, pruebas y otros recursos digitales.

G. Capacitaciones De Modalidad Mixta.

En este tipo de modalidad de aplicación del desarrollo de capacitación, se puede ejecutar el desarrollo de utilización de medios tecnológicos, así como la aplicación de eventos de desarrollo físico donde los participantes puedan tener una mejor experiencia en la aplicación del tema.

9. Programas Del Plan De Capacitación

Para el desarrollo del plan de capacitación sobre la aplicación de la fabricación digital en la medicina, específicamente enfocado en la impresión 3D, es fundamental abarcar una amplia gama de temas que permitan a los participantes comprender tanto los conceptos básicos como las aplicaciones avanzadas, teniendo de referencia los identificado en el diagnostico ejecutado. A continuación, se presenta una estructura detallada de los temas sugeridos para ser incluidos en el plan de capacitación:

Tabla: Programas del plan de capacitación

Modulo	Contenido	Responsable	Área de aplicación	Tipo	Duración
1. Introducción a la Fabricación Digital y la Impresión 3D	• Conceptos Básicos de la Fabricación Digital: Definición, tipos y tecnologías asociadas. • Historia y Evolución de la Impresión 3D: Desde sus inicios hasta la actualidad. • Tipos de Tecnologías de Impresión 3D: FDM, SLA, SLS, DLP, entre otras.	Equipo implementador	Elementos operativos del modelo	Curso virtual	1 sesiones sincrónicas de 4 horas
2. Fundamentos de la Impresión 3D	• Principios de Funcionamiento de la Impresión 3D: Capas, materiales y procesos. • Software de Diseño para Impresión 3D: Introducción a CAD, programas específicos para la medicina.	Equipo implementador	Elementos operativos del modelo	Curso virtual	4 sesiones sincrónicas de 4 horas cada una

Modulo	Contenido	Responsable	Área de aplicación	Tipo	Duración
	• Preparación de Archivos para Impresión 3D: Formatos de archivo (STL, OBJ), limpieza y reparación de modelos.				
3. Aplicaciones de la Impresión 3D en Medicina	• Modelos Anatómicos para Planificación Quirúrgica: Creación y uso de modelos anatómicos precisos. • Implantes y Prótesis Personalizadas: Diseño y fabricación de implantes a medida. • Guías Quirúrgicas Personalizadas: Uso de guías específicas para procedimientos quirúrgicos. • Bioprinting y Tissues Engineering: Introducción a la impresión de tejidos y órganos.	Equipo implementador	Elementos estratégicos, operativos y de apoyo del modelo	Seminarios	4 seminarios de una duración estimada de 4 horas cada uno
4. Materiales para Impresión 3D en Medicina	• Materiales Plásticos y Polímeros: Características, usos y limitaciones. • Materiales Biocompatibles y Biomateriales: Tipos, propiedades y aplicaciones. • Materiales Metálicos: Uso de metales en prótesis e implantes.	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos operativos y de apoyo del modelo	Taller	1 taller de 8 horas

Modulo	Contenido	Responsable	Área de aplicación	Tipo	Duración
5. Procesos y Técnicas Avanzadas	• Optimización del Diseño para Impresión 3D: Diseño generativo, optimización topológica. • Post-Procesamiento de Piezas Impresas: Técnicas de acabado, esterilización y tratamiento de superficies. • Integración con Imágenes Médicas: Uso de TAC, resonancias magnéticas y otras técnicas de imagen para crear modelos 3D.	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos operativos del modelo	Taller	2 taller de 8 horas
6. Consideraciones Regulatorias y Éticas	• Normativas y Regulaciones en Impresión 3D Médica: FDA, CE y otras regulaciones. • Aspectos Éticos de la Impresión 3D en Medicina: Consentimiento informado, privacidad y seguridad del paciente. • Propiedad Intelectual y Patentes: Derechos y protección de innovaciones en el ámbito de la impresión 3D médica.	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos estratégicos y operativos del modelo	Curso virtual	2 sesiones de 4 horas cada una
7. Casos de Estudio y	• Presentación de Casos de Éxito: Análisis de casos reales de aplicación de impresión 3D en medicina.	Jefe del departamento de modelado y	Elementos estratégicos y	Taller	1 taller de 8 horas

Modulo	Contenido	Responsable	Área de aplicación	Tipo	Duración
Ejemplos Prácticos	• Talleres Prácticos y Demostraciones: Sesiones prácticas de diseño y fabricación de piezas médicas. • Proyectos de Investigación y Desarrollo: Introducción a proyectos actuales y futuros en el campo.	fabricación digital anatómica	operativos del modelo		
8. Futuro de la Impresión 3D en Medicina	• Tendencias y Avances Tecnológicos: Innovaciones emergentes y su potencial impacto. • Desafíos y Oportunidades: Identificación de retos y oportunidades en el campo de la impresión 3D médica	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos estratégicos, operativos y de apoyo del modelo	Seminarios	1 seminario de 4 horas
9. Implementación en Entornos Clínicos	• Integración de la Impresión 3D en Hospitales y Clínicas: Requisitos, infraestructura, habilidades y conocimientos del personal. • Costos y Beneficios: Análisis económico y retorno de inversión. • Gestión de Proyectos de Impresión 3D: Planificación, ejecución y evaluación de proyectos.	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos estratégicos, operativos y de apoyo del modelo	Seminarios	2 seminario de 5 horas cada uno

Modulo	Contenido	Responsable	Área de aplicación	Tipo	Duración
10. Recursos y Herramientas Adicionales	• Bibliografía Recomendada: Libros, artículos y recursos en línea. • Software y Herramientas de Código Abierto: Recursos accesibles para iniciarse en la impresión 3D. • Redes de Colaboración y Comunidades: Grupos, foros y redes profesionales para intercambio de conocimiento y experiencias.	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómica	Elementos estratégicos, operativos y de apoyo del modelo	Seminarios	1 seminario de 4 horas

Fuente: Elaboración propia

En el área de aplicación cuando se menciona elementos estratégicos, hace referencia al personal de dirección o jefaturas relacionadas con el modelo directa o indirectamente, en cuanto al personal operativo es todo aquel que la institución asigne para operar en el modelo y los elementos de apoyo aquellos que no interactúan directamente con el modelo, pero si forman parte de alguna etapa en la alimentación de este. Este plan de capacitación ofrece una cobertura integral que abarca desde los fundamentos hasta las aplicaciones avanzadas de la impresión 3D en la medicina, proporcionando a los participantes el conocimiento y las habilidades necesarias para implementar y aprovechar esta tecnología en el ámbito médico.

1

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR



10.9 MODELO DE ENSEÑANZA SOBRE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN LA MEDICINA

Tabla De Contenido

1. Introducción 591

2. Objetivo General. 592

3. Objetivos Específicos 592

4. Responsables De La Gestión Y Ejecución Del Modelo De Enseñanza 593

5. Perfil De Los Beneficiarios 594

6. Estrategias Del Modelo 595

7. Módulos Del Modelo De Enseñanza 596

8. Metodología De Enseñanza 600

9. Implementación Del Modelo Y Plazos De Trabajo 600

10. Seguimiento Y Control 602

1. Introducción

La fabricación digital tiene múltiples aristas de investigación y aplicación, de las cuales una de las que está en desarrollo y con aplicaciones más practicas es la impresión 3D, y el campo de la medicina no es la excepción pues permite fabricar partes y órganos del cuerpo humano con mucha fidelidad y de manera especializada, permitiendo a los investigadores y doctores fabricar elementos anotómicos de un paciente en particular, lo que permite conocer más sobre casos complejos y de mal formaciones congénitas, pues la impresión 3D permite variar los tamaños de impresión, colores, texturas y calidad superficial de las piezas dando el salto de estudiar con órganos y huesos reales y deteriorados (como se ha realizado históricamente) hacia la construcción de piezas anatómicas específicas que posibilitan y complementan el análisis, diagnóstico, el estudio y practicas quirúrgicas, las piezas impresas en 3D representan con mucha exactitud los órganos humanos, no quieren condiciones específicas de temperatura para conservarse por lo que las vuelven un elemento de gran utilidad e importancia en la enseñanza y practica en el campo de la medicina.

Como parte de esta investigación de aplicación, se presentan las siguientes estrategias de formación en impresión 3D a los nuevos profesionales del campo de la salud de El Salvador, el cual es realizado a través de hospitales tipo como el Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom".

El objetivo principal de este elemento es diseñar estrategias para que los estudiantes y médicos que se encuentran practicando y trabajando en hospitales en calidad de residentes o internistas, tengan la oportunidad de ampliar sus conocimientos ante casos de anatomías únicas y complejas a través del aprendizaje y aplicación del modelado virtual y la impresión 3D. Por lo tanto, este modelo de enseñanza busca integrar de manera efectiva la tecnología de impresión 3D en la formación médica, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos y

aprovechar las oportunidades que esta tecnología ofrece en el ámbito médico, dotando a los futuros profesionales de salud del país de nuevas competencias de vanguardia.

2. Objetivo General.

Proveer a los estudiantes de medicina en prácticas profesionales del área de cardiología en el hospital escuela, el Hospital Nacional Especializado de Niños "Benjamín Bloom", los principios del modelado virtual y la impresión 3D en la medicina, sus aplicaciones, técnicas y su impacto en el análisis, planificación y práctica quirúrgica.

3. Objetivos Específicos

- Definir los responsables de la gestión y ejecución del modelo de enseñanza para los profesionales en formación en el área de medicina, que tenga relación con la operatividad del modelo a implementar.
- Establecer el perfil de los profesionales en formación que son candidatos aptos para ser instruidos en el tema de la fabricación digital específicamente la impresión 3D en la medicina.
- Consolidar estrategias para la implementación del modelo, teniendo en cuenta las etapas requeridas para el mismo, según la operatividad y el enfoque del profesional formado en estos nuevos conocimientos.
- Establecer los componentes, metodología y fases de la implementación del modelo de enseñanza, teniendo en cuenta las necesidades de los temas a compartir con los profesionales en formación y el tiempo de formación de este en la institución.

4. Responsables de la gestión y ejecución del modelo de enseñanza.

Este elemento describe los cargos que deben responsabilizarse en la gestión y ejecución las estrategias y programas de formación a los estudiantes de medicina, los cual agregar un valor agregado al servicio social de formación que el hospital aporta los estudiantes, convirtiéndolo así en una institución de investigación y formación de vanguardia.

Cargo	Responsabilidad
Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómico	Planificar y coordinar el proceso de formación con las autoridades del hospital tipo y las universidades e instituciones formación médica, estableciendo objetivos, plazos, horarios, lugar y otras gestiones pertinentes. Gestionar los materiales y equipos requeridos para la ejecución de los módulos formativos.
Asistente administrativo	Realizar la inscripción de los estudiantes interesados en adquirir conocimientos y habilidades en modelado virtual e impresión 3D. Controlar la asistencia y compromiso de los participantes inscritos. Colaborar en la gestión de materiales y equipos requeridos para la ejecución de los módulos formativos.
Técnico en imagen y modelado 3D	Enseñar a los estudiantes a realizar un modelado virtual de partes del cuerpo humano a partir de radiografías computarizas y como son utilizadas para apoyar a diagnosticar y analizar las anatomías complejas y malformaciones congénitas.
Técnico en impresión 3D	Enseñar a los participantes a realizar impresiones 3D a partir de los modelos virtuales, comunicando conocimientos teóricos básicos y realizando talleres prácticos para fomentar el desarrollo de habilidades de manipulación de equipos y herramientas y conocimiento sobre la fabricación de las piezas anatómicas.

5. Perfil de los beneficiarios

A continuación, se detallan el perfil de los principales beneficiarios de las formaciones de impresión 3D, los cuales son todo tipo de estudiante del área de medicina, especialmente del área de cirugía cardiaca pertenecientes al hospital tipo.

Población meta

Población meta	Descripción de su estado académico
Médico internista	Estudiante de pregrado que ha culminado sus estudios superiores y se encuentra realizando prácticas profesionales.
Médico residente	Estudiante de posgrado que está realizando prácticas para obtener una especialidad médica.
Estudiantes de medicina	Otros estudiantes de las diferentes ramas de la medicina con relación a los procedimientos de diagnóstico y cirugía. Tales como radiología, neurocirugía, ortopedia, anestesiología y enfermería.

Competencias y habilidades requeridas

Tipos de competencias	Requerimiento de conocimientos y habilidades
Competencias generales	• Dominio de las tecnologías de la información y de la comunicación a nivel básico • Habilidad de diseño y comprensión espacial • Conocimiento básico de vocabulario en ingles • Formular y gestionar proyectos de investigación
Competencias en el área de medicina	• Dominio de la anatomía humana, sobre todo del sistema cardiaco. • Conocimiento y habilidad para la identificación de problemas de malformaciones congénitas de pacientes. • Capacidad diagnóstica • Conocimientos sobre procedimentales de cirugía. • Habilidad para interpretar y analizar radiografías computarizadas.
Habilidades blandas	• Capacidad para trabajar en equipos multidisciplinarios • Creatividad y capacidad de diseño • Actitud de compromiso y servicio de calidad • Contar con una visión humanista e integral de los seres humanos • Reconocer los derechos de los pacientes, en especial el de la confidencialidad y el del consentimiento informado

6. Estrategias Del Modelo

Las estrategias del modelo de enseñanza a los profesionales de la salud en proceso de formación, se enfoca en elementos relacionados a la etapa de diagnóstico y formación de los mismo. teniendo en cuenta la necesidad de conocer las habilidades y conocimientos de los profesionales a ingresar a las instalaciones para poseer un punto de referencia para ejecución del modelo de enseñanza.

A. Estrategias de diagnostico

Las estrategias de diagnóstico buscan conocer el nivel de conocimiento con el que los profesionales en proceso de formación en el área médica dominan en el campo de la impresión 3D, así como también requiere identificar las principales necesidades de aplicación del modelado y fabricación 3D. A continuación, se presentan las siguientes estrategias para diagnosticar el nivel de conocimiento y principales necesidades aplicación:

- Detectar las necesidades a través de investigación utilizando encuestas y lluvia de ideas.
- Clasificar las necesidades identificadas.
- Definir los objetivos de formación.
- Fijar metas al finalizar la formación.

7. Módulos del Modelo de Enseñanza

En el siguiente apartado se define los componentes del modelo de enseñanza para profesionales en formación en el área médica, teniendo en cuenta que desconoce de los conocimientos y habilidades de la aplicación de la fabricación digital en la medicina, específicamente el área de la impresión en 3D.

Tabla: Módulos del modelo de enseñanza

Módulo	**Objetivo**	**Contenido**
1. Introducción y Fundamentos Teóricos	Definir los conceptos básicos de la fabricación digital, para la compresión de la impresión en 3D, estableciendo fundamentos importantes para su aplicación a la medicina,	**Sesión 1: Conceptos Básicos de Fabricación Digital** • Historia y evolución de la impresión 3D. • Tipos de tecnologías de impresión 3D (FDM, SLA, SLS, etc.). • Materiales utilizados en la impresión 3D médica. **Sesión 2: Aplicaciones Médicas de la Impresión 3D** • Modelos anatómicos para planificación quirúrgica. • Prótesis personalizadas. • Implantes y guías quirúrgicas. • Bioprinting y sus aplicaciones futuras.

Módulo	Objetivo	Contenido
2. Prácticas y Talleres	Ejecutar ejercicios prácticos que permitan a los profesionales de la salud, desarrollar habilidades en temas de modelado, procesos de impresión y acabados en la aplicación de impresiones en 3D.	**Taller 1: Introducción al Software de Diseño 3D** • Capacitación en el uso de software de diseño asistido por computadora (CAD) específico para medicina. • Creación de modelos anatómicos básicos. **Taller 2: Proceso de Impresión 3D** • Configuración de la impresora 3D. • Preparación del archivo para impresión. • Ejecución del proceso de impresión. **Taller 3: Posprocesamiento y Acabado** • Técnicas de limpieza y acabado de modelos impresos. • Evaluación de la calidad del producto final.
3. Aplicación Clínica	Conocer los procesos médicos en los que es aplicable los modelos de impresión 3D, teniendo en cuenta los diferentes beneficios para los	**Sesión 1: Planificación Quirúrgica** • Uso de modelos 3D para la planificación y simulación de procedimientos quirúrgicos.

Módulo	Objetivo	Contenido
	pacientes tratados con estos nuevos recursos.	• Casos de estudio y análisis de resultados clínicos. **Sesión 2: Personalización de Prótesis e Implantes** • Procedimiento para la creación de prótesis personalizadas. • Ajuste y validación de implantes impresos en 3D.
4. Integración en el Entorno Hospitalario	Definir los lineamientos en tema de protocolos y normativas para la implementación y gestión de un laboratorio de impresión en 3D.	**Sesión 1: Protocolos y Normativas** • Regulaciones y normativas en el uso de impresión 3D en medicina. • Protocolos de seguridad y control de calidad. **Sesión 2: Implementación y Gestión de un Laboratorio de Impresión 3D** • Diseño y gestión de un laboratorio de impresión 3D en el hospital. • Integración con otros departamentos y especialidades.
5. Evaluación y Mejora Continua	Evaluar de manera periódica los avances obtenidos con los profesionales en formación, así como establecer la necesidad de innovar contenido conforme los	• Evaluaciones Periódicas • Pruebas teóricas y prácticas. • Evaluación de proyectos individuales y grupales.

Módulo	Objetivo	Contenido
	avances tecnológicos cambian a favor de la medicina.	• Retroalimentación y Actualización • Encuestas de satisfacción y feedback de los estudiantes. • Actualización continua del contenido en función de los avances tecnológicos y clínicos.

Fuente: Elaboración propia

8. Metodología de Enseñanza

A continuación, se presentan las metodologías de enseñan a ser aplicadas por el modelo de formación y la metodología de evaluación y seguimiento.

A. <u>Métodos Activos y Participativos:</u>

- Clases teóricas interactivas.
- Talleres prácticos con demostraciones en vivo.
- Trabajo en proyectos reales bajo supervisión.

B. <u>Evaluación y Seguimiento:</u>

- Evaluaciones continuas mediante pruebas escritas y prácticas.
- Supervisión directa en prácticas clínicas.
- Retroalimentación continua para mejorar el proceso de enseñanza.

9. Implementación del Modelo y plazos de trabajo

Para esta etapa se plantea las actividades requeridas para ejecutar un modelo de enseñanza para la comunidad de estudiantes en formación del área de salud, teniendo en cuenta las carreras afines al modelo diseñado. A continuación, se muestra algunas de las actividades requeridas para ejecutar:

Tabla: Implementación del modelo de enseñanza

Fase	Actividades	Duración estimada
A. Preparación	A.1 Selección del equipo docente y formación inicial	4 semanas
	A.2 Adquisición de equipos y materiales necesarios.	12 a 16 semanas
	A.3 Diseño del plan de estudios detallado y cronograma.	4 semanas

Fase	Actividades	Duración estimada
B. Ejecución	B.1 Desarrollo de clases y talleres según el cronograma.	16 a 20 semanas
	B.2 Monitoreo y ajuste continúo basado en la retroalimentación.	2 semanas
C. Evaluación	C.1 Recopilación de resultados de evaluación y feedback.	2 semanas
	C.2 Revisión y actualización del programa según sea necesario.	3 semanas

Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que el modelo de enseñanza es un apartado agregado al diseño detallado de un modelo de aplicación de la fabricación digital en le medicina, por lo que las actividades referentes al apartado A pueden estar ya establecidas para ejecutar dicho plan, cabe mencionar que el desarrollo de clases y talleres va de la mano con los profesionales que operen el diseño de laboratorio de modelado e impresión 3D a implementar en la institución requerida.

La implementación del modelo de enseñanza también relaciona la necesidad de los recursos que se ven involucrados en su ejecución, es por eso por lo que a continuación se plantea lo siguiente:

Determinación de los recursos necesarios

- Materiales de lectura y videos educativos.
- Equipo informático
- Software de diseño 3D.
- Impresoras 3D y materiales específicos para uso médico.

Cada uno de estos recursos es esencial para el buen funcionamiento del modelo, para el caso en particular el material didáctico, se verá diseñado según lo establezca el instructor encargado, siguiendo los lineamientos de las temáticas abordadas en cada módulo.

En cuanto a los equipos como necesarios para ejecutar el modelo de enseñanza, este será utilizados lo ya establecido en el establecimiento del diseño del modelo, el cual plantea, equipo informático, impresoras 3D, Software de modelado, equipo de curado de piezas y otros.

10. Seguimiento y control

En esta sección se establecen los resultados esperados al finalizar la formación en impresión 3D, así como también los indicadores de desempeño de las formaciones realizadas.

Resultados Esperados

- Los estudiantes adquirirán competencias en diseño y modelado virtual y en el uso de tecnologías de impresión 3D en el ámbito médico.
- Competencias y habilidades para fabricar impresiones 3D ante casos clínicos reales.
- Desarrollo de habilidades para la innovación en el análisis y planificación quirúrgica.

Indicadores de desempeño del modelo de formación

A continuación, se muestra los indicadores que permitirán evaluar el desempeño y de la formación 3D dirigido a estudiantes de medicina en el hospital tipo.

Nombre del indicador	Satisfacción de la formación en modelado e impresión 3D.		
Objetivo	Determinar el porcentaje de participantes que indican haber experimentado un proceso de enseñanza satisfactorio para determinar la calidad del servicio de formación otorgados desde el departamento de modelado y fabricación digital anatómica.		
Formula	$Satisfacción\ de\ la\ formación = \frac{Cantidad\ de\ personas\ que\ experimentaron\ satisfacción}{Total\ de\ personas\ participantes\ en\ el\ curso}\ x\ 100\%$		
Periodicidad	Anual	Meta	90 %
Responsable	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómico		

Nombre del indicador	Desarrollo de nuevas habilidades		
Objetivo	Determinar la cantidad de participantes que verdaderamente han demostrado a través de las pruebas y talleres practico un dominio sobre en diseño y modelado virtual y la ejecución de impresiones 3D.		
Formula	$$Desarrollo\ de\ nuevas\ habilidades = \frac{Cantidad\ de\ personas\ que\ dominan\ el\ modelado\ virtual\ e\ impresión\ 3D}{Total\ de\ participantes\ del\ curso}\ x\ 100\%$$		
Periodicidad	Anual	Meta	90 %
Responsable	Jefe del departamento de modelado y fabricación digital anatómico		

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL MARCO DE LA PRE-OPERACIÓN EN PACIENTES DE CARDIOLOGIA EN EL HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" DE EL SALVADOR

10.10 GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE HOSPITAL DONDE SE PUEDE EJECUTAR EL MODELO.

Introducción

La evolución tecnológica en el ámbito médico ha permitido integrar herramientas innovadoras que potencian la capacidad de los profesionales de la salud para optimizar sus prácticas. Una de estas herramientas es la fabricación digital, específicamente la impresión 3D, que se ha convertido en un recurso clave para la planificación y ejecución de procedimientos quirúrgicos complejos.

Esta guía ha sido diseñada con el propósito de orientar la selección de hospitales en El Salvador donde se pueda implementar un modelo de fabricación digital en apoyo a la estructuración del plan de intervención quirúrgica para pacientes del área de cardiología. En este contexto, el objetivo del modelo es proporcionar un soporte innovador que complemente los métodos tradicionales utilizados por los médicos, con un enfoque en las cirugías electivas.

La implementación de este modelo busca no solo facilitar la planificación preoperatoria, sino también contribuir al desarrollo de capacidades tecnológicas en el sector salud, promoviendo una mejora integral en la atención médica. A través de la selección adecuada del hospital, se busca maximizar el impacto de este modelo, priorizando la eficiencia, la seguridad de los pacientes y la sostenibilidad del proyecto.

La guía presenta una serie de criterios específicos que abarcan aspectos clínicos, técnicos, administrativos y de accesibilidad, los cuales deben considerarse para identificar las instituciones más aptas para adoptar esta iniciativa. Además, busca fomentar la colaboración entre los sectores hospitalario, académico y tecnológico, con el objetivo de fortalecer la calidad del sistema de salud salvadoreño. En resumen, este documento servirá como un recurso práctico para identificar el entorno hospitalario ideal que permita la implementación exitosa de la fabricación digital, consolidándose como una herramienta transformadora en el abordaje quirúrgico de los pacientes con enfermedades cardiovasculares.

Criterios de evaluación

Tabla: Criterios de evaluación de hospital que puede emplear el modelo.

Factores	Criterios	Descripción
Factores Generales de Selección	Especialización Médica	Se refiere al grado de experiencia y enfoque del hospital en el área de cardiología, con especial énfasis en el manejo de patologías complejas que requieran intervenciones quirúrgicas avanzadas.
	Capacidad de Innovación	Describe la disposición y experiencia del hospital para adoptar y aplicar nuevas tecnologías, así como su historial en proyectos relacionados con innovación médica.
	Infraestructura	Evalúa si el hospital cuenta con los recursos físicos, tecnológicos y logísticos necesarios para implementar y operar un modelo de fabricación digital.
Factores Clínicos	Volumen de Pacientes	Considera el número anual de pacientes de cardiología atendidos en el hospital, lo que justifica la demanda para la implementación del modelo.
	Complejidad de los Casos	Analiza el nivel de dificultad y los requerimientos específicos de las intervenciones quirúrgicas realizadas en el hospital, especialmente en cirugías cardíacas electivas.
	Colaboración Multidisciplinaria	Mide la capacidad del hospital para reunir equipos integrados por médicos, ingenieros y otros especialistas que trabajen conjuntamente en la planificación quirúrgica
Aspectos Técnicos	Disponibilidad de Recursos Tecnológicos	Verifica si el hospital dispone de herramientas de fabricación digital, como impresoras 3D, y si puede integrarlas en su operación.

Factores	Criterios	Descripción
	Personal Capacitado	Examina la existencia de personal médico y técnico con los conocimientos necesarios o la disposición para capacitarse en fabricación digital.
	Calidad de Imagen Médica	Evalúa la capacidad del hospital para generar imágenes médicas de alta resolución, como tomografías computarizadas (TAC) o resonancias magnéticas (RM), esenciales para el modelado 3D.
Factores Administrativos	Alineación con Políticas Institucionales	Considera si las políticas internas del hospital favorecen la integración de tecnologías y proyectos innovadores.
	Disponibilidad Presupuestaria	Analiza los recursos económicos del hospital para sostener la implementación del modelo en el corto, mediano y largo plazo.
	Interés del Hospital	Valora el nivel de compromiso e interés de la institución en participar activamente en la implementación del modelo de fabricación digital.
	Conexiones con Universidades o Centros de Innovación	Determina la existencia de vínculos institucionales con entidades académicas o centros de investigación que puedan apoyar la implementación tecnológica y el desarrollo del modelo.
	Resultados Esperados	Valora el nivel de compromiso e interés de la institución en participar activamente en la implementación del modelo de fabricación digital.

Fuente: elaboración propia

Método de evaluación

Para la evaluación de la selección del hospital se recomienda **"El método de evaluación ponderado**" es una técnica utilizada para tomar decisiones o analizar opciones cuando es necesario evaluar múltiples criterios que tienen diferente importancia o peso. Este método consiste en asignar un peso específico a cada criterio en función de su relevancia, y luego calcular una puntuación total para cada opción en función de su desempeño en los diferentes criterios y los pesos asignados. Este método deberá de contener los siguientes pasos:

1. Identificar los criterios de evaluación: Definir los factores o aspectos relevantes que se utilizarán para evaluar las opciones.
2. Asignar pesos a los criterios: Determinar la importancia relativa de cada criterio, normalmente en forma de porcentaje o valor numérico. La suma de los pesos debe ser 1 (o 100%).
3. Evaluar cada opción: Calificar cada opción según su desempeño en cada criterio, generalmente utilizando una escala numérica (por ejemplo, de 1 a 10).
4. Multiplicar las calificaciones por los pesos: Para cada opción, se multiplica la calificación de cada criterio por el peso correspondiente.
5. Calcular la puntuación total: Sumar los valores ponderados de todos los criterios para cada opción.

Para el caso los criterios se han definido y establecido en el apartado anterior, por lo que en esta etapa se establece el peso o porcentaje de cada criterio como se muestra en el siguiente apartado:

- Asignación de pesos:

Tabla: Asignación de peso a cada criterio de evaluación

Factores	Criterios	Ponderación
Factores Generales de Selección	Especialización Médica	15%
	Capacidad de Innovación	15%
	Infraestructura	10%
Factores Clínicos	Volumen de Pacientes	15%
	Complejidad de los Casos	10%
	Colaboración Multidisciplinaria	5%
Aspectos Técnicos	Disponibilidad de Recursos Tecnológicos	5%
	Personal Capacitado	2%
	Calidad de Imagen Médica	3%
Factores Administrativos	Alineación con Políticas Institucionales	10%
	Disponibilidad Presupuestaria	3%
	Interés del Hospital	2%
	Conexiones con Universidades o Centros de Innovación	2%
	Resultados Esperados	3%

Fuente: Elaboración propia

- Nivel de evaluación de cada criterio

Cada criterio definido en la guía será evaluado utilizando una escala del 1 al 5, con el objetivo de medir el grado de cumplimiento del hospital respecto a dicho criterio. Esta escala permitirá una evaluación cuantitativa y objetiva, facilitando la comparación entre diferentes instituciones. A continuación, se explica el significado de cada valor en la escala:

Escala de Evaluación (1-5)

- Cumplimiento muy bajo (1): El hospital presenta mínimas condiciones para satisfacer el criterio evaluado o no cuenta con los elementos básicos requeridos para cumplirlo.

- Cumplimiento bajo (2): Existen algunos elementos relacionados con el criterio, pero son insuficientes o no están totalmente desarrollados para garantizar su cumplimiento efectivo.
- Cumplimiento moderado (3): El hospital cumple parcialmente con el criterio, mostrando avances significativos, aunque persisten áreas de mejora para alcanzar un nivel óptimo.
- Cumplimiento alto (4): El hospital satisface la mayoría de los aspectos del criterio, demostrando una capacidad adecuada y una disposición favorable para su implementación.
- Cumplimiento completo (5): El hospital cumple plenamente con el criterio, contando con todos los recursos, capacidades y condiciones necesarias para satisfacerlo de manera integral.

Procedimiento de Evaluación

- Cada criterio será evaluado de manera individual por un equipo evaluador, considerando evidencias documentadas, entrevistas al personal, visitas técnicas y análisis de recursos.
- Los puntajes asignados a cada criterio se ponderarán según su importancia relativa (como se especificó en la propuesta de ponderación).
- Al finalizar, se calculará un puntaje total ponderado para cada hospital, lo que permitirá identificar qué institución cumple mejor con los requisitos para implementar el modelo de fabricación digital.

Teniendo en cuenta lo antes definido el equipo evaluador que desee ejecutar el proceso, en base a la ponderación y calificación del criterio, deberá de establecer el producto referente a la institución y establecer el total de lo acumulado por cada hospital evaluado.

Factores son indispensables y cuáles son deseables.

En la selección de un hospital para la implementación de un modelo de fabricación digital, es fundamental clasificar los factores y criterios en indispensables y deseables para priorizar aquellos que son críticos para el éxito del proyecto y diferenciar los que, aunque importantes, son complementarios.

Tabla: Factores son indispensables y cuáles son deseables.

Factores	Descripción	Lista
Factores Indispensables	Estos factores son esenciales para garantizar que el hospital cuente con las capacidades mínimas necesarias para implementar el modelo.	• Especialización Médica • Capacidad de Innovación • Volumen de Pacientes • Complejidad de los Casos • Calidad de Imagen Médica • Conexión con Universidades o Centros de Innovación.
Factores Deseables	Estos factores son importantes y enriquecen la implementación del modelo, pero su ausencia no impide llevar a cabo el proyecto si los factores indispensables están cubiertos	• Infraestructura • Colaboración Multidisciplinaria • Disponibilidad de Recursos Tecnológicos • Personal Capacitado • Alineación con Políticas Institucionales • Disponibilidad Presupuestaria • Interés del Hospital.

Fuente: Elaboración propia

10.11. Plan de implementación

Con el fin de compartir los hallazgos, avances y recursos generados durante la investigación, así como de promover un mayor entendimiento y adopción de las tecnologías de la fabricación digital desarrolladas en el ámbito médico, se plantea la etapa implementación, que busca esclarecer elementos de importancia al momento de la toma de decisión para desarrollar el proyecto. Este plan de implementación detalla las etapas y estrategias necesarias para el lanzamiento del proyecto, asegurando que cumpla con los objetivos académicos y de divulgación del proyecto.

A continuación, se presenta un plan detallado para la creación e implementación de un modelo que aplique la fabricación digital en el contexto preoperatorio de pacientes de cardiología en El Salvador. Este modelo está diseñado para servir como una guía básica y estructurada, permitiendo que hospitales y otras instituciones de salud en el país puedan identificar y llevar a cabo las actividades necesarias de manera secuencial y ordenada. La propuesta aborda cada etapa del proceso preoperatorio, desde la solicitud de trabajo durante el diagnostico hasta la elaboración de modelos tridimensionales personalizados y únicos, facilitando la planificación quirúrgica y mejorando los resultados clínicos.

Además, este modelo se enfoca en la identificación de los componentes críticos que requieren una aplicación prioritaria, adaptándose a las condiciones y recursos disponibles en cada institución. A través de la implementación de este plan, se espera no solo optimizar la preparación preoperatoria en el ámbito de la cardiología, sino también establecer un precedente para la adopción de tecnologías avanzadas en otras áreas de la medicina en el país. De esta forma, el modelo propuesto puede ser replicado y ajustado en distintos contextos, promoviendo una mejora continua en la calidad de la atención médica.

10.11.1. Objetivo General

Establecer las actividades a seguir para la creación e implementación de una unidad física y organizacional del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador. desde el momento en que la institución aprueba la implementación hasta la puesta en marcha.

10.11.2. Objetivos Específicos

- Identificar los alcances y limitaciones que podrían afectar la implementación de un modelo para aplicación de la fabricación en el área de cardiología.
- Definir la estructura de descomposición de trabajo (EDT), que permita tener claridad en los elementos a entregar, así como la definición de estos a través de la definición de las actividades a desarrollar.
- Estructurar la secuencia de actividades para la efectiva implementación y adaptación del modelo desarrollando precedencias, diseño y análisis de seguimiento de una red de actividades.
- Establecer la estructura organizacional temporal destinada para la implementación del modelo, así como también sus funciones, para establecer el recurso de capital humano requerido para dicho trabajo.
- Crear el calendario de trabajo para orientar la implementación del modelo en función de los plazos estimados para las actividades y su precedencia.

10.11.3. Alcance de la implementación

El presente plan de implementación tiene como objetivo principal establecer y ejecutar un proyecto integral para la aplicación de la fabricación digital en el proceso preoperatorio de pacientes de cardiología en El Salvador, específicamente en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom. Este proyecto abarca desde la definición de los elementos generales de diseño y planificación, la formación de un equipo multidisciplinario para su implementación, hasta la estructuración de componentes específicos, tales como la realización de obras civiles necesarias, la gestión de adquisiciones, la capacitación del personal involucrado y la puesta en marcha de una nueva área dedicada al modelado e impresión 3D dentro del hospital. El proyecto inicia su proceso de implementación desde el momento en que la institución aprueba su aplicación e incorporación hasta la puesta en marcha de este.

10.11.4. Limitación del plan de implementación

El desarrollo y ejecución del proyecto pueden enfrentarse a limitantes significativas, principalmente debido a los elevados niveles de inversión inicial requeridos para la implementación de tecnologías de fabricación digital, así como a las restricciones normativas propias de las instituciones públicas en El Salvador. Estas normativas pueden limitar la capacidad de inversión en innovación médica, lo que podría ralentizar o complicar la adquisición de equipos especializados, la contratación de personal capacitado y la realización de obras civiles necesarias para establecer la nueva área de modelado e impresión 3D en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom.

10.11.5. Generalidades para la implementación

Para dar paso a la estructura medular de lo que implica el plan de implementación, se retoman elementos importantes del diseño que son clave en la ejecución de las estrategias de implementación, teniendo en cuenta esto se define los siguientes apartados.

10.11.5.1. Servicios que se buscan implementar

Los servicios que la aplicación del estudio busca implementar son tres y busca no solo beneficiar al servicio brindado por las instituciones sino también a los futuros profesionales de la salud, debido a esto se presenta lo siguiente:

Tabla 125: Nuevos servicios a ofertar

Nuevos servicios	Definiciones	Capacidad instalada
Modelado virtual	El servicio de modelado virtual hace referencia a la visualización de imágenes médicas a partir del formato DICOM, a través del procesamiento de imágenes 2D para convertirlas en una representación virtual 3D de la estructura anatómica. Actualmente existen aplicaciones o modelos virtuales de órganos, arterias, sistema óseo y muscular, sin embargo, se tratan de modelos genéricos y en condiciones normales, lo que representa una información parcial cuando se estudia y analiza una intervención quirúrgica en la que el objetivo es corregir una malformación congénita o un daño.	$784\ \frac{modelos\ virtuales}{año}$

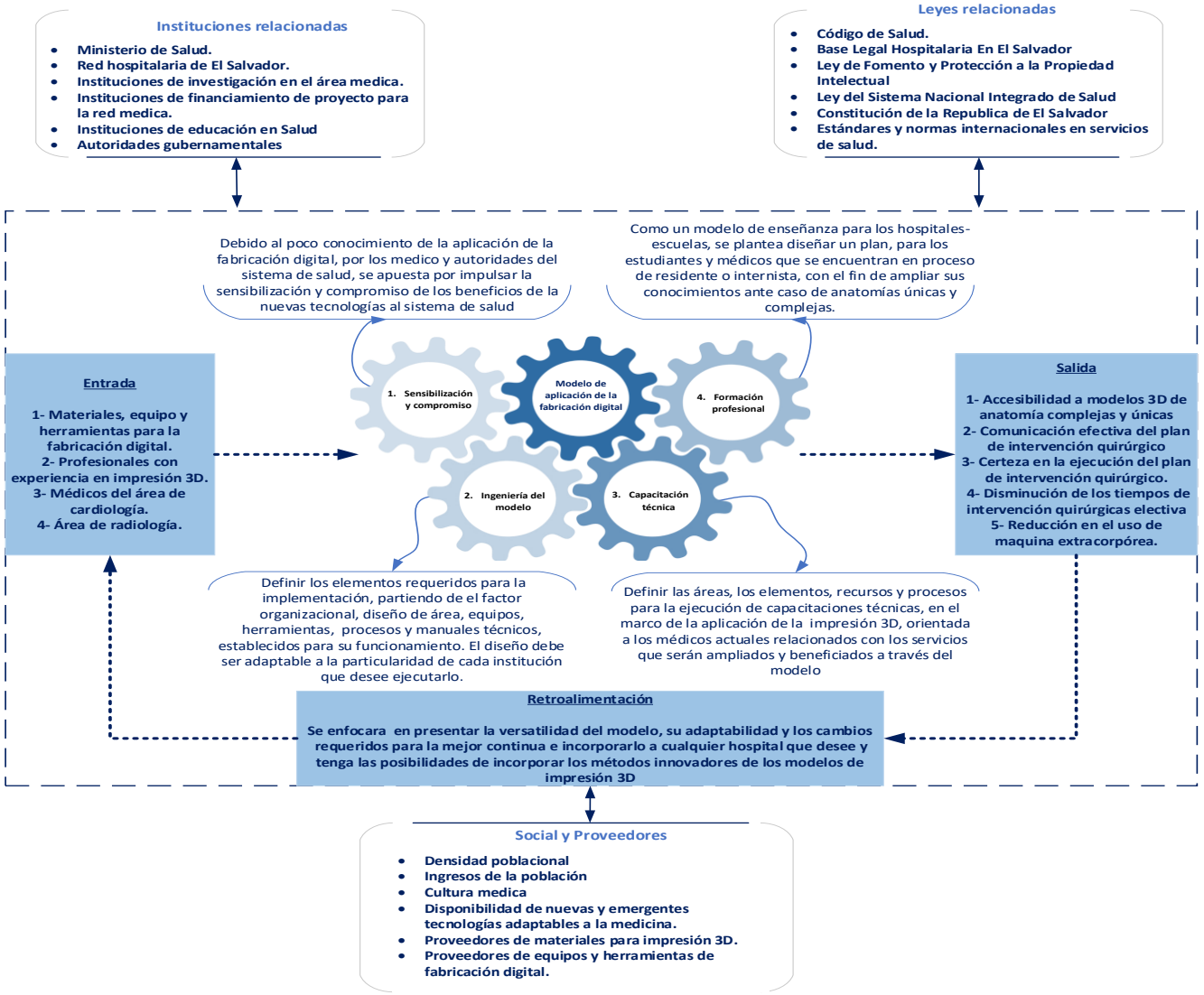
Nuevos servicios	Definiciones	Capacidad instalada
Impresión de modelos 3D	El servicio de impresión de modelos 3D, busca formar parte de la división de servicios de diagnósticos y apoyo del hospital tipo, este contribuirá en la medicina, en el área de cardiología para pacientes que presentan malformaciones congénitas en su sistema cardiovascular, que requieren de una ampliación en su imagen para ser intervenidos quirúrgicamente. El servicio toma como base las angiografías computarizadas creadas por las tecnologías empleadas en la actualidad, para posteriormente aplicar las tecnologías de fabricación digital como lo son las tecnologías de impresión 3D, lo que permitirá tener modelos físicos de las malformaciones congénitas y así contar con una mejor visualización y practicas motrices que apoye a los cirujanos cardiólogos a diseñar el mejor plan de intervención quirúrgica.	$627\ \frac{modelos\ de\ impresion\ 3D}{año}$
Servicios de formación profesional	El servicio de formación a profesionales y estudiantes de medicina busca compartir con el personal actual y futuro del área de la medicina el uso y aplicación de las herramientas y tecnologías de modelado e impresión 3D para dotarlos de nuevas habilidades, conocimientos y competencias profesionales como parte de los avances en la innovación médica, acompañada del	Se acoplará a las políticas que la institución implementadora posea para la aceptación de prácticas profesionales, pero existe un promedio de 77 profesionales egresados de la carrera de radiología e imágenes, potenciales beneficiarios.

Nuevos servicios	Definiciones	Capacidad instalada
	principios que la industria evoluciona constantemente no solo como apoyo en el desarrollo económico – industrial, sino también en el sector salud.	

Fuente: Elaboración propia

10.11.5.2. Esquema de conceptualización del diseño de la propuesta de solución

Ilustración 140: Conceptualización de la solución.



Fuente: Elaboración propia.

10.11.5.3. Requerimientos para el desarrollo operativo

Para garantizar el cumplimiento de la demanda y dar respuestas eficientes en el proceso de generación de modelos virtuales e impresiones 3D, a continuación, se presenta un cuadro resumen que establece los requerimientos de maquinara.

Tabla 126: Requerimiento de Maquinaria y equipo

Tipo de equipo y maquinaria	Cantidad requerida
Equipo informático	4
Impresoras 3D	6
Máquinas de limpieza	2
Máquinas de curado	2

Fuente: Elaboración propia

También se debe de informar que en el caso particular del servicio de impresión de modelos 3D se debe de tomar en cuentas, materiales e insumos necesarios para generar dichos servicios por lo que se plantea lo siguiente:

Tabla 127: Planificación de los materiales en función del pronóstico de la producción

Año	Pronóstico de producción Anual	Planificación de materiales			
		Resina (Litros)	Alcohol (Litros)	Agua (Litros)	Amonio (Litros)
1	593	149	78	593	3
2	578	145	76	578	3
3	579	145	76	579	3
4	614	154	80	614	4
5	627	157	82	627	4

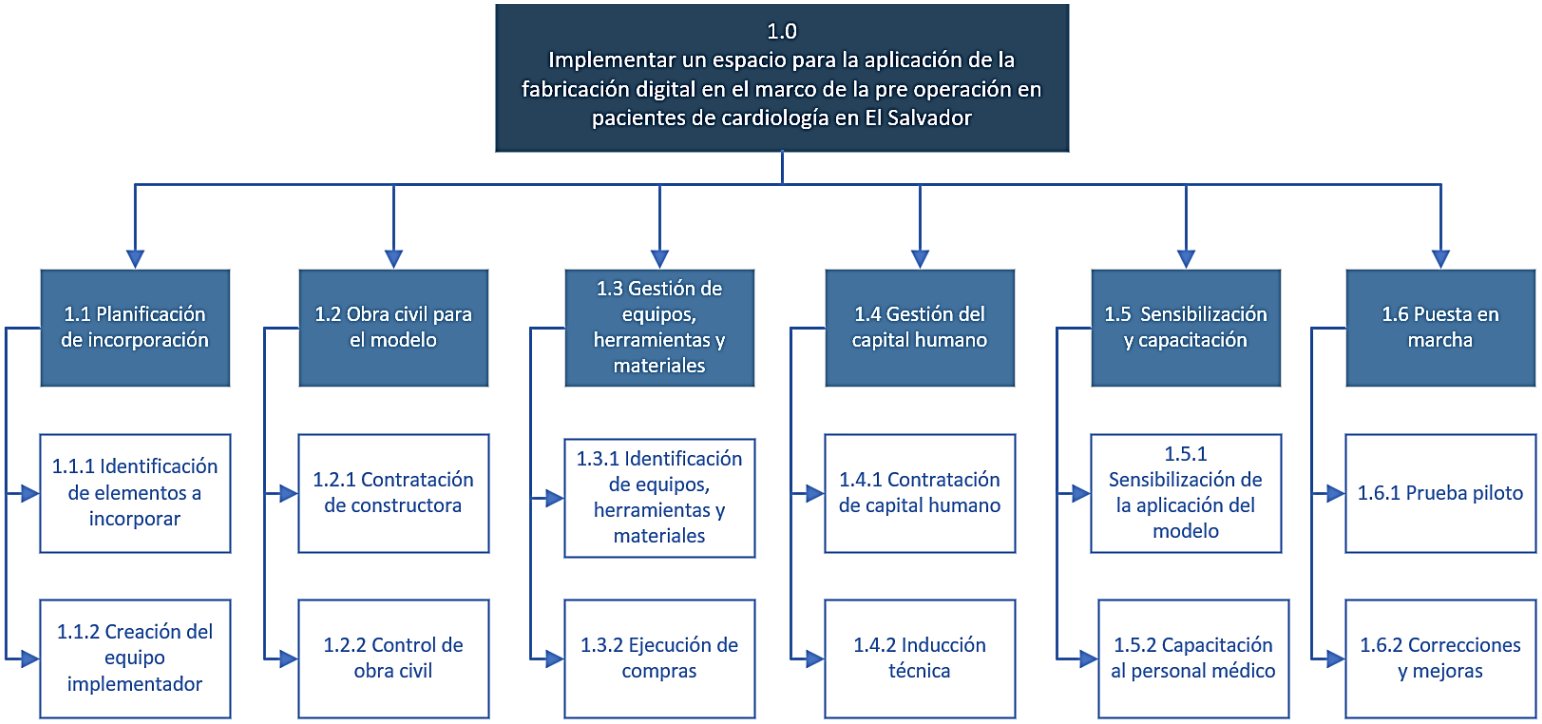
Fuente: Elaboración propia

Todos estos datos han sido extraídos del diseño detallado donde aquedado detallado el desarrollo de cada cálculo de los elementos presentados en forma de resumen en este apartado.

10.11.6. Estructura De Descomposición Del Trabajo (EDT)

En el presenta apartado, se presenta la descomposición del trabajo establecida en la planeación para la implementación del proyecto que busca el establecimiento del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador; el EDT muestra los diferentes proyectos, subproyectos y paquetes de trabajo, que son necesarios en el desarrollo de la implementación del modelo:

Ilustración 141: Estructura De Descomposición Del Trabajo (EDT).

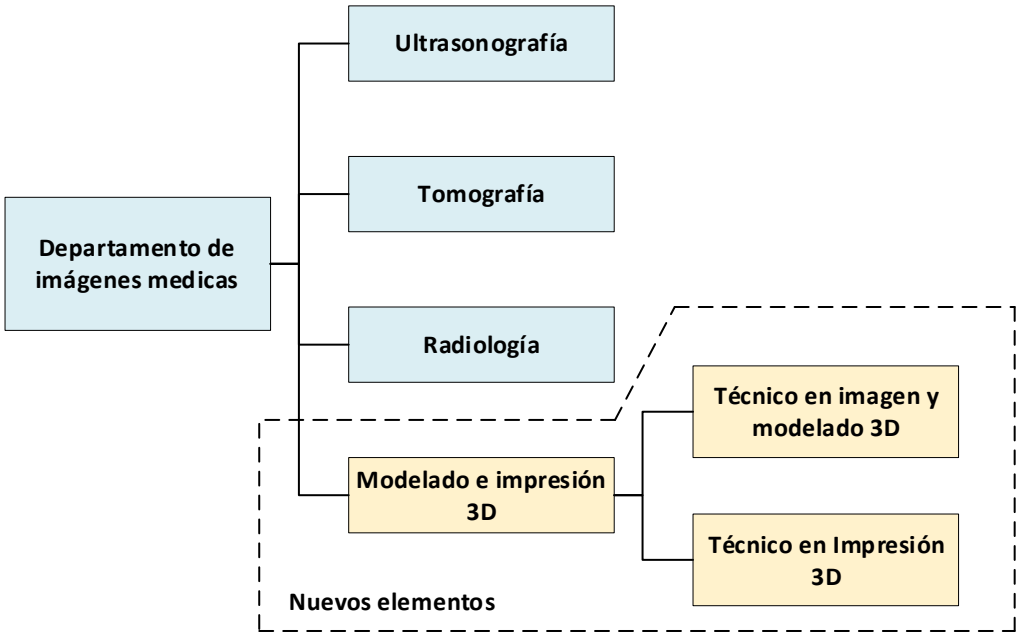


Fuente: Elaboración propia.

10.11.6.1. Elementos organizacionales para la operatividad del modelo

En cuanto a el nivel organizacional para la puesta en marcha del modelo, se toma en cuenta que el diseño detallado plantea dos alternativas, una donde se busca agregar el modelo a una área ya establecida y otra donde se requiere de la creación de un nuevo departamento; cada una presenta sus beneficios y desventajas, teniendo en cuenta esto la estructurar que se busca estudiar para la implementación es la incorporación de estos nuevos servicios a una área ya establecida, que tendrá los siguientes lineamientos:

Ilustración 142: Organización con la incorporación de la nueva área.



Fuente: Elaboración propia.

Establecido el diagrama, se plantea que el recurso humano a incorporar serían los siguientes:

Tabla 128: Cantidad de personas en cada puesto de trabajo y justificación

Puesto de trabajo	Objetivo	Justificación	Cantidad de personal
Técnico en imagen y modelado 3D	Realizar el modelo virtual de la anatomía compleja que representa la malformación congénita de los pacientes atendidos en el área de cardiología para su posterior impresión 3D.	• Teniendo en cuenta que estas personas son las diseñadoras de los modelos digital es necesario tener la cantidad necesaria en cada turno. • Se debe de mencionar que este es un trabajo donde se requiere de una persona directa operado una máquina, se estima esa cantidad de personal. • Se toma de referencia la necesidad de que se labore las 24 horas del día, los 7dias de la semana, se toma ha bien esta cantidad de persona. • El ideal es establecer tres turnos rotativos según lo defina la institución, por lo cual se estima 4 personas por turno.	12
Técnico en impresión 3D	Realizar las impresiones 3D de las anatomías complejas que representan las malformaciones congénitas de los pacientes atendidos en el área de cardiología para apoyar en la simulación quirúrgica, estructuración	• En el caso de los técnicos de impresión, se estima que se puede emplear dos técnicos por turno. • Cada técnico tendrá a su cargo un estimado de 3 máquinas, esto debido a que sus requerimientos nada más se emplea en el proceso de preparación y la impresión 3D es ejecutada directamente por la máquina. • Cabe mencionar que este también tendrá a su cargo el dar	6

Puesto de trabajo	Objetivo	Justificación	Cantidad de personal
	y comunicación del plan de intervención quirúrgica.	mantenimiento, generar el curado y limpieza de las piezas impresas.	

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra el tiempo estimado de contratación para cada uno de los profesionales identificados y las actividades en las que está directamente relacionados. Es probable que se el tiempo exigido sea mayor al planteado, pero será decisión de la institución implantadora cuanto más largo debe ser el periodo de implantación en función de sus recursos, objetivos, limitaciones y contexto social.

Inversión en Personal	Actividades relacionadas	Tiempo base estimado (meses)
Coordinador general	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Coordinador de capacitaciones	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Coordinador de procesos	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Técnico de capacitaciones	H, I, J, K, L.	4
Community Manager	H, I, J, K, L.	4
Analista de procesos	D, E, F, G, H, I, J, K, L.	8

10.11.6.2. Requerimientos para las instalaciones físicas.

En cuanto a los requerimientos de las instalaciones físicas, se puede mencionar que la implantación del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología requiere de muchas condiciones físicas para el ambiente de trabajo con la finalidad de optimizar el proceso de fabricación 3D, el flujo de trabajo y un ambiente ergonómico y cómodo para los colaborares.

Los factores relevantes para el ambiente físico son la temperatura, la humedad, la ventilación, red eléctrica disponible y la ubicación estratégica de los equipos de fabricación 3D; debido a esto se puede mencionar lo siguiente:

v. Para obtener impresiones de calidad tanto la temperatura como la humedad deben estar dentro de intervalos de limites admisibles. También, se debe tomar en cuenta que las impresoras y otros equipos aumentan su temperatura al trabajar.

Tabla 129: Intervalos de temperatura y humedad idóneos

Condiciones idóneas	**Intervalo admisible**
Temperatura	15° C a 25° C
Humedad relativa	30% a 70%

Fuente: Elaboración propia

vi. El espacio de trabajo debe poseer ventilación natural o artificial, pues una atmosfera cargada de disolvente puede llegar a provocar dolores de cabeza, somnolencia y vértigo en las personas.

vii. El aire debe circular en la habitación donde se ubica la impresora 3D y el resto de los equipos, proporcionando suficiente espacio entre los equipos y las paredes.

viii. La instalación eléctrica debe tomar en cuenta los siguientes rangos de alimentación eléctrica nominal de las impresoras 3D. Potencia nominal de la impresora: 100–120 VCA, 50–60 Hz, 13,5 A; 200-240 VCA, 50–60 Hz, 7 A

ix. Las computadoras, impresoras 3D, máquina de lavado, máquina de post curado y otros deben ser ubicados en la misma sala, o células de trabajo.

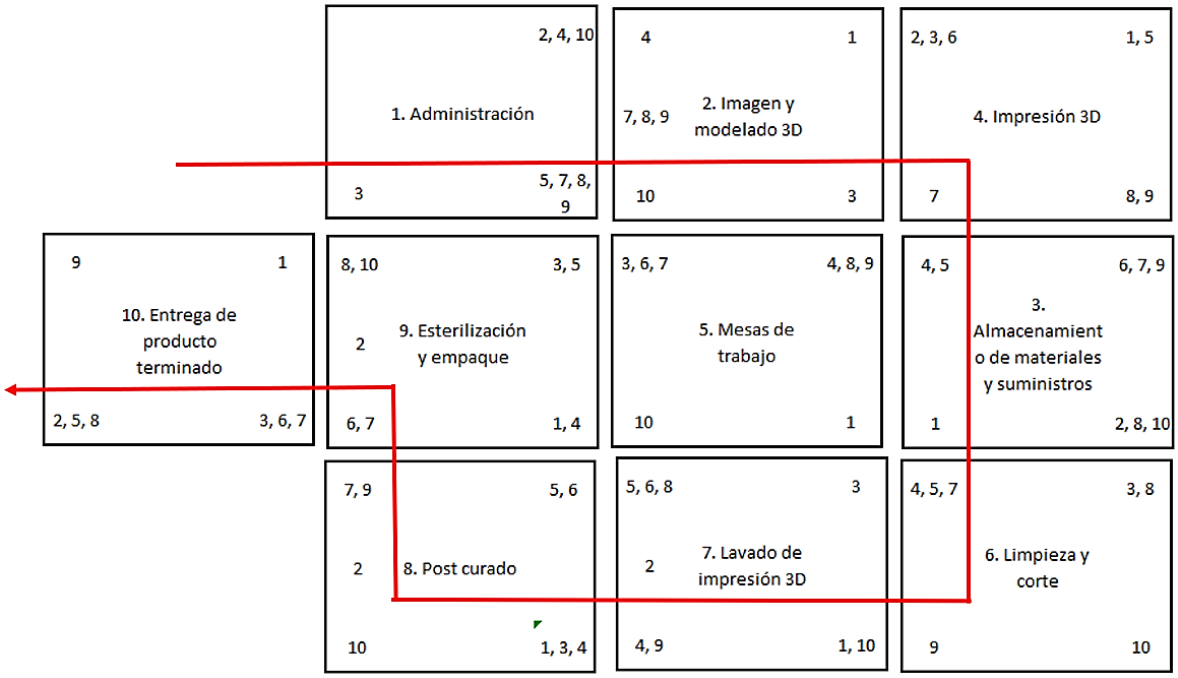
x. Proporcionar libre acceso a las impresoras 3D para facilitar las tareas rutinarias y de mantenimiento, de tal manera que las impresoras y demás equipos involucrados tengan suficiente espacio en todos sus lados.

xi. El área de trabajo debe estar libre de fuentes de vibración e interferencia electromagnética que podrían afectar la funcionalidad apropiada de la impresora 3D.

En cuanto a los requerimientos físicos de los puestos de trabajos, se puede mencionar que a continuación se proporciona los espacios adecuados para cada puesto de trabajo, es con el fin de que la entidad pueda conocer de los espacios individuales y si opta por poner menor cantidad de personal, puede adecuar el área a su conveniencia.

Diagrama de bloques adimensionales con flujo de fabricación 3D

Ilustración 143: Diagrama de bloques adimensionales con flujo de fabricación 3D.

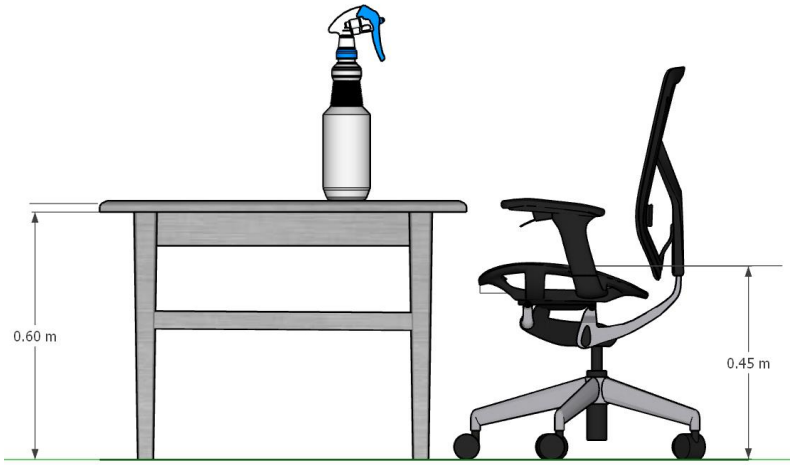


Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta un esquema general, se puede establecer las dimensiones mínimas requeridas de las áreas de trabajo, convirtiéndolas en unidades de trabajo o estaciones trabajo personales para ser incorporadas en espacios existentes. A continuación, se muestran las áreas de trabajo determinadas, exceptuando el área de administración.

a) Mesas de esterilización y empaque

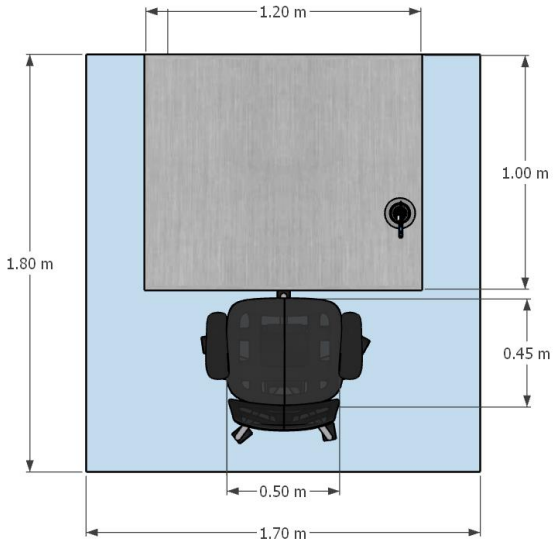
Ilustración 144: Área de trabajo de esterilización y empaque.



Fuente: Elaboración propia.

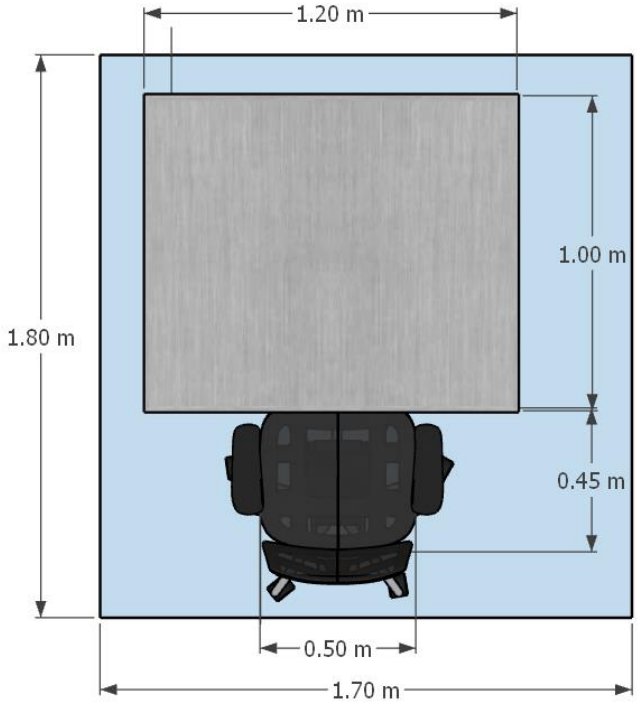
b) Área de trabajo de Limpieza y corte; y Mesas de trabajo.

Ilustración 145: Área de trabajo de limpieza y corte, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 146: Área de trabajo de mesa de trabajo general, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

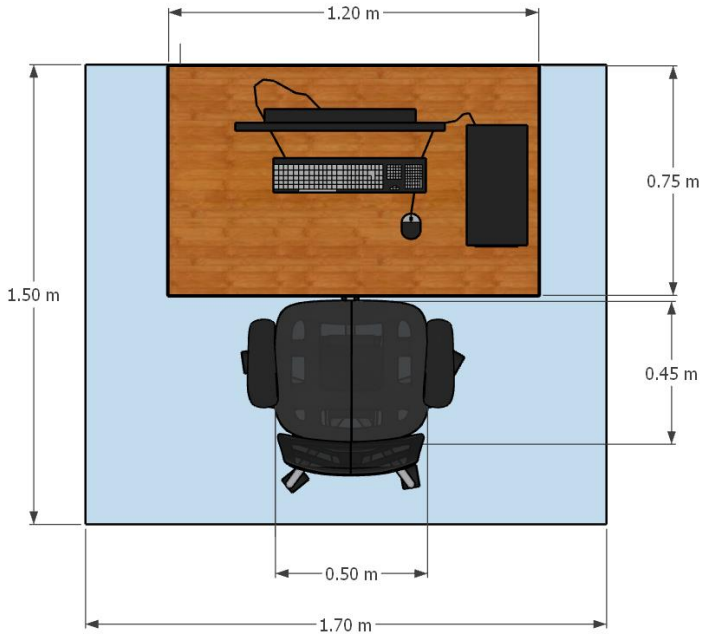
Ilustración 147: Área de trabajo, mesa de trabajo general, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

c) Área de trabajo de Imagen y modelado 3D

Ilustración 148: Área de trabajo de imagen y modelado 3D, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

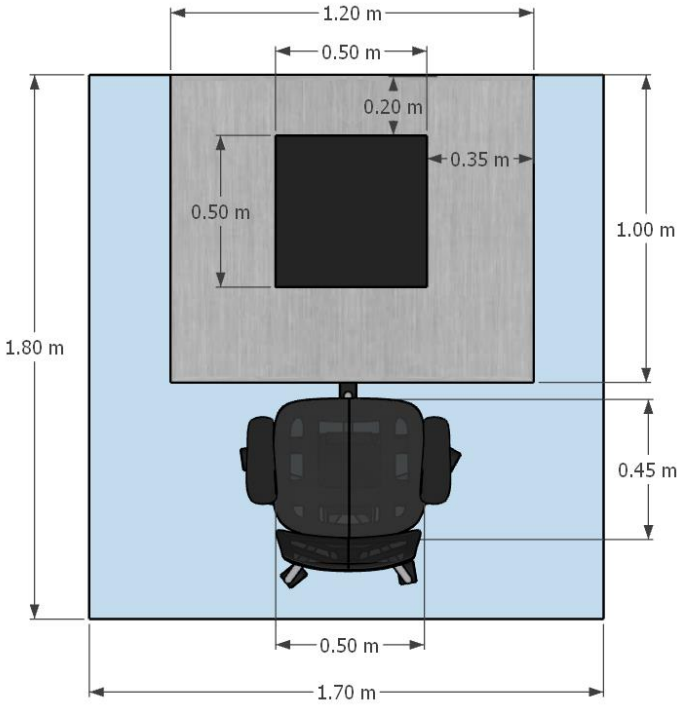
Ilustración 149:Área de trabajo de imagen y modelado 3D, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

d) Área de trabajo de Impresión 3D

Ilustración 150: Área de trabajo de impresión 3D, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

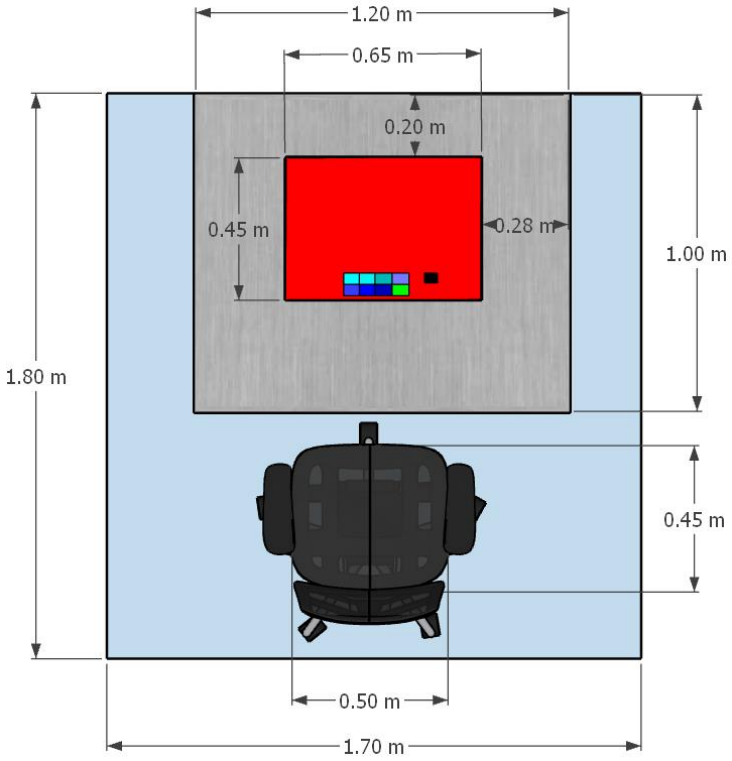
Ilustración 151: Área de trabajo de impresión 3D, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

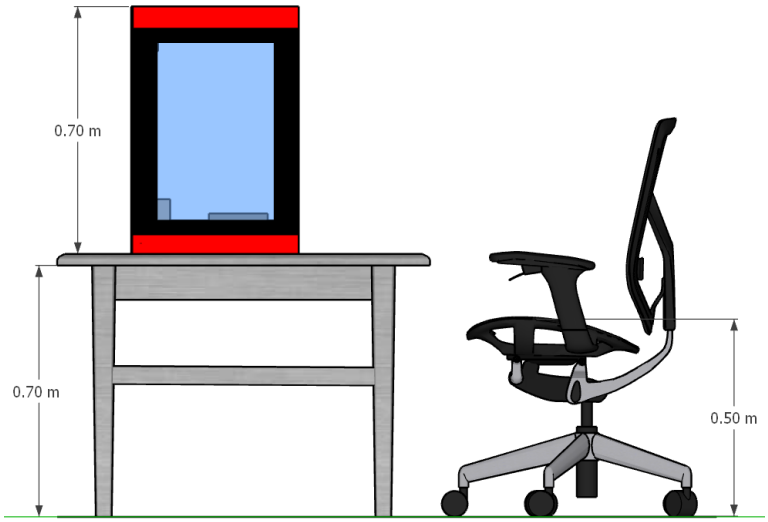
e) Área de trabajo de Lavado de impresión 3D

Ilustración 152: Área de trabajo de lavado, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

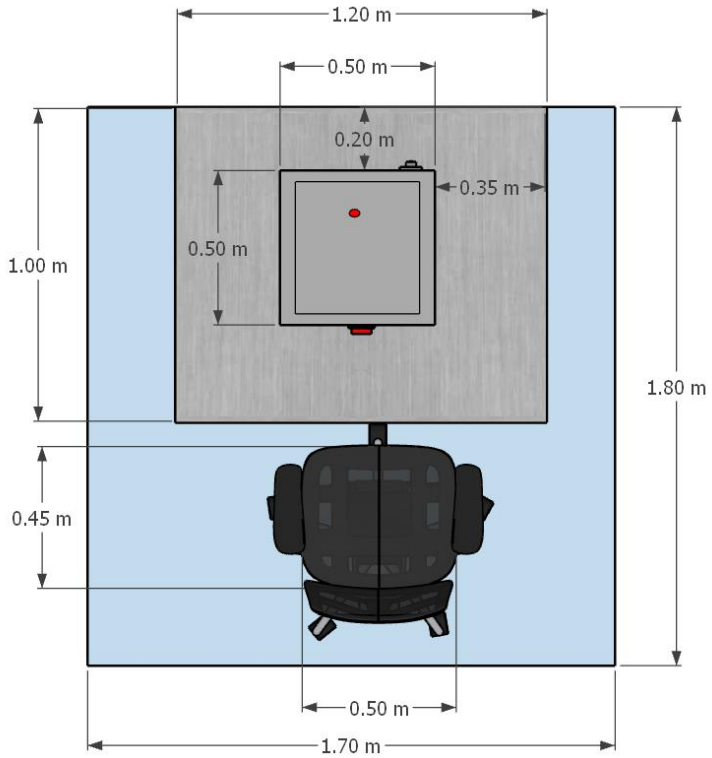
Ilustración 153: Área de trabajo de lavado, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

f) Área de trabajo de Post curado de impresión 3D

Ilustración 154: Área de trabajo de post curado, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

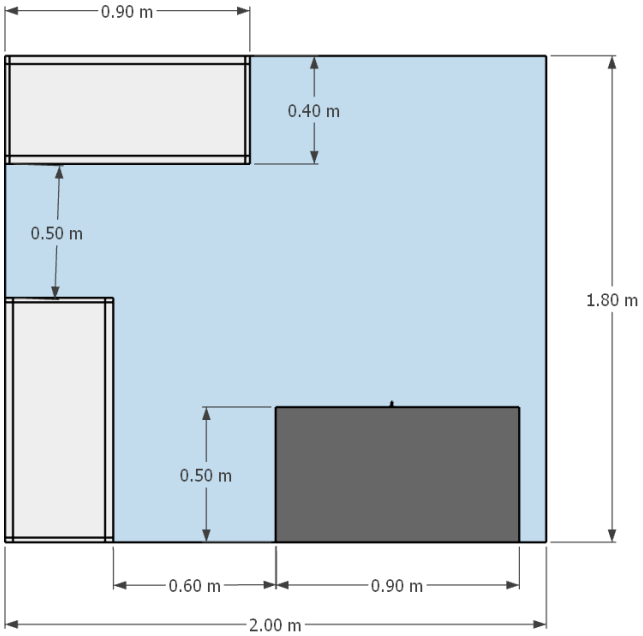
Ilustración 155: Área de trabajo de post curado, vista lateral.



Fuente: Elaboración propia.

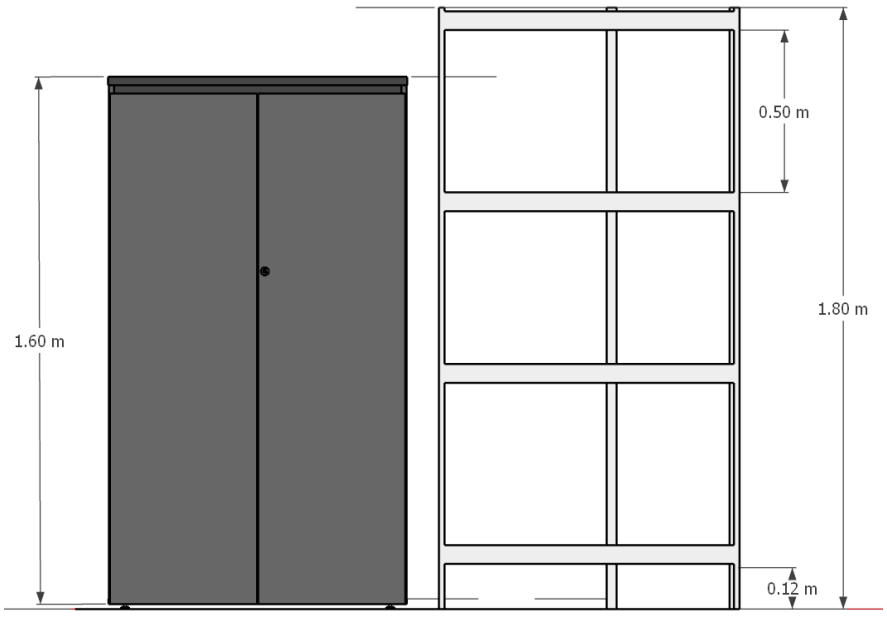
g) Área de almacenamiento de materiales y suministros

Ilustración 156: Área de almacenamiento, vista superior.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 157: Área de almacenamiento, vista lateral.

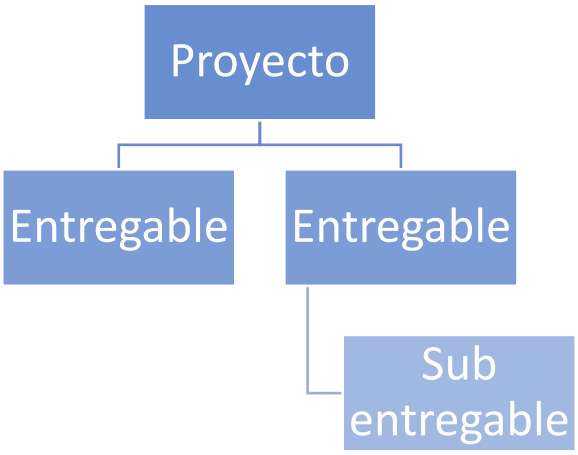


Fuente: Elaboración propia.

10.11.7. Diccionario EDT

A continuación, se explican los elementos del nivel 2 llamados entregables, luego el siguiente nivel inferior conocido como sub entregables y finalmente las diferentes actividades que contiene cada uno de los sub entregables.

Ilustración 158: Esquema de diccionario EDT.



Fuente: Elaboración propia.

- **Descripción de los entregables y sub entregables**

A continuación, se establece la descripción de los entregables de trabajo y sus respectivos sub entregables, identificados jerárquicamente por su código decimal, tal como se muestra en la siguiente tabla de identificación de entregables y sub entregables asociados.

Tabla 130: Entregables y sub entregables de la implementación del estudio.

Entregables	Sub entregables
1.1 Planificación de incorporación	1.1.1 Creación del equipo implementador
	1.1.2 Identificación de elementos a incorporar
1.2 Obra civil para el modelo	1.2.1 Contratación de constructora
	1.2.2 Control de obra civil
1.3 Gestión de equipos, herramientas y materiales	1.3.1 Identificación de equipos, herramientas y materiales
	1.3.2 Ejecución de compras
1.4 Gestión del capital humano	1.4.1 Contratación de capital humano
	1.4.2 Inducción técnica

Entregables	Sub entregables
1.5 Sensibilización y capacitación	1.5.1 Sensibilización de la aplicación del modelo
	1.5.2 Capacitación al personal médico
1.6 Puesta en marcha	1.6.1 Prueba piloto
	1.6.2 Correcciones y mejoras

Fuente: Elaboración propia

- **Entregables**

1.1 Planificación de incorporación

Representa el conjunto de actividades relacionadas a la identificación y tropicalización de los componentes del modelo que son de interés para su eficaz incorporación al sistema de generación de servicio de la institución, clínica u hospital interesado, haciendo que la aplicación del modelo obtenga una característica flexible de adaptación.

1.2 Obra civil para el modelo

Este entregable contiene todo lo relacionado a los elementos de adaptación y construcción en la institución, clínica u hospital interesado en la adaptación del modelo para la aplicación de la fabricación digital, englobando desde modificaciones estructurales hasta la construcción completa de nuevos espacios de trabajo. Se debe tomar en cuenta que el nivel de construcción depende del grado de inversión disponible y de la forma de incorporación del modelo, recordando que puede ser la integración del modelo en áreas físicas ya existentes lo cual solo requerirá adaptaciones menores, o bien, puede ser la construcción de nuevas áreas físicas para tener así todo un espacio destinado al desarrollo y mejoramiento de la aplicación de la fabricación digital.

1.3 Gestión de equipos, herramientas y materiales

Consiste en la identificación, análisis de adquisición, búsqueda y cotización de proveedores y proceso de compras públicas y otras actividades relacionadas a adquisición de

los equipos, herramientas y materiales para el funcionamiento del modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre-operación en pacientes de cardiología.

1.4 Gestión del capital humano

El presente entregable busca la identificación y contratación del capital humano para el funcionamiento organizacional del modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología garantizando así profesionales con habilidades requeridas para trabajar en el modelado y fabricación 3D.

1.5 Sensibilización y capacitación

Es el entregable relacionado con la ejecución del elemento de sensibilización sobre la aplicación y beneficios de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología, promoviendo su aceptación y disposición de aprendizaje en el equipo médico de la institución, clínica u hospital interesado en el modelo.

1.6 Puesta en marcha

Representa las actividades enfocadas en la articulación de los requerimientos para la generación de los servicios del modelo y su puesta en marcha durante un periodo de prueba piloto para la identificación de aspectos a corregir y mejorar garantizando así su correcto funcionamiento en el tiempo.

Sub entregables

1.1 Planificación de incorporación

1.1.1 Creación del equipo implementador: El presente sub entregable busca la creación de la estructura organizacional temporal destinada a las tareas de implementación y gestión de este. El equipo implementador puede estar conformado por miembros de la institución, los cuales invertirán tiempo y esfuerzo para trabajar en la implementación del proyecto.

1.1.2 Identificación de elementos a incorporar: Representa el conjunto de actividades que busca establecer los elementos del modelo que se pueden adaptar eficazmente y la planificación de su incorporación en la organización e instalaciones existentes.

1.2 Obra civil para el modelo

1.2.1 Contratación de constructora: Consiste en la definición de los objetivos de construcción o modificación estructural y la contratación y adjudicación del trabajo a una empresa constructora.

1.2.2 Control de obra civil: Es el conjunto de actividades que supervisan y controlan el progreso de la construcción o modificación estructural garantizando así su efectiva ejecución, como parte de las funciones asignadas al equipo implementador.

1.3 Gestión de equipos, herramientas y materiales

1.3.1 Identificación de equipos, herramientas y materiales: Es el entregable en el cual se identifican los equipos, herramientas y materiales propuestos para el funcionamiento del modelo, analizando y estableciendo los tipos y cantidades requeridas.

1.3.2 Ejecución de compras: Es la ejecución del proceso de compras en el marco legal de las instituciones públicas, de los equipos, herramientas y materiales elegidos para iniciar la implementación del modelo.

1.4 Gestión del capital humano

1.4.1 Contratación de capital humano: El presente entregable contiene las actividades relacionadas con la contratación del personal que conformará la estructura organizacional permanente para el modelo y sus áreas de trabajo.

1.4.2 Inducción técnica: Representa las actividades enfocadas en la inducción del personal contratado para el funcionamiento permanente del modelo y sus áreas de trabajo, garantizando que estén empoderados de sus objetivos y funciones.

1.5 Sensibilización y capacitación

1.5.1 Sensibilización de la aplicación del modelo: Consiste en la ejecución de estrategias de sensibilización sobre la aplicación de la fabricación digita y sus beneficios dirigidos al personal médico de la institución.

1.5.2 Capacitación al personal médico: Es el conjunto de actividades dirigido a la capacitación del personal de la estructura organizacional permanente sobre la utilización de herramientas de diseño virtual y la manipulación del equipo de impresión 3D.

1.6 Puesta en marcha

1.6.1 Prueba piloto: Es el sub entregable que se enfoca en la articulación de los elementos generadores de servicios para ponerlos en práctica y observar su desarrollo, iniciando así la puesta en marcha de las áreas de trabajo del modelo.

1.6.2 Correcciones y mejoras: Se trata de las actividades de identificación de problemas y aplicación de correcciones y mejoras al sistema de servicios del modelo, finalizando con la documentación necesaria para finalizar el periodo de puesta en marcha.

- **Presentación y Descripción de actividades**

Tabla 131: Definición de actividades por sub entregables.

Sub entregables	Actividades
1.1.1 Creación del equipo implementador	A1. Crear el equipo de implementación
	A2. Establecer área y personal involucrado
	A3. Identificar y contratar personal técnico de implantación

Sub entregables	Actividades
	A4. Crear acuerdos y estrategias para la implantación
1.1.2 Identificación de elementos a incorporar	B1. Identificar las necesidades y oportunidad de aplicación
	B2. Identificar los elementos que a ser incorporados
	B3. Informar a las autoridades y personal relacionado
	B4. Gestionar acuerdos legales para la incorporación del modelo
1.2.1 Contratación de constructora	C1. Establecer los objetivos de modificación y/o construcción
	C2. Elaboración de TDR y publicación de oferta pública
	C3. Seleccionar empresa constructora
	C4. Contratación de empresa constructora
1.2.2 Control de obra civil	D1. Supervisión de la liquidación del presupuesto
	D2. Supervisión del cumplimiento de los plazos de trabajo
	D3. Aprobación de etapas de trabajo
	D4. Recepción final de la obra
1.3.1 Identificación de equipos, herramientas y materiales	E1. Análisis de los tipos de equipos, herramientas y materiales de impresión idóneos
	E2. Establecimiento de las cantidades de equipos, herramientas y materiales a incorporar
1.3.2 Ejecución de compras	F1. Elaboración de oferta de compra pública
	F2. Seguimiento a proceso de ofertas
	F3. Selección de proveedores
	F4. Ejecución de compras y recepción de bienes
	F5. Supervisar instalación de equipos
1.4.1 Contratación de capital humano	G1. Identificación del tipo y cantidad de profesionales requeridos
	G2. Publicación de ofertas de trabajo
	G3. Selección de capital humano
	G4. Contratación del capital humano
1.4.2 Inducción técnica	H1. Capacitar al capital humano en funcionamiento del modelo
	H2. Explicación del sistema organizacional para el modelo
	H3. Descripción de funciones y área de trabajo
	I1. Análisis e incorporación del plan de sensibilización

Sub entregables	Actividades
1.5.1 Sensibilización de la aplicación del modelo	I2. Establecer acuerdos y compromisos de aplicación del modelo
	I3. Ejecución de sensibilización
1.5.2 Capacitación al personal médico	J1. Identificar las estrategias de capacitación idóneas
	J2. Tropicalizar tipos de capacitación
	J3. Establecer calendario de capacitaciones
	J4. Ejecutar y controlar capacitaciones
1.6.1 Prueba piloto	k1. Inspeccionar la correcta instalación de equipos
	k2. Iniciar periodo de prueba de funcionamiento del modelo
	k3. Registrar y controlar resultados del modelo
1.6.2 Correcciones y mejoras	L1. Identificar problemas en el funcionamiento del modelo
	L2. Diseñar correcciones y mejoras al modelo
	L3. Aplicación de correcciones y mejoras
	L4. Documentar y establecer parámetros de buen funcionamiento

Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Creación del equipo implementador

A1. Crear el equipo de implementación: El área de la institución médica que desea implementar el modelo o que sea seleccionada para tal objetivo, deberá de analizar los perfiles de las personas que deben de gestionar el desarrollo del proyecto, lo que busca establecer la estructura organizacional del equipo implementador los cuales trabajaran hasta la finalización de la documentación y cierre de la puesta en marcha. El equipo deberá estar conformado por personas de nivel estratégico y operativo de esta, y en el caso que sea necesario, se contratará de manera eventual a personal técnico para trabajar únicamente por la adaptación y ejecución del proyecto de implementación.

A2. Establecer área y personal involucrado: El equipo implementador, debe adaptarse a la forma de organización de la institución y definir las áreas que tendrán relación con el modelo y las personas cuyo puesto de trabajo tiene funciones relacionadas al mismo. El personal seleccionado para formar parte del equipo de pertenecer a niveles estratégicos y operativos.

A3. Identificar y contratar personal técnico de implantación: La institución implementadora, cuando necesite de mano de obra directa destinada únicamente a trabajar por la implementación del proyecto, a través de su equipo de implementación deberá de gestionar las contrataciones del personal técnico requerido para ejecutar el proyecto. La o las contrataciones deben realizarse con los procedimientos y políticas de la institución implementadora.

A4. Crear acuerdos y estrategias para la implantación: Ya establecido el equipo implementador deberá de ejecutar acuerdos y estrategias para el desarrollo del proyecto, siendo requerido un acta de inicio del proyecto.

1.1.2 Identificación de elementos a incorporar

B1. Identificar las necesidades y oportunidad de aplicación: La institución implementadora con base al diseño del modelo planteado inicialmente, debe de analizar sus necesidades y oportunidades de adaptación, relacionadas con la operatividad interna y estudiar la factibilidad de implementación del proyecto de manera parcial o completa.

B2. Identificar los elementos que a ser incorporados: Con base en el diseño del modelo, la institución implementadora puede definir cuales servicios desea incorporar teniendo en cuenta sus recursos y oportunidades. Es necesario que la identificación sea realizada con el equipo implementador junto a las autoridades estratégicas de la institución.

B3. Informar a las autoridades y personal relacionado: El equipo implementador debe de comunicar a la alta dirección de la institución, y personal operativo y de apoyo, los cambios innovadores que busca implementar para mejorar la planificación quirúrgica y la formación profesional.

B4. Gestionar acuerdos legales para la incorporación del modelo: Se deben establecer acuerdos legales que aseguren el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta aquellos elementos que van a favor del desarrollo innovador de la medicina.

1.2.1 Contratación de constructora

C1. Establecer los objetivos de modificación y/o construcción: Las autoridades de la institución, hospital tipo o clínica junto al equipo implementador estudian el espacio disponible para la creación de un departamento o la asignación de espacios existentes disponibles para la implementación del modelo junto a la propuesta de distribución de estaciones de trabajo para identificar las áreas prioritarias y su adaptación al entorno disponible, estableciendo así los objetivos de construcción o modificación estructural.

C2. Elaboración de TDR y publicación de oferta pública: El personal responsable de los procesos de compras de la institución junto al equipo implementador elaboran los TDR y hacen público el requerimiento de constructoras para cumplir con los objetivos de construcción o modificación.

C3. Seleccionar empresa constructora: El equipo implementador y el personal de compra de la institución reciben las ofertas de construcción y seleccionan la mejor opción con base a costo, forma de pago y beneficios incluidos.

C4. Contratación de empresa constructora: Luego de seleccionar la constructora se formaliza la contratación de servicio según las políticas internas de la institución y las normas legales correspondiente.

1.2.2 Control de obra civil

D1. Supervisión de la liquidación del presupuesto: El equipo implementador supervisa el progreso de la obra civil y los desembolsos correspondientes, controlando que la planificación presupuestaria es correcta y tomando decisiones para gestionar eficientemente los desembolsos presupuestados.

D2. Supervisión del cumplimiento de los plazos de trabajo: Representa la supervisión de los tiempos de entrega de los diferentes avances de obra, controlando que se cumplan los plazos e interviniendo para cumplir con el calendario de trabajo.

D3. Aprobación de etapas de trabajo: Las autoridades de seguimiento interno y el equipo implementador inspeccionan cada una de las entregas que la empresa constructora presenta, según los objetivos establecidos, dando el visto puedo o solicitando las modificaciones necesarias para la creación del departamento o modificación de espacios existentes, en el que se generarán los servicios de fabricación digital.

D4. Recepción final de la obra: Tanto autoridades como equipo implementador inspeccionan el final de la obra o modificación del espacio existente, garantizando que todo satisface el objetivo de construcción o modificación de las áreas, dando fin al proceso de construcción.

1.3.1 Identificación de equipos, herramientas y materiales

E1. Análisis de los tipos de equipos, herramientas y materiales de impresión idóneos: El equipo implementador junto a las autoridades que siguen la implementación del modelo en la institución u hospital tipo revisan los requerimientos propuestos para el funcionamiento del modelo, especialmente de los de equipos, herramientas y materiales establecidos, analizando aquellos que son idóneas para la realidad de la institución.

E2. Establecimiento de las cantidades de equipos, herramientas y materiales a incorporar: El equipo implementador junto a las autoridades correspondientes de la institución u hospital tipo determinando las cantidades de equipos, herramientas y materiales con las que se iniciará la implementación del modelo para crecer en el tiempo, tomando en cuenta la disponibilidad de recursos y espacios de la institución.

1.3.2 Ejecución de compras

F1. Elaboración de oferta de compra pública: Conforme las políticas internas de la institución y en la ley de compras públicas de El Salvador, se inicia la elaboración de los carteles de compras para su publicación en los medios establecidos por la institución.

F2. Seguimiento a proceso de ofertas: El equipo de implementación da seguimiento a las ofertas de proveedores, buscando obtener los bienes solicitados con los mejores beneficios y buscando cumplir con los tiempos establecidos.

F3. Selección de proveedores: Las autoridades o personal encargado de supervisar las compras junto al equipo implementador realizan la selección de proveedores según los bienes que ofrecen, calidad, precio, servicio de entrega, forma de pago y servicios de instalación.

F4. Ejecución de compras y recepción de bienes: El personal encargado de supervisar y realizar las compras en la institución ejecuta el proceso de compra según las

políticas internas y la ley de compras públicas, además realizan la recepción de los bienes y su correspondiente registro contable y de inventario, garantizando que cumplan con lo solicitado.

F5. Supervisar instalación de equipos: El equipo implementador supervisa la instalación de los diferentes equipos adquiridos en los casos que fue incluido el servicio de instalación, y, por tanto, gestionan la instalación del resto de equipos.

1.4.1 Contratación de capital humano

G1. Identificación del tipo y cantidad de profesionales requeridos: En función de la propuesta de capital humano establecida en el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre operación en pacientes de cardiología, el equipo implementador junto al acompañamiento de las autoridades identifica las cantidades y perfiles profesionales con los que se creará la estructura organizacional permanente para el funcionamiento del modelo, y que además, contribuirán en la etapa de la puesta en marcha.

G2. Publicación de ofertas de trabajo: En función del marco legal para la contratación de profesionales para instituciones públicas, se elabora la oferta de trabajo reglamentaría y publicando dicha oferta de trabajo en los medio habituales y aceptables.

G3. Selección de capital humano: Siguiendo el marco legal correspondiente para la institución u hospital tipo, se realiza el análisis y selección de los perfiles que cumplen con los requisitos establecidos en el manual organizacional integrado al modelo propuesto.

G4. Contratación del capital humano: En el marco legal con el cual se rige la institución u hospital tipo y siguiendo sus políticas internas, se realiza el proceso de contratación definitivo de los profesionales elegidos para los puestos de trabajo del modelo.

1.4.2 Inducción técnica

H1. Capacitar al capital humano en funcionamiento del modelo: Gestionar la formación en habilidades y conocimiento del personal que ha sido contratado directamente para trabajar en el proyecto.

H2. Explicación del sistema organizacional para el modelo: Se gestiona la inducción al departamento o área de modelado y fabricación digital anatómica, para el conocimiento de los operadores asignados y sus funciones a ejecutar, así como su relación con las áreas de apoyo existentes en la institución.

H3. Descripción de funciones y área de trabajo: Los colaboradores u operadores del modelo deberán de conocer sus funciones y áreas asignadas a su puesto de trabajo, en donde desarrollarán sus habilidades y conocimientos.

1.5.1 Sensibilización de la aplicación del modelo

I1. Análisis e incorporación del plan de sensibilización: El equipo implementador del modelo analiza el plan de sensibilización y compromiso, identificando los elementos que contiene y estableciendo la estructura para su aplicación.

I2. Establecer acuerdos y compromisos de aplicación del modelo: El equipo implementador gestiona acuerdos y compromisos con las autoridades de la institución, clínica u hospital implementador del modelo de cara a la puesta en marcha del modelo y la ejecución del plan de sensibilización, con la finalidad de garantizar apoyo total para la puesta en marcha.

I3. Ejecución de sensibilización: El equipo implementador inicia la ejecución del plan de sensibilización para fomentar y exponer la aplicación de la fabricación digital y su aceptación entre los médicos del área de cardiología, según los estipulado en el elemento 2 del

diseño detallado. Es de suma importancia compartir cualquier información bibliográfica de investigaciones y aplicaciones en hospitales de otros países.

1.5.2 Capacitación al personal médico

J1. Identificar las estrategias de capacitación idóneas: El equipo de implementación junto a la estructura organizacional contratada para el modelo inician el proceso de identificación de las estrategias y tipos de capacitación idóneas para la institución, clínica u hospital implementador del modelo. Así mismo gestionan la identificación y contratación del personal técnico para la enseñanza y prácticas de fabricación 3D.

J2. Tropicalizar estrategias de capacitación: El equipo de implementación y el equipo organizacional permanente adecuan y diseñan las estrategias, tipos y modalidad de capacitaciones para su efectiva ejecución en el marco legal y de trabajo normal de la institución implementadora.

J3. Establecer calendario de capacitaciones: El equipo de implementación y el equipo del modelo establecen el orden y los plazos de trabajo para la ejecución de las capacitaciones adecuadas para la aplicación del modelo, tomando en cuenta los responsables y recursos asignados para cada actividad.

J4. Ejecutar y controlar capacitaciones: Los equipos ejecutan las capacitaciones en los plazos estimados con ayuda del personal técnico y recursos asignados, cuidando que se cumplas los tiempos, los parámetros e indicadores de desempeño estipulados por el equipo y plan estratégico de capacitación.

1.1.2 Prueba piloto

k1. Inspeccionar la correcta instalación de equipos: El equipo implementador debe inspeccionar la instalación de los equipos de fabricación digital y verificar su correcto

funcionamiento por medio de impresiones 3D de pruebas, garantizando que todo trabaje correctamente y de manera sistemática, lo que habilitará el trabajo de todo el departamento de modelado y fabricación digital anatómica. Si el equipo identifica fallas en la instalación sistemática se deberá gestionar su corrección con apoyo del proveedor o equipo técnico contratado, de lo contrario el trabajo continuará con las siguientes actividades.

k2. Iniciar periodo de prueba de funcionamiento del modelo: Consiste en la puesta en marcha de todo el sistema productivo y organizacional durante un periodo de 3 meses para observar el desarrollo práctico del modelo en cuanto a la generación de los servicios de modelado virtual, impresión 3D y estrategias de formación profesional. Se debe poner especial atención a los servicios de modelado virtual y al de impresión 3D, pues son los que requieren que los medios productivos y digitales funcionen correctamente, y una vez estos dos sean completamente funcionales, se da paso a un ambiente ideal para el servicio de formación profesional.

k3. Registrar y controlar resultados del modelo: Es la actividad que consiste en el registro y documentación de los resultados obtenidos durante el periodo de prueba de 3 meses y controlar las variantes que durante ese periodo deben ser modificadas para garantizar el funcionamiento de sistema de generación de los servicios.

1.6.2 Correcciones y mejoras

L1. Identificar problemas en el funcionamiento del modelo: Con base a los registros y evaluaciones del periodo de prueba de funcionamiento del modelo, se establecen, documentan y comunican los principales problemas identificados en cuanto a la incorporación del modelo en la institución, clínica u hospital.

L2. Diseñar correcciones y mejoras al modelo: El equipo implementador junto al capital humano involucrado en el periodo de prueba y las autoridades correspondientes diseñan y seleccionan soluciones que corrigen y mejoran el funcionamiento del modelo.

L3. Aplicación de correcciones y mejoras: El equipo implementador junto al capital humano contratado aplica la solución seleccionada para adaptar de la mejor manera posible el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología, en la institución, clínica u hospital tipo.

L4. Documentar y establecer parámetros de buen funcionamiento: Consiste en la documentación de los procedimientos y flujo de operaciones estandarizados al finalizar las correcciones finales y definir los parámetros e indicadores de operaciones y procedimientos para la generación de los servicios del modelo.

10.11.8. Red del proyecto

En el siguiente apartado del plan de implementación, se estructura la red general de actividades, siguiendo lineamientos específicos requeridos para el éxito del proyecto gestionado. La representación gráfica de la red se evalúa bajo el diseño ABC, que permite establecer la red y determinar la criticidad del proyecto, teniendo en cuenta esto factores se establece lo siguiente:

Tabla 132: Precedencias y duración de actividades para Red del proyecto.

N°	Nombre de tarea	Duración (días)	Predecesoras
1	A1. Crear el equipo de implementación	5 días	1
2	A2. Establecer área y personal involucrado	7 días	2
3	A3. Identificar y contratar personal técnico de implantación	15 días	7
4	A4. Crear acuerdos y estrategias para la implantación	5 días	2
5	B1. Identificar las necesidades y oportunidad de aplicación	7 días	3
6	B2. Identificar los elementos que a ser incorporados	3 días	6
7	B3. Informar a las autoridades y personal relacionado	4 días	7

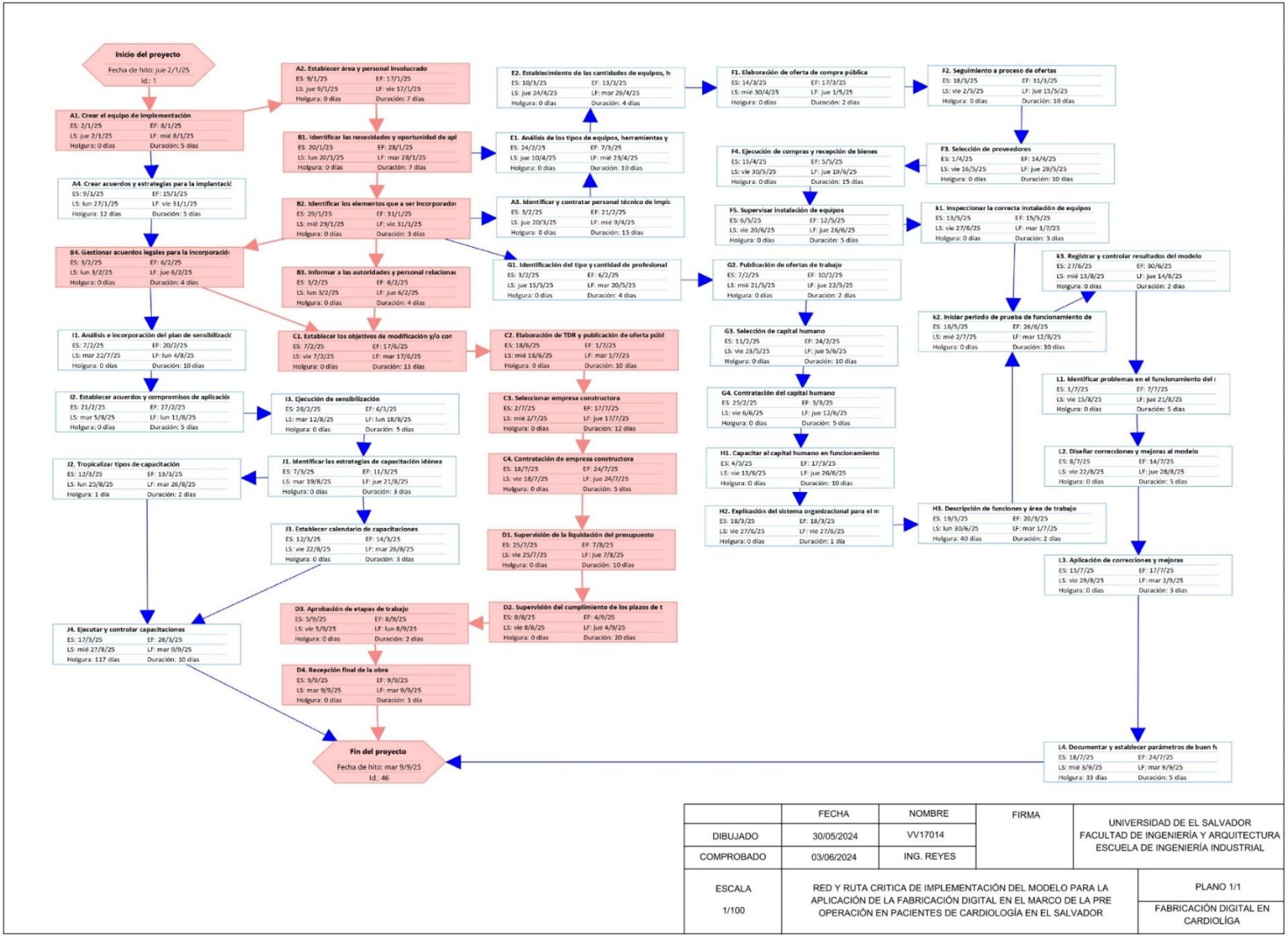
N°	Nombre de tarea	Duración (días)	Predecesoras
8	B4. Gestionar acuerdos legales para la incorporación del modelo	4 días	7;5
9	C1. Establecer los objetivos de modificación y/o construcción	13 días	9;8
10	C2. Elaboración de TDR y publicación de oferta pública	10 días	10
11	C3. Seleccionar empresa constructora	12 días	11
12	C4. Contratación de empresa constructora	5 días	12
13	D1. Supervisión de la liquidación del presupuesto	10 días	13
14	D2. Supervisión del cumplimiento de los plazos de trabajo	20 días	14
15	D3. Aprobación de etapas de trabajo	2 días	15
16	D4. Recepción final de la obra	1 día	16
17	E1. Análisis de los tipos de equipos, herramientas y materiales de impresión idóneos	10 días	4;6
18	E2. Establecimiento de las cantidades de equipos, herramientas y materiales a incorporar	4 días	18
19	F1. Elaboración de oferta de compra pública	2 días	19
20	F2. Seguimiento a proceso de ofertas	10 días	20
21	F3. Selección de proveedores	10 días	21
22	F4. Ejecución de compras y recepción de bienes	15 días	22
23	F5. Supervisar instalación de equipos	5 días	23
24	G1. Identificación del tipo y cantidad de profesionales requeridos	4 días	7
25	G2. Publicación de ofertas de trabajo	2 días	25
26	G3. Selección de capital humano	10 días	26
27	G4. Contratación del capital humano	5 días	27
28	H1. Capacitar al capital humano en funcionamiento del modelo	10 días	28
29	H2. Explicación del sistema organizacional para el modelo	1 día	29
30	H3. Descripción de funciones y área de trabajo	2 días	30
31	I1. Análisis e incorporación del plan de sensibilización	10 días	9
32	I2. Establecer acuerdos y compromisos de aplicación del modelo	5 días	32
33	I3. Ejecución de sensibilización	5 días	33
34	J1. Identificar las estrategias de capacitación idóneas	3 días	34
35	J2. Tropicalizar tipos de capacitación	2 días	35
36	J3. Establecer calendario de capacitaciones	3 días	35
37	J4. Ejecutar y controlar capacitaciones	10 días	36;37
38	k1. Inspeccionar la correcta instalación de equipos	3 días	24
39	k2. Iniciar periodo de prueba de funcionamiento del modelo	30 días	39;31
40	k3. Registrar y controlar resultados del modelo	2 días	40

N°	Nombre de tarea	Duración (días)	Predecesoras
41	L1. Identificar problemas en el funcionamiento del modelo	5 días	41
42	L2. Diseñar correcciones y mejoras al modelo	5 días	42
43	L3. Aplicación de correcciones y mejoras	3 días	43
44	L4. Documentar y establecer parámetros de buen funcionamiento	5 días	44
	Días totales de implantación	304 días	
	Meses totales (próximo mayor) de implantación	11	

Fuente: Elaboración propia

El establecimiento de la durabilidad y precedencia de las actividades permite establecer el diseño de la red del proyecto que se presenta a continuación:

Ilustración 159: Red de trabajo y ruta crítica.



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la red presentada, se puede esclarecer que la cantidad abordada de actividades es de 44 y que 14 de ellas forma la ruta crítica del desarrollo del proyecto, por esto se puede definir que la criticidad de este es de 31.82% y que este busca desarrollarse en un periodo de 179 días, tomando de referencia las fechas del 02/01/2025 al 09/09/2025 un periodo aproximado de 9 meses. La ruta crítica del proyecto comprende las siguientes actividades:

Tabla 133: Presentación de actividades de la ruta critica

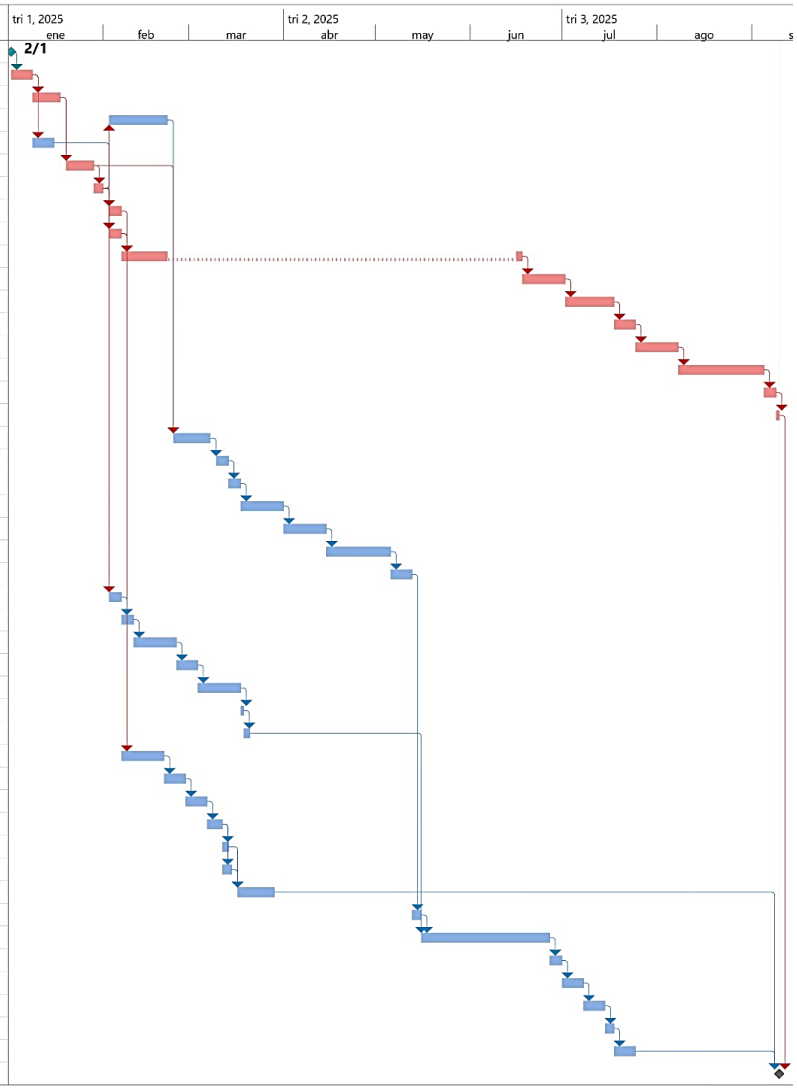
Sub entregables	Actividades	Duración
1.1.1 Creación del equipo implementador	A1. Crear el equipo de implementación	5 días
	A2. Establecer área y personal involucrado	7 días
1.1.2 Identificación de elementos a incorporar	B1. Identificar las necesidades y oportunidad de aplicación	7 días
	B2. Identificar los elementos que a ser incorporados	4 días
	B3. Informar a las autoridades y personal relacionado	4 días
	B4. Gestionar acuerdos legales para la incorporación del modelo	4 días
1.2.1 Contratación de constructora	C1. Establecer los objetivos de modificación y/o construcción	13 días
	C2. Elaboración de TDR y publicación de oferta pública	10 días
	C3. Seleccionar empresa constructora	12 días
	C4. Contratación de empresa constructora	5 días
1.2.2 Control de obra civil	D1. Supervisión de la liquidación del presupuesto	10 días
	D2. Supervisión del cumplimiento de los plazos de trabajo	20 días
	D3. Aprobación de etapas de trabajo	2 días
	D4. Recepción final de la obra	1 días

Fuente: Elaboración propia

10.11.9. Calendario de trabajo para la implementación

Ilustración 160: Calendario de trabajo de implantación.

Id	Nombre de tarea	Duración
1	Inicio del proyecto	0 días
2	A1. Crear el equipo de implementación	5 días
3	A2. Establecer área y personal involucrado	7 días
4	A3. Identificar y contratar personal técnico de implantación	15 días
5	A4. Crear acuerdos y estrategias para la implantación	5 días
6	B1. Identificar las necesidades y oportunidad de aplicación	7 días
7	B2. Identificar los elementos que a ser incorporados	3 días
8	B3. Informar a las autoridades y personal relacionado	4 días
9	B4. Gestionar acuerdos legales para la incorporación del modelo	4 días
10	C1. Establecer los objetivos de modificación y/o construcción	13 días
11	C2. Elaboración de TDR y publicación de oferta pública	10 días
12	C3. Seleccionar empresa constructora	12 días
13	C4. Contratación de empresa constructora	5 días
14	D1. Supervisión de la liquidación del presupuesto	10 días
15	D2. Supervisión del cumplimiento de los plazos de trabajo	20 días
16	D3. Aprobación de etapas de trabajo	2 días
17	D4. Recepción final de la obra	1 día
18	E1. Análisis de los tipos de equipos, herramientas y materiales de impresión idóneos	10 días
19	E2. Establecimiento de las cantidades de equipos, herramientas y materiales a incorporar	4 días
20	F1. Elaboración de oferta de compra pública	2 días
21	F2. Seguimiento a proceso de ofertas	10 días
22	F3. Selección de proveedores	10 días
23	F4. Ejecución de compras y recepción de bienes	15 días
24	F5. Supervisar instalación de equipos	5 días
25	G1. Identificación del tipo y cantidad de profesionales requeridos	4 días
26	G2. Publicación de ofertas de trabajo	2 días
27	G3. Selección de capital humano	10 días
28	G4. Contratación del capital humano	5 días
29	H1. Capacitar al capital humano en funcionamiento del modelo	10 días
30	H2. Explicación del sistema organizacional para el modelo	1 día
31	H3. Descripción de funciones y área de trabajo	2 días
32	I1. Análisis e incorporación del plan de sensibilización	10 días
33	I2. Establecer acuerdos y compromisos de aplicación del modelo	5 días
34	I3. Ejecución de sensibilización	5 días
35	J1. Identificar las estrategias de capacitación idóneas	3 días
36	J2. Tropicalizar tipos de capacitación	2 días
37	J3. Establecer calendario de capacitaciones	3 días
38	J4. Ejecutar y controlar capacitaciones	10 días
39	k1. Inspeccionar la correcta instalación de equipos	3 días
40	k2. Iniciar periodo de prueba de funcionamiento del modelo	30 días
41	k3. Registrar y controlar resultados del modelo	2 días
42	L1. Identificar problemas en el funcionamiento del modelo	5 días
43	L2. Diseñar correcciones y mejoras al modelo	5 días
44	L3. Aplicación de correcciones y mejoras	3 días
45	L4. Documentar y establecer parámetros de buen funcionamiento	5 días
46	Fin del proyecto	0 días

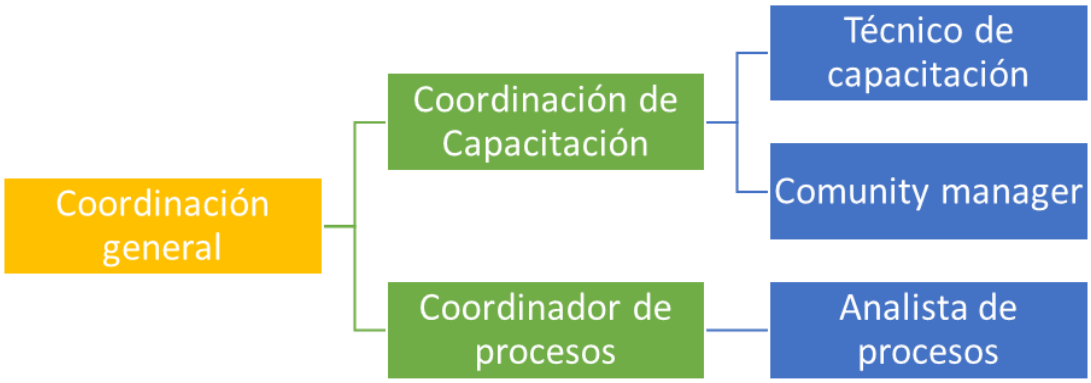


Fuente: Elaboración propia.

10.11.10. Organización Para La Implementación

Cómo se ha planteado en el plan de sensibilización y compromiso, la estructura del equipo implementador se define como se presenta en el siguiente diagrama:

Ilustración 161: Organización para la implementación del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de estos elementos contemplados, define su función en el apartado antes mencionado, es por ello por lo que para este apartado solo se define un resumen de estos.

Tabla 134: Puestos y funciones para la organización de la implementación.

Puesto de trabajo	Descripción	Cantidad de personal
Coordinador general	Es responsable de la supervisión y dirección de todas las actividades relacionadas con la implementación del modelo de fabricación digital en la medicina. Este rol asegura que todos los aspectos del proyecto se alineen con los objetivos estratégicos de la organización y se ejecuten de manera eficiente y efectiva.	1
Gestor de capacitaciones	Es responsable de diseñar y ejecutar programas de formación para el personal involucrado en el uso de tecnologías de fabricación digital en la medicina. Este rol asegura que todos los empleados tengan las habilidades y	1

Puesto de trabajo	Descripción	Cantidad de personal
	conocimientos necesarios para implementar y utilizar eficazmente los modelos en 3D.	
Gestor de procesos	Es responsable de diseñar, implementar y optimizar los procesos necesarios para la fabricación digital de modelos en 3D en la medicina. Este rol asegura que los procesos sean eficientes, seguros y cumplan con las regulaciones pertinentes.	1
Técnico de capacitación	El rol de un capacitador técnico en la implementación de un modelo de aplicación de fabricación digital en la medicina, específicamente en la creación de modelos 3D, implica una combinación de conocimientos técnicos, habilidades pedagógicas y capacidades de gestión de proyectos.	4
Community Manager	La implementación de un modelo de fabricación digital en la medicina, especialmente mediante el uso de modelos 3D, puede revolucionar el campo médico. Un Community Manager juega un papel crucial en esta implementación al gestionar la comunicación y promoción de estos avances.	2
Analista de procesos	Es el rol responsable de establecer una cuidadosa planificación y análisis para garantizar su éxito. Un Analista de Procesos desempeña un papel fundamental en este contexto, asegurando que todas las fases del proyecto se desarrollen de manera eficiente y efectiva	4

Fuente: Elaboración propia

11. Evaluación del modelo

11.1. Objetivo General

Realizar las evaluaciones pertinentes sobre la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre - operación en pacientes de cardiología en El Salvador para determinar la factibilidad de la aplicación exitosa del modelo.

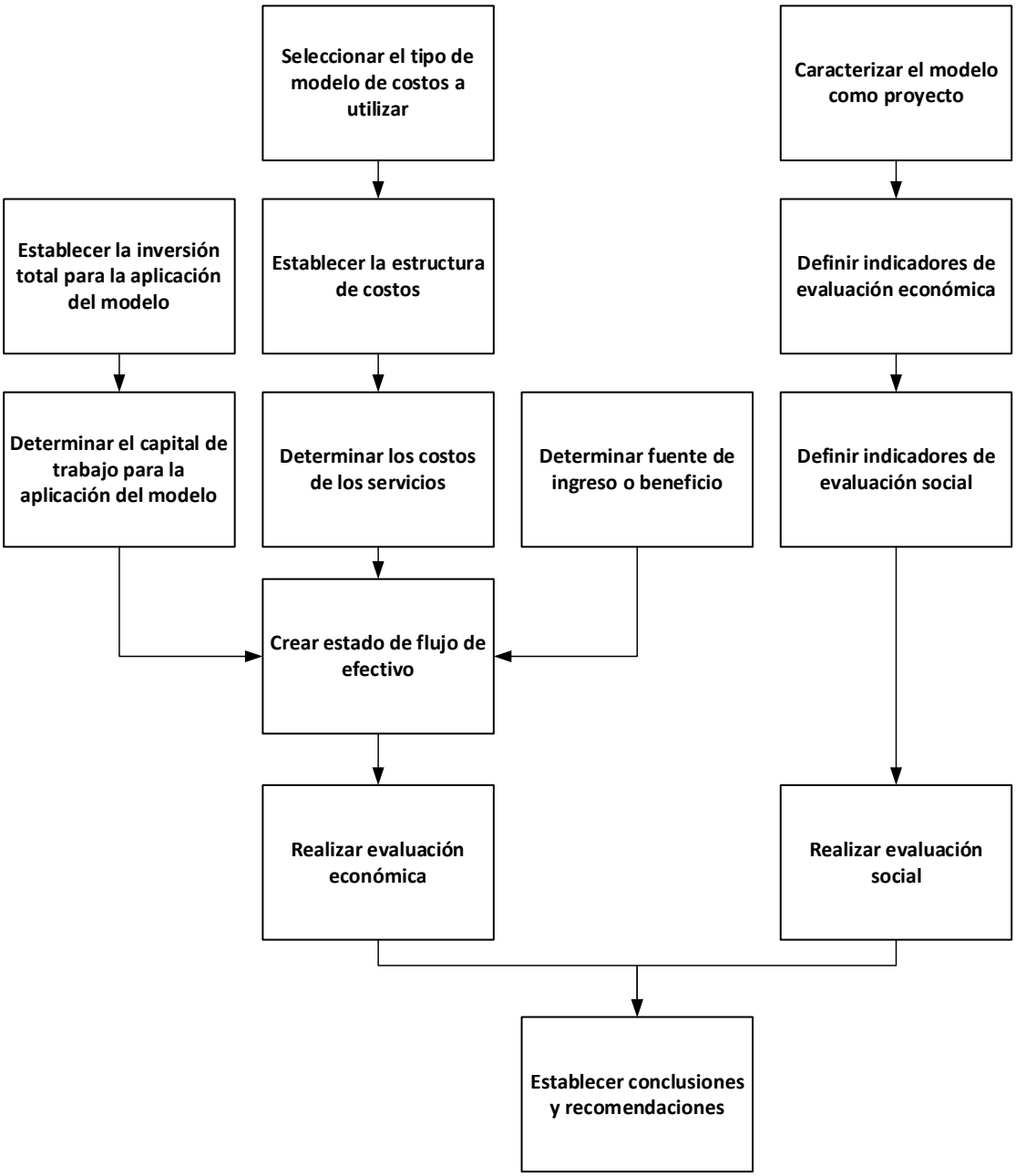
11.2. Objetivos Específicos

- Determinar la inversión requerida para la aplicación del modelo diseñado, que tiene como finalidad implementar la fabricación digital en el marco de la pre - operación en pacientes de cardiología en El Salvador, para evaluar la factibilidad económica y social del modelo.
- Evaluar económicamente la y puesta en marcha el modelo para aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología de El Salvador, en un hospital escuela, para determinar sus beneficios y ahorros asociados.
- Evaluar socialmente la puesta en marcha el modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología de El Salvador, en entorno específico como lo es un hospital escuela, para determinar el nivel de beneficio social relacionado.

11.3. Metodología Para Las Evaluaciones Del Proyecto

Tomando en cuenta que el tema de esta investigación ha sido clasificado como un proyecto de inversión social, a continuación, se presenta la metodología a seguir para realización de las evaluaciones del modelo.

Ilustración 162: Metodología de la evaluación del modelo



Fuente: Elaboración propia.

11.4. Características Del Modelo como Proyecto Social

La caracterización del modelo como proyecto permitirá establecer el contexto y enfoque de las evaluaciones sobre el mismo, iniciando por el hecho que el modelo para la aplicación de la fabricación digital debe ser visto como **un proyecto de inversión** que se propone sea

implantado por medio de la asignación de una inversión de capital y mano de obra para la generación y mejora de servicios a la sociedad salvadoreña en el área de la medicina, en la especialidad de cirugías cardiacas, por lo tanto, las evaluaciones sobre el modelo tienen como objetivo conocer el beneficio económico y social, que según establece el autor Baca Urbina "asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Solo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa", lo que también ayuda a contestar preguntas como: ¿Por qué se debe invertir en este proyecto?, o bien ¿Por qué es necesario ese proyecto?, pues las evaluaciones del proyecto colaboran en la toma de decisión sobre si es beneficioso invertir o no en el modelo como proyecto.

- **Caracterización del modelo como proyecto de inversión**

Es importante establecer el tipo de proyecto que se propone implementar, y por ello primero debemos valorar que los proyectos se generan para responder a las necesidades y problemas de las comunidades, dando lugar así a los diferentes tipos de proyectos, y esta clasificación se basa en función del área de aplicación.

El propósito de esta investigación es el diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre - operación en pacientes de cardiología en el salvador, tomando como base un hospital tipo de estudio, el cual es el Hospital Nacional Especializado para Niño Benjamín Bloom, que es un hospital de tercer nivel del sistema público de El Salvador, buscando generar un impacto positivo en el servicio quirúrgico del área de cardiología a través de la innovación en la planificación quirúrgica.

Con base a la premisa anterior se establece que el modelo diseñado **es un proyecto de inversión social** el cual deberá ser evaluado económica y socialmente con las metodologías e indicadores correspondientes. El proyecto tiene un aspecto social debido a que busca un beneficio para los pacientes del Hospital Nacional Especializado para Niño Benjamín Bloom así

como también para mejorar trabajo de los cirujanos cardiólogos y los servicios que ofrecen a través de la innovación en la planificación quirúrgica, destacando que son servicios sin fines de lucro, por otro lado, tiene una connotación económica al requerir de la inversión pública porque la sostenibilidad del hospital seleccionado pertenece al sector gubernamental el cual que busca el bienestar social, lo que también requiere de valorar la rentabilidad de la inversión desde el punto de vista gubernamental.

Características que convierten el modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre-operación quirúrgica en un proyecto de inversión social.

- Busca mejorar el bienestar social de pacientes sin priorizar retorno económico en el largo plazo.
- Mejorará la capacidad de acción de los cirujanos y otros médicos especialistas en el área en la que normalmente participan.
- Su implementación y operación no dependen de la capacidad de pago de los usuarios potenciales de los servicios, por lo que tampoco depende de los rendimientos financieros sobre el capital invertido.
- Surge de la necesidad de los especialistas en cirugía de mejorar los servicios quirúrgicos y su capacidad de atención.
- Buscan generar beneficios a largo plazo, posterior a la implantación del modelo.

11.5. Inversión inicial del Modelo

La inversión total del proyecto es la cantidad de recurso monetario inicial requerida para implantar y poner en marcha el modelo, en general, esta inversión total inicial comprende la inversión en dos grandes rubros los cuales son los activos tangibles y los activos intangibles, los necesarios para iniciar la operación del modelo, y, en tercer lugar, el capital de trabajo, requerido

para las operaciones de los servicios del modelo tanto al inicio del proyecto como en el largo plazo.

Se entiende por activo tangibles o fijos todos aquellos bienes y propiedades de una empresa o institución, tales como terrenos, edificios, maquinaria, equipos, mobiliario, vehículos, herramientas y otros tangibles. Son asociados a un carácter fijo debido a que no es posible desprenderse de dichos bienes o propiedades sin perjudicar las actividades productivas del proyecto.

En según lugar, los activos intangibles, son aquellos bienes que no pueden ser tocados, de naturaleza inmaterial y que por lo tanto no pueden ser medidos de manera física, pero que también son necesarios para el funcionamiento de las operaciones del proyecto o institución, siendo algunos ejemplos: patentes de invención, diseños comerciales o industriales, nombre comercial, asistencia técnica, transferencia de tecnología, gastos pre operativos de instalación y administración de implantación de proyecto, contratos de servicio de internet, agua, energía eléctrica, servicios notariales y servicios relacionados a la importación e instalación de equipos, también son valorados como activos intangibles los estudios que buscan mejorar el presente y futuro del funcionamiento de una organización tales como estudios de ingeniera y organizacionales, capacitaciones y otros más.

En tercer lugar, la inversión de capital de trabajo es una que se requiere al inicio del proyecto y durante el largo plazo, y está constituido por el efectivo necesario para la gestión y adquisición de inventario, cuentas por cobrar y por pagar, en resumen, todo aquellos que puede materializarse en efectivo inmediatamente para inversiones y cubrir pasivos corrientes.

La tabla siguiente muestra la clasificación de inversión inicial para el estudio económico del modelo.

Tabla 135: Clasificación de la inversión inicial del modelo

Tipo de inversión	Subclasificación
Inversión tangible	Equipos Herramientas Mobiliario Equipo de protección personal
Inversión intangible	Bienes intangibles y capacitaciones Administración del plan de implantación
Capital de trabajo	Material directo Insumos

Fuente: Elaboración propia

11.5.1. Inversión tangible

En este aparto se presentan los equipos y bienes muebles tangibles requeridos para operar el proyecto de aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en el área de cardiología, tanto para las actividades estratégica, operativas y de apoyo. Los equipos de impresión 3D, lavado, post curado y purificadores de aire muestran un precio unitario que engloba el valor según proveedor más la estimación de servicios de importación.

Tabla 136: Inversión de activo fijos

Inversiones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Mobiliario				$7,020.00
Escritorio de trabajo, superficie de melamina (1,2 x 0,75 x 0,75) m	4	unidad	$170.00	$680.00
Sillas ergonómicas de trabajo, 280 lb, altura de 90 cm	10	unidad	$175.00	$1,750.00
Mesas de trabajo de acero (124 x 0,6 x 0,9)	14	unidad	$260.00	$3,640.00
Estante metálico para almacenamiento, (180x90x40 cm)	2	unidad	$130.00	$260.00
Armario para almacenamiento	1	unidad	$690.00	$690.00
Herramientas				$302.10
Espátulas plásticas de 4 pulgadas	6	unidad	$1.40	$8.40

Inversiones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Alicate metálico de punta larga	6	unidad	$7.55	$45.30
Pinza metálica larga y curva (11 pulgadas)	6	unidad	$5.50	$33.00
Escalpelo de acero inoxidable	6	unidad	$4.15	$24.90
Bandeja de acero inoxidable	6	unidad	$20.50	$123.00
Atomizador de sustancias, capacidad de 32 onzas.	6	unidad	$3.25	$19.50
Recipiente medidor de volumen (escala en L, mL, onzas)	6	unidad	$1.00	$6.00
Filtros para resina SLA	6	conjunto	$7.00	$42.00
Equipo de Protección personal				$616.35
Respiradora con filtro	8	unidad	$42.00	$336.00
Mascarilla de carbón activado	10	50 u/caja	$2.50	$25.00
Guante de nitrilo libre de látex	5	100 u/caja	$11.95	$59.75
Bata de protección	6	unidad	$30.00	$180.00
Gafas de seguridad	8	par	$1.95	$15.60
Equipos				$74,953.00
Equipo informático (Computadoras)	4	equipo	$1,500.00	$6,000.00
Impresora 3D SLA	6	equipo	$6,795.83	$40,775.00
Limpiadora de resina	2	equipo	$6,343.50	$12,687.00
Máquina de post curado de resina	2	equipo	$6,080.50	$12,161.00
Sistema de aire acondicionado - Evaporador y condensador	1	equipo	$700.00	$700.00
UPS, 120 VCA, capacidad 1000 - 1500 va	10	equipo	$75.00	$750.00
Purificador de aíre para gases de impresión 3D	6	equipo	$313.33	$1,880.00
INVERSIÓN EN ACTIVOS FIJOS TANGIBLES				**$82,891.45**

Fuente: Elaboración propia

11.5.2. Inversión intangible

El segundo gran componente de la inversión total del proyecto son los activos intangibles los cuales son adquisiciones que no pueden ser tocadas o percibidas físicamente, tales como la adquisición de registros tributarios, comerciales, estudios técnicos, evaluaciones y capacitaciones para el personal.

Bienes intangibles y capacitaciones

A continuación, se muestran lo elementos intangibles primordiales para el funcionamiento de un espacio destinado para el modelado, impresión y enseñanza de la fabricación digital. Estos consisten en la adquisición de licencias de uso de softwares especializados y las capacitaciones a los miembros del equipo de modelado digital.

Tabla 137: Inversión en activos diferidos.

Inversiones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Licencia de software de modelado 3D	4	licencia anual/equipo	$420.00	$1,680.00
Licencia de software controlador de impresora 3D	4	licencia anual/equipo	$300.00	$1,200.00
Capacitación en modelado virtual e impresión 3D	12	Curso (3 meses)	$370.00	$4,440.00
Total, de inversión en bienes intangibles y capacitaciones				**$7,320.00**

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior, en el ítem “Capacitación en modelado virtual e impresión 3D” se ha establecido un número de 12 capacitaciones, correspondiente a 12 personas, 6 para desenvolverse en el puesto de técnico de impresión 3D y 6 para trabajar como técnico de imagen y modelado, originalmente el estudio técnico muestra que deben ser 12 los técnicos en imagen y modelado, pero para la capacitación se establece que el 50% será capacitado en esta área

para que posteriormente sean replicadores de los conocimientos con los trabajadores que sean contratados progresivamente.

Administración de implantación del proyecto

En el apartado de Generalidades del plan de implantación del proyecto, sobre la implantación del modelo para la aplicación de Fabricación Digital se detallan las cantidad, funciones y tipos de personal requerido para el periodo en el cual se pone en marcha la implantación del proyecto. La siguiente tabla muestra el tiempo estimado de contratación para cada uno de los profesionales identificados y las actividades en las que está directamente relacionados. Es probable que se el tiempo exigido sea mayor al planteado, pero será decisión de la institución implantadora cuanto más largo debe ser el periodo de implantación en función de sus recursos, objetivos, limitaciones y contexto social.

Tabla 138: Tiempo de trabajo de personal de administración del plan de implantación

Inversión en Personal	Actividades relacionadas	Tiempo base estimado (meses)
Coordinador general	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Coordinador de capacitaciones	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Coordinador de procesos	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L.	11
Técnico de capacitaciones	H, I, J, K, L.	4
Community Manager	H, I, J, K, L.	4
Analista de procesos	D, E, F, G, H, I, J, K, L.	8

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra el salario asignado a los profesionales destinados a gestionar el plan de implantación, usando como referencia el tiempo de contratación y contrastando con ofertas de empleo del mercado laboral actual, lo que finalmente se condensa en el total a invertir en cuando a personal para la administración del plan de implantación.

Tabla 139: Inversión en administración del plan de implantación del proyecto

Inversión en Personal	Cantidad	Salario mensual bruto	Tiempo (meses)	Total
Coordinador general	1	$1,500.00	11	$16,500.00
Coordinador de capacitaciones	1	$1,200.00	11	$13,200.00
Coordinador de procesos	1	$1,200.00	11	$13,200.00
Técnico de capacitaciones	4	$900.00	4	$14,400.00
Community Manager	2	$900.00	4	$7,200.00
Analista de procesos	4	$1,000.00	8	$32,000.00
Inversión en administración del plan de implantación	**13**	**$6,700.00**		**$96,500.00**

Fuente: Elaboración propia

El resumen de inversión total del proyecto se presenta en la siguiente tabla, la cual muestra los macro grupos de inversión requeridos para puesta en marcha del modelo para la aplicación de la Fabricación Digital.

Tabla 140: Inversión total del proyecto

Tipo de inversión	Monto	Monto
Inversión en activos tangibles		$82,891.45
Mobiliario	$7,020.00	
Herramientas	$302.10	
Equipo de Protección personal	$616.35	
Equipos	$74,953.00	
Inversión en activos intangibles		$122,183.00
Bienes intangibles y capacitaciones	$7,320.00	
Administración del plan de implantación	$96,500.00	
INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO		$186,711.45

Fuente: Elaboración propia

11.5.3 Inversión mínima por componente

Partiendo del establecimiento de la inversión inicial en los que se detallan cantidades y precios unitarios, se establece la suma de inversión por cada uno de los componentes, con lo que se facilita la toma de decisión sobre la aplicación de cada uno de los componentes en función de las necesidades y recursos disponibles de la institución interesada en incorporar el modelo de aplicación de la fabricación digital en sus servicios quirúrgicos. El objetivo de este apartado es, por tanto, cuantificar la inversión por componente, y no es parte de las futuras evaluaciones económica y social del modelo.

La siguiente tabla muestra de manera condensada los diferentes elementos que cada componente de la solución requiere como mínimo para su funcionamiento y puesta en marcha, por lo que si es necesario conocer detalles de inversión es conveniente acudir al aparto en el que se describen y detallan.

Tabla 141: Inversión mínima por cada componente del modelo.

Componente	Cantidad	Inversión unitaria ($)	Inversión total ($)
Sensibilización y compromiso			**$7,200.00**
Community Manager	2 / 4 meses	$900.00	$7,200.00
Ingeniería del modelo			**$114,571.45**
Equipo y Maquinaria	31	-	$74,953.00
Herramientas	48	-	$302.10
Mobiliario	31	-	$7,020.00
Equipo de Protección personal	37	-	$616.35
Licencia de software de modelado 3D	4	$420.00	$1,680.00
Licencia de software controlador de impresora 3D	4	$300.00	$1,200.00
Técnico en imagen y modelado 3D	1 / año	$1,200.00	$14,400.00
Técnico en impresión 3D	1 / año	$1,200.00	$14,400.00
Capacitación técnica			**$32,040.00**
Coordinador de capacitaciones	1 / 11 meses	$1,200.00	$13,200.00

Técnico de capacitaciones	4 / 4 meses	$900.00	$14,400.00
Capacitación en modelado virtual e impresión 3D	12	$370.00	$4,440.00
Formación profesional			**$28,800.00**
Técnico en imagen y modelado 3D	1 / año	$1,200.00	$14,400.00
Técnico en impresión 3D	1 / año	$1,200.00	$14,400.00
Inversión total de inversión mínima requerida			**$182,611.45**

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla describe el porcentaje de inversión que requiere cada componente, indicando que la ingeniería del modelo es el que requiere mayor inversión pues es el que se convierte en la base primordial para el funcionamiento del modelo al ser incorporado a una institución.

Tabla 142: Porcentaje de cada componente con respecto a la inversión.

Componente	Porcentaje de Inversión
Sensibilización y compromiso	3.94%
Ingeniería del modelo	62.74%
Capacitación técnica	17.55%
Formación profesional	15.77%
Total	100.00%

Fuente: Elaboración propia

11.6. Capital De Trabajo

Para gestionar materiales, suministros, servicios y mano de obra es requerido de un capital de rápida circulación o que permita convertirse rápida mente en efectivo, este elemento es conocido como capital de trabajo, el cual es comprendido como los recursos diferentes a la inversión fija y diferida que un proyecto requiere para realizar sus operaciones sin contratiempo alguno, y suele visualizarse como la diferencia aritmética entre el activo circulante y pasivo circulante.

El capital de trabajo requerido para esta propuesta de aplicación de la Fabricación Digital estará compuesto por el efectivo requerido para gestionar mano de obra directa, inventario de

material directo, suministros y servicios de energía eléctrica y agua, necesarios para el funcionamientos de los servicios del modelo, además, el tipo de capital de trabajo aquí propuesta será tanto para el inicio como para los cuatro años siguientes, pues será calculado como una proyección de efectivo mínimo requerido para la adquisición de materiales directos y suministros para un periodo de cinco años.

Capital de trabajo	Mano de obra directa
	Materiales directos
	Insumos
	Servicios básicos

Mano de obra directa

La mano de obra directa que se gestionará a partir del capital de trabajo está compuesta por los salarios de los técnicos en imagen y modelados 3D y técnicos en impresión 3D, con salarios de $1,200 para ambos puestos de trabajo. El total anual en salario es $259,200 lo cual es el total que se incorpora al capital de trabajo año con año.

Tabla 143: Mano de obra directa en capital de trabajo.

Puesto de trabajo	Cantidad	Salario ($/mes)	Salario total mensual ($/ mes)	Salario total anual ($/año)
Técnico en imagen y modelado 3D	12	$1,200.00	$14,400.00	$172,800.00
Técnico en impresión 3D	6	$1,200.00	$7,200.00	$86,400.00
Mano de obra directa total			$21,600.00	$259,200.00

Fuente: Elaboración propia

El inventario que será gestionado por el capital de trabajo estará compuesto por los siguientes elementos:

Materiales directos

En el caso de materiales directos, se presenta únicamente la resina, pues el componente base para la realización de impresiones 3D.

- Resina impresión 3D, resistente a impactos y flexible. Compatible para tecnología SLA y DLP. Alta dureza, alta resistencia y precisión, además, es preferible que cuente con características de flexibilidad y de material traslucido.

Insumos

En cuanto a insumos, se presentan elementos requeridos para la post producción de impresiones 3D, relacionados a las actividades de lavado, esterilización y empaquetado.

- Amonio cuaternario al 10%
- Alcohol Isopropílico al 90%
- Caja traslucida de celofán (15 cm cúbicos)

La siguiente tabla muestra los elementos de inventario, las unidades medida y precio de mercado.

Tabla 144: Unidades de compra de materiales e insumos según precio de mercado

Materiales directos	**Unidad de compra**	**Costo Unitario**
Resina impresión 3D, resistente a impactos y flexible. Compatible para tecnología SLA y DLP.	kg	$75.00
Insumos	**Unidad de compra**	**Costo Unitario**
Amonio cuaternario al 10%	Galón	$7.00
Alcohol Isopropílico al 90%	Galón	$30.00
Caja traslucida de celofán (15 cm cúbicos)	unidad	$0.35

Fuente: Elaboración propia

La compra de los materiales directos e insumos para cada año se ha calculado y planificado en función de la demanda de modelos a imprimir en 3D, pues son los requieren el consumo de los materiales e insumos. Por lo tanto, se presenta la demanda de impresiones 3D para los 5 años de proyección de trabajo.

Tabla 145: Demanda anual de impresiones 3D

año	1	2	3	4	5	TOTAL
Demanda de Modelos de Impresión 3D	593	578	579	617	627	2,994

Fuente: Elaboración propia

La proyección para cada elemento de inventario fue realizada en función de la proyección de requerimiento de los materiales e insumos establecidos en el capítulo del Diseño Detallado. A continuación, se presenta el capital de trabajo para los próximos 5 años de trabajo operativo para los servicios del modelo. Las diferentes cantidades fueron aproximadas a las unidades enteras superiores, bajo el criterio de compra de unidades completas.

Proyección de compra de material directo para pronóstico de capital de trabajo.

La siguiente tabla contiene la proyección de compra de la resina para impresión 3D para los próximos 5 años, mostrando su requerimiento original en litros y su requerimiento en unidades comerciales.

Tabla 146: Proyección de compra de material directo

Año	Requerimiento en Litros	Requerimiento en Kg	Costo / año
1	182	201	$15,075.00
2	177	195	$14,625.00
3	178	196	$14,700.00
4	188	207	$15,525.00
5	192	212	$15,900.00
TOTAL	917	1011	$75,825.00

Fuente: Elaboración propia

Proyección de compra de insumos para pronóstico de capital de trabajo.

A continuación, se presentan las proyecciones de compras para los tres elementos que conforman el inventario de insumos, mostrando el requerimiento original y el requerimiento en

unidades comerciales. En el caso de las cajas traslucidas de celofán, dado que por cada impresión 3D proyecta se requiere una caja sus demandas son iguales.

Tabla 147: Proyección de compra de Alcohol isopropílico.

Año	Requerimiento en Litros	Requerimiento en Galón	Costo / año
1	79	21	$630.00
2	77	21	$630.00
3	77	21	$630.00
4	82	22	$660.00
5	84	23	$690.00
TOTAL	399	108	$3,240.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 148: Proyección de compra de Amonio cuaternario.

Año	Requerimiento en Litros	Requerimiento en Galón	Costo / año
1	3	1	$7.00
2	3	1	$7.00
3	3	1	$7.00
4	4	1.5	$10.50
5	4	1.5	$10.50
TOTAL	17	6	$42.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 149: Proyección de compra de Caja traslucida de celofán.

Año	Requerimiento unidades	Costo / año
1	593	$207.55
2	578	$202.30
3	579	$202.65
4	617	$215.95

Año	Requerimiento unidades	Costo / año
5	627	$219.45
TOTAL	2994	$1,047.90

Fuente: Elaboración propia

Servicios básicos

Los servicios de vital importancia para la operación de los servicios del modelo son el de energía eléctrica y agua potable, por lo tanto, se presentan las proyecciones de consumo para cada uno de ellos.

- Consumo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica será proyectado a partir de las horas de trabajo anuales y la potencia eléctrica de los diferentes equipos claves en la fabricación 3D.

Tabla 150: Proyección de consumo de energía eléctrica medio anual

Equipo	Cantidad	Potencia (watt)	Potencia (kW)	Horas de trabajo anual (h/año)	Consumo de electricidad anual (kWh)
Equipo informático (Computadoras)	4	200	0.2	4,116.00	823.20
Impresora 3D SLA	6	650	0.65	6,419.20	4,172.48
Limpiadora de resina	2	50	0.05	426.66	21.33
Máquina de post curado de resina	2	144	0.144	426.66	61.44
Sistema de aire acondicionado	1	2575	2.575	2,880.00	7,416.00
Purificador de aíre para gases de impresión 3D	6	6	0.006	4,320.00	25.92
Consumo de energía eléctrica medio anual					12,520.37

Fuente: Elaboración propia

Con base en el promedio de consumo de energía eléctrica anual y con las tarifas de comercialización y distribución del servicio de electricidad de CAESS, S.A. DE C.V. se establece el costo en concepto de servicio de electricidad medio anual, tal como se muestra.

Tabla 151: Costo en concepto de servicio de electricidad medio anual

Consumo anual estimado (kWh)	Cargo de comercialización y distribución ($ / kwh)	Costo de consumo anual ($)	IVA (13%)	Costo total de energía eléctrica anual ($)
12,520.37	$0.1640	$2,053.34	$266.93	$2,320.28

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, al capital de trabajo de cada año se le suma $2,320.28 en concepto de costo de servicios de electricidad promedio.

- Servicio de agua potable

En primer se presenta la proyección del estimado de consumo de agua potable anual para cada uno de los años, sin embargo, se evidencia que anualmente el consumo de agua es inferior a los 5 m³, por lo tanta, cada mes también se consume menos de 5 m³. Según el pliego tarifario comercial de ANDA para rangos de consumo de 0 a 5 m³ la tarifa de acueducto mínima es $ 3.76 y la tarifa de alcantarillado es $ 0.10, con lo cual se calcula el costo medio anual de servicio de agua tal como se muestra.

$$Costo\ medio\ anual\ de\ servicio\ de\ agua = 12 * (\$3.76 + \$0.10)$$

$$Costo\ medio\ anual\ de\ servicio\ de\ agua = \$46.32$$

Por lo tanto, para cada año, el costo de servicio de agua correspondiente a la operación del servicio de fabricación digital es $46.32, lo cual será incorporado al capital de trabajo del año con año.

Finalmente, se presenta el capital de trabajo para los cinco años de proyección el cual engloba la mano de obra directa, los materiales directo, insumos y servicios básicos tomando en cuenta la demanda del mismos.

Tabla 152: Proyección total de Capital de trabajo para los próximos 5 años

Año	Capital de trabajo anual
1	$277,486.15
2	$277,030.90
3	$277,106.25
4	$277,978.05
5	$278,386.55
TOTAL	$1,387,987.88

Fuente: Elaboración propia

11.7. Determinación De Los Costos Operativos Del Servicio

Para determinar los costos operativos de los servicios establecidos en la estructuración del diseño detallado de modelo en evolución, se considera la necesidad de definir cuáles son los métodos en los que se puede definir este elemento monetario, para luego presentar el método más apropiado y definir el valor monetario de los servicios. Por lo antes definido se plantea los siguientes elementos.

11.7.1. Métodos Para Determinar Los Costos Operativos Del Servicio.

Calcular el costo de un servicio de modelado virtual e impresión 3D de malformaciones congénitas cardíacas requiere considerar varios factores y métodos. Aquí hay algunos enfoques que puedes utilizar y sus beneficios al ser utilizados:

Tabla 153: Métodos para definir los costos operativos de los servicios

Método	Definición	Recomendados si:
Método de Costo Basado en Actividades (ABC)	Este método asigna costos a las actividades específicas asociadas con la creación del modelo virtual e impresión 3D, para luego asignar esos costos a los servicios individuales basados en el uso de esas actividades, entre los elementos	• El proceso de modelado involucra múltiples actividades complejas y es requerido una asignación precisa de costos.

Método	Definición	Recomendados si:
	considerados en este método se puede definir lo siguiente: • Identificación de Actividades: Identificar todas las actividades necesarias para crear el modelo (adquisición de datos, procesamiento de imágenes, modelado 3D, etc.). • Asignación de Costos: Asignar costos a cada actividad. Esto incluye costos de mano de obra, equipos, software, etc. • Cálculo del Costo del Servicio: Sumar los costos de todas las actividades para obtener el costo total del servicio.	• Se tienen los recursos y el tiempo necesarios para identificar y asignar costos a cada actividad. • Es necesario un desglose detallado de costos para optimizar y mejorar procesos.
Método de Costo Directo	Este método calcula los costos directamente relacionados con la producción del modelo. • Costos de Personal: Calcular el costo de las horas de trabajo del personal involucrado (médicos, técnicos, ingenieros). • Costos de Equipos y Software: Incluir el costo de los equipos (escáneres, impresoras 3D) y software (licencias de software de modelado). • Costos de Materiales: Incluir costos de materiales utilizados en el	• Se busca un cálculo rápido y directo sin necesidad de un análisis detallado de cada actividad. • Se tiene acceso directo a los datos de costos de mano de obra, equipos, software y materiales. • El enfoque principal es sobre los costos directos involucrados en la producción del modelo

Método	Definición	Recomendados si:
	proceso de modelado (materiales de impresión 3D, si es aplicable). • Costos de Mantenimiento y Depreciación: Considerar costos de mantenimiento de equipos y la depreciación de estos.	
Método de Costo Estándar	Este método utiliza estándares predefinidos para calcular los costos basados en datos históricos y promedios. • Establecer Estándares: Basar los costos en estándares históricos para cada actividad y recurso utilizado. • Aplicar Estándares: Utilizar estos estándares para calcular el costo total del servicio. • Ajustar según Necesario: Ajustar los costos estándar para reflejar variaciones específicas de cada caso.	• Se tiene acceso a datos históricos y promedios que se pueden utilizar para establecer estándares de costos. • Se desea simplificar el cálculo utilizando estos estándares. • La variabilidad en el costo de cada caso es mínima.
Método de Costo Marginal	Este método considera los costos adicionales incurridos por producir un servicio adicional. • Identificación de Costos Variables: Identificar los costos variables asociados con la producción de un modelo adicional. • Cálculo de Costo Marginal: Sumar estos costos variables para obtener el costo marginal de un servicio adicional.	• Se busca conocer el costo adicional de producir un servicio adicional. • Se cuenta con una infraestructura existente y se desea calcular los costos incrementales. • El volumen de servicios es alto y se requiere optimizar la producción en función de la demanda.

Método	Definición	Recomendados si:
Método de Costo Basado en Tiempo	Este método calcula el costo basado en el tiempo necesario para completar cada parte del proceso de modelado. • Medición del Tiempo: Medir el tiempo necesario para cada etapa del proceso de modelado. • Asignación de Tarifas Horarias: Asignar tarifas horarias al personal y equipo utilizado. • Cálculo del Costo Total: Multiplicar el tiempo por las tarifas horarias para obtener el costo total.	• El tiempo es un factor crítico en el costo del servicio. • Es posible medir con precisión el tiempo dedicado a cada etapa del proceso de modelado. • Se requiere asignar costos basados en tarifas horarias específicas para el personal y los equipos utilizados.

Fuente: Elaboración propia

11.7.2. Selección de los métodos para el cálculo de costos de operaciones

Tomando como referencia lo antes definido, se puede considerar que el Método de Costo Basado en Actividades (ABC) suele ser el más completo y preciso, aunque también es el más laborioso. Este método permitirá tener una visión detallada y precisa de los costos, lo que puede ser útil para identificar áreas de mejora y optimización. Sin embargo, si la precisión del cálculo no es tan crítica es preferible un método más sencillo y rápido, el Método de Costo Directo podría ser suficiente, especialmente si se posee un control claro sobre los costos directos involucrados, pero para antes seleccionar el método que mejor se acople al estudio y evaluación económica, se deberá tener las consideraciones siguientes:

- **Evaluar los Recursos:** Considera los recursos disponibles para la implementación del método elegido, incluyendo tiempo, personal y datos disponibles.
- **Propósito del Cálculo:** Determina si el propósito es para fines internos de optimización y control de costos, o si es para fijar precios para clientes.

- **<u>Flexibilidad y Escalabilidad:</u>** Evalúa si el método elegido es flexible y escalable para adaptarse a cambios futuros en el proceso o en la demanda del servicio.

Teniendo en cuenta que el estudio y evaluación en desarrollo busca presentar elementos más detallados de los manejos de los costos de los servicios a ofertar y a su vez tener flexibilidad a través del tiempo, debido a los cambios en las tecnologías y medios en el que se desarrolla el método seleccionado es el siguiente:

11.7.2.1. Método De análisis de costos ABC (Servicio De Modelado virtual)

Para emplear el Método de Costo Basado en Actividades (ABC) en el cálculo del costo de un servicio de modelado virtual de malformaciones cardíacas, sigue estos pasos detallados:

A. <u>Identificación de Actividades</u>

Primero, se deben identificar todas las actividades clave involucradas en el proceso de modelado. Estas actividades pueden incluir:

- Adquisición de datos (por ejemplo, imágenes de resonancia magnética o tomografía computarizada)
- Procesamiento de imágenes
- Modelado 3D
- Revisión y validación médica
- Impresión 3D (si es aplicable)
- Entrega del modelo

B. <u>Asignación de Costos a las Actividades</u>

Para cada actividad, se deben asignar costos específicos. Los costos pueden ser directos (mano de obra, materiales) e indirectos (gastos generales). Ejemplo de costos a considerar:

- Adquisición de datos: Costos de uso de equipos de imagen, tiempo del técnico/radiólogo.
- Procesamiento de imágenes: Software de procesamiento, tiempo del técnico especializado.
- Modelado 3D: Software de modelado, tiempo del ingeniero biomédico.
- Revisión y validación médica: Tiempo del cardiólogo u otro especialista.
- Impresión 3D: Materiales de impresión, mantenimiento de la impresora, tiempo del operador.
- Entrega del modelo: Costos de embalaje y envío, si es necesario.

C. Cálculo de Cost Drivers (Generadores de Costos)

Determina los "drivers" o generadores de costos para cada actividad. Los generadores de costos son factores que afectan el costo de una actividad. Pueden incluir:

- Número de horas de trabajo
- Número de modelos impresos
- Cantidad de materiales utilizados
- Número de revisiones médicas

D. Asignación de Costos a los Cost Objects

E. (Objetos de Costo)

Los costos de cada actividad se distribuyen sobre los servicios específicos (objetos de costo) basándose en los generadores de costos. Esto implica calcular cuántos recursos consume cada servicio.

F. Cálculo del Costo Total del Servicio

Consiste en sumar los costos asignados de todas las actividades para obtener el costo total del servicio de modelado.

11.7.2.2. Método De Costo Estándar (Servicio De Impresión 3D)

La metodología del costo estándar tiene como objetivo establecer un sistema estructurado que permita determinar de manera anticipada los costos asociados a la prestación de un servicio o la producción de un bien, basándose en promedios representativos y tiempos estándares previamente establecidos. En el presente trabajo, el costo estándar se aplicará al servicio de impresión 3D para modelos médicos, considerando los procesos y actividades descritos en los diagramas de flujo del servicio. El proceso para la implementación del costo estándar se divide en las siguientes etapas:

A. Identificación de Actividades

Se clasificaron las actividades relacionadas con el servicio de impresión 3D, agrupándolas en etapas principales como la preparación de materiales, configuración del equipo, proceso de impresión, posprocesamiento, y entrega del modelo final. Cada actividad fue definida con base en tiempos estimados y recursos requeridos.

B. Determinación de Costos Directos.

Se identificaron los costos que están directamente relacionados con la prestación del servicio, incluyendo materiales principales (resinas, alcohol isopropílico, entre otros) y mano de obra directa, que se calculó a partir de las tarifas horarias de los operadores involucrados en cada actividad.

C. Determinación de Costos Indirectos

Se consideraron los costos asociados al uso y mantenimiento de los equipos, el consumo de electricidad durante el proceso, y otros recursos generales como software y licencias necesarias para el modelado y la impresión.

D. Cálculo de Tasas Estándar

Para cada actividad, se establecieron tiempos estándar, costos unitarios de materiales, y tasas por uso de equipos. Estos valores se aplicaron al conjunto de actividades del proceso para obtener un costo estándar total por servicio.

E. Integración de Costos

Finalmente, se sumaron los costos directos e indirectos de todas las actividades para obtener el costo estándar global del servicio de impresión 3D. Este costo se validó mediante comparación con datos históricos y simulaciones, asegurando su representatividad.

11.7.3. Depreciación de equipos

Dado que los equipos tienden a fatigarse o deteriorar con el paso del tiempo, es requerido establecer la proyección de depreciación, entendiendo este término como la distribución del gato del valor de los activos durante los periodos en los que contribuye en la generación de los servicios, por lo tanto, es visto como un gasto que no representa la salida de dinero, y que realmente permite la recuperación de la inversión inicial en activos fijos.

Para el caso de este estudio económico, se realiza la depreciación de los equipos identificados anteriormente en la inversión inicial de activos fijos, utilizando el método de línea recta el cual utiliza la siguiente relación matemática.

$$Depreciación = \frac{Costo\ inicial - valor\ residual}{vida\ útil}$$

En cuanto a valor residual, se estima que las computadoras, la impresora 3D, el equipo de lavado de resina y el equipo de post curado son los elementos que tendrán un valor residual del 15% de su costo inicial al final de sus respectivos periodos de vida útil. La siguiente tabla

contiene el resumen del cálculo de depreciación para los equipos de activo fijo destinados a la puesta en marcha del modelo.

Tabla 154: Depreciación de los activos fijos del modelo

Equipos	Cantidad	Costo Unitario	vida útil	Valor residual	Dep. /año / 1 equipo	Dep. /año / total
Mobiliario	1	$7,020.00	5	$0.00	$1,404.00	$1,404.00
Computadoras	4	$1,500.00	5	$225.00	$255.00	$1,020.00
Impresora 3D	6	$6,795.83	7	$750.00	$825.21	$4,951.25
Equipo de Lavado	2	$6,343.50	7	$675.00	$770.28	$1,540.56
Equipo de Post curado	2	$6,080.50	7	$675.00	$738.35	$1,476.69
Sistema de Aire Acondicionado	1	$700.00	12	$0.00	$58.33	$58.33
UPS	10	$75.00	5	$0.00	$15.00	$150.00
Purificador de aire	6	$313.33	1	$0.00	$313.33	$1,880.00
TOTAL						**$11,076.84**

Fuente: Elaboración propia

11.7.4. Determinación del costo de servicio de modelado virtual

Para determinar los costos operativos de cada servicio, se seguirán los lineamientos antes mencionados en la aplicación de método ABC, considerando cada actividad relacionada y como estos se ven relacionadas en la definición del valor económico de los servicios en el modelo. Para tener en claro algunos de los elementos se determinan con antelación ciertos factores necesarios en la definición de los costos.

Para determinar el costo operativo del servicio de modelado virtual de malformaciones congénitas de pacientes de cardiología, se presenta los siguientes elementos:

A. Identificación de Actividades

Establecer las actividades de un servicio de modelado virtual de malformaciones anatómicas de cardiología, es esencial desglosar cada etapa del proceso que involucra la creación de modelos virtuales, desde la recepción de la solicitud hasta la entrega del modelo final. Estas actividades pueden ser agrupadas en diferentes categorías, como la recopilación de datos, el procesamiento de imágenes, la creación del modelo virtual, la validación del modelo, la impresión 3D y la comunicación con los médicos y especialistas; teniendo en cuenta estos elementos se establece lo siguiente:

Tabla 155: Actividades del servicio de modelado virtual

Etapas	Actividades
A. Recopilación y Procesamiento de Datos	A.1 Procesamiento de imágenes.
	A.2 Análisis de imágenes.
B. Desarrollo del Modelo Virtual	B.1 Creación del modelo 3D.
	B.2 Refinamiento del modelo.
	B.3 Integración de datos adicionales.
D. Validación y Revisión del Modelo	C.1 Validación técnica del modelo.
	C.2 Revisión clínica del modelo.
	C.3 Correcciones y ajustes finales.
D. Entrega y Comunicación	D.1 Generación de informes.
	D.2 Entrega del modelo al médico solicitante.
	D.3 Revisión post-entrega.
E. Mantenimiento y Actualización del Servicio	E.1 Actualización de software y herramientas.
	E.2 Gestión de archivos y almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

B. Asignación de Costos a las Actividades

En esta etapa del análisis de costos, se enfoca en definir qué tipo de elementos está generando el valor económico de la actividad, teniendo en cuenta este factor, se emplea el presente cuadro:

Tabla 156: Asignación de elementos de costo del servicio de modelado virtual

Actividades	Elementos de costos			
	RR HH	**Equipo Informático**	**Licencia de software de modelado 3D**	**Mobiliario**
A.1 Procesamiento de imágenes.	X	X		X
A.2 Análisis de imágenes.	X	X		X
B.1 Creación del modelo 3D.	X	X	X	X
B.2 Refinamiento del modelo.	X	X	X	X
B.3 Integración de datos adicionales.	X	X	X	X
C.1 Validación técnica del modelo.	X	X	X	X
C.2 Revisión clínica del modelo.	X		X	X
C.3 Correcciones y ajustes finales.	X	X	X	X
D.1 Generación de informes.	X	X		X
D.2 Entrega del modelo al médico solicitante.	X	X	X	X
D.3 Revisión post-entrega.	X	X		X
E.1 Actualización de software y herramientas.	X	X	X	X
E.2 Gestión de archivos y almacenamiento.	X			X

Fuente: Elaboración propia

En el desarrollo de este servicio, el recurso humano utilizado solo hace referencia a los *técnicos de desarrollo de imágenes y modelados 3D*, que tiene el fin de llevar a cabo todas las actividades relacionadas con el uso de los elementos de costos.

C. Cálculo de los generadores de costos

Para establecer los generadores de costo, se considera los elementos que anteriormente se han presentado que interactúan con el servicio a brindar, cabe mencionar que los generadores de costo que se establecen en este apartado no solo se relacionan con las actividades del servicio en desarrollo, pero los recursos utilizados también forman parte de los demás servicios que el modelo en desarrollo ha definido. teniendo en cuenta esto se define el cálculo de los siguientes generadores:

- Equipo informático

Para establecer el costo por actividad del equipo informático se retoman datos como la capacidad instalada del servicio lo cual es de 784 modelos virtuales al año, el monto del costo del equipo informático se relaciona con la depreciación de este en el periodo de un año que equivale a $1020.00

$$\boldsymbol{Costo\ por\ actividad} = \frac{\left(\frac{Depreciasión\ del\ equipo}{Capacidad\ instalda}\right)}{Total\ de\ Actividades\ relacionados} = \frac{\left(\frac{\frac{\$\ 1020.00}{año}}{\frac{784\ modelos}{año}}\right)}{\frac{17\ actividades}{modelo}}$$

$$\boldsymbol{Costo\ por\ actividad} = \$\ \mathbf{0.08}\ \boldsymbol{en\ cada\ actividad\ relacionada}$$

- Licencia de software de modelado 3D

Al igual que el equipo informático este considera los elementos esenciales para se ven relacionados con el mismo, teniendo en cuenta que el estudio es evaluado en un periodo de 5 años, se considera la adquisición de las licencias necesarias para este periodo con un valor monetario de $1,680.00 durante ese periodo, siguiendo la misma cantidad de la demanda del servicio.

$$\boldsymbol{Costo\ por\ actividad} = \frac{\left(\frac{Inversión\ total}{Capacidad\ instalada}\right)}{Total\ de\ Actividades\ relacionados} = \frac{\left(\frac{\frac{\$\ 1680.00}{año}}{\frac{784\ modelos}{año}}\right)}{\frac{12\ actividades}{modelo}}$$

$$\boldsymbol{Costo\ por\ actividad} = \$\ \mathbf{0.18}\ \boldsymbol{en\ cada\ activilidad\ relacionada}$$

- Mano de obra

Para el caso del servicio la mano de obra relacionada el elemento relacionado de este es el Técnico en imagen y modelado 3D, la cual corresponde a un numero de 12 colaboradores,

con un salario del $ 1200.00, que corresponde a un total anual de $14,400.00 lo cual se verá distribuido entre a demanda y la cantidad de actividades relacionadas.

$$\textbf{Costo por actividad} = \frac{\left(\frac{Inversión\ total}{Capacidad\ instalada}\right)}{Total\ de\ Actividades\ relacionados} = \frac{\left(\frac{\$\ 14400.00}{\frac{784\ \ modelos}{año}}\right)}{\frac{17\ actividades}{modelo}}$$

$$\textbf{Costo por actividad} = \$\ \mathbf{1.08}\ \ \textbf{en cada activilidad relacionada}$$

- Mobiliario del área

En el caso de los costos por el uso del mobiliario considerado en el diseño para la operatividad de la implementación de la nueva área, se considera que este requerimiento es vital en todas las actividades incluyendo ambos servicios por lo que se considera 34 actividades en total, así como también el total de la depreciación de todo el mobiliario requerido que suma $ 1,404.00 anualmente; teniendo en cuenta estos elementos se calcula lo siguiente:

$$\textbf{Costo por actividad} = \frac{\left(\frac{Depreciasión\ del\ equipo}{Capacidad\ instalda}\right)}{Total\ de\ Actividades\ relacionados} = \frac{\left(\frac{\$\ 1{,}404.00}{\frac{784\ modelos}{año}}\right)}{\frac{34\ actividades}{modelo}}$$

$$\textbf{Costo por actividad} = \$\ \mathbf{0.05}\ \textbf{en cada actividad relaciona}$$

Basado en lo antes definido, se establece un resumen de los generadores de costos del estudio, como se muestra a continuación:

Tabla 157: Elementos de costo servicio de modelado virtual

Generador de costos	Costo total	Demanda del servicio	Total, de actividades involucrados	Costo por uso de actividad
Equipo informático (Computadoras)	$ 1,020.00	784	17	$ 0.08

Generador de costos	Costo total	Demanda del servicio	Total, de actividades involucrados	Costo por uso de actividad
Licencia de software de modelado 3D	$ 1,680.00	784	12	$ 0.18
Técnico en imagen y modelado 3D	$ 14,400.00	784	17	$ 1 .08
Mobiliario	$1,404.00	784	34	$ 0.05

Fuente: Elaboración propia

D. Establecimiento de los costos a las actividades y costo total del servicio

Teniendo en cuenta lo antes definido en los generadores de costo, se detalla el costo involucrado de cada elemento, según la actividad donde se ve involucrado, como se detalla a continuación:

Tabla 158: Establecimiento del costo de servicio de modelado

Actividades	Elementos de costos				Total, por actividad
	Técnico en imagen y modelado 3D	Equipo Informático	Licencia de software de modelado 3D	Mobiliario	
A.1 Procesamiento de imágenes.	$1.08	$0.08		$0.05	$1.21
A.2 Análisis de imágenes.	$1.08	$0.08		$0.05	$1.21
B.1 Creación del modelo 3D.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
B.2 Refinamiento del modelo.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
B.3 Integración de datos adicionales.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
C.1 Validación técnica del modelo.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
C.2 Revisión clínica del modelo.	$1.08		$0.18	$0.05	$1.31
C.3 Correcciones y ajustes finales.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
D.1 Generación de informes.	$1.08	$0.08		$0.05	$1.21
D.2 Entrega del modelo al médico solicitante.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39
D.3 Revisión post entrega.	$1.08	$0.08		$0.05	$1.21
E.1 Actualización de software y herramientas.	$1.08	$0.08	$0.18	$0.05	$1.39

Actividades	Elementos de costos				Total, por actividad
	Técnico en imagen y modelado 3D	Equipo Informático	Licencia de software de modelado 3D	Mobiliario	
E.2 Gestión de archivos y almacenamiento.	$1.08			$0.05	$1.13
Total, del servicio de modelado virtual					**$17.00**

Fuente: Elaboración propia

11.7.5. Determinación del costo de servicio de impresión 3D

Para asignar los costos directos e indirectos bajo el método de costeo estándar se toma como base el diagrama de flujo de la etapa de ingeniería del modelo, donde se plantean los tiempos para la ejecución del servicio, teniendo en cuenta los lineamientos de la metodología de la aplicación de costo estándar se emplea los siguientes pasos:

a) Definición de las actividades

Las actividades del diagrama incluyen:

- Extracción y preparación de materiales (O-4 a T-2): Incluye medir, movilizar y preparar resina.
- Configuración de la impresora y calibración (O-2 a I-1): Incluye ajustar especificaciones, calibrar la impresora, y verificar su estado.
- Impresión 3D (C-1 a C-4): Proceso de impresión y monitoreo.
- Post procesamiento (O-7 a O-9): Incluye corte de soportes, limpieza, curado, y esterilización.
- Entrega (T-3): Incluye la entrega del modelo final a los especialistas.

b) Definición de los costos directos e indirectos

Tabla 159: Definición de los costos para el servicio de impresión

Clasificación	Definición del costo.	
Costos directos	Materiales Directos	• Resina para impresión: El costo depende de la cantidad requerida para el modelo • Alcohol isopropílico: Para limpieza del modelo. • Agua y amonio cuaternario: Utilizados para la esterilización.
	Mano de obra directa	• Tiempo de los operadores: Basado en los tiempos donde el técnico de impresión 3D se involucra en la ejecución del modelo
Costos indirectos	Insumos indirectos	• Desgaste de la impresora 3D: Calculado en base a la depreciación de la maquinaria involucrada. • Mobiliario y otros: Para este se considera un costo igual a establecido en el servicio anterior • Caja traslucida para presentación del modelo.
	Software y Licencias	• Costos del software de modelado 3D y simulación.

Fuente: Elaboración propia

c) Cálculo de la tasa estándar

Basado en la definición de los costos presentados anteriormente, se plantea el análisis de costo basado en utilización de los recursos o materiales necesarios para brindar el servicio. Teniendo en cuenta esto se diseña lo siguiente.

Costo de uso de retina: Para el caso se basa en el diseño de un modelo estándar diseñado, pero se puede definir que si esto cambia la institución puede considerar lo establecido en este aparado.

$$\boldsymbol{costo\ de\ resina} = \left(\frac{Cantidad\ de\ material\ en\ kg}{1\ modelo}\right)\left(\frac{Costo\ del\ material}{1\ Kg}\right) = \frac{Costo\ monetario}{modelo}$$

Para este caso se puede considerar que el modelo posee 120 mm de altura, 94.09 mm de profundidad y ancho de 93.09 mm; teniendo en cuenta la ilustración 94 donde se puede observar que el software de implementación puede brindar el consumo de material y tiempo de máquina de impresión, así se puede considerar los cambios del costo del modelo, para el caso el costo del material sería el siguiente.

$$\boldsymbol{costo\ de\ resina} = \left(\frac{0.3063\ kg}{1\ modelo}\right)\left(\frac{\$\ 75.00}{1\ Kg}\right) = \frac{\$\ \mathbf{22.77}}{\boldsymbol{modelo}}$$

***Costo de Alcohol*:** Siguiendo los lineamientos del cálculo del costo de la resina se establece lo presentado a continuación.

$$\boldsymbol{costo\ Alcohol} = \left(\frac{Cantidad\ de\ material\ en\ Gal}{1\ modelo}\right)\left(\frac{Costo\ del\ material}{1\ Gal}\right) = \frac{Costo\ monetario}{modelo}$$

$$\boldsymbol{costo\ Alcohol} = \left(\frac{0.03521\ Gal}{1\ modelo}\right)\left(\frac{\$\ 30.00}{1\ Gal}\right) = \frac{\$\ \mathbf{1.06}}{\boldsymbol{modelo}}$$

Amonio: Este caso sigue el mismo modelo de los anteriores y se define de manera directa al modelo.

$$\boldsymbol{costo\ Amonio} = \left(\frac{Cantidad\ de\ material\ en\ Gal}{1\ modelo}\right)\left(\frac{Costo\ del\ material}{1\ Gal}\right) = \frac{Costo\ monetario}{modelo}$$

$$\boldsymbol{costo\ Amonio} = \left(\frac{0.0037069\ Gal}{1\ modelo}\right)\left(\frac{\$\ 7.00}{1\ Gal}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.03}}{\boldsymbol{modelo}}$$

Cajas traslucidas: En el caso de este material tiene un costo directo de $0.35 por modelo.

Los elementos anteriores se establecen en base a cada modelo ejecutado, para los restantes se toma como base el tiempo y uso de los recursos relacionados y ara lo que se determina lo siguiente.

Mano de obra directa.: Se considera solo a los técnicos de impresión 3d donde el total de salario suma un monto de $ 7,200 anual, teniendo como referencia un año comercial se calcula su costo relacionado de la siguiente manera.

$$MOD = \left(\frac{\$\ 7{,}200}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.833}}{\boldsymbol{Hora}}$$

Desgaste de maquinaria: Para el desgaste de maquinaria se hace uso de la depreciación, se ejecuta el análisis con las consideraciones del cálculo anterior y solo se evaluada la impresora 3D, Máquina de lavado y post curado.

$$Maq.Impresión = \left(\frac{\$\ 4951.25}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.573}}{\boldsymbol{Hora}}$$

$$Maq.lavado = \left(\frac{\$\ 1540.50}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.178}}{\boldsymbol{Hora}}$$

$$Maq.post\ curado = \left(\frac{\$\ 1476.69}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.171}}{\boldsymbol{Hora}}$$

Mobiliarios y otros: En este se considera el mobiliario requerido para el funcionamiento de las operaciones del modelo, en cuanto a otros hace referencia a herramientas, Ventilación y equipo extra para brindar el servicio:

$$Mobiliario = \left(\frac{\$\ 1{,}404.00}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.163}}{\boldsymbol{Hora}}$$

$$Otros = \left(\frac{\$\ 2332.1}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.270}}{\boldsymbol{Hora}}$$

Si el costo de mobiliario y otros se considera un solo costo su valor será de $0.433 por hora utilizada.

Licencias y software: Hace referencia a lo requerido para poder ejecutar los procesos de fabricación de los modelos de impresión 3D, su cálculo sigue los patrones siguientes, como se presenta a continuación.

$$Licencias = \left(\frac{\$\ 1200}{Anual}\right)\left(\frac{1\ año}{360\ días}\right)\left(\frac{1\ día}{24\ horas}\right) = \frac{\$\ \mathbf{0.139}}{\boldsymbol{Hora}}$$

d) Integración de los costos

Para iniciar con la integración de los costos relacionados con la impresión de los modelos 3D, primero se señala aquellos costos que están directamente relacionados con las dimensiones del modelo, como lo es el material por consumir, no así los insumos que directamente se proporcionan en base a la demanda, por lo cual siguiendo las medidas estándar de las piezas definidas en el diseño al igual que la demanda de estos se define los siguiente:

Tabla 160: Costos en base a la medida del modelo

Material	Costo
Resina	$ 22.77
Alcohol	$ 1.06
Amonio	$ 0.03
Costo por pieza	**$ 23.86**

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, estos costos establecidos se relacionan con aquellos donde se basa su estructura en cuanto al tiempo de ejecución de las actividades y se define de la siguiente manera:

Tabla 161: Costo del servicio de impresión

Actividades	Tiempo en horas	Costo MOD	Costo maquina 3D	Costo máquina de lavado	Costo máquina de post curado	Licencias y software	Mobiliario y equipo	Costo por actividad
		$ 0.83	**$ 0.57**	**$ 0.18**	**$ 0.17**	**$ 0.14**	**$ 0.43**	
Extracción y preparación	0.23	$ 0.19					$ 0.10	$ 0.29
Configuración y calibración	0.7	$ 0.58	$ 0.40				$ 0.30	$ 1.29
Impresión del modelo	10.12	$ 8.43	$ 5.80			$ 1.41	$ 4.38	$ 20.02
Limpieza y curado de piezas	1.17	$ 0.97		$ 0.21	$ 0.20		$ 0.51	$ 1.89
Entrega	0.17	$ 0.14					$ 0.07	$ 0.22
Costo total								**$ 23.70**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, teniendo esos elementos definidos anteriormente se define el total del servicio de modelado de impresión 3D tiene el siguiente valor **$ 23.86 + $ 23.70 = $ 47.56** por la generación del modelo en medidas estándar

11.7.6. Costo de los servicios

El resumen de los costos para los servicios de modelado e impresión 3D, calculados bajo el método de costeo basado en actividades (ABC), es el siguiente:

- Costo de modelado 3D: $ 17.00

Este costo incluye todas las actividades relacionadas con la preparación y creación del modelo digital, desde el diseño hasta la optimización para impresión.

- Costo de impresión 3D: $ 47.56

Este costo abarca todas las actividades involucradas en el proceso de fabricación del modelo físico, incluyendo materiales, uso de la impresora y tiempos de operación.

Costo total del servicio de modelado e impresión 3D:

Total = $ 17.00 + $ 47.56 = $ 64.56

Con los costos antes determinados se establece una proyección de costo total anual de los servicios de modelado e impresión 3D.

i. Proyección del costo de Impresión 3D

La proyección es un estimado de los costos en que han de incurrirse para la impresión 3D de la demanda anual determinada previamente para lo cual se utiliza el costo unitario igual a $ 64.56 pues fabricar un modelo 3D consume el servicio de modelado más el servicio de impresión 3D.

$$Costo\ \ de\ impresión\ 3D = Demanda * Costo\ unitario\ impresión\ 3D$$

$$Costo\ \ de\ impresión\ 3D = Demanda * \$\ 64.56$$

Tabla 162: Proyección estimada de costos de impresión 3D

Año	Demanda	Costo de impresión 3D
1	593	$38,284.08
2	578	$37,315.68
3	579	$37,380.24
4	617	$39,833.52
5	627	$40,479.12
Total	**2994**	**$193,292.64**

Fuente: Elaboración propia

ii. Proyección del costo de modelado virtual

La proyección de la demanda de modelado virtual anual es igual la demanda de impresión 3D anual más un complemento del 25%, por ende, parte de la demanda de modelado virtual ya ha sido costeada, restando calcular la demanda complementaria y el costo correspondiente, de la siguiente manera.

$$Demanda\ complementaria = demanda\ impresión\ 3D * 25\%$$

Posteriormente se calcula el costo de moldeado virtual a partir de la demanda complementaria determinada, tal como se muestra.

$$Costo\ de\ modelado\ virtual = demanda\ complementaria * Costo\ unitario\ modelado\ virtual$$

$$Costo\ de\ modelado\ virtual = demanda\ complementaria * \$\ 17.00$$

La información se condensa en la siguiente tabla, la cual contiene la demanda complementaria anual y el costo correspondiente.

Tabla 163: Proyección estimad del costo de modelado virtual.

Año	Demanda impresión 3D	Demanda complementaria modelado virtual	Costo de modelado virtual
1	593	149	$2,533.00
2	578	145	$2,465.00
3	579	145	$2,465.00
4	617	155	$2,635.00
5	627	157	$2,669.00
Total	**2994**	**751**	**$12,767.00**

Fuente: Elaboración propia

iii. Cálculo de la proyección de costo total

Finalmente, la proyección de costo total correspondiente a la demanda de los servicios de modelado virtual e impresión 3D es la suma ambas proyecciones año con año, tal como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Tabla 164: Proyección estimada del costo total de los servicios de modelado virtual e impresión 3D.

Año	Costo de impresión 3D	Costo de modelado virtual	Costo total
1	$38,284.08	$2,533.00	$40,817.08
2	$37,315.68	$2,465.00	$39,780.68
3	$37,380.24	$2,465.00	$39,845.24
4	$39,833.52	$2,635.00	$42,468.52
5	$40,479.12	$2,669.00	$43,148.12
Total	$193,292.64	$12,767.00	$206,059.64

Fuente: Elaboración propia

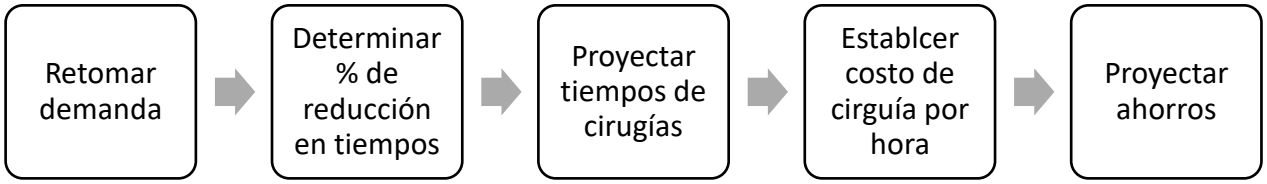
11.8. Beneficios de los servicios del modelo

Los beneficios que un proyecto puede proveer son todos aquellos ingresos en unidades monetarias provenientes de ventas de bienes o servicios, ahorros o educciones de costos, venta de activos, venta de residuos y otros como la recuperación de capital de trabajo. Para el caso puntual de este tema de investigación y propuesta de la puesta en marcha del modelo para la aplicación de la Fabricación Digital, el beneficio viene dado por el ahorro o reducción de costos como consecuencias de la reducción de los tiempos de cirugías, los cuales son el resultado de una mejor planificación quirúrgica apoyada con la Fabricación digital en su forma de impresión 3D.

Según fuentes secundarias y experiencias recolectadas a través de entrevistas en el capítulo de diagnóstico de esta investigación, la impresión 3D apoya en la planificación quirúrgica, diseñando así el procedimiento quirúrgico que mejor se adecue a las características únicas de cada paciente, facilitando la comunicación del plan al resto de personal, dimensiona mejor las herramientas de trabajo, permite practicar el procedimiento y estudiar posibles escenarios, facilitando la toma de decisiones y por lo tanto, reduce los tiempos de cirugía y los costos asociados a dichos tiempos.

El establecimiento de ingresos proveniente de ahorro de costos se observa a través del siguiente esquema, el cual representa el método seguido para establecerlo.

Ilustración 163: Metodología de la determinación de los ahorros en costos.



Fuente: Elaboración propia.

11.8.1. Demanda de cirugías

Del capítulo anterior, Diseño detallado de la solución, se retoma únicamente la demanda de cirugías a realizar por año, lo cual es igual a la cantidad de impresiones 3D por año, la razón de esta selección es debido a que son las impresiones 3D las que permiten a los cirujanos y estudiantes realizar prácticas de procedimientos y estudiar escenarios, facilita dimensionar anatomías y herramientas, y así como también facilita la comunicación de los planes quirúrgicos al resto del personal quirúrgico, siendo por tanto, el servicio de impresión 3D el cual tiene la mayor incidencia medible y directa sobre el desempeño de las cirugías y beneficios para pacientes, además, es importante recordar que para realizar una impresión 3D se debe aplicar primero el servicio de modelado virtual en computadora. La siguiente tabla muestra la proyección de la demanda de cirugías y por lo tanto de impresiones 3D para los próximos 5 años.

Tabla 165: Demanda de impresiones 3D

año	1	2	3	4	5	TOTAL
Demanda de Modelos de Impresión 3D	593	578	579	617	627	2,994

Fuente: Elaboración propia

11.8.2. Reducción de tiempos de cirugías

En la investigación titulada, Impacto de la impresión 3D en los resultados a corto plazo de conversión biventricular de la paliación ventricular única para los defectos cardíacos congénitos complejos, se concluyó que “encontramos que la impresión 3D redujo significativamente el

tiempo de la pinza aórtica en el grupo ventricular equilibrado (p = 0,05). En el grupo ventricular desequilibrado, la simulación preoperatoria mediante la impresión 3D ayudó a reducir tanto la duración de bypass como el tiempo de sujeción (p = 0,05), lo que indica su beneficio prominente", Shi B, Pan Y, Luo W, Luo K, Sun Q, Liu J, Zhu Z, Wang H, He X y Zheng J (2021), proveniente del departamento de Cirugía Cardiotorácica, Shanghai Children's Medical Center Afiliado a Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, China.

En dicha investigación se estudiaron 23 pacientes y sus respectivas cirugías, los investigadores establecieron dos grupos, "Balanced ventricular group" con 15 pacientes en observación de los cuales a 6 de ellos se les realizo la planificación quirúrgica con el apoyo de impresiones 3D y el 9 sin impresión 3D. El otro grupo se denominó "Imbalanced ventricular group" compuesto por 8 sujetos en observación, donde 4 pacientes tuvieron cirugías planificadas con impresión 3D y 4 sin impresión 3D.

Los resultados de dicha investigación son mostrados en la siguiente tabla

Tabla 166: Tiempo de cirugía de pacientes con y sin impresión 3D en dos grupos.

Groups	**Grupo ventricular Balaceado**			**Grupo ventricular no Balanceado**		
3D printing	+(n=6)	-(n=9)	P-value	+(n=4)	-(n=4)	P-value
Bypass time (min)	171.5 ± 62.6	233.4 ± 65.6	0.091	140.3±11.1	214.5±57.0	0.043
Aortic cross-clamp time (min)	94.8 ± 43.1	145.9 ± 40.8	0.037	80.55±20.0	138.3±36.7	0.033

Fuente: Shi B, Pan Y, Luo W, Luo K, Sun Q, Liu J, Zhu Z, Wang H, He X y Zheng J. (2021). Impacto de la impresión 3D en los resultados a corto plazo de conversión biventricular de la paliación ventricular única para los defectos cardíacos congénitos complejos[19]*. Departamento de Cirugía Cardiotorágica, Shanghai Children's Medical Center Afiliado a Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, China.*

[19] Shi B, Pan Y, Luo W, Luo K, Sun Q, Liu J, Zhu Z, Wang H, He X y Zheng J. (2021). *Impacto de la impresión 3D en los resultados a corto plazo de conversión biventricular de la paliación ventricular única para los defectos cardíacos congénitos complejos*. Frente. Cardiovasc. *https://www.frontiersin.org/journals/cardiovascular-medicine/articles/10.3389/fcvm.2021.801444/full*

De los anteriores datos, se seleccionan los resultados del grupo ventricular balanceado o equilibrado, debido a que presentan los registros de más pacientes, lo que genera un mayor historial el cual sustenta y justifica los datos obtenidos. Además, los tiempos fueron convertidos a horas utilizando dos decimales, que serán los datos que se utilizarán más adelante en las diferentes proyecciones.

Tabla 167: Tiempos de cirugías, Grupo ventricular balanceado.

Grupos	**Grupo Balanceado ventricular**	
Tipo de procedimiento	Con impresión 3D	Sin impresión 3D
by – pass (horas/cirugía)	2.86	3.89
aortic cross-clamp (horas/cirugía)	1.58	2.43

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los tiempos mostrados anteriormente, se calcula el porcentaje (%) en reducción de tiempos, por medio de la siguiente relación:

$$\%\ Reducción\ de\ tiempo = \frac{Tiempo\ \text{con}\ impresión\ 3D - Tiempo\ sin\ impresión\ 3D}{Tiempo\ con\ impresión\ 3D} \times 100\%$$

Finalmente se obtiene el porcentaje de reducción de tiempo, con base a los resultados de la investigación del departamento de Cirugía Cardiotorágica, Shanghai Children's Medical Center Afiliado a Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, China.

Tabla 168: Porcentaje de reducción de tiempos de cirugías.

Grupo Balanceado ventricular	
Procedimiento	% de ahorro en tiempo
by pass (%)	26.52%
aortic cross-clamp (%)	35.02%

Fuente: Elaboración propia.

De los anteriores resultados, se describe brevemente en que consiste cada de uno de los procedimientos. En el caso de By pass o cirugía de baipás de las arterias coronarias, “crea una nueva vía para que la sangre eluda una arteria obstruida o parcialmente obstruida en el corazón. Esta cirugía implica usar un vaso sanguíneo sano del área del pecho o la pierna. El vaso se conecta por debajo de la arteria obstruida en el corazón. La nueva vía mejora el flujo sanguíneo al músculo cardíaco[20]”, (Mayo Clinic, 2024). Además, este procedimiento quirúrgico suele utilizar máquina de circulación extracorpórea, lo cual es un criterio de estudio muy importante.

Por su parte, el procedimiento aortic cross-clamp o pinzamiento cruzado aórtico, “se utiliza durante ciertos procedimientos quirúrgicos para detener temporalmente el flujo sanguíneo. Cuando el pinzamiento aórtico se ubica más proximalmente en relación con el corazón, existe un mayor riesgo de isquemia e infarto de miocardio, debido al aumento de la poscarga y del trabajo miocárdico[21]”, (Dr. Aaron Sachs, 2024).

Finalmente, es importante para los pasos siguientes seleccionar uno de esos dos procedimientos, para tal caso tenemos un criterio de importancia dado por la misma investigación el cual es **el Valor P**, que es conocido como “la probabilidad de obtener, por azar, una diferencia tan grande o mayor de la observada, cumpliéndose que no haya diferencia real en la población de la que proceden las muestras”, (Molina Arias M, 2017)[22]. Por su parte, ZN. Kaina, J y MacLarena, (2007), resumen que, el valor P significa la probabilidad de que un hallazgo de interés se haya alcanzado por casualidad. En este contexto, **un valor p < 0.05 indica que los resultados son de confianza**, que es poco probable que se deban al azar y un valor p > 0.05 sugiere que no se cuenta con la confianza suficiente para aceptar los resultados, o, dicho de otra

[20] Mayo Clinic. (2024). *Cirugía de baipás de la arteria coronaria*. Mayoclinic.org. https://www.mayoclinic.org/es/tests-procedures/coronary-bypass-surgery/about/pac-20384589

[21] Dr. Aaron Sachs. (2024). *Pinzamiento cruzado aórtico.* openanesthesia-org. https://www-openanesthesia-org.translate.goog/keywords/aortic-cross-clamping/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=rq

[22] Molina Arias M. (2017). *¿Qué significa realmente el valor de p?* Rev. Pediatr Aten Primaria. 2017; 19:377-81. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322017000500014

manera, es imposible negar que los resultados estén influencias por el azar. Para el caso de esta investigación, la fuente secundaría muestra que el procedimiento y el procedimiento **aórtico** $p=0.037$ ($p<0.05$), tal como se muestra en la tabla 30: *Tiempo de cirugía de pacientes con y sin impresión 3D en dos grupos.*

Por lo tanto, de los datos antes observados, **se selecciona para los siguientes pasos de proyección de tiempo e ingresos por ahorro, los resultados del procedimiento aórtico** o pinzamiento cruzado aórtico, el cual muestra tiempos de cirugía de 1.58 h con planificación asistida con impresión 3D y 2.43 h de cirugía planificada sin impresión 3D y un porcentaje de reducción de tiempo de 35.02%.

Justificación del porcentaje de ahorro adaptado a El Salvador

Con base en la investigación desarrollada, donde se determina que en China se obtuvo un porcentaje de ahorro en tiempos de cirugía correspondiente al 35%, ante lo cual se analiza la presencia de ciertos aspectos que influyen sobre la tropicalización de dicho porcentaje en el sistema de salud de El Salvador, lo cual puede visualizarse a través de una comparación de tipo cualitativo entre los contextos de ambos países en el área de la salud, para ellos se toman en cuenta las siguientes referencias:

Tabla 169: Justificación de porcentaje de ahorro en tiempos de cirugía en El Salvador

Aspecto analizado	República Popular de China	El Salvador
Infraestructura y equipamiento	Posee hospitales modernos equipados con tecnologías avanzadas como robótica quirúrgica, inteligencia artificial en diagnóstico y redes de telemedicina altamente desarrolladas. Se estima que más del 90% de los grandes hospitales chinos están	A pesar de las mejoras recientes, el equipamiento avanzado todavía es limitado a ciertos hospitales (por ejemplo, Hospital El Salvador y Hospital Nacional Rosales). Se estima que 30% - 40% de los

Aspecto analizado	República Popular de China	El Salvador
	equipados con tecnologías de última generación.	hospitales están modernizados con tecnología avanzada.
Uso de inteligencia artificial y datos médicos	Es líder en la implementación de inteligencia artificial en el sector salud, incluyendo análisis de big data y aplicaciones de telemedicina. Al menos un 80% de los hospitales grandes en China usan estas tecnologías regularmente.	La adopción de inteligencia artificial está en etapas iniciales, con aplicaciones limitadas a pocos hospitales (menos del 10%).
Cobertura y accesibilidad tecnológica	Gracias a su red de telemedicina, más del 70% de las áreas rurales tienen acceso indirecto a servicios avanzados disponibles en ciudades grandes.	Las mejoras se concentran en zonas urbanas y hospitales grandes, con una cobertura más limitada en áreas rurales. Esto podría colocarse en un rango del 20% - 30% en términos de accesibilidad tecnológica.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo antes definido, se establece un lineamiento de análisis donde se toma como referencia el 35% del ahorro en tiempo de cirugía en China, el cual es adaptable a la realidad del país. Para establecer este análisis se considera una evaluación de los aspectos con una puntuación de 1 a 5; donde:

- Calificar con uno implica que el aspecto es poco desarrollado en el país.
- Calificar con dos significa que se han establecido puntos de partida de mejoras en el aspecto evaluado.
- El calificar el aspecto con tres implica que se han desarrollo implementaciones en el aspecto, pero en dimensiones consideradas.

- El valor cuatro considera que ya se establecieron grandes mejoras y ha evaluado su correcta funcionalidad.
- El valor cinco corresponde a que el aspecto se implementó y cumple con una adaptabilidad del 100% al sistema.

Considerando los valores anteriores se establece la siguiente evaluación por medio de la siguiente tabla de evaluación de los aspectos comparativos:

Tabla 170: Evaluación y comparación de aspectos en el área de la Salud

Aspecto analizado	República Popular de China	El Salvador
Infraestructura y equipamiento	5	2
Uso de inteligencia artificial y datos médicos	5	1
Cobertura y accesibilidad tecnológica	5	2
Total	**15**	5
Porcentaje	**75%**	25%

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se considera que con la adaptabilidad del 75% que posee la República de China donde se tiene un ahorro en tiempo de cirugías del 35%, el cual sería el referente para El Salvador que tiene una adaptabilidad de los aspectos evaluados igual al 25% considerando así un ahorro en tiempo de cirugía de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{Ahorro = \frac{(porcentaje\ de\ adaptabilidad\ del\ pais)\ x\ (Porcentaje\ de\ ahorro\ china)}{Porcentaje\ de\ adaptabilidad\ de\ China}}$$

$$\boldsymbol{Ahorro = \frac{0.25\ x\ 0.35}{0,75}\ x\ 100 = 11.67\%}$$

En base a lo antes calculado, se establece un **ahorro en tiempo de cirugía del 11.67% para El Salvador**, teniendo en cuenta su nivel de adaptabilidad en cuanto a los aspectos de mejoras que han sido comparados.

11.8.3. Proyección de tiempos de cirugías

En el presente apartado, se presentan la proyección de tiempos actuales (sin impresión 3D), mejores tiempos (con impresión 3D) y la reducción (diferencia) de tiempos en horas, de cirugías cardiacas usando como referencia los datos del procedimiento aortic cross-clamp, sin embargo, se considera oportuno, mostrar en paralelo el mismo análisis para los tiempos del procedimiento By-pass. **Se recalca que el tiempo primordial y seleccionado es el asociado al procedimiento aortic cross-clamp.**

Tiempos normales de cirugía cardíaca

Tomando en cuenta la demanda proyectada en el diseño detallado y los tiempos estimados de procedimientos se calculan las proyecciones de tiempos normales o actuales usando la siguiente relación.

$$tiempo\ normal = tiempo\ de\ 1\ cirugía * demanda\ anual$$

Y el tiempo de cirugía con planificación apoyada por impresión 3D se calcula según la siguiente relación:

$$Tiempo\ de\ cirugíua\ planificadas\ con\ impresión\ 3D = Tiempo\ normal\ x\ (1 - \%\ de\ ahorro\ de\ tiempos)$$

Y, por consiguiente, se presentan las proyecciones de tiempos normales (sin impresión 3D), los tiempos de cirugías cuando se planifica con impresión 3D y el ahorro de tiempo el cual es la diferencia aritmética de los dos primeros.

Proyección de tiempos de cirugías relacionados al procedimiento aortic cross-clamp o pinzamiento cruzado aórtico.

Tabla 171: Proyección de tiempos para cirugías relacionadas con procedimiento aortic cross-clamp

Año	Tiempo normal	Tiempo cirugía planificada con impresión 3D	Ahorro
	horas	horas	horas
1	1,440.99	1,272.83	168.16
2	1,404.54	1,240.63	163.91
3	1,406.97	1,242.78	164.19
4	1,499.31	1,324.34	174.97
5	1,523.61	1,345.80	177.81
TOTAL	7,275.42	6,426.38	849.04

Fuente: Elaboración propia

Se advierte, que son tiempo estimados, pues según diferentes autores, los tiempos de una cirugía varían en función de las características del paciente, su anatomía, estado de salud, condiciones crónicas, recursos disponibles, experiencia del equipo de cirujanos, instalaciones, y por muchas otras razones.

11.8.4. Establecimiento de costos de cirugía

Según el Ministerio de Salud de El Salvador (2015), el costo de una operación[23] a corazón abierto ronda entre los $8,000 y $15,000, (además, estiman que el costo asciende a los $30,000 al sumar los servicios de hospitalización y tratamientos), por otro lado, el Instituto Salvadoreño del Seguro Social (2022), expone que las cirugías para realizar implante de válvulas aorticas [24] tienen un valor que oscila en el rango de $22,000 a $28,000. En un contexto regional, en Argentina para el 2006 el costo de las cirugías coronarias con circulación extracorpórea se estima

[23] Ministerio de Salud de El Salvador. (2015). *Operación a corazón abierto*. Facebook. https://www.facebook.com/salud.sv/photos/a.181487395207048/877026585653122/?type=3&locale=es_LA

[24] Instituto Salvadoreño del Seguro Social. (2022). ISSS primeros en el Sistema Nacional de Salud en realizar implantes de válvula aórtica. ISSS. https://www.isss.gob.sv/isss-primeros-en-el-sistema-nacional-de-salud-en-realizar-implantes-de-valvula-aortica/

en $9,000 y $12,500 en condiciones normales, obteniendo una media de $10,750, esto según Portal Regional da BVS (2006) [25]Con base a lo anterior.

Con base a lo anterior, primero se establece que los rangos de referencia para este estudio serán de 8 mil a 15 mil dólares que es el caso de una cirugía a corazón abierto, además, a ese rango pertenece el valor de 10,750 dólares, por lo que se considera ***adoptar como dato de referencia general la media aritmética entre 8 mil y 15 mil, la cual es de 11,500 dólares.***

El cálculo del valor de cirugía/hora se realizó utilizando la siguiente relación:

$$Valor\ de\ cirugía/hora = \frac{Costo\ de\ cirugía}{Tiempo\ normal\ de\ cirugía}$$

Por lo tanto, utilizando como costo de cirugía de referencia el valor de $ 11,500, y los tiempos observados en el apartado anterior, los siguientes valores de cirugía / hora, que serán utilizado como factor de proyección de ahorros en los siguientes pasos.

Tabla 172: Valor de cirugía / hora.

Procedimiento quirúrgico	Tiempo normal (h)	Valor de cirugía/hora
Aortic cross-clamp (pinzamiento cruzado aórtico)	2.43	$ 4,732.51 / hora

Fuente: Elaboración propia

11.8.5. Proyección de ahorros en cirugías

Tomando como referencia la proyección de tiempos previamente calculada y el valor de cirugía por hora, se realizan las siguientes proyecciones de costos de cirugías utilizando la siguiente relación.

$$Proyección\ de\ costo\ por\ curgía = (valor\ de\ cirugía\ /\ hora)\ x\ (horas\ de\ cirugía)$$

[25] Portal Regional da BVS. (20066), Análisis de costos médicos y resultados de la cirugía coronaria sin circulación extracorpórea. bvsalud.org. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-447958

Proyecciones de costos de cirugías con base a datos de procedimiento aortic cross-clamp o pinzamiento cruzado aórtico.

Tabla 173: Proyección de costos normales, con impresión 3D y ahorros de cirugías.

Año	Costo de cirugía Normal	Costo de cirugía con planificación apoyada por impresión 3D	Ahorro
	$ / año	$ / año	$ / año
1	$6,819,500.00	$6,023,664.35	$795,835.65
2	$6,647,000.00	$5,871,295.10	$775,704.90
3	$6,658,500.00	$5,881,453.05	$777,046.95
4	$7,095,500.00	$6,267,455.15	$828,044.85
5	$7,210,500.00	$6,369,034.65	$841,465.35
TOTAL	$34,431,000.00	$30,412,902.30	$4,018,097.70

Fuente: Elaboración propia

11.8.6. Estado de flujo de efectivo

El flujo de efectivo es el resumen sistemático de la información sobre inversión inicial, capital de trabajo para la operación de los servicios, ingresos o para este caso ahorros y los costos de operación, por lo tanto, para la elaboración del flujo de efectivo del este proyecto aplicación de la Fabricación Digital.

Para la implantación de este modelo, se han realizado las siguientes consideraciones para tener en cuenta para el análisis del estado de flujo de efectivo del proyecto.

a) El inversionista es un hospital del sector público de El Salvador, o el Ministerio de Salud del mismo país, por lo tanto, pueden realizar la inversión inicial total o parcial (según los planes de inversión nacional) sin acudir a préstamos y por ende sin incurrir en pago de costos de capital, lo que se traducen el capital prestado igual a cero, costo de capital igual a cero y amortización de pago de capital igual a cero.

b) Que la implantación del modelo puede ser apoyada por otros proyectos de desarrollo internacional, traduciéndose en donaciones de equipos de impresión 3D, equipo computacional, mobiliario, capacitaciones técnicas especializadas u otro, o bien, con la donación de capital para inversión.

c) El costo de administración para el flujo de efectivo del proyecto es cero, pues se plantea que el modelo sea implantado en una unidad organizativa existente y con personal que puede ser asignado a impulsar el proyecto.

d) Que al ser un proyecto diseñado para el sector gubernamental no se aplican impuestos sobre la renta u otros de tipo fiscal – tributario.

El siguiente flujo de efectivo del proyecto muestra la información antes mostrada y todos los cálculos han sido realizados en Microsoft Office Excel, de manera sistemática y articulada, por lo tanto, los resultados pueden variar si se realizan los cálculos manualmente pues el sistema ha trabajado con más de 2 decimales.

Tabla 174: Estado de flujo de efectivo

HOPITAL TIPO: HOSPITAL NACIONAL ESPECIALIZADO DE NIÑOS "BENJAMÍN BLOOM" ESTADO DE FLUJO DE EFECTIVO ANUAL							
	RUBRO	año cero	1	2	3	4	5
=	**AHORRO TOTAL**		**$795,835.65**	**$775,704.90**	**$777,046.95**	**$828,044.85**	**$841,465.35**
-	**COSTO DE SERVICIO**		$40,817.08	$39,780.68	$39,845.24	$42,468.52	$43,148.12
-	**DEPRECIACIÓN**		$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84
=	**AHORRO BRUTO**		**$743,941.73**	**$724,847.38**	**$726,124.87**	**$774,499.49**	**$787,240.39**
-	**COSTOS FINANCIEROS**		$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00
=	**AHORRO NETO (*antes de impuestos*)**		**$743,941.73**	**$724,847.38**	**$726,124.87**	**$774,499.49**	**$787,240.39**
+	**DEPRECIACIÓN**		$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84	$11,076.84
-	**CAPITAL DE TRABAJO**		-$277,486.15	-$277,030.90	-$277,106.25	-$277,978.05	-$278,386.55
-	**INVERSION INICIAL**	-$186,711.45					
=	**FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO**	**-$186,711.45**	**$477,532.42**	**$458,893.32**	**$460,095.46**	**$507,598.28**	**$519,930.68**
FLUJO DE EFECTIVO FINANCIERO							
-	**AMORTIZACIÓN DE CAPITAL PRESTADO**		$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00
=	**FLUJO DE CAJA DE INVERSIONISTA**	**-$186,711.45**	**$477,532.42**	**$458,893.32**	**$460,095.46**	**$507,598.28**	**$519,930.68**

Fuente: Elaboración propia

11.9. Evaluación económica

En el presente apartado, todas las cifras monetarias obtenidas del estudio económico realizado anteriormente serán analizadas para determinar una rentabilidad económica del proyecto, por lo que, ahora la importancia radica en estudiar el valor del dinero en el tiempo, para ello se utilizarán dos índices mundialmente empleados y aceptados, el valor presente neto (VPN), la razón beneficio/costo (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR), para los cuales es requerido la tasa de descuento. Además, de los elementos antes mencionados, es conveniente realizar un análisis de sensibilidad, en el cual entra un nuevo factor, la tasa de inflación.

La importancia de este apartado radica en la necesidad de responder a la pregunta ¿el proyecto es rentable?, con lo cual se rechaza o se acepta realizar la inversión inicial y poner en marcha la implantación de este.

11.9.1. Tasa de descuento

Un proyecto está compuesto por la inversión inicial y por los futuros periodos de ingresos, costos y gastos, por lo tanto, para determinar si una inversión inicial es rentable o genera impactos positivos a la sociedad se deben comparar los beneficios y los costos en un mismo punto en la línea de tiempo, y ese punto en el tiempo debe ser el mismo momento en que se realiza la inversión inicial, conocido como periodo cero.

Para realizar la conversión de flujos de beneficios y costos al presente o periodo cero se utiliza una tasa de interés, conocida como tasa de descuento, el autor Meza Orozco (2013), lo describe como “el costo de oportunidad en que se incurre al tomar la decisión de invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en otras alternativas que nos pueda ofrecer el mercado financiero”.

Por otro lado, Baca Urbina (2010), lo contextualiza de la siguiente manera “Cuando se hacen cálculos de pasar, en forma equivalente, dinero del presente al futuro, se utiliza una i de interés o de crecimiento del dinero; pero cuando se quieren pasar cantidades futuras al presente,

como en este caso, se usa una ***tasa de descuento***, llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente, y a los flujos traídos al tiempo cero se les llama flujos descontados".

Para las evaluaciones se utilizará la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) como tasa de descuento, dicha tasa TMAR está compuesta por el premio al riesgo y la inflación media anual para este caso de El Salvador, está expresado en forma porcentual y su relación matemática es la siguiente.

$$TMAR = i + f + i * f$$

Donde, $i = Premdio\ al\ riesgo;\ f = Inflación\ media\ anual$

Premio al resigo

Representa el porcentaje de remuneración segura que el inversionista espera obtener al invertir en un proyecto, para este caso, es determinado a partir de un estudio de mercado de entidades financieras, a partir de las tasas nominales de interés de diferentes bancos, pues representan el costo de capital que recuperan al invertir o financiar proyectos.

Tabla 175: Tasa de interés nominal promedio en El Salvador.

Entidad financiera	Tasa de interés nominal
Banco de América Central, S.A.	22.00%
Banco Agrícola, S.A.	19.50%
Banco Hipotecario	25.00%
Banco Davivienda Salvadoreño, S.A.	21.25%
Banco de Fomento Agropecuario	20.00%
Banco Promerica, S.A.	22.34%
Promedio	**21.68%**

Fuente: Elaboración propia

La fuente información sobre las tasas de interés nominal fue obtenida de la Superintendencia del Sistema Financiero de El Salvador, en su resumen de los servicios financiero del país[26], publicado al 31 de octubre de 2024.

Por lo tanto, el premio al riesgo es igual a la tasa de interés nominal en El Salvador, pues es el costo de capital que los inversionistas esperan obtener de manera segura y confiable, siendo igual a 21.68%.

Inflación media anual

La tasa de inflación media anual en este caso fue calculada a partir de la evolución anual de la tasa de inflación en El Salvador[27] desde 2015 a 2023, con lo cual se establece un promedio que será tomado para el establecer la TMAR, resultando en una tasa de inflación media anual igual a 2.88%.

Tabla 176: Inflación media anual en El Salvador desde 2019 a 2023.

Año	2019	2020	2021	2022	2023	Promedio
T. inflación	0.07%	-0.37%	3.47%	7.20%	4.05%	2.88%

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de TMAR

Con base en los resultados obtenidos para la inflación media anual de los últimos años y el premio al riesgo se determina la tasa de descuento para las siguientes evaluaciones tal como se muestra, obteniendo una TMAR igual a 25.19%.

$$TMAR = i + f + i * f = 21.68\% + 2.88\% + (21.68\% * 2.88\%) = \mathbf{25.19}\%$$

[26] Superintendencia del Sistema Financiero. (2024). *Tasas de Interés Comisiones y Recargos*. Superintendencia del Sistema Financiero. https://ssf.gob.sv/descargas/tasas_int/tasas_1024.pdf

[27] Statista Research Department. (2024). *Evolución anual de la tasa de inflación en El Salvador desde 2015 hasta 2029.* Statista.com. https://es.statista.com/estadisticas/1190057/tasa-de-inflacion-el-salvador/

11.9.2. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto es el indicador que compara en el presente la inversión inicial, los ingresos y los egresos, dicho de otra forma, el valor presente neto es igual a restar del valor presente de ingresos el valor presente de egresos, lo que indica si el proyecto es rentable, es decir viable permitiendo así facilitar la toma decisión sobre si aceptar o no invertir en la implantación de un proyecto, y esa es la razón por la cual ha sido seleccionado para evaluar económicamente este proyecto.

Los criterios de para aceptar o rechazar un proyecto por medio de la VPN son los siguiente:

a) Cuando VPN es mayor a cero (VPN>0), el proyecto es rentable, se debe aceptar.
b) Cuando VPN es igual a cero (VPN=0), no genera rentabilidad, es indiferente aceptar o no el proyecto.
c) Cuando VPN es menor a cero (VPN<0), el proyecto no es rentable, se debe rechazar.

Para el caculo del VPN de este proyecto se utiliza el flujo de efectivo del proyecto, del cual se retoma el siguiente flujo.

Tabla 177: Resumen de flujo de efectivo del proyecto.

Año	Flujo de efectivo del proyecto
Inversión inicial	-$186,711.45
1	$477,532.42
2	$458,893.32
3	$460,095.46
4	$507,598.28
5	$519,930.68

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la siguiente relación matemática, a continuación, se presenta el resultado del indicador.

$$\text{VPN} = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1 + k)^t} - CF_0$$

Cf_0: Inversión inicial.
Cf_t: Flujo de efectivo en el periodo t.
t: Periodo t.
k: tasa equivalente al costo de capital.

TASA DE DESCUENTO (TMAR)	25.19%
VPN	$1,097,768.46

El resulta muestra que el VPN>0 ($1,097,768.46> 0) lo que indica que la propuesta de implantación del modelo para la aplicación del Fabricación Digital en la pre-operación quirúrgica es rentable, es viable, por lo tanto, el proyecto se acepta.

11.9.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

En el VPN tiene dependencia de la tasa de descuento, por lo que se requiere un segundo indicador para conocer sobre la conveniencia de invertir en un proyecto, es entonces donde entra en juego la tasa interna de retorno, pues es la tasa de interés pagada sobre los saldos de dinero tomado en préstamo o la tasa de rendimiento ganada sobre el saldo no recuperado de la inversión, el autor Meza Orosco (2013) lo define como “es la máxima tasa de interés a la que un inversionista estaría dispuesto a pedir prestado dinero para financiar la totalidad del proyecto, pagando con los beneficios (flujos netos de efectivo) la totalidad del capital y de sus intereses, y sin perder un solo centavo”.

Los criterios de para aceptar o rechazar un proyecto por medio de la TIR son los siguiente:

a) Cuando la TIR es mayor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe aceptar. El inversionista obtiene un rendimiento mayor del exigido; el inversionista gana más de lo que quería ganar.
b) Cuando la TIR es igual a la tasa de oportunidad, es indiferente emprender o no el proyecto de inversión.
c) Cuando la TIR es menor que la tasa de oportunidad, el proyecto se debe rechazar. El inversionista gana menos de lo que quería ganar.

Para el cálculo de la TIR se retoma el flujo de efectivo del proyecto antes calculado, el cual se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 48: Resumen de flujo de efectivo del proyecto.

Año	Flujo de efectivo del proyecto
Inversión inicial	-$186,711.45
1	$477,532.42
2	$458,893.32
3	$460,095.46
4	$507,598.28
5	$519,930.68

Fuente: Elaboración propia

Por medio de la siguiente relación matemática se calcula la TIR, y posteriormente se muestra el resultado para la evaluación económica de este proyecto.

$$TIR = \sum_{T=0}^{n} \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Qn: *flujo de caja en el periodo n*

n*: número de períodos*

I*: valor de la inversión inicial*

TASA DE DESCUENTO (TMAR)	25.19%
TIR	253.10%

El resultado de esta evaluación económica muestra una TIR de proyecto > Tasa de descuento (253.10%> 25.19%), lo que indica que la propuesta de implantación del modelo para la aplicación del Fabricación Digital en la pre-operación quirúrgica se debe aceptar, pues se obtiene un rendimiento mayor del exigido sobre la inversión inicial y el flujo de ingresos y egresos.

11.9.4. Análisis Beneficio – Costo

La relación de beneficio costo, o análisis costo-beneficio (ACB), consiste en la comparación de los beneficios obtenidos debido a la implantación de un proyecto contra los costos e inversión de este, este análisis es uno de los más utilizados en el sector público, además permite realizar una interpretación sencilla, por lo tanto, este análisis estudia la eficiencia de la inversión, y contribuye a visualizar si un proyecto es rentable o no.

La aplicación del ACB como herramienta de evaluación persigue como objetivo maximizar el bienestar social, promoviendo la asignación eficiente de los recursos.

Para aceptar o rechazar un proyecto utilizando el análisis costo – beneficio se utilizan los siguientes criterios.

a) Una razón B/C > 1, indica que los beneficios adicionales justifican el proyecto, siendo un proyecto rentable.
b) Una razón B/C = 1, significa que no hay ganancias ni pérdidas, el proyecto no es viable.
c) Una razón B/C < 1, indica que los costos e inversión sobre pasan a los beneficios, por lo que el proyecto no es rentable ni justificable.

La relación matemática utilizada para determinar la razón B/C es la siguiente.

$$B/C\,(i) = \frac{VAN\ Ingresos \quad (i)}{VAN\ Egresos \quad (i)}$$

$$B/C\,(i) = \frac{VAN\,(i)\ Ingresos\ \ Netos}{VAN\,(i)\ Inversiones\ +\ Costos\ Oper\ +\ Impuestos}$$

Por tanto, para el cálculo del Beneficio - Costo de este proyecto, se presentan los datos a utilizar, los cuales son los beneficios provenientes de los ahorros en costos, los costos de operación de los servicios, capital de trabajo e inversión inicial del proyecto.

Tabla 178: Resumen de ingresos, costos, capital trabajo del modelo.

Año	Total, Ingresos (ahorros)	Costos de operación	Capital de trabajo	Total, egresos
1	$795,835.65	$40,817.08	$277,486.15	$318,303.23
2	$775,704.90	$39,780.68	$277,030.90	$316,811.58
3	$777,046.95	$39,845.24	$277,106.25	$316,951.49
4	$828,044.85	$42,468.52	$277,978.05	$320,446.57
5	$841,465.35	$43,148.12	$278,386.55	$321,534.67
Inversión inicial			**$186,711.45**	

Fuente: Elaboración propia

Al calcular el valor presente neto de los ingresos (ahorros) y del total de egresos (costos de operación + capital de trabajo) proyectados para los próximos cinco años, los resultados son los siguientes.

Tasa de descuento (TMAR)	25.19%
VPN Ingresos	$2,137,402.47
VPN Egresos	$852,948.35
VPN Egresos + Inversión inicial	$1,039,659.80
Razón Beneficio / Costo	2.06

Siendo resultado de la razón beneficio costo igual a 2.06, por lo que el proyecto es rentable, eficiente y justificable económicamente, dado que B/C > 1, además, la razón indica que por cada $1 invertido en el modelo de aplicación de Fabricación Digital en la pre-operación quirúrgica, se obtienen $2.06 de beneficio provenientes de los ahorros de costos en un periodo de 5 años.

11.9.5. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consistirá en determinar que su cede con el VPN, TIR y ACB del proyecto al incorporar la incertidumbre en las proyecciones de beneficios y egresos del proyecto, por medio de la modificación de variables claves de dichas proyecciones, creando así nuevos flujos de caja de proyecto, este análisis es incorporado a esta evaluación económica debido a la importancia de conocer diferentes escenarios lo que afecta en la decisión sobre si es conveniente invertir en el proyecto.

Se plantean dos escenarios que muestran condiciones adversas, los cuales son los siguientes:

Escenario 1: Aumento en la inversión inicial

Dado que las evaluaciones económicas anteriores demuestran la rentabilidad del proyecto, se modificarán los costos unitarios de los diferentes activos de inversión inicial para prever si el proyecto continuará siendo rentable incluso en dichas condiciones. Las principales características de este escenario son:

a) Una inversión inicial mayor debido al aumento de costos de equipos, mobiliarios y herramientas debido a la inflación mundial.
b) Aumento del capital de trabajo debido a los aumentos en los cotos anuales de material directo e insumos debido a las proyecciones de inflación mundial.
c) Para el año 2025, según Fernández R. (2024), en su publicación Tasa de inflación a nivel mundial de 2015 a 2028 para el año 2025 se espera tener una tasa de inflación del 4.40%, dato que será utilizado en este análisis de sensibilidad.

Escenario 2: Disminución en el porcentaje de ahorro de tiempos en cirugías.

La variable critica para estudiar el ahorro en costos es el porcentaje de ahorro de tiempos de cirugía, que para este escenario se propone estudiar diferentes valores de la variable critica para determinar hasta qué punto el modelo es beneficioso. La principal característica del escenario es:

a) Variación en los ahorros de costos de operación, como producto de la disminución en el porcentaje de ahorro en tiempos de cirugía cardíacas, lo cual ha sido relacionado a la planificación quirúrgica con impresiones 3D.

11.9.5.1. Desarrollo de Escenario 1: Aumento en la inversión inicial

En este caso, se plantea un aumento de los costos unitarios de todos los componentes de la inversión en activos fijos tangibles e inversión en fletes debido a la tasa de inflación para el año 2025 (*4.40%*). Se debe destacar que, al aumentar el costo unitario de mobiliario y herramientas, el valor de depreciación también aumenta, a continuación, se muestran los desgloses de inversión en activos tangibles y su impacto en la depreciación.

Tabla 179: Inversión en activos tangibles con inflación

Inversiones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario		Costo Total
			Referencia	Con Inflación	
Mobiliario					$7,328.88
Escritorio de trabajo, superficie de melamina (1,2 x 0,75 x 0,75) m	4	unidad	$170.00	$177.48	$709.92
Sillas ergonómicas de trabajo, 280 lb, altura de 90 cm	10	unidad	$175.00	$182.70	$1,827.00
Mesas de trabajo de acero (124 x 0,6 x 0,9)	14	unidad	$260.00	$271.44	$3,800.16
Estante metálico para almacenamiento, (180x90x40 cm)	2	unidad	$130.00	$135.72	$271.44
Armario para almacenamiento	1	unidad	$690.00	$720.36	$720.36
Herramientas					$315.39
Espátulas plásticas de 4 pulgadas.	6	unidad	$1.40	$1.46	$8.77
Alicate metálico de punta larga	6	unidad	$7.55	$7.88	$47.29
Pinza metálica larga y curva (11 pulgadas)	6	unidad	$5.50	$5.74	$34.45
Escalpelo de acero inoxidable	6	unidad	$4.15	$4.33	$26.00
Bandeja de acero inoxidable	6	unidad	$20.50	$21.40	$128.41
Atomizador de sustancias, capacidad de 32 onzas.	6	unidad	$3.25	$3.39	$20.36
Recipiente medidor de volumen (escala en L, mL, onzas)	6	unidad	$1.00	$1.04	$6.26
Filtros para resina SLA	6	conjunto	$7.00	$7.31	$43.85
Equipo de Protección personal					$643.47
Respiradora con filtro	8	unidad	$42.00	$43.85	$350.78
Mascarilla de carbón activado	10	50 u/caja	$2.50	$2.61	$26.10
Guante de nitrilo libre de látex	5	100 u/caja	$11.95	$12.48	$62.38
Bata de protección	6	unidad	$30.00	$31.32	$187.92
Gafas de seguridad	8	par	$1.95	$2.04	$16.29
Equipo					$78,250.89

Inversiones	Cantidad	Unidad	Costo Unitario		Costo Total
			Referencia	Con Inflación	
Equipo informático (Computadoras)	4	equipo	$1,500.00	$1,566.00	$6,264.00
Impresora 3D SLA	6	equipo	$6,795.83	$7,094.85	$42,569.08
Limpiadora de resina	2	equipo	$6,343.50	$6,622.61	$13,245.23
Máquina de post curado de resina	2	equipo	$6,080.50	$6,348.04	$12,696.08
Sistema de aire acondicionado - Evaporador y condensador	1	equipo	$700.00	$730.80	$730.80
UPS, 120 VCA, capacidad 1000 - 1500 va	10	equipo	$75.00	$78.30	$783.00
Purificador de aíre para gases de impresión 3D	6	equipo	$313.33	$327.12	$1,962.70
INVERSIÓN EN ACTIVOS TANGIBLES					**$86,538.63**

Fuente: Elaboración propia

Se observa un aumento de $2,839.25 respecto al valor inicial de referencia, cuando no se toma en cuenta la tasa de inflación. Además, se muestra el nuevo resumen de depreciación el cual es afectado por el aumento de costos unitarios de activos fijos.

Tabla 180: Aumento en depreciaciones

Equipo de servicios	D/año *de referencia*	D/año *más inflación*
Mobiliario	$1,404.00	$1,465.78
Computadoras	$1,020.00	$1,064.88
Impresora 3D	$4,951.25	$5,169.10
Equipo de Lavado	$1,540.56	$1,608.35
Equipo de Post curado	$1,476.69	$1,541.67
Sistema de Aire Acondicionado	$58.33	$60.90
UPS	$150.00	$156.60
Purificador de aire	$1,880.00	$1,962.70
TOTAL	**$11,076.84**	**$11,564.20**

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la nueva inversión inicial total del proyecto asciende a un monto de $190,358.63. Donde la inversión en softwares y capacitaciones no han sufrido cambios. El aumento en inversión inicial total es igual a $ 3,647.18.

Aumento en capital de trabajo

Para este aumento, primero se muestra la proyección tasa de inflación para los próximos años, según la publicación de Fernández R. (2024).

Tabla 181: Tasa de inflación para los próximos 5 años

Año	2025	2026	2027	2028	2029
Tasa de inflación	4.40%	4.23%	3.94%	3.83%	3.12%

Fuente: Fernández R. (2024). Tasa de inflación a nivel mundial de 2015 a 2028. Statista. https://es.statista.com/estadisticas/495587/tasa-de-inflacion-global-respecto-al-ano-anterior/

A continuación, se muestra la proyección de capital de trabajo anual, debido al aumento en los costos unitarios de materiales directos e insumos debido a la tasa de inflación de 2025 igual a 4.40%.

Tabla 182: Capital de trabajo con aumento debido a la tasa de inflación

año	Capital de trabajo de referencia	Capital de trabajo con inflación
1	$277,486.15	$278,186.61
2	$277,030.90	$277,685.04
3	$277,106.25	$277,718.51
4	$277,978.05	$278,606.61
5	$278,386.55	$278,912.01

Fuente: Elaboración propia

Resultados del escenario

Al trabajar con las proyecciones de inversión inicial, y los anteriores niveles de ahorro en costos el proyecto muestra los siguientes resultados.

Indicador	Referencia	Con inflación
TASA DE DESCUENTO (TMAR)	25.19%	25.19%
VAN	$1,097,768.46	$1,092,405.54
TIR	253.10%	247.84%
Razón Beneficio/Costo	2.06	2.05

Se observa, según los indicadores de evaluación económica, que el proyecto continúa siendo rentable y justificable aun con el aumento de la inflación sobre la inversión inicial, capital de trabajo y depreciaciones, pues la variación es mínima, observando una disminución en VAN igual a $5,362.92.

11.9.5.2. Desarrollo de Escenario 2: Disminución en los beneficios

Como el escenario 1 ha demostrado, los ahorros de costos tienen la capacidad de continuar absorbiendo una inversión inicial mucho mayor, pero para el inversionista un monto mayor deja de ser atractivo, por lo tanto, se plantea un nuevo escenario, en el cual el porcentaje de ahorro de tiempo de cirugía disminuye, afectando a los ahorros en costo de cirugías o, dicho de otra forma, disminuyendo los ingresos.

Con base a las condiciones del escenario 1, en el que existe un aumento en inversión inicial debido a la inflación, se presenta una proyección de los ahorros, los cuales varían función del porcentaje de ahorro del tiempo de cirugías como consecuencia de realizar la planificación quirúrgica con impresión 3D. Inicialmente, se ha planteado un porcentaje de reducción del 11.67% para El Salvador, pero a continuación se presentan como varían los ahorros en unidades monetarias cuando dicho porcentaje disminuye.

Tabla 183: Ahorros en costos en función de porcentaje de reducción de tiempos de cirugías

% en ahorro de tiempos de cirugías	10%	9%	8%
Año	$ / año		
1	$681,950.00	$613,755.00	$545,560.00
2	$664,700.00	$598,230.00	$531,760.00
3	$665,850.00	$599,265.00	$532,680.00
4	$709,550.00	$638,595.00	$567,640.00
5	$721,050.00	$648,945.00	$576,840.00

% en ahorro de tiempos de cirugías	7%	6%	5%
Año	$ / año		
1	$477,365.00	$409,170.00	$340,975.00
2	$465,290.00	$398,820.00	$332,350.00
3	$466,095.00	$399,510.00	$332,925.00
4	$496,685.00	$425,730.00	$354,775.00
5	$504,735.00	$432,630.00	$360,525.00

Fuente: Elaboración propia

Resultado de análisis de sensibilidad

Para el cálculo de los resultados finales de VPN, TIR y razón B/C, se utilizó la misma estructura de flujo de efectivo de proyecto mostrada anteriormente y se le modificaron los valores en inversión inicial, depreciación, capital de trabajo y las proyecciones de ahorros en costo de cirugías, como producto de reducción en los tiempos de cirugías cardiacas afectadas a su vez por la planificación quirúrgica con impresiones 3D como principal herramienta de la Fabricación Digital, todos los cálculos fueron realizaos en el software Microsoft Excel.

Durante el análisis se observa que al aplicar un porcentaje de reducción del 5.0% en los tiempos de cirugías cardiacas, tanto VPN como TIR indican que el modelo deja de ser rentable, y se determina que el valor más cercano en convertir VPN igual a cero es 5.7057%, y es evidente que al incorporar más decimales tanto VPN como TIR llegarán al punto donde la rentabilidad es nula y la implantación del proyecto es indiferente. Se debe recodar que ha seleccionado una tasa de descuento igual a 25.19%.

Tabla 184: Resultados de análisis de sensibilidad

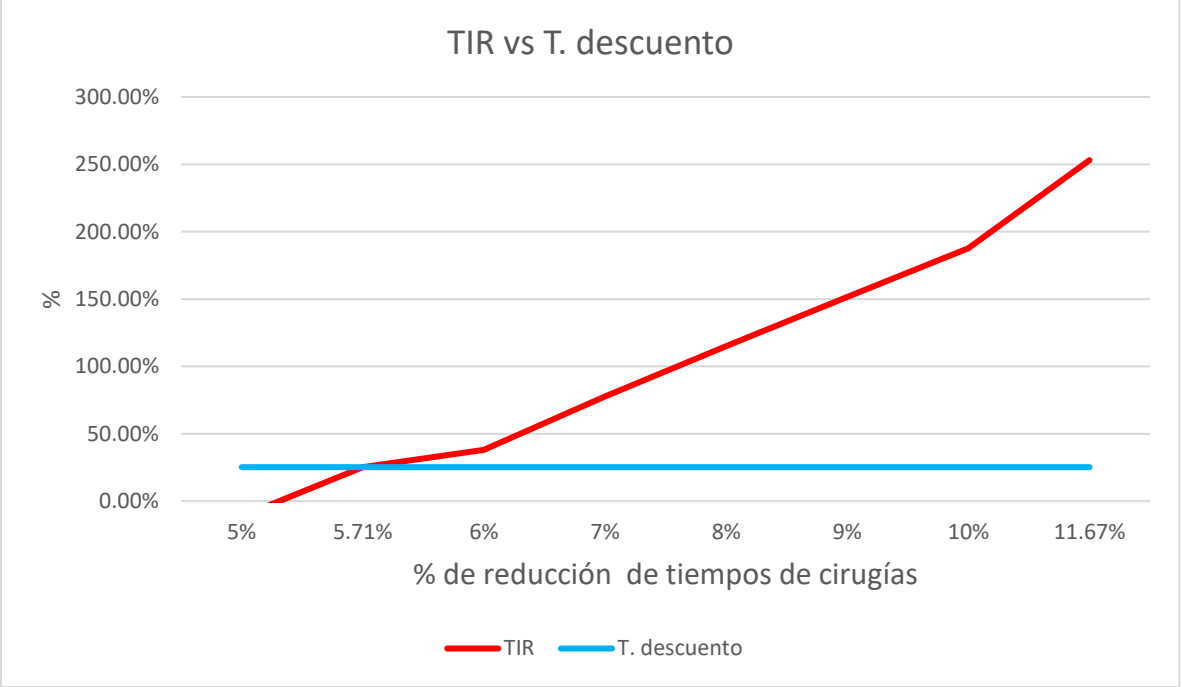
% en reducción de tiempos de cirugías	**VPN**	**TIR**	**Razón B/C**	**Estado**
11.67%	$1,097,768.46	253.10%	2.06	Rentable
10%	$786,532.93	187.77%	1.75	Rentable
9%	$603,375.67	151.60%	1.58	Rentable

% en reducción de tiempos de cirugías	VPN	TIR	Razón B/C	Estado
8%	$420,218.42	115.07%	1.40	Rentable
7%	$237,061.17	77.68%	1.23	Rentable
6%	$53,903.92	37.95%	1.05	Rentable
5.7057%	$0.74	25.19%	1.00	No rentable
5%	-$129,253.34	-11.32%	0.876	Perdidas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica se observa la curva de TIR vs la tasa de descuento (TMAR)

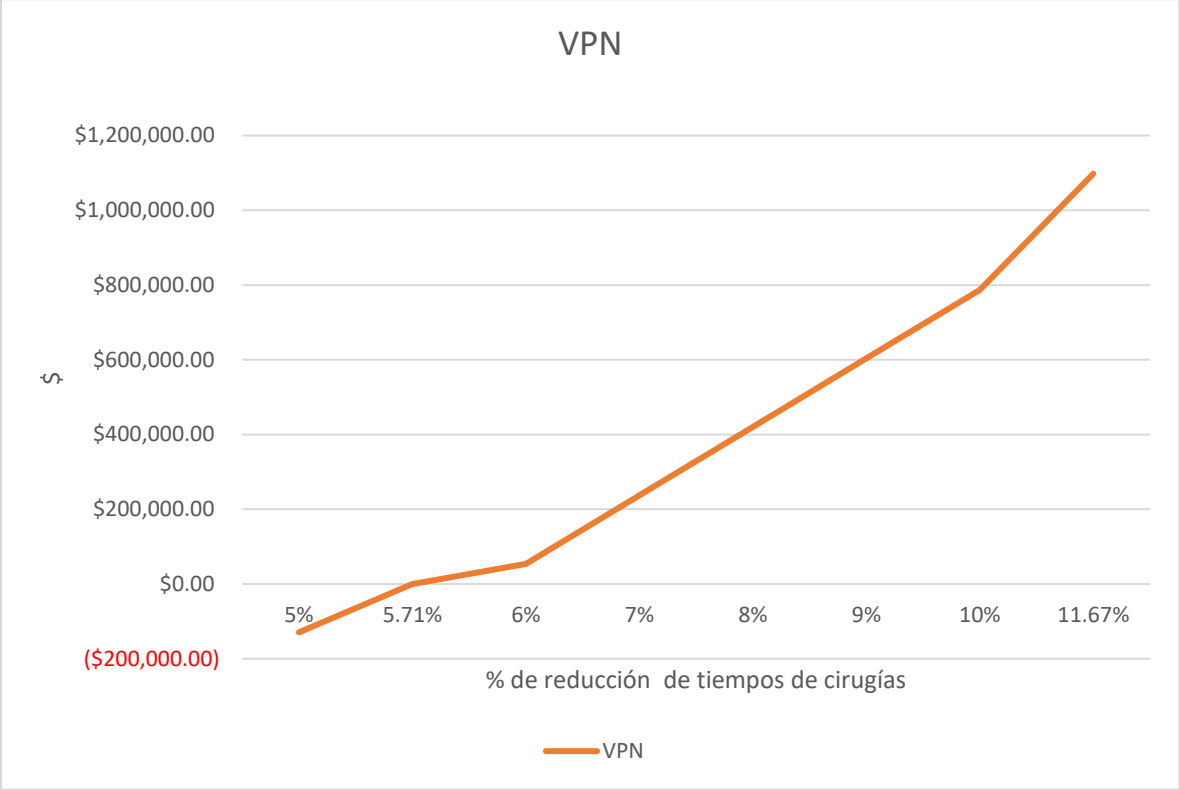
Ilustración 164: TIR vs Tasa de descuento - Análisis de sensibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

La segunda gráfica ilustra el comportamiento de VPN con los cambios de porcentaje de ahorro de tiempos de cirugías cardiacas. Con el apoyo de Excel, se concluye que entre los valores 2.175% y 2.16% VPN es igual a cero.

Ilustración 165: VPN - Análisis de sensibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Con base a los resultados anteriores, las condiciones antes establecidas, y tomando como la variable critica más determinante el porcentaje de ahorro de tiempos de cirugías cardíacas la cual se traduce en ahorros de costos únicamente del momento de la cirugía, el modelo para la aplicación de la Fabricación Digital en el marco de la pre operación quirúrgica en el área de cardiología es rentable solo para porcentajes entre 11.67% a 6%, y definitivamente el modelo se debe rechazar si se proyectan reducciones de tiempos en cirugías menor a 5.7%.

11.10. Evaluación social

La evolución de la tecnología en el campo de la medicina ha permitido el desarrollo de herramientas innovadoras que mejoran significativamente la precisión y eficiencia de los procedimientos médicos. Una de estas innovaciones es la fabricación digital, específicamente la impresión 3D, que ha comenzado a tener un impacto considerable en diversas especialidades,

incluida la cardiología. En el contexto preoperatorio, la capacidad de fabricar modelos anatómicos exactos a partir de imágenes médicas permite a los cirujanos planificar procedimientos complejos con mayor detalle y precisión. Esto es especialmente relevante en cirugías cardiacas pediátricas, donde cada corazón presenta una estructura única y las decisiones quirúrgicas deben ser meticulosamente calculadas.

Para la evaluación social de la implementación de la fabricación digital en el contexto preoperatorio de pacientes con cardiopatías en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom, es esencial considerar los impactos sociales que esta tecnología podría generar. La fabricación digital, en particular la impresión 3D, ha demostrado su potencial para mejorar la planificación quirúrgica, reducir errores y optimizar los recursos hospitalarios. Sin embargo, su adopción en un sistema de salud público como el de El Salvador plantea desafíos relacionados con el costo de implementación, accesibilidad y equidad en la atención. Este análisis busca determinar la viabilidad de integrar esta tecnología en el hospital, evaluando los costos, beneficios a largo plazo y su influencia en la calidad de vida de los pacientes, así como su impacto en la eficiencia y sostenibilidad del sistema de salud.

11.10.1. Panorama económico del sistema de salud

Pare analizar las propuestas de implementación de la fabricación digital en el entorno de la medicina, se debe de tener en cuenta que el panorama de inversión en el sector salud de El Salvador resalta la importancia y viabilidad de destinar recursos a proyectos innovadores como que para el estudio se enfoca en la fabricación digital en medicina, específicamente en áreas como la cardiología pediátrica en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom. El aumento presupuestario, especialmente en 2023, refleja un ambiente favorable para la adopción de nuevas tecnologías que mejoren los servicios médicos y la atención preoperatoria. Las inversiones actuales y futuras en salud permiten prever un entorno donde las tecnologías

emergentes, como la impresión 3D, puedan integrarse en los protocolos médicos para ofrecer soluciones personalizadas y mejorar los resultados clínicos.

Según el portal de transparencia del gobierno nacional, se puede destacar que las inversiones presupuestadas para el Ministerio de Salud de El Salvador durante los últimos cuatro años presentan un panorama que ayuda a comprender la evolución económica que influye en la toma de decisiones estratégicas para la evolución de la medicina en diferentes aspectos, teniendo en cuenta esto se presenta lo siguiente:

Análisis de la presupuestación en inversiones de los últimos cuatros para el sistema de salud.

Tabla 185: Montos presupuestados en los últimos años para el sector salud.

Inversiones presupuestadas	
Años	**Monto**
2021	$ 96,935,235.00
2022	$ 137,380,340.00
2023	$ 158,477,950.00
2024	$ 149,854,090.00

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 166: Grafica del comportamiento del presupuesto al área de salud en los últimos 4 años.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede mencionar que:

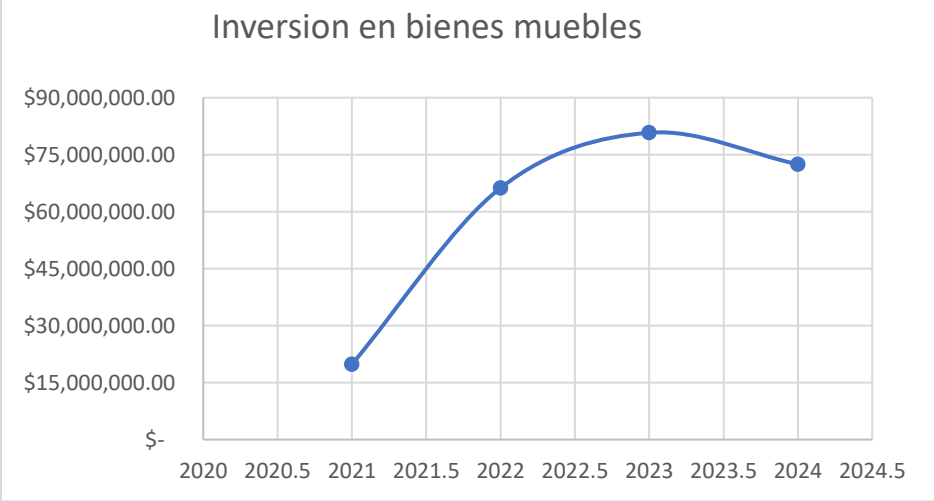
- En 2021, las inversiones alcanzaron un monto de $96,395,235.00, un punto de partida moderado que refleja el esfuerzo inicial por impulsar mejoras en el sistema de salud.
- 2022 muestra un aumento significativo a $137,380,340.00, un incremento que probablemente responde a la necesidad de mejorar infraestructuras y capacidades médicas, posiblemente en el contexto de la respuesta a la pandemia de COVID-19 y la modernización de servicios.
- 2023 es el año con el mayor presupuesto de los cuatro, alcanzando $158,477,950.00, lo cual sugiere un fuerte compromiso hacia la inversión en el sector salud, alineado con políticas de innovación y adopción de nuevas tecnologías en la medicina

- En 2024, aunque el monto proyectado disminuye ligeramente a $149,854,090.00, sigue siendo considerablemente alto en comparación con 2021 y 2022, lo que refleja la consolidación de los esfuerzos invertidos en los años previos, esto puede permitir que, dentro de las mejoras al sistema de salud, en futuros años involucre la implementación de nuevas tecnologías como la impresión 3D en cirugías preoperatorias y personalización de prótesis.

Teniendo en cuenta como se ha ido involucrando las inversiones en los últimos 4 años, se debe tener en cuenta que la distribución del presupuesto asignado en cuatro categorías clave para la innovación médica en El Salvador: bienes muebles, intangibles, infraestructura, y capital humano. Estas inversiones son vitales en la búsqueda de la implementación de nuevas tecnologías como la fabricación digital en medicina, por lo que se puede definir lo siguiente:

a) Montos presupuestados en las inversiones de bienes muebles

Ilustración 167: Grafica del comportamiento de las inversiones en bienes muebles.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 186: Comportamiento de los presupuestos en bienes muebles últimos 4 años.

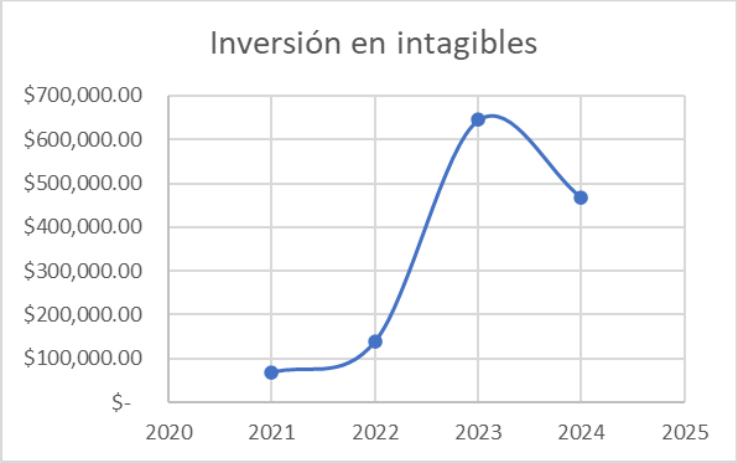
Inversiones en bienes muebles	
Años	Monto
2021	$ 19,811,690.00
2022	$ 66,237,665.00
2023	$ 80,768,686.00
2024	$ 72,466,915.00

Fuente: Elaboración propia.

La inversión en bienes muebles muestra un aumento considerable desde 2021, alcanzando su punto máximo en 2023 con más de $80 millones. Esto refleja un enfoque en la adquisición de equipos y tecnologías médicas durante estos años, necesarios para modernizar el sistema de salud. Aunque en 2024 hay una disminución, el nivel de inversión sigue siendo elevado, lo que indica la consolidación de la infraestructura médica ya adquirida. Esta categoría puede incluir la compra de impresoras 3D y otros equipos tecnológicos para la fabricación digita.

b) Montos presupuestados para inversiones en intangibles

Ilustración 168: Grafica del comportamiento de las inversiones en intangibles últimos 4 años.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 187: Inversiones en los últimos años en intangibles.

Inversión en intangibles	
Años	Monto
2021	$68,000.00
2022	$139,720.00
2023	$644,900.00
2024	$468,325.00

Fuente: Elaboración propia.

Las inversiones en intangibles, que incluyen patentes, software y conocimiento, también muestran un aumento, particularmente en 2023. Esta categoría es fundamental para la adopción de tecnologías de fabricación digital, dado que el software especializado es una parte crucial de la impresión 3D y la creación de modelos médicos personalizados. Aunque se proyecta una disminución en 2024, el crecimiento sostenido hasta 2023 refleja la prioridad dada a las innovaciones basadas en conocimiento.

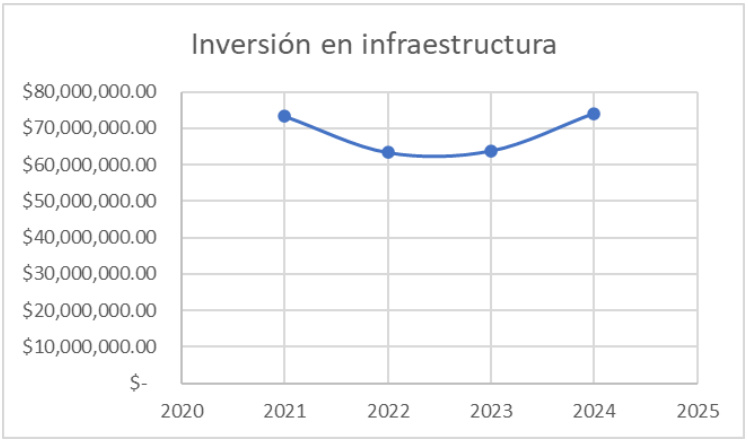
e) Montos presupuestados para infraestructuras.

Tabla 188: Inversión enfocada en infraestructura

Inversión en infraestructura	
Años	**Monto**
2021	$ 73,233,170.00
2022	$ 63,373,675.00
2023	$ 63,849,379.00
2024	$ 74,115,280.00

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 169: comportamiento de las inversiones en infraestructura para el sector salud.



Fuente: Elaboración propia.

La inversión en infraestructura sigue un patrón relativamente estable, con ligeras fluctuaciones. Después de un descenso en 2022, vuelve a aumentar en 2024, lo que sugiere un enfoque continuo en mejorar las instalaciones hospitalarias y laboratorios, lo que puede facilitar

la implementación de tecnologías de fabricación digital. La infraestructura es esencial para asegurar que estas tecnologías funcionen en entornos seguros y eficientes.

f) Montos presupuestados en mejora del capital humano

Tabla 189: inversiones en capital humano

Inversión en Capital humano	
Años	**Monto**
2021	$ 3,822,375.00
2022	$ 7,629,280.00
2023	$ 13,214,985.00
2024	$ 2,803,570.00

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 170: comportamiento de las inversiones para el capital humanos



Fuente: Elaboración propia.

El capital humano es la inversión en capacitación y formación de profesionales médicos y técnicos. Esta área experimenta un pico en 2023 con más de $13 millones, posiblemente para capacitar al personal en el uso de nuevas tecnologías como la fabricación digital y la impresión 3D. Sin embargo, hay una drástica caída en 2024, lo que podría indicar que la mayor parte de la formación ya ha sido realizada. La inversión en la formación de especialistas es vital para garantizar la implementación exitosa de la tecnología en el contexto médico.

El análisis general del presupuesto sugiere que la mayor parte de los recursos ha sido dirigida a la adquisición de bienes muebles e infraestructura, lo que es coherente con el enfoque en modernizar hospitales y adquirir equipos médicos avanzados. Sin embargo, también se ha invertido en la adquisición de software y en la formación del capital humano, ambos esenciales para implementar la fabricación digital en la medicina.

Este panorama muestra que existen las bases necesarias para introducir la fabricación digital en el sistema de salud. Las inversiones previas en bienes, software, infraestructura y personal califican como el entorno adecuado para impulsar la impresión 3D en aplicaciones preoperatorias y en la personalización de dispositivos médicos.

11.10.2. Población beneficiada por el proyecto

La aplicación de la fabricación digital, especialmente la impresión 3D, en el ámbito de la cardiología pediátrica en El Salvador, representa una innovación transformadora para la atención de los pacientes. Dada la prevalencia de cardiopatías congénitas en el país, principalmente atendidas en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom, esta tecnología permite a los médicos crear modelos anatómicos precisos de los corazones de los niños. Esto mejora la planificación quirúrgica y la capacitación del personal médico, reduciendo riesgos y mejorando los resultados.

La población beneficiada incluye a niños que padecen diversas malformaciones cardíacas y requieren intervenciones complejas. En el contexto de El Salvador, donde las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de morbimortalidad infantil, la impresión 3D ofrece una herramienta vital para mejorar la atención. Con el apoyo de iniciativas de salud pública, se espera que estas soluciones tecnológicas sean cada vez más accesibles, permitiendo un tratamiento más personalizado y preciso. Teniendo en cuenta lo antes descritos se plantean los siguientes puntos:

a) Niveles de natalidad del país

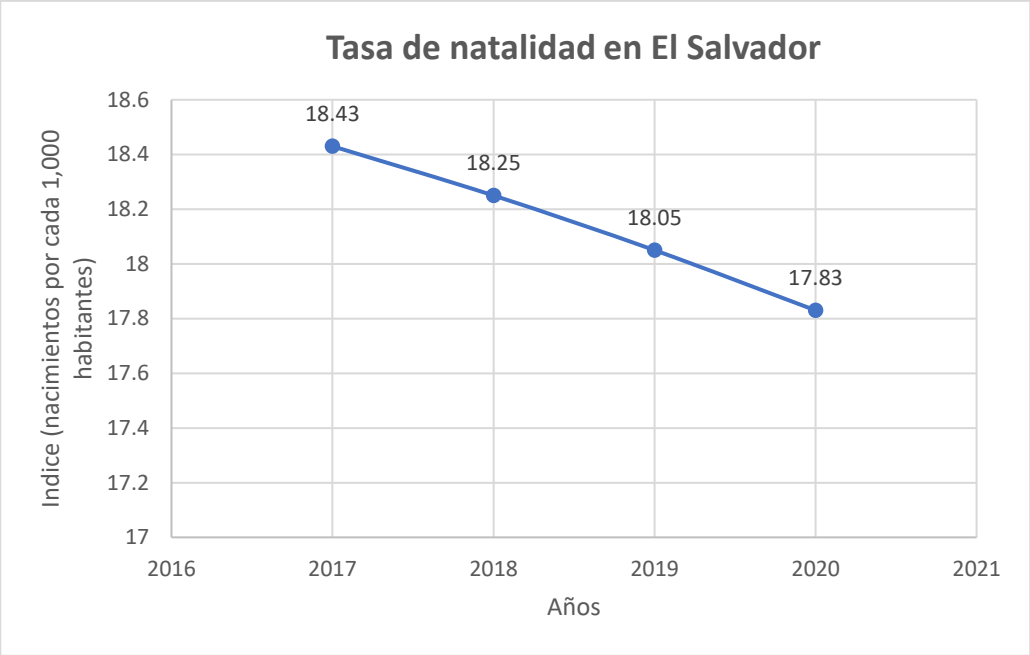
En los últimos cuatro años, la tasa de natalidad en El Salvador ha mostrado una tendencia a la baja, en base a datos analizados por información del Banco Central de Reserva (BRC), con el cual el sitio “índex mundo” presenta un análisis del comportamiento de la población en este

ámbito. Los datos más recientes proporcionados por el sitio antes mencionado indican lo siguiente:

- 2020: 17.83 nacimientos por cada 1,000 habitantes.
- 2019: 18.05 nacimientos por cada 1,000 habitantes.
- 2018: 18.25 nacimientos por cada 1,000 habitantes.
- 2017: 18.43 nacimientos por cada 1,000 habitantes.

Estos valores reflejan una disminución constante en la tasa de natalidad, en línea con las tendencias demográficas observadas en otros países de la región

Ilustración 171: Grafica del comportamiento del índice de natalidad en el país.



Fuente: Elaboración propia.

Es evidente al analizar los datos de los últimos años encontrados en fuentes de información secundarias, que la tasa de natalidad en El Salvador durante los últimos años revela una tendencia descendente, similar a la observada en muchos países en desarrollo. Desde 2017 hasta 2020, la tasa de nacimientos ha caído de 18.43 a 17.83 nacimientos por cada 1,000 habitantes, este análisis proporcionado bajo los datos encontrados en el sitio grupo banco

mundial, que toma como referente División de Población de las Naciones Unidas. Perspectivas de la población mundial: revisión para 2022 Informes de censos y otras publicaciones estadísticas de oficinas nacionales de estadística, Eurostat: Estadísticas Demográficas.

Factores que influyen en la reducción de la natalidad:

- Cambio en patrones socioeconómicos: El crecimiento económico, el aumento de la urbanización y la mejoría en la educación, especialmente entre las mujeres, han contribuido a una menor tasa de natalidad.
- Acceso a métodos anticonceptivos: Se ha incrementado la disponibilidad de métodos anticonceptivos y la educación sobre planificación familiar, lo que ha influido en la reducción de nacimientos.
- Transición demográfica: El Salvador se encuentra en una fase de transición demográfica, donde la tasa de natalidad disminuye mientras la esperanza de vida aumenta. Este fenómeno es típico de sociedades que están evolucionando de una alta a una baja fecundidad.

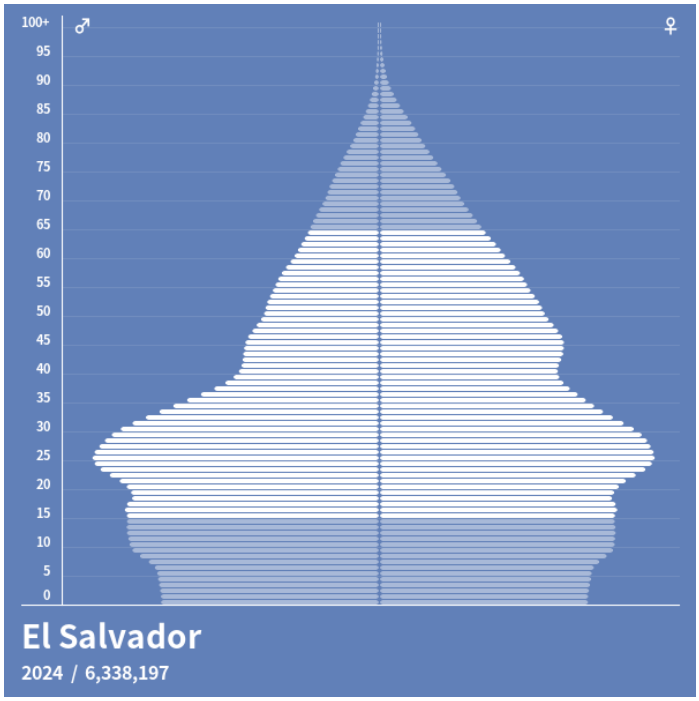
Por lo antes mencionado, se puede establecer que el descenso en la natalidad plantea desafíos futuros en cuanto al envejecimiento de la población, y podría afectar aspectos como el sistema de pensiones y el mercado laboral, que son factores relevantes para futuros estudios en la implementación del proyecto.

Teniendo en cuenta que la implementación del estudio está enfocada en una entidad pública como lo es el Hospital de Niños Benjamín Bloom, donde atiende a pacientes pediátricos, lo que generalmente abarca desde recién nacidos hasta adolescentes. El rango de edad comúnmente aceptado para pacientes pediátricos es desde el nacimiento hasta los 18 años. Sin embargo, la atención especializada que ofrece el hospital puede enfocarse más en la población

infantil y juvenil, por lo que la mayoría de los pacientes son niños y adolescentes dentro de ese rango.

Teniendo en cuta estos elementos, se puede establecer que, en 2024, aproximadamente el 25.3% de la población de El Salvador pertenece al rango de 0 a 14 años, lo que representa a más de 1.56 millones de personas. Dentro de este grupo, la población de 0 a 10 años puede representar la mayor parte. El porcentaje de la población entre 15 y 24 años es del 19.88%, lo que incluye a los jóvenes de 10 a 18 año, esto basado en datos de sitio pirámides de población el cual indica que casi la mitad de la población del país es joven, con un importante grupo dentro del rango de 0 a 18 años y donde se puede presentar la siguiente gráfica:

Ilustración 172: Pirámide de población de El Salvador en 2024.



Fuente: Pirámides de Población. https://population-pyramid.net/es/pp/el-salvador

Teniendo en cuenta el alcance poblacional que el Hospital de Niños Benjamín Bloom, atiende por medio de sus servicios se considera que un aproximado de 45.18% de la población del país se puede ser beneficiada por la implementación del modelo.

Es importante también definir que el estudio se enfoca específicamente en las malformaciones congénitas en el sistema cardiovascular, por lo que se puede mencionar que estas se presentan desde el nacimiento, ya que se desarrollan durante las primeras etapas del embarazo, cuando el corazón del feto está en formación. Estas anomalías estructurales del corazón y los vasos sanguíneos son diagnosticadas principalmente en recién nacidos o durante los primeros meses de vida. Aunque los síntomas pueden manifestarse desde el nacimiento, algunas malformaciones congénitas menores podrían no causar problemas graves hasta más adelante en la infancia o incluso durante la adolescencia, cuando el sistema cardiovascular es sometido a mayor estrés.

Con lo antes establecidos se puede mencionar que la institución en estudio atiende malformaciones congénitas del sistema cardiovascular principalmente en pacientes pediátricos, lo que incluye recién nacidos, lactantes y niños hasta los 18 años. Las intervenciones para corregir estas malformaciones pueden realizarse desde los primeros días o semanas de vida, dependiendo de la gravedad del defecto y del estado del niño. El rango de atención incluye:

- Recién nacidos: Donde se detectan y tratan malformaciones severas.
- Niños pequeños: Tratamientos o correcciones quirúrgicas que pueden llevarse a cabo en edades tempranas.
- Adolescentes: En casos donde las malformaciones menos graves se diagnostican más tarde, o cuando las intervenciones iniciales requieren seguimiento o nuevas cirugías.

Este hospital se especializa en cardiología pediátrica y realiza procedimientos quirúrgicos para corregir malformaciones, como parte de su enfoque en la salud infantil.

11.10.3. Análisis de los beneficios y escenarios económicos de la aplicación

El presente análisis busca evaluar dos panoramas financieros para la implementación de la fabricación digital, particularmente el modelado e impresión 3D, en la atención de pacientes con malformaciones congénitas en el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom. Para el desarrollo de este se debe de tener en cuenta los siguientes:

Las malformaciones congénitas en el ámbito cardiológico presentan un alto grado de complejidad, y su tratamiento requiere una planificación precisa. La incorporación de la tecnología de impresión 3D en este campo ha demostrado ofrecer beneficios significativos tanto para los médicos como para los pacientes. Mediante la creación de modelos anatómicos personalizados, los cirujanos pueden visualizar con mayor claridad las estructuras cardiacas y planificar procedimientos complejos con más precisión, lo que contribuye a reducir los riesgos quirúrgicos y a mejorar los resultados postoperatorios.

Por lo que se hacen mención que los beneficios tanto en términos clínicos como en la experiencia del paciente. En primer lugar, permite que el equipo médico obtenga una representación más precisa de la anatomía del paciente, lo que facilita la planificación quirúrgica y la reducción de los tiempos de intervención. Esto también se traduce en una disminución de posibles complicaciones intraoperatorias, así como en una reducción de los tiempos de recuperación postquirúrgica.

Otro beneficio significativo es la posibilidad de mejorar la comunicación con los pacientes y sus familias. Los modelos 3D proporcionan una representación tangible de la malformación que puede ser comprendida por personas no especializadas, lo que facilita la explicación del diagnóstico y del plan quirúrgico, reduciendo así el nivel de incertidumbre y ansiedad. A largo plazo, la reducción de complicaciones quirúrgicas y tiempos de recuperación no solo mejora la

calidad de vida del paciente, sino que también contribuye a una optimización del uso de los recursos hospitalarios.

Para el desarrollo de este análisis se considera dos panoramas en los que se evalúa la viabilidad de los costos asociados al modelado e impresión de los modelos 3D: un escenario en el que la institución pública asume el costo total de los servicios y otro escenario en el que el paciente cubre el 50% de los costos.

11.10.3.1. Panorama 1: La institución cubre el costo total

En este escenario, la institución pública, es decir, el Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom, asume el costo completo del modelado y la impresión de los modelos 3D. El costo de estos servicios se divide de la siguiente manera:

- Costo de modelado 3D: $ 17.00
- Costo de impresión 3D: $ 47.56
- Costo total por paciente: $ 64.56

Para un hospital público que gestiona su presupuesto con fondos estatales y donaciones, esta inversión tiene un impacto directo en la calidad de la atención ofrecida. Si bien el costo total de $ 64.56 por paciente puede parecer elevado para un sistema de salud pública, el retorno de esta inversión es significativo al considerar los beneficios clínicos mencionados anteriormente. Además, la optimización de los tiempos quirúrgicos y la reducción de las complicaciones permiten una mejor gestión de los recursos hospitalarios, lo que puede generar ahorros a mediano y largo plazo.

Este escenario también beneficia a los pacientes más vulnerables, ya que el acceso a esta tecnología avanzada no estaría condicionado por su capacidad económica. Esto permite la

equidad en la atención de salud, alineándose con los principios del sistema de salud pública en El Salvador.

11.10.3.2. Panorama 2: El paciente cubre el 50% de los costos

En el segundo escenario, se plantea que el paciente o su familia cubra el 50% de los costos del estudio, lo que implica los siguientes valores:

- Costo de modelado cubierto por el paciente: $ 8.50
- Costo de impresión cubierto por el paciente: $ 23.78
- Costo total cubierto por el paciente: $ 32.28
- Costo restante cubierto por la institución: $ 32.28

Este panorama implica una carga financiera compartida entre el hospital y los pacientes. Aunque se reduce el costo directo para la institución, es necesario considerar el impacto que este esquema tendría sobre la población beneficiaria, que mayoritariamente está compuesta por personas de escasos recursos. El costo de $ 32.28, aunque representa solo el 50% del total, podría ser una barrera significativa para muchas familias que ya enfrentan los gastos asociados a un tratamiento médico especializado. Esto podría limitar el acceso a la tecnología de impresión 3D a aquellos que tienen mayor capacidad económica, lo que podría generar inequidad en la atención.

Por otro lado, este esquema permitiría a la institución pública atender a un mayor número de pacientes, ya que se reducirían los costos que asume por cada caso. Sin embargo, sería fundamental que se contemple algún tipo de subvención o programa de financiamiento para las familias que no puedan cubrir este gasto.

Por lo antes mencionado se puede decir que la implementación de la tecnología de impresión 3D en el tratamiento de pacientes con malformaciones congénitas presenta beneficios

clínicos indiscutibles, mejorando la precisión en la planificación quirúrgica y reduciendo los riesgos asociados a las intervenciones. Desde el punto de vista económico, ambos panoramas presentan ventajas y desafíos.

En el primer escenario, donde la institución pública cubre el costo total, se garantiza el acceso equitativo a esta tecnología avanzada, asegurando que todos los pacientes puedan beneficiarse de los avances tecnológicos independientemente de su capacidad económica. Esto contribuye a una atención más justa y alineada con los principios de salud pública.

En el segundo escenario, donde el paciente cubre el 50% de los costos, se alivia la carga financiera sobre el hospital, permitiendo la atención de un mayor número de pacientes. Sin embargo, existe el riesgo de que algunas familias no puedan acceder al servicio debido a su costo, lo que podría crear desigualdades en la atención.

Establecido este análisis se puede definir que ambos panoramas son viables, el primero, donde la institución pública asume el costo completo, parece ser la opción más alineada con los principios de equidad y acceso universal a la salud. Es recomendable que se consideren alternativas para financiar la implementación de esta tecnología a través de programas de apoyo gubernamental o alianzas con organizaciones internacionales que permitan cubrir estos costos sin generar barreras económicas para los pacientes.

11.10.4. Perspectiva de los servicios ofertados en un sistema de salud publico contra el sistema de salud privado

Teniendo en cuenta que el modelo puede ser ajustable a una institución de carácter pública o privada, dentro del entorno social se debe de considerar que el alcance a nivel privado para la población objetivo de los servicios puede ser menor ya que en este caso todos los gastos

son adsorbido directamente por la familia del paciente, para esclarecer un poco más estos factores se detalla los siguiente:

Tabla 190: Costos de los nuevos servicios

Servicio ofertado	Costo del servicio
Servicio de modelado virtual	$17.00
Servicio de impresión 3D	$47.56
Total	**$64.56**

Fuente: Elaboración propia.

Al ser incorporado en el sistema de salud publico la familia del paciente atendido, tendría un ahorro de $ 64.56 en su proceso de atención medica ya que es adsorbido por el presupuesto del sector médico público, no obstante se debe de considera que si estos servicios son ofertados en el sector privado su costo no sería igual al cuadro antes presentado, ya que ese solo es el costo operativos de los servicios y en el caso del sector privado, se debe de considerar el requerimiento se un margen de ganancia del servicio que si para el caso es del 50% se puede definir lo siguiente:

Tabla 191: Precios del servicio en instituciones publicas

Servicio ofertado	Costo del servicio	Margen de ganancia	Costo final del servicio
Servicio de modelado virtual	$ 17.00	50%	$ 25.50
Servicio de impresión 3D	$ 47.56	50%	$ 71.34
Total			**$ 96.84**

Fuente: Elaboración propia.

Desde la perspectiva donde las instituciones de carácter privada a través de la aplicación de estos nuevos servicios, busque generar ingresos en un 50% más del costo operativo de los mismos, se puede mencionar que ahora el ahorro de las familias que utilicen el servicio por medio de las instituciones públicas ya no equivale a $ 64.56 sino que es de $ 96.84 ya que sería la oferta del total de los servicios.

Este panorama no está alejado de la realidad ya que se puede mencionar que actualmente el servicio de una angiografía, el cual es uno de los elementos base para dar paso a al modelado e impresión 3D, en instituciones privadas en El Salvador puede tener un costo que varía dependiendo del tipo de procedimiento y la tecnología utilizada. Por ejemplo, el Hospital de Diagnóstico, que cuenta con equipos modernos para realizar este tipo de estudios, los precios rondan los $500 a $1000, dependiendo de si la angiografía es diagnóstica o terapéutica

Por otro lado, en instituciones como el Hospital Profamilia, que también ofrece servicios de angiografía con alta tecnología, los costos pueden ser similares, con precios que pueden llegar a más de $1000 si incluye intervenciones adicionales, como la colocación de Stents o procedimientos terapéuticos. Esto implica que en la actualidad las instituciones de carácter publica beneficia a la población con este tipo de servicios que implica ahorros que poder ir desde $500 a $1000.

Teniendo en cuenta lo antes establecido se puede definir que el ahorro para la población beneficiada de los servicios médicos es un aspecto crucial por considerar, especialmente en un entorno donde los costos de los servicios médicos en el sector privado pueden ser significativamente más altos. Como se ha mencionado, la implementación de servicios de modelado virtual e impresión 3D en el sistema de salud pública representa un alivio económico considerable para las familias, ya que el costo operativo de estos servicios es absorbido por el presupuesto del Estado.

En un escenario de salud pública, los costos de $64.56 por los servicios mencionados serían cubiertos por el sistema, lo que permite a las familias ahorrar esa cantidad en su atención médica. Sin embargo, cuando estos mismos servicios se trasladan al sector privado, los precios aumentan debido a la necesidad de que las instituciones privadas generen un margen de ganancia. Con un margen del 50%, el costo de los servicios asciende a $ 96.84, lo que refleja un incremento significativo en comparación con el costo en el sector público.

Este aumento en el costo en el sector privado es una realidad que no solo afecta a los servicios de modelado virtual e impresión 3D, sino también a otros procedimientos médicos altamente especializados. Como se destacó, los servicios como la angiografía, que forman parte integral del proceso de diagnóstico previo a la creación de modelos 3D, pueden tener precios que oscilan entre $500 y $1000 en instituciones privadas de El Salvador

El impacto social de estos costos es significativo, ya que muchas familias en El Salvador no tienen los recursos para acceder a este tipo de servicios en el sector privado, lo que subraya la importancia de la disponibilidad de estas tecnologías en el sistema de salud pública. Al ofrecer estos servicios de forma gratuita o a un costo significativamente reducido, el sistema público de salud no solo mejora el acceso a la atención médica, sino que también contribuye a aliviar la carga económica que estos procedimientos implican para las familias.

En conclusión, mientras que en el sector privado el costo de estos servicios es significativamente mayor, en el sector público, su implementación representa un alivio económico considerable para las familias. Este ahorro no solo es crucial para la economía familiar, sino que también fomenta la equidad en el acceso a tecnologías avanzadas en salud, beneficiando a toda la sociedad en general.

11.10.5. Aumento en la capacidad de pacientes por atender

En el análisis del aumento de casos a atender en el sistema de salud como beneficio de la aplicación de la fabricación digital específicamente el modelado e impresión 3D, se presenta el cuadro siguiente que muestra una proyección de las cirugías anuales realizadas en un centro hospitalario a lo largo de un período de cinco años. Se analizan varios factores clave que permiten optimizar los recursos, como la cantidad de cirugías actuales, el tiempo empleado, y el impacto de la mejora en la eficiencia operativa.

Tabla 192: Número de casos a abordar con uso de nuevas tecnologías.

Año	Cantidad casos demandados (Cirugías / año)	Estimación de horas consumidas por cirugía	Estimación de horas con uso Fabricación Digital	Ahorro en horas	Aumento en capacidad de cirugías	Capacidad total de cirugías
1	593	1442	1274	168	78	671
2	578	1406	1241	164	76	654
3	579	1408	1244	164	76	655
4	617	1500	1325	175	82	699
5	627	1525	1347	178	83	710
Total	**2,994**	**7,280**	**6,431**	**850**	**396**	**3,390**

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos anteriores se han ejecutado tomando en cuenta que el promedio de una cirugía abordado en el modelo posee una duración actual de 2.43 horas por cirugía, esto implica que con el uso de las nuevas tecnologías esta cambia y se promedió disminuirá a un valor de 2.15 horas por cirugía.

Teniendo en cuenta lo antes presentado por medio del cuadro, la implementación de la fabricación digital tiene varios beneficios sociales que pueden ser evaluados por lo que se define lo siguiente:

- **Ahorro de tiempo quirúrgico:** La reducción del tiempo quirúrgico por paciente (como se refleja en la "diferencia positiva") permitiría realizar más cirugías anualmente, lo que aumenta el acceso a cirugías para más pacientes. Esto puede mejorar la calidad de vida de los pacientes y reducir los tiempos de espera.
- **Aumento en el número de cirugías:** Gracias a la optimización del tiempo (en este caso, una mejora que proyecta 3,390 cirugías en lugar de 2,994), más personas podrían ser atendidas, lo cual es especialmente relevante en sistemas de salud pública con listas de espera largas, como puede ser el caso del Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom.

- **Reducción de costos:** A nivel social, los costos operativos por paciente pueden reducirse si se aprovechan eficientemente los recursos hospitalarios. Esto podría justificar la inversión inicial en tecnología de fabricación digital, como la creación de modelos 3D de los órganos, ya que permitiría un uso más eficiente de las horas de cirugía.

Se debe de considerar que el impacto social de este servicio puede ser considerado bajo los siguientes elementos:

- **Reducción de tiempos de espera:** Cuántos pacientes adicionales pueden ser operados en menor tiempo y cómo esto impacta su salud y calidad de vida.
- **Ahorro económico:** Evaluar si el tiempo ahorrado reduce costos operativos (personal, uso de quirófanos, recursos médicos).
- **Acceso a procedimientos complejos:** Con el uso de la impresión 3D, se podrían realizar cirugías más complejas, aumentando el acceso a tratamientos avanzado

En resumen, basados en los datos proporcionados por el cuadro anterior se puede usar como base para mostrar que la tecnología de impresión 3D permite aumentar la eficiencia del sistema de salud (ahorro de horas) y, como resultado, atender más cirugías, lo que mejora el acceso y la calidad de atención, con beneficios sociales evidentes. Esto también justifica el análisis de un costo social-beneficio al evaluar la implementación de la fabricación digital.

Con ayuda de la planificación quirúrgica apoyada con impresión 3D, reduciendo el tiempo/cirugía en un 11.67%, En 5 años 2,994 cirugías aumentan en **396 nuevas cirugías.**

Esto significa que es posible atender a más personas en un año de trabajo, solo en el año 1, se pueden atender a 78 nuevos pacientes, que no tendrán que esperar más tiempo, o que no tendrán que gastar en hospitales privados, y al ser atendidos más rápido tendrán

que invertir menos en medicinas y cuidados paliativos. Después de 5 año, representa 396 pacientes.

Desde el punto de vista interno, significa que el personal quirúrgico cardíaco tiene **850 horas de trabajo de ventaja**, que pueden invertir primordialmente en atención a más pacientes o en otras tareas de investigación.

12. Conclusiones

- La implementación de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en la pre-operación de pacientes de cardiología en El Salvador es un proceso integral que abarca varias fases clave, desde la planificación inicial, que incluye la identificación de elementos y la conformación del equipo implementador, hasta la gestión del capital humano, la adquisición de equipos y la obra civil necesaria, cada etapa es esencial para garantizar una correcta ejecución del proyecto. Además, la sensibilización y capacitación del personal médico asegura que el modelo sea comprendido y utilizado de manera efectiva. Finalmente, la puesta en marcha con una prueba piloto permite identificar posibles áreas de mejora antes de su aplicación definitiva. Este enfoque estructurado garantiza un proyecto planificado, con todas las herramientas y recursos necesarios para su éxito.
- El establecimiento del marco contextual permitió definir que las tecnologías de impresión en 3D han sido un gran avance innovador para diferentes sectores e industrias, por lo que la medicina no ha sido la excepción y muchos países fuera de la región, han aplicado esta como parte de las mejoras al servicio brindado a la población. Además, al revisar antecedentes se concluye que la fabricación digital es un tema poco estudiado en El Salvador, sobre todo la aplicación de la impresión 3D en la medicina, siendo una tecnología de gran potencial para investigaciones y aplicaciones.

- Con base en el diagnostico desarrollado, se concluye que el problema central en el marco de la planificación de las intervenciones quirúrgicas se define como el "Desaprovechamiento de las tecnologías de Fabricación Digital en la estructuración del plan de intervención quirúrgica para doctores y estudiantes, ante anatomías complejas y únicas de pacientes del área de cardiología". Esto debido a diferentes factores identificados como el hecho de que los integrantes del equipo quirúrgico de cardiología tiene limitado conocimiento sobre los beneficios de la aplicación de la fabricación digital, lo que a su vez representa que los estudiantes y practicantes en el área de cardiologías no poseen conocimientos en el uso de nuevas tecnologías y los cirujanos carecen de herramientas innovadoras para la comunicación de los planes de intervención quirúrgica a terceros; por otro lado se destaca que el diseño de los planes de intervenciones quirúrgicas para anatómicas únicas y complejas no cuentan con la incorporación de la fabricación digital, lo que significa que no se cuentan con modelos virtuales y físicos de las anatómicas únicas y complejas de los pacientes para realizar estudios y practicas quirúrgicas.
- Antes la problemática identificada la conceptualización del diseño de la solución plantea la incorporación de la fabricación digital a través del modelo de aplicación flexible que contiene en primer lugar un elemento de sensibilización y compromiso dirigido al personal operativo y estratégico con el fin de dar a conocer los beneficios de la fabricación digital y garantizar el apoyo organizacional, financiero y operativo hacia el modelo. El segundo elemento es la ingeniería del modelo el cual engloba la capacidad instalada, recursos requeridos, procedimientos y estructura organizacional, seguido por un elemento relacionado con la capacitación técnica dirigido al personal médico para desarrollar las habilidad requeridas para aprovechar al máximo el modelo y por último el elemento de formación profesional, enfocado en proporcionar

conocimientos de aplicación de la fabricación digital y propiciar de un entorno en que puedan realizar prácticas quirúrgicas y explorar con impresiones 3D.

- El diseño detallado de la solución plantea cómo se ejecutarán cada uno del elemento de la conceptualización de la solución, proponiendo un modelo para la aplicación de la fabricación digital de características flexible que contiene en primer lugar un elemento de sensibilización y compromiso para el cual se propone un plan de sensibilización y compromiso, estrategias y actividades de comunicación. El segundo elemento es la ingeniería del modelo el cual contiene la definición de los servicios para operativizar el modelo, la determinación de la capacidad instalada, recursos requeridos, materiales, procesos de servicios, y un manual técnico que muestra los procedimientos y estructura organizacional requeridos, seguido por un elemento relacionado con la capacitación técnica dirigido al personal médico el cual contiene especialmente estrategias, tipos de capacitaciones y el programa formativos sobre la fabricación digital y por último para el elemento de formación profesional se ha diseñado un modelo de enseñanza sobre la fabricación digital en la medicina dirigido a estudiantes, médicos internistas y residentes, que alberga módulos de formación y metodologías de enseñanza, recursos e indicaciones de puesta en marcha.
- La implantación del modelo para la fabricación digital en el marco de la pre - operación quirúrgica en el área de cardiología requiere de una inversión inicial estimada de $186,711.45 y una inversión en capital de trabajo de $1,387,987.88 para los primero cinco años de operación. El costo unitario de la generación de un modelo virtual es de $17.00 y al sumar el costo unitario de la impresión 3D se genera un costo total de $64.56 por modelo anatómico fabricado.
- La evaluación económica del modelo, muestra un que el valor presente neto de los flujos de ahorros y egresos proyectos a los próximos cincos años es de $5,959,948.39 y $363,485.58 respectivamente, generando un VPN de $1,097,768.46, TIR de

253.10%, y una razón Beneficio / Costo de 2.06, y que al tomar en cuenta una tasa de descuento de 25.19%, se concluye que el proyecto es rentable, muestra un alto rendimiento sobre la inversión inicial, siendo que por cada $1 invertido se obtiene un beneficio $2.06, por lo que implementación es justificada económicamente. La variable critica más importante es el porcentaje de ahorro de tiempo de cirugías, el cual es el resultado de realizar una planificación quirúrgica con impresiones 3D, el modelo es rentable y justificable hasta una reducción de tiempos de cirugías de 5% siendo 2.175% la frontera antes de ver perdidas, pues en dicho limite el VPN es $ 163.70, la TIR es 28.88% y la razón Beneficio / Costo es 1.00.

- La evaluación social, indica que el actual manejo de los elementos financieros a nivel de salud pública da un panorama favorable al impulso de la aplicación de nuevas tecnologías como lo es la generación de modelos 3D para el estudio de pacientes en proceso de operación selectiva, el alcance de este busca beneficiar a su vez a un estimado del 45.18% de la población en edad que pueden ser atendido en el hospital tipo, además, con ayuda de la planificación quirúrgica apoyada con impresión 3D, se reducen los tiempos/cirugía en un 11.67%, y para 5 años se pronostica generar 396 nuevas cirugías, aumentando así la capacidad de atención a pacientes del área quirúrgica en el Hospital Nacional Especializado de Niño “Benjamín Bloom” de El Salvador, usando como variable de estudio el tiempo ahorrado.

13. Recomendaciones

- Al realizar investigaciones sobre el conocimiento y aplicación de fabricación digital en el sector de la salud, en primer lugar, se recomienda afianzar las relaciones con las autoridades administrativas y estratégicas que posean suficiente poder de decisión sobre la unidad u hospital en estudio, para garantizar el acceso a las instalaciones, cumpliendo con los protocoles de seguridad que la organización establezca. En

segundo lugar, pero no menos importante, se recomienda contactar de manera directa a los doctores, técnicos o cualquier otro tipo de especialista, pues existe un interés personal de ellos en conocer sobre aplicaciones tecnológicas innovadoras.

- Para el desarrollo de las investigaciones de diagnóstico, se recomienda realizar entrevistas como técnica de investigación de campo, cuando se desee obtener conocimiento y experiencia de profesionales de la medicina, pues sus respuestas son mucho más ricas en contenido, también es importante gestionar y realizar visitas técnicas en las instalaciones de las instituciones de salud de El Salvador para determinar las condiciones actuales de las instalaciones, equipos, herramientas y maquinaria, por lo que se recalca el valor de garantizar contacto con autoridades de las instituciones médicas.
- Antes de la apuesta por la aplicación de la fabricación digital a la medicina, la institución interesada deberá de tener en cuenta que el involucramiento de los directivos de la institución es vital para desarrollarse y a su vez definir acuerdos para mejorar su incorporación. También es importante dichas instituciones seleccionen e incorporen equipo computacional, impresoras 3D, máquina de lavado y post curado que cumplan con los requisitos establecidos en el diseño de este modelo, tomando en cuenta los espacios disponibles y los recursos propios de la institución.
- Establecer métricas para medir el impacto de la impresión 3D en la planificación quirúrgica, como el nivel de la precisión de las intervenciones, el tiempo de cirugía, su relación con la recuperación del paciente y los costos asociados propios de la institución que adopte e incorpore el modelo, por lo que se recalca la importancia de documentar y publicar los registros históricos antes de aplicar la fabricación digital y después de su incorporación, pues con ello se beneficia el desarrollo científico de El Salvador. Finalmente, se deben realizar evaluaciones periódicas de la aplicación y desempeño del modelo con el fin de ajustar los procedimientos operativos según sea

necesario para maximizar los beneficios asociados al modelo en el contexto propio de la institución que lo aplique.

- Es esencial tener en cuenta los cambios constates en el manejo de los fondos de la administración pública ya que puede generar variaciones considerables en la implementación del proyecto, ya que el panorama hasta el momento del análisis es favorable, pero este puede variar radicalmente; por lo que es oportuno actualizar el modelo de evaluación según los panoramas que se desarrollan en la actualidad en el sector salud.
- Se recomienda realizar impresiones 3D para una muestra del universo de pacientes de cirugías cardiacas y obtener datos propios de El Salvador y establecer un porcentaje de ahorro de tiempo de cirugías cardiacas, para condiciones propias del sistema de salud de El Salvador, y realizar los ajustes pertinentes sobre las proyecciones y evaluaciones plantadas en esta investigación.
- Se recomienda acudir al Laboratorio de Fabricación Digital de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador para gestionar las capacitaciones al personal y generar una alianza de investigación, pues dicho laboratorio cuenta con la experiencia de modelado virtual e impresiones 3D de anatómicas aorticas para cirugías cardio pediátricas para el Hospital Nacional Especializado de Niños “Benjamín Bloom”. Además, dichos servicios de capacitación pueden ser gestionado por medio de la Escuela de Posgrado y la Escuela de Ingeniera Industrial con el fin de obtener una retribución económica justa para la universidad.
- En cuanto a futuras líneas de investigación sobre la incorporación de la fabricación digital, se recomienda realizar un diagnóstico sobre los nuevos materiales de impresión y su posible utilización para la fabricación de modelos anatómicos cardiacos y prótesis, y como segunda propuesta desarrollar una guía y lineamientos sobre la manipulación

detallada de los softwares de modelado virtual para el estudio de anatomías en computadora.

14. Bibliografía

- (Kiraly, Shah, Abdullah, Al-Ketan, & Rowshan, 2021) Prototipos tridimensionales virtuales e impresos en cirugía cardíaca congénita y pediátrica compleja: una experiencia multidisciplinaria de aprendizaje en equipo. Biomoléculas 2021, 11, 1703. https://doi.org/10.3390/biom11111703
- ¿Fabricación Sustractiva o aditiva? ¡Descubra Estos procesos! (2022) ¿Fabricación aditiva o sustractiva? 3DZ. Disponible en: https://3dz.es/fabricacion-aditiva-o-sustractiva/ (Accedido: March 8, 2023).
- ¿Qué es la cardiopatía coronaria? (s/f). NHLBI, NIH. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/cardiopatia-coronaria
- ¿Qué es la fabricación sustractiva? (2021) Grumeber. Disponible en: https://grumeber.com/fabricacion-sustractiva/ (Accedido: March 8, 2023).
- ¿Qué es la Industria 4? y cómo funciona? (s/f). Ibm.com. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0
- ¿Qué es la Industria 4? (2018, enero 25). Deloitte Spain. Recuperado el 12 de marzo de 2023, en https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html
- ¿Qué es la Industria 4? (2021, abril 7). Argentina.gob.ar. Recuperado el 12 de marzo de 2023, en https://www.argentina.gob.ar/produccion/planargentina40/industria-4-0
- ¿Qué es la industria 4?: Deloitte España (2018) Deloitte Spain. Disponible en: https://www2.deloitte.com/es/es/pages/manufacturing/articles/que-es-la-industria-4.0.html (Accedido: febrero 27, 2023).
- ¿Qué es un cardiocirujano pediátrico? (2016). Healthychildren.org. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://www.healthychildren.org/Spanish/family-life/health-management/pediatric-specialists/Paginas/what-is-a-pediatric-heart-surgeon.aspx
- ¿Qué es un cirujano especializado en cirugía cardiotorácica o torácica? (s/f). Ctsurgerypatients.org. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://ctsurgerypatients.org/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-un-cirujano-especializado-en-cirug%C3%ADa-cardiotor%C3%A1cica-o-tor%C3%A1cica

- Autodesk. (enero de 2022). Impresión 3D. Autodesk. Recuperado el 20 de septiembre de 2022 de https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing
- Bejarano, M. (2011). Evaluación cuantitativa de la eficiencia en las salas de cirugía. Org.co. Recuperado el 15 de marzo de 2023, en: http://www.scielo.org.co/pdf/rcci/v26n4/v26n4a5.pdf
- Betancourt, LG; Wong, SH; Singh, HR; Nento, D.; Agarwal, A. Utilidad del modelo impreso tridimensional en Biventricular y reparación de defectos cardiacos congénitos complejos: Reporte de un caso y revisión de literatura. Niños 2022, 09, 184, https://doi.org/10.3390/children9020184
- *CAD / Diseño asistido por ordenador*. (s/f). Siemens Digital Industries Software. Recuperado el 5 de marzo de 2023, de https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507
- Cardiocirugía pediátrica. (s/f). Medlineplus.gov. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007363.htm
- Cardiotorácica, E. en C. (s/f). Universidad de Guadalajara. Udg.mx. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://www.cucs.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/especialidad_en_cirugia_cardiotoracica.pdf
- Cirugía a corazón abierto. (2016, abril 28). Doctors Hospital of Laredo. Recuperado el 15 de marzo de 2023, en: https://es.doctorshosplaredo.com/services/cardiovascular-services/open-heart-surgery
- Cirugía abierta de válvula aórtica. (s. f.-b). Recuperado 18 de marzo de 2023, de https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007408.htm
- CÓDIGO PENAL, DECRETO N° 1030, 1973. Artículo 226 y 227. 15 de junio de 1974
- D.L. Nº 912, 14 DE DICIEMBRE DE 2005. D.O. Nº 8, T. 370, 12 DE ENERO DE 2006.
- Defectos cardíacos congénitos. (2022). Blood, Heart and Circulation. Recuperado el 15 de marzo de 2023, en https://medlineplus.gov/spanish/congenitalheartdefects.html
- Definición de presión arterial - Diccionario de cáncer del NCI - NCI. (s. f.). Instituto Nacional De cáncer. Recuperado 17 de marzo de 2023, de https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/presion-arterial

- Diccionario de cáncer del NCI. (2011, febrero 2). Instituto Nacional del Cáncer. Recuperado el 10 de marzo de 2023, de https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/cirugia
- El Salvador se suma a la iniciativa HEARTS. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. https://www.paho.org/es/noticias/24-2-2022-salvador-se-suma-iniciativa-hearts Recuperado el 23 de febrero de 2022
- Enfermedades no transmisibles | IFRC. (s. f.-b). IFRC. Recuperado 7 de marzo de 2023, de https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/salud-y-cuidado/salud-comunitaria/enfermedades-no-transmisibles
- Escudero, A. (2009) La revolución industrial: Una Nueva Era. Madrid: Grupo Anaya.
- Exploración por tomografía computarizada. (2022, enero 6). Mayoclinic.org. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/ct-scan/about/pac-20393675
- Fabricación Aditiva vs. Fabricación Sustractiva (no date) Formlabs. Disponible en: https://formlabs.com/latam/blog/fabricacion-aditiva-vs-fabricacion-sustractiva/ (Accedido: March 9, 2023).
- Fabricación asistida por ordenador (CAM). (s/f). Siemens Digital Industries Software. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-manufacturing-cam/13139
- Fernández, Tomás y Tamaro, Elena. (2004). «La Revolución Industrial». En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea [Internet]. Recuperado el 12 de marzo de 2023, en: https://www.biografiasyvidas.com/historia/revolucion_industrial.htm
- Hornero, F., Enríquez, F., Castellá, M., García-Puente, J., Hurlé, A., & Rodríguez, R. (2008). I. Organización asistencial, recursos, y formación quirúrgica. Cirugía Cardiovascular. https://doi.org/10.1016/s1134-0096(08)70206-7
- (2020, 14 noviembre). En Biomedic Import ofrecemos equipamiento en medicina interna. Biomedic. Recuperado 13 de marzo de 2023, de https://biomedicimport.cl/equipos-medicos-para-detectar-enfermedades-cardiovasculares/
- IBM Máximo & amp; Solex Impulsan La Industria 4.0 y nos explican sobre las revoluciones industriales y sus tecnologías Solex. Disponible en: https://www.solex.biz/noticias/revoluciones-industriales-tecnologias-impulsaron/ (Accedido: febrero 24, 2023).

- *Ingeniería asistida por ordenador (CAE)*. (s/f). Siemens Digital Industries Software. Recuperado el 5 de marzo de 2023, de https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112
- Instituto Nacional de Salud, El Salvador 2017. Carga de mortalidad de enfermedades no
- Jorquera Ortega, A. Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D, Publicaciones - Ministerio de Educación y Formación Profesional. Disponible en: https://sede.educacion.gob.es/publiventa/inicio.action (Accedido: March 28, 2023).
- Lucas Leão. (Julio 09 de 2020). CAD vs CAE vs CAM: ¿Cuáles son las diferencias? Blog de Ingeniería Eléctrica Moderna. https://www.e3seriescenters.com/es/blog-de-ingenieria-electrica-moderna/cad-vs-cae-vs-cam-diferencias
- Lucía, C. (2022, April 25). La impresión 3D en la medicina, una herramienta para salvar nuestras vidas. 3Dnatives. https://www.3dnatives.com/es/la-impresion-3d-170720182/
- M., A. (2021) ¿Qué es la fabricación aditiva?, 3Dnatives. Disponible en: https://www.3dnatives.com/es/fundamentos-fabricacion-aditiva/#! (Accedido: March 17, 2023).
- Martínez E, J. E. (s/f). Clínica Hospital San Fernando. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://www.hospitalsanfernando.com/articulos-medicos/la-cirugia-ambulatoria
- Mohabir, P. K., & Coombs, A. V. (s/f). Cirugía. Manual MSD versión para público general. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de https://www.msdmanuals.com/es/hogar/temas-especiales/cirug%C3%ADa/cirug%C3%ADa
- OPS (2021) La carga de las enfermedades cardiovasculares en la Región de las Américas, 2000-2019. Portal de Datos de NMH. Organización Panamericana de la Salud. Recuperado el 8 de marzo de 2023 de https://www.paho.org/es/enlace/carga-enfermedades-cardiovasculares
- OPS. (2018). Indicadores de salud. Aspectos conceptuales y operativos. Organización Panamericana de la Salud. https://doi.org/10.37774/9789275320051
- Ota, Y. (2013, 13 octubre). Quirófano y personal. Slideshare. Recuperado 5 de marzo de 2023, de https://es.slideshare.net/YumikaOta/quirofano-y-personal
- Pérez-Mañanes, R., Calvo-Haro, J., Arnal-Burró, J., Chana-Rodríguez, F., Sanz-Ruiz, P., & Vaquero-Martín, J. (2016). Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hazlo tú mismo. Revista latinoamericana de cirugía ortopédica, 1(2), 47–53. Recuperado el 15 de marzo de 2023, en: https://doi.org/10.1016/j.rslaot.2016.06.004

- Política Nacional Propiedad Intelectual – Sistema de Inteligencia Comercial. (s. f.). Recuperado el 28 de febrero de 2023, de http://infotrade.minec.gob.sv/escritos-generales/propiedad-intelectual/
- Procedimientos quirúrgicos y médicos. (s/f). Fisioterapia-online.com. Recuperado el 10 de marzo de 2023, de https://www.fisioterapia-online.com/glosario/procedimientos-quirurgicos-y-medicos
- *Programa de diseño CAD*. (2021, octubre 1). Autodesk.mx. Recuperado el 5 de marzo de 2023, de https://www.autodesk.mx/solutions/cad-design
- Radiological Society of North America (RSNA), & American College of Radiology (ACR). (s/f). Procedimientos de tomografía axial computarizada (TC o TAC). Radiologyinfo.org. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.radiologyinfo.org/es/ctscan
- Radiological Society of North America (RSNA), & American College of Radiology (ACR). (s/f-a). Angiotomografía computarizada. Radiologyinfo.org. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.radiologyinfo.org/es/info/angioct
- Radiological Society of North America (RSNA), & American College of Radiology (ACR). (s/f-b). Materiales de contraste. Radiologyinfo.org. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.radiologyinfo.org/es/info/safety-contrast
- RAE. (s. f.). Vena. Real Academia Española. Recuperado 8 de marzo de 2023, de https://dle.rae.es/vena
- Rodríguez, D. (2021, junio 4). Cirugía. Concepto de - Definición de; Recuperado el 10 de marzo de 2023, de ConceptoDefinicion.de. https://conceptodefinicion.de/cirugia/
- Sac, C. (2018b, julio 17). Modelos de riesgo preoperatorios en cirugía cardíaca. SAC | Sociedad Argentina de Cardiología. Recuperado 12 de marzo de 2023, de https://www.sac.org.ar/actualidad/modelos-de-riesgo-preoperatorios-en-cirugia-cardiaca/
- Selva Belén V, López J. F. (2016, septiembre 25). Revolución Industrial. Economipedia. Recuperado el 12 de marzo de 2023, en: https://economipedia.com/definiciones/primera-revolucion-industrial.html
- Serrano, C., & Nova, S. (2023, February 7). Anatomía del corazón. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/aorta-es
- Sogacar. (2019, 26 abril). El sistema cardiovascular. Sogacar. Recuperado 3 de marzo de 2023, de https://www.sogacar.com/el-sistema-cardiovascular/
- *Tecnología 3D en Cirugía*. (2020, May 13). Sicnova. https://sicnova3d.com/sectores/tecnologia-3d-medicina/tecnologia-3d-cirugia/

- Telich-Tarriba, J. E., Ramírez-Sosa, L. E., Palafox, D., Ortega-Hernández, E., & Rendón-Medina, M. A. (2020). Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. *Revista de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia*, *68*(4), 603–607. https://doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.77862
- The Texas Heart Institute. (2019, 25 Agosto). Información general sobre cirugía cardiovascular. Recuperado 8 de marzo de 2023, de https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/informacion-general-sobre-cirugia-cardiovascular/
- Tomografía computarizada (TC). (s/f). National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. Recuperado el 6 de marzo de 2023, de https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/tomograf%C3%ADa-computarizada-tc
- Torres, Mariela (s.f.). Tamaño de la muestra para una investigación de mercado. Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar - Boletín electrónico N° 02 pp 10 URL http://moodlelandivar.url.edu.gt/url/oa/fi/ProbabilidadEstadistica/URL_02_BAS02%20DETERMINACION%20TAMA%C3%91O%20MUESTRA.pdf
- Transmisibles en población igual o mayor de 20 años de El Salvador 2011 – 2015
- UTILIZACIÓN DE LOS DIVERSOS VALORES DE P, PARA INTERVALOS DE PROPORCIONES. (s/f). Universidad de Valencia. Recuperado el 15 de junio de 2023, de https://www.uv.es/ceaces/tex1t/5%20interval/pq05.htm
- You are being redirected. (s/f). Policlinicametropolitana.org. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de https://policlinicametropolitana.org/informacion-de-salud/que-es-la-cardiopatia-y-como-detectarla-a-tiempo/}Gambetta, M. (no date) Estrategias de Capacitación Desarrolladas en un Entorno Corporativo Estatal en Uruguay, Cuadernos de Investigación Educativa. Available at: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93042015000200005 (Accessed: 14 June 2024).
- Portal de transparencia - el salvador (no date) Portal de Transparencia - El Salvador. Available at: https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-bloom/documents/manuales-basicos-de-organizacion (Accessed: 14 June 2024).
- (No date) Plan de capacitación, Sensibilización y Comunicación de ... - mintic. Available at: https://www.mintic.gov.co/gestionti/615/articles-5482_G14_Plan_comunicacion_sensibilizacion.pdf (Accessed: 15 June 2024).

- (No date b) Plan de capacitación, Sensibilización y Comunicación de ... - mintic. Available at: https://www.mintic.gov.co/gestionti/615/articles-5482_G14_Plan_comunicacion_sensibilizacion.pdf (Accessed: 15 June 2024).
- Tamaño del proyecto ¿cómo determinar la capacidad instalada de su proyecto? #emprendimiento (2020) YouTube. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=7eYjUH-yPKY (Accessed: 14 June 2024).
- Usos y ventajas de la impresión 3D (no date) Inicio. Available at: https://www.acelerapyme.gob.es/novedades/pildora/usos-y-ventajas-de-la-impresion-3d#:~:text=Las%20impresoras%203D%20ofrecen%20la,y%20el%20coste%20en%20electricidad. (Accessed: 14 June 2024).
- Impresoras3d.com, (21 de febrero de 2023), Diferencias entre la tecnología DLP vs LCD en tu impresora de resina. https://www.impresoras3d.com/diferencias-entre-la-tecnologia-dlp-vs-lcd-en-tu-impresora-de-resina/
- Impresoras3d.com, (21 de febrero de 2023), Diferencias entre la tecnología DLP vs LCD en tu impresora de resina. https://www.impresoras3d.com/diferencias-entre-la-tecnologia-dlp-vs-lcd-en-tu-impresora-de-resina/
- Pérez, A. (24 de abril de 2021). Sistemas de producción: sus 4 tipos principales. OBS Business School. https://www.obsbusiness.school/blog/sistemas-de-produccion-sus-4-tipos-principales
- De Miguel, J. (s.f.). Sistemas de producción: qué es y sus diferentes tipos. Doo Finder. https://www.doofinder.com/es/blog/sistemas-de-produccion
- formlabs (s.f.). Comparación de tecnologías de impresión 3D: FDM, SLA o SLS. https://formlabs.com/latam/blog/fdm-sla-sls-como-elegir-tecnologia-impresion-3d-adecuada/
- IMPRIMAKERS. (s.f.). Soportes en impresión 3D. Qué son y para qué sirven. https://imprimakers.com/es/soportes-en-impresion-3d-que-son-y-para-que-sirven/
- Cor Química, S.L., (22 de enero de 2015), Ficha de datos de seguridad, ALCOHOL ISOPROPÍLICO. https://www.abpcoatings.com/wp-content/uploads/2019/02/Alcohol-Isopropilico.pdf
- CHEMOS, (30 de marzo de 2020), Ficha de datos de seguridad, alcohol isopropílico. https://www.chemos.de/import/data/msds/ES_es/67-63-0-A0288217-ES-es.pdf
- CONTYQUIM, (7 de agosto de 2020), Hoja de datos de seguridad, ALCOHOL ISOPROPÍLICO. https://contyquim.com/uploads/HDS-ALCOHOL-ISOPROPILICO-IMPV1.pdf

- NAZZA, (s.f.), Todo sobre el Alcohol Isopropílico. https://www.nazza.es/blog/16_usos-alcohol-isopropilico.html
- tiendaimpresion3d, (6 de mayo de 2023), Cómo curar la resina 3D. https://tiendaimpresion3d.com/como-curar-la-resina-3d/
- formlabs, (08 de julio de 2022), Pasos básicos de acabado con la impresión 3D por estereolitografía (SLA). https://support.formlabs.com/s/article/SLA-basic-finishing?language=es
- formlabs, (s.f.), Guía de pos curado y acabado de impresiones 3D de resina por estereolitografía (SLA). https://formlabs.com/latam/blog/posacabado-y-acabado-impresiones-sla/
- formlabs, (s.f.), Cómo pos curar las impresiones 3D. https://formlabs.com/latam/blog/como-poscurar-impresiones-3d/
- formlabs, (s.f.), Especificaciones técnicas de las impresoras 3D de estereolitografía de Formlabs. https://formlabs.com/latam/3d-printers/resin/tech-specs/
- formlabs, (s.f.), Form Wash (2nd Generation). https://formlabs.com/latam/post-processing/form-wash/
- Honero3DX, (s.f.), Form WASH + FORM CURE. https://hornero3dx.com/productos/impresoras-3d/formwash-cure/
- formlabs, (2020), Manual Form 3BL. https://digilab.uma.es/pdf/form-3bl/Form-3bl-es.pdf
- formlabs, (s.f.), Form 3BL. Productos sanitarios y réplicas anatómicas de gran tamaño en escala real. https://formlabs.com/latam/3d-printers/form-3bl/
- formlabs, (s.f.), Form 3BL. Automatiza el pos curado con la Form Cure L. https://formlabs.com/latam/post-processing/form-cure-l/
- BCN3D, (s.f.), El entorno de trabajo adecuado para tu impresora 3D. https://support.bcn3d.com/es/knowledge/proper-work-environment#condiciones-ambientales
- Stratasys. (marzo 2014). Guía de preparación del sitio de la impresora 3-D Connex500/350. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Connex500-350%20Site%20Preparation%20Guide%20-%20Spanish.pdf
- Molina Arias M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p? Rev. Pediatr Aten Primaria. 2017; 19:377-81. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322017000500014

- ZN. Kaina, J. MacLarena. (2007). Valor de p inferior a 0,05: ¿qué significa en realidad? Elsevier. https://www.elsevier.es/es-revista-pediatrics-10-articulo-valor-p-inferior-005-que-13112660
- Universidad EAFIT, (s.f.), CLASIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS. https://www.eafit.edu.co/ecards/adjuntos-mercurio/informacion-institucional/2013/nota_de_clase_97__clasificacin_de_los_proyectos.pdf
- BCN3D, (S.F.), El entorno de trabajo adecuado para tu impresora 3D, https://support.bcn3d.com/es/knowledge/proper-work-environment
- Caloryfrio, (18 de abril de 2024), Tipos de aire acondicionado para elegir el mejor sistema – Infografía, https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-domestico/tipos-aire-acondicionado-elegir-sistema.html
- El Salvador - Tasa de natalidad, nacidos vivos en un año (por cada 1.000 personas). (s. f.). https://www.indexmundi.com/es/datos/el-salvador/indicador/SP.DYN.CBRT.IN
- Portal de Transparencia - El Salvador. (s. f.). https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-bloom/documents/manuales-basicos-de-organizacion
- Peñate, S., & Penate, S. (2023, 29 agosto). Escalafón de trabajadores de Salud tendrá techo salarial de $3,000. Noticias de el Salvador - Noticias de el Salvador, Noticias Internacionales, salvadoreños Por el Mundo, Economía, Negocios, Política, Deportes, Entretenimiento, Tecnología, Turismo, Tendencias, Fotos, Videos, Redes Sociales. https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/escalafon-de-trabajadores-salud-tendra-techo-salarial-3000/1086276/2023/
- Portal de Transparencia - El Salvador. (s. f.-b). https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-rosales/remunerations
- Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom. (2021). Plan anual operativo 2021 [Virtual]. Hospital Nacional de Niños “Benjamín Bloom”. https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-bloom/documents/411779/download
- FUNDABLOOM – El Salvador. (s. f.). https://fundabloom.org/
- World Population Dashboard -El Salvador | United Nations Population Fund. (s. f.). Fondo de Población de las Naciones Unidas. https://www.unfpa.org/es/data/world-population/SV
- countrymeters.info. (s. f.). Población de El Salvador 2024. https://countrymeters.info/es/El_Salvador

- INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL (s.f.). UNIDAD DE RECURSOS HUMANOShttps://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.transparencia.gob.sv/institutions/isss/documents/268301/download&ved=2ahUKEwjy37_N54qJAxWMRTABHc3cCZcQFnoECCoQAQ&usg=AOvVaw2Ja0pkEiqAKlha1-roeEHn
- INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL (s.f.). "Detalles de salario de contratación para médico
- Genera".https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.transparencia.gob.sv/institutions/isss/documents/115972/download&ved=2ahUKEwj-iL2a2YqJAxVWSzABHRqyNUYQFnoECBIQAQ&usg=AOvVaw16Dk7TR_dnytpdlmyMTc9E
- Hospital Nacional General de Neumología y Medicina Familiar "Dr. José Antonio Saldaña". (2021). Manual de organización y funciones de la división de enfermería. División enfermería. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-saldana/documents/448984/download&ved=2ahUKEwjcydPU5YqJAxX7RjABHfIABHYQFnoECC8QAQ&usg=AOvVaw1gjE_zH1sjKJ6AMpX5GETd
- Aire acondicionado 24000 btu mini Split convencional 220 v adina. (s. f.). Epaenlinea.com. Recuperado 28 de octubre de 2024, de https://sv.epaenlinea.com/aire-acondicionado-24000-btu-mini-split-convencional-220-v-adina.html
- Alcohol isopropílico de galón PQI®. (s. f.). Necoinsa. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://www.necoinsa.store/producto/alcohol-isopropilico/
- Amonio cuaternario 5 generación. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/161760/amonio-cuaternario-5-generacion.html?srsltid=AfmBOorrHK7zyBibnPrK88Iu4TZFZSPI_SJAuTs_OQVPIR39S7DHbO0Q
- Amonio cuaternario hospital. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/161762/amonio-cuaternario-hospital.html
- Armario Persiana 4 bandejas CNT 30-1780 1.98 alto x 0.45 fondo x 0.90 ancho. (s. f.). El Salvador Tecnología y Muebles para Oficina. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://elsalvadortecnologia.com/producto/armario-persiana-4-bandejas-cnt-30-1780-1-98-alto-x-0-45-fondo-x-0-90-ancho/

- Bata de Laboratorio Manga Larga. (s. f.). COLORMODA. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://colormoda.com/products/bata-de-laboratorio-manga-larga?variant=47804051849538
- Buy Form 3BL Basic medical package. (s. f.). Formlabs. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://formlabs.com/store/3d-printers/form-3bl-medical-package/#/
- Buy Form 3L Basic package. (s. f.). Formlabs. Recuperado 02 de octubre de 2024, de https://formlabs.com/store/form-3l-package/#/
- Caja Transparente 10 X 10 X 15 # 2.85. (s. f.). Com.sv. Recuperado 03 de octubre de 2024, de https://www.lachinita.com.sv/index.php?route=product/product&product_id=4071
- Calculadora. (2021, octubre 9). Starship. https://mistarship.com/calculadora/
- Cano-Zarate, R., Hernández-Barajas, E. K., Hernández-Barajas, H. H., Meave-González, A., & Espinola-Zavaleta, N. (2021). Efectos de la impresión 3D en la planificación quirúrgica de las cardiopatías congénitas. Archivos de cardiología de México, 91(1), 1–6. https://doi.org/10.24875/acm.20000395
- Castillo y Donald Zhangallimbay, J. G. (s. f.). La tasa social de descuento en la evaluación de proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador 1. Cepal.org. Recuperado 03 de octubre de 2024, de https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/91cab4af-bbd4-41c5-b263-3e217bd549eb/content
- CHITUBOX customer center. (s. f.). Chitubox.com. Recuperado 03 de octubre de 2024, de https://cc.chitubox.com/customer/cart?skuId=17842001&spuId=17842
- Cirugía de Corazón. (2019, mayo 28). Top Cardiac Sugey México. https://www.topcardiacsurgerymexico.com/cirugia-de-corazon/
- COMPUTADORA LAPTOP ACER NITRO NH. QHRAL.005. (s. f.). Office Deppot El Salvador. Recuperado 03 de octubre de 2024, de https://www.officedepot.com.sv/officedepotSV/en/Uncategorized/LAPTOP-ACER-NITRO/p/1301000206
- Diplomatura en Impresión 3D UTN. (2021, mayo 11). E-learning Total | UTN. https://site.elearning-total.com/course/informatica-y-tecnologia-29/diplomatura-en-impresion-3d/?com=et
- Disposable nitrile gloves l s/100. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/143190/DISPOSABLE-NITRILE-GLOVES-L-S-100.html

- ELEGOO Mars Mate air purifier for resin 3D printer. (s. f.). ELEGOO US. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://us.elegoo.com/products/elegoo-mars-mate-large-air-purifier
- ELEGOO MARS MATE Purificador de aire, elimina hasta un 95% de TVOC, compatible con impresoras 3D Saturn 8k, Saturn 2, Saturn 3, Saturn 3 Ultra, Mars 4 DLP, Mars 4 MAX, Jupiter, Jupiter SE, Saturn 4. (s. f.).
- Embudo de Silicón + Filtro Metálico para Resina. (2021, febrero 2). Creativo 3D. https://creativo3d.com.sv/product/embudo-de-silicon-filtro-metalico-para-resina/
- Escritorio Ejecutivo Lexus-2 CNT-30-222 - 1.20 Mt Ancho x 0.75 Profundidad x 0.75 Altura. (s. f.). El Salvador Tecnología y Muebles para Oficina. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://elsalvadortecnologia.com/producto/escritorio-ejecutivo-lexus-2-cnt-30-222-1-20-mt-ancho-x-0-75-profundidad-x-0-75-altura/
- Espátula 4 pulgada plástica. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/148796/espatula-4-pulg-plastica.html
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-a). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/1911fc12-6b49-4f83-b9a4-ee5f6dd78f4d?idCategoria=1d8346ba-b015-440f-91c1-68a80f96ba89&producto=estante%20multiuso%20180x90x40cm%20metal%20blanco-azul%205%20niveles
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-b). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/2d686cd2-4b57-46a9-9b0c-5d9f49a1302a?producto=tenaza%20pinza%206%20pulgadas%20con%20punta%20larga
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-c). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/84ada81d-608c-4c9a-b299-48acc6b956b6?producto=cuchilla%20para%20dibujante%20hobby%20liviana%20tipo%20lapiz
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-d). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/572cd330-838d-431a-8002-3afb63642743?producto=atomizador%201%20litro%20plastico%20blanco
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-e). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/c39e84e4-eb07-

4a23-bc1d-f8f97fb85d4a?producto=vaso%20de%20plastico%20graduada%20para%20pintura%20automotriz%2032%20onza%20sw%20sherwin%20williams

- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-f). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/bbca5838-970f-4b9a-9cc0-8f7dbda975b6?producto=respirador%20media%20cara%20silicona%2Ftermopl%C3%A1stico%20t-m%20con%20cartucho
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-g). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/739731c2-1c5d-4cf8-b589-c3bccd1c0e87?producto=mascarilla%20rectangular%20para%20polvo%20y%20particulas
- FERRETERIA FREUND EL SALVADOR. (s. f.-h). Freund Ferretería. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/ebb3e385-7563-48f5-a333-3415441a415d?producto=gafa%20seguridad%20plastico%20con%20valvula%20
- Ferretería Vidrí El Salvador. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/408550/bandeja-rectangular-49x33cm.html
- Form 3L - Impresora 3D LFS. (s. f.). Filament2Print. Recuperado 05 de octubre de 2024, de https://filament2print.com/es/resina-slalcddlp/988-form-3l-impresora-3d-lfs.html
- Form Cure L. (s. f.). Formlabs. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://formlabs.com/store/post-processing/form-cure-l/
- Form Wash L. (s. f.). Formlabs. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://formlabs.com/store/post-processing/form-wash-l/
- Información general sobre cirugía cardiovascular. (2017, diciembre 27). The Texas Heart Institute®; The Texas Heart Institute. https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/informacion-general-sobre-cirugia-cardiovascular/
- Mesa de Trabajo en Acero Inoxidable Seville. (s. f.). El Salvador Tecnología y Muebles para Oficina. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://elsalvadortecnologia.com/producto/mesa-de-trabajo-en-acero-inoxidable-seville/
- OsiriX Store. (s. f.). Onfastspring.com. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://pixmeo.onfastspring.com/osirix-md-monthly-subscription

- Portal de Transparencia - El Salvador. (s. f.). Gob.sv. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://www.transparencia.gob.sv/institutions/h-santiago-de-maria/remunerations
- Silla De Oficina de Respaldo de Malla Ejecutiva – Soporta 280 Libras – Mónica Gray. (s. f.). El Salvador Tecnología y Muebles para Oficina. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://elsalvadortecnologia.com/producto/silla-de-oficina-de-respaldo-de-malla-ejecutiva-soporta-280-libras-monica-gray/
- Stock CATÁLOGO DE RESINAS.pdf. (s. f.). Google Docs. Recuperado 06 de octubre de 2024, de https://drive.google.com/file/d/1Em51zHykj-2vjqqzuLr-kaS8NnEwrtH9/view?usp=drive_link
- Tasa de inflación mundial 2015-2028. (s. f.). Statista. Recuperado 07 de octubre de 2024, de https://es.statista.com/estadisticas/495587/tasa-de-inflacion-global-respecto-al-ano-anterior/
- Tenaza punta larga 11 pulgada 90 grados. (s. f.). Almacenes Vidrí. Recuperado 07 de octubre de 2024, de https://www.vidri.com.sv/producto/143813/tenaza-punta-larga-11-pulg-90-grados.html
- Ups lcd 1000va/500w 8t + rj45 centra. (s. f.). Epaenlinea.com. Recuperado 07 de octubre de 2024, de https://sv.epaenlinea.com/ups-lcd-1000va-500w-8t-rj45-centra.html
- (S. f.). Gob.sv. Recuperado 07 de octubre de 2024, de https://www.transparencia.gob.sv/institutions/120/documents/573685/download
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2021). ISO 13485: Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes. Recuperado de https://www.iso.org/standard/59752.html
- Ministerio de Salud de El Salvador. (2011). Ley del Sistema Nacional Integrado de Salud. Recuperado de http://www.salud.gob.sv
- Ministerio de Salud de El Salvador. (s.f.). Protocolos de referencia y contrarreferencia en salud. Recuperado de http://www.salud.gob.sv
- Hospital Nacional de Niños Benjamín Bloom. (s.f.). Servicios y procedimientos especializados. Recuperado de https://hospitalbloom.salud.gob.sv
- Hospital Nacional Rosales. (s.f.). Guías clínicas y servicios ofrecidos. Recuperado de http://www.hnrosales.salud.gob.sv
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (s.f.). Fortalecimiento de los sistemas de salud en El Salvador. Recuperado de https://www.paho.org

15. Anexos

Anexo 1

CAPITULO VII DE LOS DELITOS RELATIVOS A LA PROPIEDAD INTELECTUAL VIOLACION DE DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

Art. 226.- El que a escala comercial reprodujere, plagiare, distribuyere al mayoreo o comunicare públicamente, en todo o en parte, una obra literaria o artística o su transformación o una interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o fuere comunicada a través de cualquier medio, sin la autorización de los titulares de los correspondientes derechos de propiedad intelectual o de sus cesionarios, será sancionado con prisión de dos a cuatro años. (30)

En la misma sanción incurrirá, el que a escala comercial importare, exportare o almacenare ejemplares de dichas obras o producciones o ejecuciones sin la referida autorización. (30)

Escala comercial incluye la infracción dolosa significativa de derecho de autor y derechos conexos, con el fin de obtener una ventaja comercial o ganancia económica privada, así como la infracción dolosa que no tenga una motivación directa o indirecta de ganancia económica, siempre que se cause un daño económico mayor a una infracción de poco valor. (30)

Anexo 2

VIOLACION AGRAVADA DE DERECHOS DE AUTOR Y DE DERECHOS CONEXOS

Art. 227.- Será sancionado con prisión de cuatro a seis años, quien realizare cualquiera de las conductas descritas en el artículo anterior, concurriendo alguna de las circunstancias siguientes: (30)

1) Usurpando la condición de autor sobre una obra o parte de ella o el nombre de un artista en una interpretación o ejecución; (30)

2) Modificando sustancialmente la integridad de la obra sin autorización del autor; y, (30)

3) Si la cantidad o el valor de la copia ilícita fuere de especial trascendencia económica. (30)

VIOLACION A MEDIDAS TECNOLÓGICAS EFECTIVAS (30)

Art. 227-A.- Será sancionado con prisión de dos a cuatro años, el que con fines de lograr una ventaja comercial o ganancia financiera privada: (30)

a) Evadiere, sin autorización del titular del derecho, cualquier medida tecnológica efectiva que controle el acceso a una obra, interpretación, ejecución o fonograma protegido u otra materia objeto de protección; (30)

b) Fabricare, importare, distribuyere, ofreciere al público, proporcionare o traficare dispositivos, productos o componentes; u ofreciere al público o proporcionare servicios al público, siempre que los dispositivos, productos o componentes, o los servicios: (30)

1) Sean promocionados, publicitados o comercializados con el propósito de evadir una medida tecnológica efectiva; (30)

2) Tengan únicamente un propósito limitado o uso de importancia comercial diferente al de evadir una medida tecnológica efectiva; o (30)

3) Sean diseñados, producidos o ejecutados principalmente con el fin de permitir o facilitar la evasión de cualquier medida tecnológica efectiva. (30)

Se excluyen de responsabilidad penal, al que ejecute las actividades exceptuadas conforme se establece en el artículo 85-D de la Ley de Propiedad Intelectual. (30)

VIOLACIÓN A LA INFORMACIÓN SOBRE GESTIÓN DE DERECHOS (30)

Art. 227-B.- Será sancionado con prisión de dos a cuatro años, el que con fines de lograr una ventaja comercial o ganancia financiera privada y a sabiendas que este acto podría inducir, permitir, facilitar o encubrir una infracción de un derecho de autor o derecho conexo: (30)

a) A sabiendas suprimiere o alterare cualquier información sobre gestión de derechos; (30)

b) Distribuyere o importare para su distribución la información sobre gestión de derechos, teniendo conocimiento que dicha información ha sido suprimida o alterada sin autorización del titular del derecho; o (30)

c) Distribuyere, importare para su distribución, transmisión, comunicación o puesta a disposición del público copias de obras, interpretaciones o ejecuciones o fonogramas, teniendo conocimiento que la información sobre gestión de derechos ha sido suprimida o alterada sin autorización del titular del derecho. (30)

Se excluye de responsabilidad penal, al que ejecute las actividades exceptuadas conforme se establece en el artículo 85-E de la Ley de Propiedad Intelectual. (30)

Anexo 3

CAPÍTULO XI VIOLACIÓN Y DEFENSA DE LOS DERECHOS

Art. 89.- CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR, TODO ACTO QUE EN CUALQUIER FORMA MENOSCABE O PERJUDIQUE LOS INTERESES MORALES O ECONÓMICOS DEL AUTOR, TALES COMO:

(1) a) El empleo sin el consentimiento del autor, del título de una obra que individualice efectivamente a ésta, para identificar otra del mismo género, cuando exista peligro

a) El empleo sin el consentimiento del autor, del título de una obra que individualice efectivamente a ésta, para identificar otra del mismo género, cuando exista peligro de confusión entre ambas;

b) La publicación por cualquier medio, de un escrito sin el consentimiento del autor, se haga o no a nombre de éste;

c) La impresión por el editor de mayor número de ejemplares que el convenido, salvo el exceso del cinco por ciento para dar cumplimiento a sus obligaciones con las autoridades públicas y efectos de propaganda;

d) La traducción, adaptación, arreglo o transformación de una obra, sin autorización del autor o de sus causahabientes;

e) La publicación de una obra con supresiones, modificaciones o alteraciones no autorizadas por el autor o sus causahabientes, o con errores que constituyan una grave adulteración;

f) La publicación de antologías o recopilaciones, sin el consentimiento de los autores respectivos o de sus causahabientes;

g) La representación, ejecución, difusión, arrendamiento, comunicación o reproducción de obras en cualquier forma y por cualquier medio, con fines de lucro, sin la autorización del autor o de sus causahabientes;

h) La representación, ejecución, exhibición y exposición de la obra en lugares distintos de los convenidos;

i) La adaptación transformación o versión en cualquier forma de una obra ajena o parte de ella, sin consentimiento del autor respectivo o sus causahabientes; j) La

representación o ejecución de una obra con supresiones, modificaciones o alteraciones, no autorizadas por el autor o sus causahabientes;

k) Las adaptaciones, arreglos o limitaciones que impliquen una reproducción disimulada del original;

l) La retransmisión por cualquier medio alámbrico o inalámbrico, de una emisión de radiodifusión, sin el consentimiento del organismo de radiodifusión; y,

m) La reproducción, importación, exportación con fines convencionales, venta y alquiler de reproducciones o copias de las obras protegidas, en todo o en parte, sin autorización del titular de los derechos, incluyendo las actuaciones de los intérpretes o ejecutantes, fonogramas y emisiones de radiodifusión.

n) LA COMUNICACIÓN, REPRODUCCIÓN, TRANSMISIÓN O CUALQUIER OTRO ACTO VIOLATORIO DE LOS DERECHOS PREVISTOS EN ESTA LEY, QUE SE REALICE A TRAVÉS DE REDES DE COMUNICACIÓN DIGITAL; EN CUYO CASO TENDRÁ RESPONSABILIDAD SOLIDARIA EL OPERADOR O CUALQUIER OTRA PERSONA NATURAL O JURÍDICA QUE TENGA EL CONTROL DE UN SISTEMA INFORMÁTICO INTERCONECTADO A DICHA RED, SIEMPRE QUE TENGA CONOCIMIENTO O HAYA SIDO ADVERTIDO DE LA POSIBLE INFRACCIÓN, O NO HAYA PODIDO IGNORARLA SIN NEGLIGENCIA GRAVE DE SU PARTE. SE ENTENDERÁ QUE HA SIDO ADVERTIDO DE LA POSIBILIDAD DE LA INFRACCIÓN, CUANDO SE LE HA DADO NOTICIA DEBIDAMENTE FUNDAMENTADA SOBRE ELLA. LOS OPERADORES U OTRAS PERSONAS NATURALES O JURÍDICAS REFERIDAS EN ESTE LITERAL, ESTARÁN EXENTOS DE RESPONSABILIDAD CUANDO HUBIEREN

ACTUADO DE BUENA FE Y CUANDO HUBIEREN ADOPTADO LAS MEDIDAS TÉCNICAS A FIN DE EVITAR QUE LA INFRACCIÓN SE PRODUZCA O CONTINÚE. (1)

Art. 90.- SIN PERJUICIO DE LAS ACCIONES PENALES CORRESPONDIENTES, LOS TITULARES DE LOS DERECHOS CONFERIDOS POR ESTA LEY, TIENEN ACCIÓN PARA RECLAMAR ANTE LOS TRIBUNALES COMPETENTES, EL CESE DE LA VIOLACIÓN DE CUALQUIERA DE SUS DERECHOS Y LA REPARACIÓN DE DAÑOS Y PERJUICIOS. (1)

EL CESE DE LA VIOLACIÓN DE SUS DERECHOS COMPRENDE: (1)

a) LA SUSPENSIÓN INMEDIATA DE LA ACTIVIDAD ILÍCITA; (1)

b) LA PROHIBICIÓN AL INFRACTOR DE REANUDARLA; (1)

c) EL DECOMISO DE LOS EJEMPLARES ILÍCITOS Y DE LA EVIDENCIA DOCUMENTAL RELEVANTE A LA INFRACCIÓN; (1)

d) LA DESTRUCCIÓN DE LOS BIENES OBJETO DE LA INFRACCIÓN; (1)

e) EL DECOMISO DE MOLDES, PLANCHAS, MATRICES, NEGATIVOS, DISPOSITIVOS Y PRODUCTOS RELACIONADOS, YA SEAN FIJADOS O NO, Y OTROS OBJETOS UTILIZADOS PARA LA REPRODUCCIÓN ILEGAL; (1) (2)

f) LA DESTRUCCIÓN DE LOS MATERIALES E IMPLEMENTOS QUE HAN SIDO UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN O CREACIÓN DE LOS BIENES INFRACTORES, SIN COMPENSACIÓN ALGUNA PARA EL INFRACTOR O, EN CIRCUNSTANCIAS EXCEPCIONALES SIN COMPENSACIÓN ALGUNA, DISPUESTAS FUERA DE LOS CANALES COMERCIALES DE MANERA QUE SE MINIMICE EL RIESGO DE INFRACCIONES FUTURAS. AL CONSIDERAR LAS SOLICITUDES PARA DICHA DESTRUCCIÓN, EL TRIBUNAL COMPETENTE TOMARÁ EN CONSIDERACIÓN, ENTRE OTROS FACTORES, LA GRAVEDAD DE LA INFRACCIÓN, ASÍ COMO EL INTERÉS DE TERCERAS PERSONAS, TITULARES DE

DERECHOS REALES, DE POSESIÓN, O DE UN INTERÉS CONTRACTUAL O GARANTIZADO; (1)

g) LA DONACIÓN CON FINES DE CARIDAD DE LAS MERCANCÍAS INFRACTORAS DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS, SOLAMENTE CON LA AUTORIZACIÓN DEL TITULAR DEL DERECHO; (1)

h) LA REMOCIÓN O LA GUARDA BAJO LLAVE Y SELLO DE LOS APARATOS UTILIZADOS EN LA COMUNICACIÓN PÚBLICA NO AUTORIZADA; e, (1)

i) LA PUBLICACIÓN DE LA SENTENCIA CONDENATORIA Y SU NOTIFICACIÓN A LAS PERSONAS INTERESADAS, A COSTA DEL INFRACTOR. (1)

Anexo 4

TITULO I

CAPITULO UNICO

LA PERSONA HUMANA Y LOS FINES DEL ESTADO

Art.1.- El Salvador reconoce a la persona humana como el origen y el fin de la actividad del Estado, que está organizado para la consecución de la justicia, de la seguridad jurídica y del bien común.

ASÍ MISMO RECONOCE COMO PERSONA HUMANA A TODO SER HUMANO DESDE EL INSTANTE DE LA CONCEPCION. (12)

En consecuencia, es obligación del Estado asegurar a los habitantes de la República, el goce de la libertad, la salud, la cultura, el bienestar económico y la justicia social.

SECCION CUARTA SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL

Art. 65.- La salud de los habitantes de la República constituye un bien público. El Estado y las personas están obligados a velar por su conservación y restablecimiento. El Estado determinará la política nacional de salud y controlará y supervisará su aplicación

Anexo 5

CAPITULO VIII

OBLIGACIONES, DERECHOS, Y PROHIBICIONES

SECCION UNO

OBLIGACIONES

Art. 33: Son obligaciones de los profesionales técnicos, auxiliares higieneisticas y

asistentes, relacionados con la salud, los siguientes:

a) Atender en la forma a toda persona que solicitare sus servicios profesionales atendiéndose siempre a su condición humana sin distintos de nacionalidad, religión, raza, credo político ni clase social;

b) Cumplir con las reglas de la ética profesional adoptadas por la Junta respectiva;

c) Cumplir con las disposiciones del presente Código y los Reglamentos respectivos;

ch) Colaborar gratuitamente cuando sus servicios fueren requeridos por las autoridades de salud y demás instituciones y organismos relacionados con la salud y demás instituciones y organismos relacionados con la salud, en caso y catástrofe, epidemia, u otra calamidad general;

d) Atender inmediatamente casos de emergencia de emergencia para los que fueran requeridos;

e) Cumplir con las disposiciones vigentes, sobre prescripción y estupefacientes psicotrópicos y agregados; y

f) Todas las demás obligaciones y responsabilidades que conforme al presente Código y sus reglamentos les correspondan.

SECCION DOS

DERECHOS

Art. 34: Son derechos de los profesionales técnicos, auxiliares higienistas y

asistentes relacionados con la salud los siguientes:

a) Contratar convencionalmente, los honorarios profesionales;

b) Solicitar a la Junta respectiva su intervención cuando surjan desacuerdos en relación a los honorarios;

c) Transferir pacientes a otros profesionales cuando en beneficio de una mejor atención lo consideren necesario;

ch) Velar por la superación del gremio.

SECCION TRES

PROHIBICIONES

Art. 35: Se prohíbe a los profesionales técnicos, auxiliares, higienistas y asistentes relacionados con la salud:

a) Permitir el uso de su nombre a persona de no facultada por la Junta respectiva para que ejerza su profesión;

b) Difamar, calumniar o tratar de perjudicar por cualquier medio a otro profesional en el ejercicio de la profesión;

c) Prometer el alivio de la curación por medio de procedimientos anti- científicos o dudosos;

ch) Anunciar agentes terapéuticos de efectos inflamables;

d) Anunciar o aplicar fármacos, inocuos, atribuyéndose acción terapéutica;

e) Anunciar características técnicas de sus equipos o instrumental que induzca

error o engaño;

f) Anunciar la confección de aparatos protésicos exaltando sus virtudes, propiedades, término de su construcción, duración, tipos, características y precios;

g) Expedir certificados en los que se exalten o se elogien la calidad o cualidad de los instrumentos o productos elaborados;

h) Publicar falsos éxitos profesionales, estadísticas ficticias, datos exactos inexactos o cualquier otro engaño;

i) Publicar referencias a técnicas o procedimientos profesionales en medios de difusión no especializados en la respectiva profesión;

j) Publicar cartas de agradecimiento de los pacientes;

k) Practicar hipnosis con otra finalidad que no sea del ejercicio mismo de su profesión;

l) Delegar a su profesional técnico o auxiliar, facultades, funciones o atribuciones propias de su profesión;

ll) Expedir certificaciones profesionales por complacencia de o dando datos falsos sobre el padecimiento de enfermedades no existentes; y

m) Las demás que la Junta respectiva el presente Código y los Reglamentos respectivitos les prohíban;

Queda prohibido que los técnicos y auxiliares dentales la atención clínica o quirúrgica de los pacientes.

Anexo 6

Contenido del Alta Hospitalaria

Art. 14.- A todo paciente o su representante en el momento de recibir su alta hospitalaria, se le proporcionará por escrito un informe sobre la atención recibida, que como mínimo contenga:

a) Nombre del médico responsable e Inter consultados en relación con su tratamiento, y su número de registro;

b) Su diagnóstico de ingreso y su diagnóstico de alta;

c) Resultados de los exámenes, los procedimientos efectuados relacionados a su diagnóstico principal;

d) Tiempo de internamiento y el periodo de tratamiento;

e) Las indicaciones a seguir, de continuar con tratamiento ambulatorio; y,

f) En caso de servicios privados, deberá agregarse información detallada sobre los costos, honorarios y procedimientos de cobro de las prestaciones de salud que les fueron aplicadas.

Anexo 7

Derecho de Consentimiento Informado

Art. 15.- Todo procedimiento de atención médica será acordado entre el paciente o su

representante y el prestador de servicios de salud, luego de recibir información adecuada, suficiente y continua; lo que deberá constar por escrito y firmado por el paciente o su representante, en el formulario autorizado para tal fin.

Anexo 8

Derecho a la Confidencialidad

Art. 20.- Los pacientes tendrán derecho a que se respete el carácter confidencial de su expediente clínico y toda la información relativa al diagnóstico, tratamiento, estancia, pronósticos y datos de su enfermedad o padecimiento, a menos que por autorización escrita del mismo o porque existan razones legales o médicas imperiosas, se deba divulgar tal información.

Anexo 9

Derechos de los Profesionales de la Salud

Art. 31.- Además de los derechos regulados por el Código de Salud en su artículo 34 y otras disposiciones relativas a la materia, los profesionales de la salud gozarán de los siguientes derechos:

a) El profesional de la salud de acuerdo con su experiencia, capacidad y recursos instalados, decidirá el mejor procedimiento de atención, respetando las normas, protocolos

institucionales y los reconocidos internacionalmente;

b) Obtener del paciente y los familiares, la colaboración necesaria para el mejor desempeño de sus funciones;

c) Dejar constancia por escrito de su negativa a efectuar actos ajenos a la naturaleza de

su profesión, las funciones de su cargo y las condiciones acordadas con el paciente o la

institución;

d) Contar con instalaciones apropiadas y seguras que garanticen el buen desempeño de sus labores; y,

e) Recibir de la autoridad competente la colaboración necesaria para el mejor desarrollo de sus funciones.

Anexo 10

Deberes de los Prestadores de Servicios de Salud

Art. 33.- Todo prestador de servicios de salud, tendrá los deberes siguientes:

a) Dar cumplimiento y asegurar la difusión de los derechos y deberes que esta Ley consagra, a todas las personas en atención a su salud;

b) Explicar a los pacientes y usuarios, de forma clara, concisa y detallada sobre la enfermedad o padecimiento que adolezcan, y su diagnóstico, tratamiento, medicación, duración y posibles efectos secundarios;

c) Garantizar el secreto profesional, tal como se especifica en el artículo 20 de la presente Ley;

d) Custodiar los expedientes clínicos de los pacientes, adoptando las medidas técnicas y procedimientos adecuados para el resguardo y protección de los datos contenidos en los mismos y evitar su destrucción o pérdida;

e) Tener una actuación diligente, profesional, ética y moral, y deberá responder cuando por negligencia, impericia, ignorancia, abandono inexcusable, cause daño o la muerte a un paciente;

f) Colocar en sus instalaciones y establecimientos de manera pública y visible, los derechos y deberes de los pacientes; y,

g) Aplicar el mejor procedimiento de atención, respetando las normas institucionales

establecidas, de acuerdo con su experiencia, capacidad y recursos instalados.

Deber de Informar

Art. 34.- Todo prestador de servicios de salud, explicará al paciente de manera detallada lo estipulado en el artículo 13 de la presente Ley

Anexo 11

Infracciones Graves

Art. 42.- Constituyen infracciones graves:

a) No estar debidamente acreditado, certificado y autorizado, para ejercer las profesiones relacionas con la salud;

b) Negar la atención en situación de emergencia a un paciente, poniendo en riesgo su vida, en los establecimientos del Sistema Nacional de Salud y privados;

c) Derivar pacientes de los servicios públicos hacia atención privada mediante información engañosa o amenazas de no recibir atención en el establecimiento público;

d) Brindar el servicio con faltas de respeto, insultos, improperios y frases hirientes al

paciente;

e) Negar la atención en salud a una persona o brindarla deficientemente, debido a sus creencias, sexo, diversidad sexual, edad, condición económica, social, política o ideológica u otra condición;

f) Dar información, diagnóstico o tratamiento alterado intencionalmente a un paciente, que agrave su estado de salud;

g) Dañar, alterar o extraer hojas del expediente clínico de un paciente o usuario;

h) Realizar un procedimiento o tratamiento médico sea o no invasivo sin el expreso consentimiento por escrito del paciente o en su defecto de su familiar cercano, o representante;

i) Someter a un procedimiento médico de investigación a un paciente, sin haber obtenido su consentimiento informado por escrito, en el que exprese conscientemente su voluntad de realizarlo;

j) Sustraer sin autorización medicamentos, instrumental o insumos médicos del establecimiento en el que presta servicios de salud;

k) Abandonar al paciente bajo su cuidado, para prestar servicios privados de salud, en horas laborales cuando se trate de un profesional contratado en el Sistema Público de Salud. Salvo aquellos casos de emergencia y que tenga autorización de su superior;

l) Difundir públicamente la información médica y clínica del estado de salud de un paciente, la cual se haya obtenido en la atención médica brindada;

m) Expedir certificaciones profesionales por complacencia o dando datos falsos sobre el padecimiento de enfermedades no existentes;

n) Practicar hipnosis con otra finalidad, que no sea del ejercicio mismo de su profesión;

o) Proferir todo tipo de insultos y maltratos físicos, psicológicos y morales, a los pacientes familiares o responsables estando en el interior de todo establecimiento público o privado de salud; y,

p) Ofrecer, dar o recibir cualquier tipo de recompensa en carácter de pago por un servicio ofrecido en establecimientos de la Red Pública de Salud.

Infracciones Menos Graves

Art. 43.- Constituyen infracciones menos graves:

a) No entregar al paciente por escrito, información de una forma clara, comprensible, precisa y oportuna sobre su estado de salud y las alternativas de curación para reestablecerla;

b) Brindar atención de salud o realizar un procedimiento médico sin resguardar la intimidad y privacidad del paciente;

c) Impedir que el paciente reciba una segunda opinión antes de realizar un procedimiento cuando así lo ha solicitado;

d) Negarse sin causa justificada a prescribir un medicamento, examen de laboratorio,

examen de gabinete y/o indicar un procedimiento, que se encuentre en existencia o se

esté realizando en la Red de Salud Pública;

e) Prometer el alivio o la curación por medio de procedimientos anticientíficos o dudosos;

f) Publicar falsos éxitos profesionales, estadísticas ficticias, datos inexactos o cualquier otro engaño;

g) Utilizar y publicar en medios de difusión, falsas referencias a técnicas o procedimientos personales, o que no correspondan a su formación profesional y que induzcan al engaño;

h) Los prestadores de servicios de salud sean públicos, privados, autónomos incluyendo al Instituto Salvadoreño del Seguro Social, cuando no contemplen en sus términos de licitación y contratación las garantías establecidas en la presente Ley; y,

i) Daños a la infraestructura, equipo médico o insumos por parte del paciente o usuario en el establecimiento en el cual está recibiendo la atención en salud.

ANEXO 12

GOBIERNO DE EL SALVADOR

MINISTERIO DE SALUD

Atención por grupos etarios especialidad Cardiología 2022

Grupos Etarios	TOTAL
< 1 año	1502
1 - 4	1461
5 - 9	1120
10 - 19	1916
20 - 29	1498
30 - 39	1554
40 - 49	2821
50 - 59	4982
60 a +	16668
Total	33,522

Tasa atenciones en especialidad de cardiología: 21.6 por 1000 atenciones

NOTA: Se remite datos solicitados, tal cual se tiene registrados en los sistemas de información

Sin otro particular.

Atentamente.

Calle Arce #827 San Salvador, El Salvador, C.A. MINSAL
Teléfono No. 2591-7627, Conmutador PBX 2591-7000
www.salud.gob.sv

GOBIERNO DE EL SALVADOR

MINISTERIO DE SALUD

Dirección Nacional de Hospitales
N° 2023-6003-0268

MEMORANDUM

Para: **Licenciado Carlos Alfredo Castillo**
Oficial de Información

De: **Dra. Carmen Guadalupe Melara de García**
Coordinadora Nacional de Hospitales

MINISTERIO DE SALUD
DIRECCION NACIONAL DE HOSPITALES
EL SALVADOR, C.A.

Asunto: Respuesta a memorándum 2023-6017-1531

Fecha: 17 de marzo de 2023

Reciba un cordial saludo.

En respuesta a memorándum 2023-6017-1531 referente a solicitud de información según los siguientes ítems:

- Lista de hospitales que cuentan con área de cardiología
  1. Hospital Nacional "San Juan de Dios" de Santa Ana
  2. Hospital Nacional Rosales
  3. Hospital Nacional "San Pedro" de Usulután
  4. Hospital Nacional de Niños "Benjamín Bloom"

- Cantidad y tasas de pacientes de la especialidad de cardiología a nivel nacional por sexo y edad

Atenciones por sexo especialidad Cardiología 2022

SEXO	F	M	TOTAL
TOTAL	21,936	11,586	33,522

RECIBIDO
FECHA 20/03/23
HORA 3:23

Calle Arce #827 San Salvador, El Salvador, C.A. MINSAL
Teléfono No. 2591-7627, Conmutador PBX 2591-7000
www.salud.gob.sv

ANEXO 13

Entrevistas a profesionales de la medicina

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 08 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Dra. Ivonne Chávez

Especialidad: Cardióloga Pediatra **Puesto de trabajo:** Consultorio Propio

Lugar de trabajo: Hospital San Francisco, nivel 4 local D-8 San Miguel CP, 3301

SECCIÓN 1: INTERROGANTES DEL PROCESO DE PLANEACIÓN PREOPERATORIA.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar a un paciente?

R/ Lo que hacemos es un ecocardiograma, digamos que eso lo que nos permite ver cuál es el defecto que tiene el paciente, o cual es la cardiopatía, en algunos casos, es necesario

hacerles resonancia magnética cardiaca también o imágenes por cateterismo, esos son los estudios con los que contamos para poder hacer el diagnóstico.

2. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?

El ecocardiograma, ese es inmediato, se pone el traductor en el cuerpo del paciente, en el tórax del paciente y de inmediato puede hacer la imagen, y ahí cuanto tiempo demoramos haciendo todo el estudio, pues depende de cada caso, de la cardiopatía que sea, pero un ecocardiograma así bien hecho, 30 minutos, 45 minutos, pero es inmediato hacer el diagnóstico.

3. ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?

Si permite evaluar la anotomía, a veces hay problemas, pero con los vasos sub aórticos, ósea, las estructuras que están fuera del corazón, vasos que están fuera del corazón, ahí si se necesita a veces de otros estudios, pero el corazón, como tal, el ecocardiograma es el gol estándar para poderlo ver.

4. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?

Si (esta pregunta la respondió con su explicación de la respuesta anterior)

5. ¿Considera usted que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente?

No, es eficiente.

6. ¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?

Primero hay que hacer el diagnóstico, ya una vez hecho el diagnóstico, se presenta el caso al cirujano cardiovascular, debe haber una discusión medico quirúrgica, entre cardiólogo clínico, y el cirujano cardiovascular, para ponerse de acuerdo cual es el método, o cual es la

técnica que le va a favorecer más al paciente a la hora de operarse, porque puede ser incluso cerrada dice uno, por cateterismo, implante de válvula, o implantes de dispositivos, luego de ponerse de acuerdo con el cirujano, se le hacen todos los estudio pre operatorios al paciente, que ya no es solo el corazón, sino que hay que ver glucosa, creatinina, tiempos, hemoglobina, y en base a eso se prepara al paciente para proceder al acto quirúrgico.

7. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?

Hablamos de la resonancia magnética, del cateterismo por imagen, únicamente eso.

8. ¿Conoce usted la aplicación de los modelos 3D en la medicina?

Si, si he escuchado, hay una colega cardióloga pediatra que trabaja en un centro de estado unidos, ella es hemo dinamista que saca en las técnicas por hemodinámica, que sería prácticamente un fluoroscopia dice uno, solo como una pantalla de rayos X, y hacen que se la hagan en 3D, con una impresora especial, pero estamos hablando ya verdad, aquí en nuestro medio, prácticamente solo por equipo de eco es que tiene la función de hacer imágenes en 3D, pero así como lo plantean ustedes en su proyecto está muy interesante, y si básicamente eso no lo tenemos acá

9. ¿Alguna vez ha empleado un modelo 3D?

No, así como modelos 3D en vivo, como ustedes lo están planteando realmente no hay, lo que los vemos en 3D, pero por imagen, en eco pues, en pantalla, y yo les entiendo que es que los van a hacer, por decir algo así, como, fabricar el corazón, así es verdad.

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?

Si, me parece muy interesante, y sobre todo para poder plantearle al paciente, que el paciente vea cuál es su patología, así en un modelo anatómico.

11. ¿Al ofrecerle a un paciente este tipo de servicios, siempre y cuando sean accesibles económicamente, estarían ellos dispuestos a adquirirlos?, desde su punto de vista profesional

Si claro que sí, el paciente siempre está interesado, en saber, entender que es lo que tiene.

12. ¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?

Se puede implementando poco a poco, si poco a poco se puede ir implementando.

13. ¿Cree que tipo de profesional del área de medicina podría hacerse cargo del área de impresión?

Ahí tendría que ser, en este caso el mismo cardiólogo pediatra o el cardiólogo perdón, con ingenieros en informática me imagino yo, que sean los que van a permitir que se fabrique el modelo.

14. ¿Estima que la cirugía puede ser menos invasiva, si se aplica como guía un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?

Irían más seguros a corregir lo que tengan que corregir.

SECCIÓN 2: INTERROGANTES EN CUANTO AL PROCESO QUIRÚRGICO

15. ¿Sabe usted cual es la guía que se emplea para visualizar la orientación del proceso quirúrgico?

Fíjese que eso, para saber qué es lo que van a ir hacer, como le decía, tanto el cardiólogo clínico como el cirujano ven el caso o ven el defecto, entonces ahí se basan en lo que vio en el

ecocardiograma el cirujano a la hora de ir a operar y buscar el defecto. Digamos que la guía que van a usar es eso pues, estudiar el caso antes de ir a operar.

16. ¿Con base a su conocimiento y/o experiencia, cuanto es el tiempo mínimo y el máximo que puede durar la operación de un paciente del área?

En toda la preparación del paciente, 2 horas, máximo puede tardar hasta 12 horas o más, porque depende de la complejidad del caso, y estoy hablando de la cirugía de corazón abierto, porque hay procedimientos que son cerrado, de correcciones de cardiopatía, esos son más rápidos también, que duran una hora, pero esos serían procedimientos por cateterismo, pero cirugía a corazón abierto, anda por ahí, de 2 hasta 12 horas en casos muy complicados.

17. ¿Cuáles son los profesionales que integran el equipo de apoyo en las cirugías?

Generalmente, si es algo complicado se opera con otro cirujano cardiovascular, están los anestesistas, están los per fusionistas, que son los que dan la bomba de circulación extracorpórea, las enfermeras, a veces tiene que ir el cardiólogo clínico también, a estar pendiente de la cirugía, y tiene que estar afuera, cuando ya sale el paciente de la cirugía, inmediatamente, el intensivista cardiovascular.

18. ¿Cuáles son los equipos más importantes al realizar una cirugía?

La bomba de circulación extracorpórea y la máquina de anestesia.

19. ¿Considera usted que al aplicar un modelo de impresión 3D, el tiempo de duración de la cirugía se puede reducir?

Lo que manda en la profundidad de la cardiopatía o de la corrección. Depende de la complejidad del caso. Depende de la complejidad de lo que se está corrigiendo.

20. ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D en el diagnóstico y planeación preoperatoria?

SI, en mi caso es muy importante, yo soy cardióloga pediatra, entonces vemos cardiopatías congénitas y vemos que hay unas que son muy complejas, entones para que tanto para los papas, el cirujano y nosotros como cardiólogos clínicos pueda entenderlo, sería muy bueno en mi área.

SECCIÓN 3: INTERROGANTES DEL PROCESO POST QUIRÚRGICO

21. ¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular?

Eso también depende de la complejidad del paciente, pero hay casos están en USI, todo el monitorio de 8 a 12 horas máximo, y luego pasa a recuperación a piso 1 o 2 días, ya en 3 días van de alta, por lo sencillo, pero hay paciente que se pueden complicar tanto que se pueden tardar hasta meses en su recuperación, es bien variable.

22. ¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva?

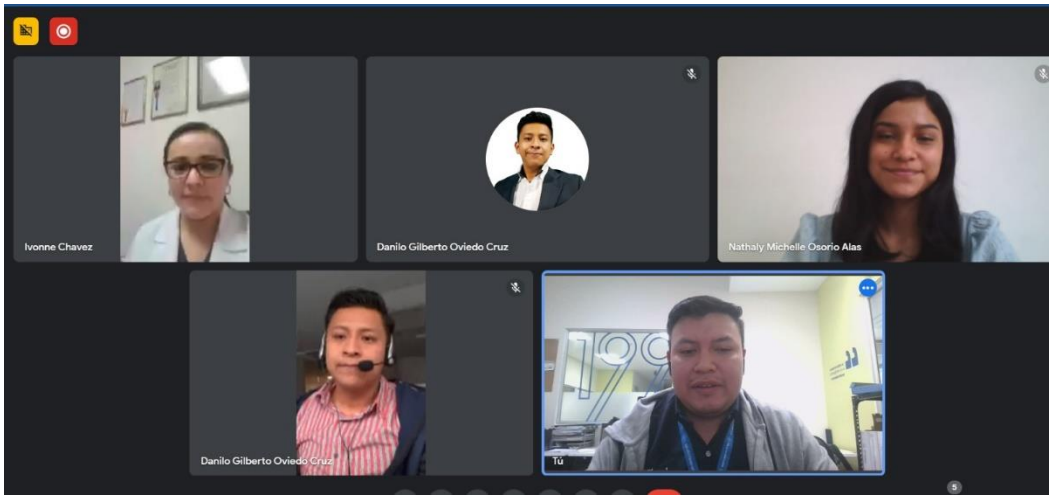
En realidad, no, depende de la respuesta que tenga el paciente a la cirugía, que va a depender al mismo tiempo de la complejidad del caso.

23. ¿La aplicación de la fabricación digital sería más conveniente aplicarla por medio de empresa privada o gubernamental?

La verdad que debería tener oportunidad en los dos ámbitos, tanto lo público como lo privado.

Comentario extra:

Sería bueno que escucharan la opinión del doctor Luis Guzmán, el doctor es intensivista pediatra, y él es quien lleva los casos específicamente de las cirugías cardiovasculares pediátricas, él trabaja en el hospital Bloom.


Ivonne Chavez
Danilo Gilberto Oviedo Cruz
Nathaly Michelle Osorio Alas
Danilo Gilberto Oviedo Cruz
Tú

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 09/ 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Yanira Murillo

Especialidad: Licda. En laboratorio clínico **Puesto de trabajo:** Enfermera

1. ¿Conoce usted la tecnología actual que los médicos aplican para visualizar y diagnosticar a un paciente previo a una cirugía?

Serie de *exámenes, como nuevos equipos de ultrasonografía para observar el cuerpo desde adentro sin necesidad de hacer una cirugía.*

2. ¿Conoce de otras tecnologías que se puedan emplear para el proceso de generación de diagnósticos?

Ultrasonografías, cámaras internas, rayos X.

3. Según su experiencia/conocimiento, ¿Cuál es la dinámica que utiliza un cirujano para explicar el proceso de cirugía a los miembros del equipo?

Se maneja antes de la cirugía antes de entrar a cirugía, se le comunica a todo el equipo médico bioquímico para estar coordinados para saber qué tipo de cirugía se va a realizar y que tipo de instrumentos se van a utilizar.

4. ¿Qué medios utiliza el médico principal, para dar a entender el caso que se abordara en la cirugía?

   El método de cirugía es verbal

5. ¿Conoce usted la aplicación de los modelos 3D la medicina?

   No

6. ¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones adecuadas para la aplicación de la impresión 3D en cardiología?

   Sí, porque se ha avanzado bastante a nivel de país y profesional para poder adaptarse para utilizar este nuevo tipo de tecnologías, que es muy probable para poder hacer más factible para los médicos.

7. ¿La aplicación de estas tecnologías desde su punto de vista seria de carácter público o privado?

   Ambos; aunque es más fácil que llegue más fácil que llegue al carácter privado. Es más rápido en el carácter privado.

8. ¿Cómo parte del equipo médico de la red de salud del país, usted estaría interesada en adquirir conocimientos en aplicación de fabricación digital en el área?

   Sí

9. ¿Qué suministros, equipo y maquinaria; se utiliza al realizar una cirugía?

   Sí, el bisturí, tenazas, mascarillas, agujas, sueros, medicamentos.

10. ¿Cuál es el personal médico que se ve involucrado en la realización de una cirugía?

    Cirujanos, enfermeras, esterilizadores de instrumentos.

11. ¿Usted cree que la parte de la visualización por radiografía es algo deficiente para diagnosticar a pacientes de cirugía?

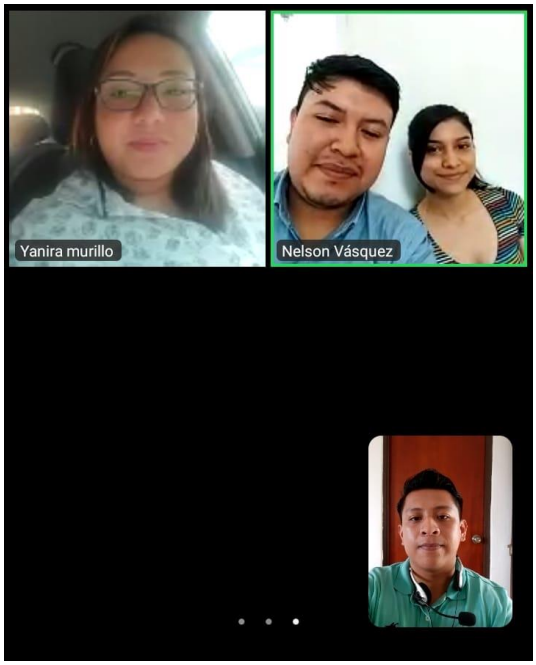
    No es deficiente, es una de las mejores maneras de ver desde adentro para saber cómo está un órgano, cuanto mide antes de iniciar la cirugía

12. ¿Cuánto tiempo considera usted, que un paciente sometido a cirugía pasa en el hospital después de finalizado su proceso quirúrgico?

    Depende de la operación, la reacción de la persona a la cirugía puede ser diferente, también depende del drenaje de la persona.

13. ¿Qué recursos son utilizados en un paciente, para dar tratamientos postquirúrgicos (rehabilitación)?

    El mecanismo es clínico, depende del médico, todo dependerá de lo que el médico considera que será mejor para su paciente.


Yanira murillo
Nelson Vásquez

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 13 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Dr. Miguel Ángel Ramos Soriano
Especialidad: Cardiólogo Pediatra con especialidad en intervencionismo cardiaco pediátrico realizado en México **Puesto de trabajo:** Cardiólogo Pediatra

SECCIÓN 1: INTERROGANTES DEL PROCESO DE PLANEACIÓN PREOPERATORIA.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar a un paciente?

Tomografías para analizar la estructura en una vista multiplanar para poder determinar el diámetro de los defectos y saber hasta qué diámetro se pueden llevar, conocer que tamaño de dispositivos se necesita utilizar. Un programa abierto llamado Radián para luego hacer la planeación del procedimiento.

2. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?

Alrededor de 5 minutos, dependiendo de qué tan cargado este el objeto de estudio.

3. ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?

Sí, no hay de otra. Es lo que hay disponible. Tiene más utilidad que en la cirugía cardiología cardiovascular, sobre todo porque esa es revisar en vivo la estructura.

En la Hemodinamia de cateterismos cardiacos, trabaja por medio de fluoroscopia, que es como una radiografía en vivo y en 2D se realiza el procedimiento. Una visualización 3D del corazón tal vez no sea muy útil porque trabajamos en 2D y podemos generar vistas multiplanares, pero sería útil en ciertos defectos para comprender cómo está funcionando ese corazón.

4. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?

Muchas veces que el radiólogo haga bien su trabajo, que las imágenes tengan una nitidez adecuada, si son cortes muy gruesos no sirve, se necesitan cortes más finos para evaluarla de mejor manera para observar las estructuras anatómicas y poder realizar un diagnóstico adecuado irá acompañado de la experiencia previa en las patologías.

5. ¿Considera usted que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente?

No creo que sea deficiente, vamos trabajando con eso años, no es deficiente, sin embargo, todo se puede mejorar. Estamos siempre en un proceso de actualización y se busca innovar y mejorar el entendimiento de las enfermedades y particularidades de los pacientes para resolver su patología.

6. ¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?

Evaluación del paciente, sospechar como tal el diagnóstico con la clínica previa, posterior a eso el electrocardiograma, ecocardiograma nunca debe faltar ayuda a saber cómo está el corazón, para un proceso quirúrgico sería la tomografía en caso de que se requiera, estudios de gabinete y luego la planeación quirúrgica, en hospitales públicos se necesita también el contexto social, ya que no se pueden ofrecer a toda la población. Ya que no todos tienen los recursos económicos, disponibilidad de tiempo y hasta de distancia para poder asistir a los controles después de hecha la cirugía, todo eso se debe tomar en cuenta y se debe ser selectivo para saber qué operación va a dar fruto a futuro. Previo a la cirugía también son las tomas de laboratorio, respuesta a procesos de anestesiología.

De acuerdo con su contexto social, antecedentes y todos los estudias y a partir de ahí se decide qué tipo de cirugía se le puede ofrecer al paciente, muchas veces con ayuda de otros profesionales de otras áreas de la medicina como cardiólogos, cirujanos, doctores de terapia intensiva del paciente para hacer una selección completa.

7. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?

A uno de los congresos a los que pude ir allá en México, se menciona la realidad aumentada, estos con lentes tridimensionales, de hecho, ya están analizando este tipo de casos con esta tecnología, no tanto impresiones en 3D, eso queda como en segundo término para que el cirujano pueda analizar la tecnología y pueda practicar. Un grupo de la Universidad de Colorado de México que ya están utilizándolo para visualizar las piezas. Sobre ese mismo programa van generando el modelo 3D, lo van modificando y analizando. Incluso los dispositivos que utilizamos nosotros se podrían sobreponer para saber qué tipo de pieza se necesita al momento de hacer cateterismo. Es muy útil un profesional que está en otra región pueda dar detalles importantes, por ejemplo, al doctor que está en el salvador o a mí en honduras y mejorar la atención a los pacientes de nuestra región.

8. ¿Conoce usted la aplicación de los modelos de impresión 3D en la medicina?

Sí, había leído un poco de ello en un artículo de estados unidos sobre una cirugía de doble vía de salida de ventrículo derecho donde justamente utilizaban esta tecnología para abordar al paciente quirúrgico.

9. ¿Alguna vez ha empleado un modelo de impresión 3D?

No, directamente no.

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?

Sí, me gustaría.

11. ¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?

Yo creo que no, actualmente nuestros países hay otras prioridades en salud, deficiencias más básicas que optar por esta opción.

12. ¿Qué tipo de profesional del área de medicina podría hacerse cargo del área de impresión 3D?

Un radiólogo, lo ideal sería un cardiólogo con especialidad en imagen cardiovascular.

13. ¿Estima que la cirugía puede ser menos invasiva, si se aplica como guía un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?

Tal vez no menos invasiva, pero tal vez si pueda disminuir el tiempo de la cirugía porque la práctica y la idea que ya lleva el cirujano para realizar el procedimiento es mejor. La invasividad del procedimiento no va a cambiar, al fin y al cabo, será una cirugía mayor de alto riesgo.

14. ¿Sabe usted cuál es la guía que se emplea para visualizar la orientación del proceso quirúrgico?

El ecocardiograma transesofágico. El ecocardiograma, un ultrasonido del corazón, como los pacientes tienen abierto el tórax, se les introduce una sonda a través del esófago y como el esófago está por detrás del corazón, por ahí se puede realizar el ecocardiograma sin afectar el área de cirugía.

15. ¿Con base a su conocimiento y/o experiencia, cuanto es el tiempo mínimo y el máximo que puede durar la operación de un paciente del área?

    En promedio salen como unas 6 horas, más o menos.

16. ¿Durante un proceso quirúrgico, cuáles serían los profesionales que integran el equipo de apoyo en las cirugías?

    El anestesiólogo, el ecocardiografista por si se requiere un estudio de imagen durante el procedimiento, enfermeras quirúrgicas, en cirugías cardiovasculares, serían las perfusionistas que son las encargadas de utilizar la bomba extracorpórea durante el procedimiento. Serían los más importantes

17. ¿A todos estos miembros del equipo, se les comunica o se les informa el procedimiento que se va a aplicar?

    A los anestesiólogos si, el procedimiento y duración para brindar la anestesia que se va a necesitar. Por lo general los equipos en cirugía son muy compactos, entonces cuando se dan esos comités o sesiones de los grupos de cardiología y los cirujanos, también entran las enfermeras para estar enteradas del caso.

18. ¿Cuándo se dan esas sesiones que usted menciona, cree usted que sería útil tener la impresión 3D durante la misma?

    Si para que todos visualicen, en este caso la anatomía.

19. ¿Cuáles son los equipos o maquinarias más importantes para realizar una cirugía de este tipo?

De entrada, el cardiólogo, en primera instancia, hace el ecocardiograma y el diagnóstico que se le comenta al cirujano el caso, además que es quien realiza la cirugía. La máquina de anestesia, equipos de succión, equipo de tomas de oxígeno, la bomba extracorpórea, el corazón debe quedar sin latir para poder manipularlo. Esta bomba se conecta a las venas y arterias importantes del corazón. Hace la función de los pulmones y el corazón durante la operación, mantiene la circulación mientras el corazón está detenido. Junto con la máquina de anestesia, estos últimos son de los más importantes.

20. ¿Considera que con la aplicación de los modelos 3D el tiempo de cirugía se podría reducir?

Yo creo que sí

21. ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D en el diagnóstico y planeación preoperatoria?

sí, definitivamente sí.

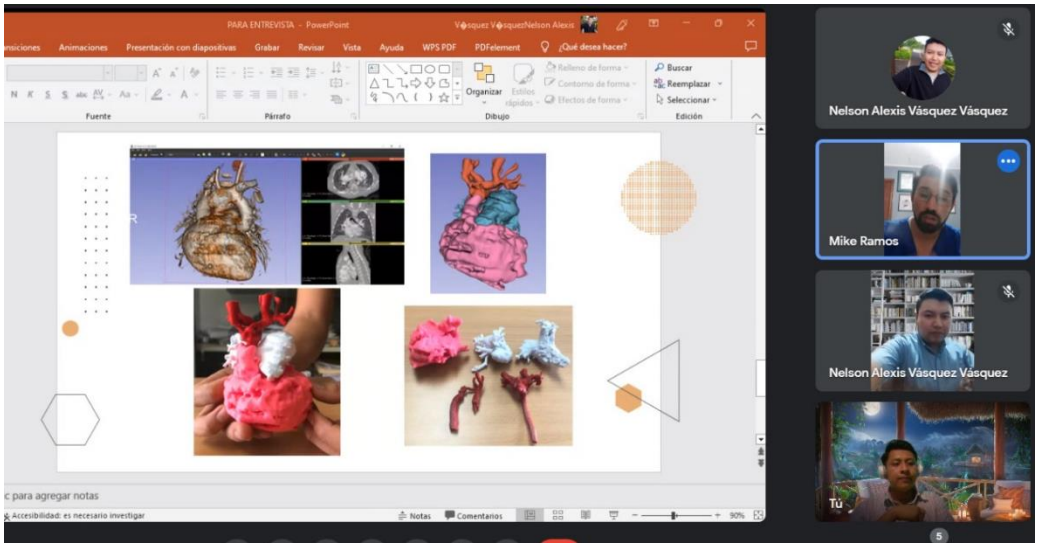
22. ¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular?

Aproximadamente una semana o semana y media, pero igual depende de qué cirugía se le realizó.

23. ¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva?

Sí reduciría, pero más bien, lo que creo que mejoraría con los modelos mejoraría es el tiempo de cirugía. Los tiempos de recuperación puede que se acorten, pero al final es una cirugía

mayor, entonces la recuperación de esos pacientes y las complicaciones que pueden presentar seguirán siendo las mismas.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 13 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Cesar Alexander Peñate Ahuath

Especialidad:

Neurocirujano

Puesto de trabajo: Cursando post grado en neurocirugía funcional y estéreo táctica

Lugar de trabajo: Brasil, Universidad Federal de São Paulo

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar a un paciente?

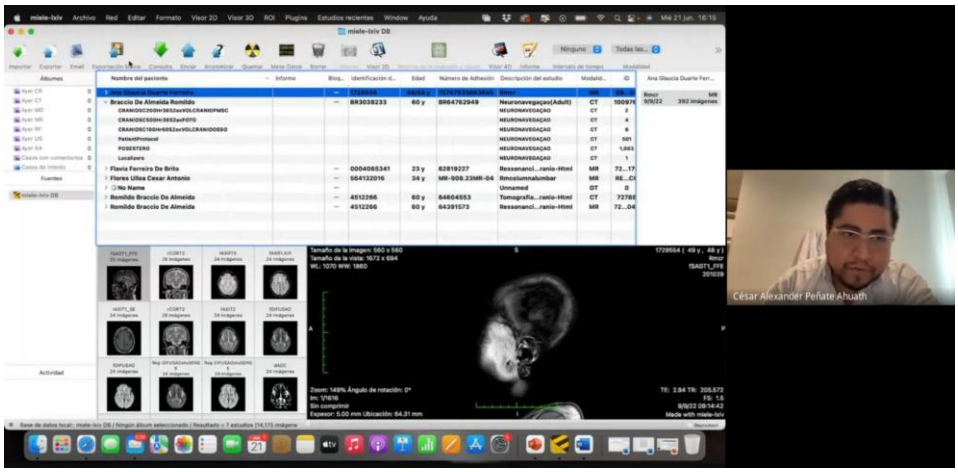
La neurocirugía tiene diferentes área en las que nosotros trabajamos, tanto en cerebro como también en columna, tanto para poder hacer el diagnóstico de los pacientes previo a la cirugía, aparte de la clínica, nos orientan también las imágenes diagnosticas, ahí son las radiografías, la tomografía, la resonancia magnética, entonces dependiendo de lo que nosotros

vayamos a investigar es así como hacemos complementación de esos estudios, por ejemplo la resonancia tiene muchas aplicaciones, desde el punto de vista del que yo estoy estudiando, la resonancia también puede hacer una imagen, no solamente estática, sino también una imagen dinámica del cerebro, por ejemplo, un paciente que tiene crisis convulsiva, se le colocan unos electrodos en la región de la cabeza y al mismo tiempo se le está haciendo la resonancia magnética, entonces uno puede mapear el cerebro antes de un procedimiento quirúrgico de donde se encuentran las área elocuentes, y esto se refiere a el área que controla la movilidad, el área de controla el habla, la audición, son área específicas que lo que van hacer, en el momento en que yo quiera hacer una cirugía ver que esas área estén tomadas por alguna patología por el caso de los tumores, o que si una lesión en el cerebro está cerca de esa estructura yo pueda evitar al momento de estar haciendo una cirugía dañarla o lesionar, también hay otras modalidades como una tracto grafía, la tractografia viene siendo así como, el cerebro es como una masa de tejido, pero esa masa tiene unas capas, entonces cada una de esas esta interconectadas, entonces la tractografia sirve para poder ver si esas fibras, que están llevando información de un lado a otro están tomadas o no están tomadas, entonces prácticamente las imágenes diagnosticas con la evolución tecnológica no ha ayudado a hacer procedimientos mínimos invasivos y que nos ayudan también a mejorar la calidad de los pacientes en el trans quirúrgico y después de la cirugía.

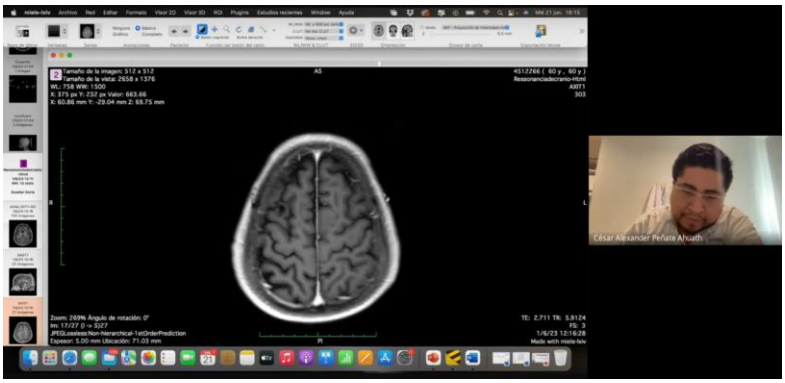
Es muy importante saber todas estas cuestiones por qué sirve mucho, en la rama de neurocirugía las imágenes han dado un salto en el sentido en que antes las personas que adolecían padecimientos ya sea cerebrales o de columna tenían una alta mortalidad o morbilidad, ya con el advenimiento de las tecnologías en imágenes esto ha disminuido un montón.

Presentación del doctor: Compartió pantalla y dijo lo siguiente:

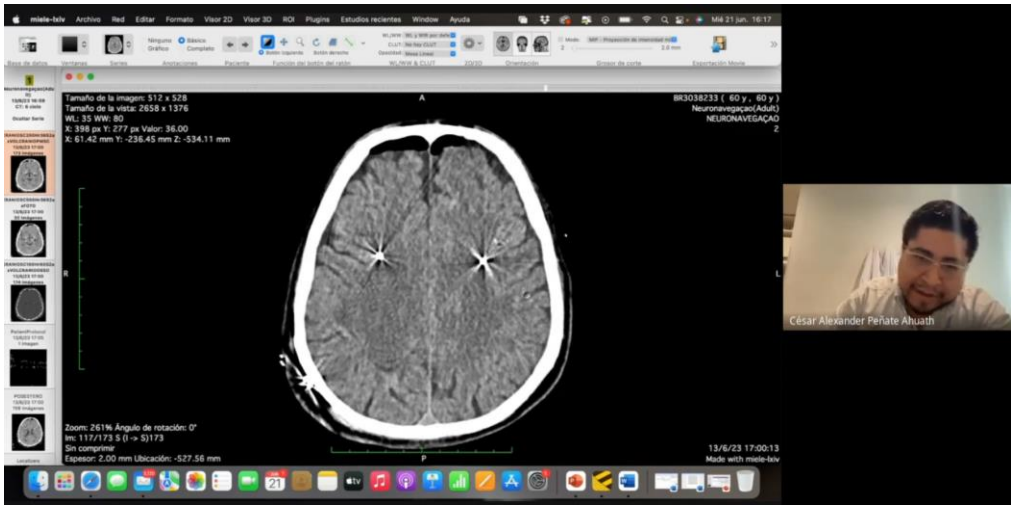
Estos son los datos en los que nos basamos



La resonancia magnética me permite a mi ver directamente donde están los vasos sanguíneos que voy a encontrar al momento de hacer una cirugía, como está la disposición de cada uno de los giros que conforman el cerebro y así sucesivamente me va a dar información espacial, que es lo que me voy a encontrar y como voy a poder abordar esa patología que yo voy a tratar, en este caso si ustedes logran ver, lo que yo estoy estudiando, es que están utilizando una tecnología que se llama neuro modulación, se refiere?, han visto a pacientes con Parkinson, entonces nosotros tenemos un objetivo de implantar un electrodo en la región cerebral para que eso lo que este generando es un impulso eléctrico, que este modulando la actividad de las neuronas y que el paciente que tiene Parkinson deje de moverse como suele pasar, entonces para eso sirven las imágenes para poder ver dónde voy a colocar los electrodos.



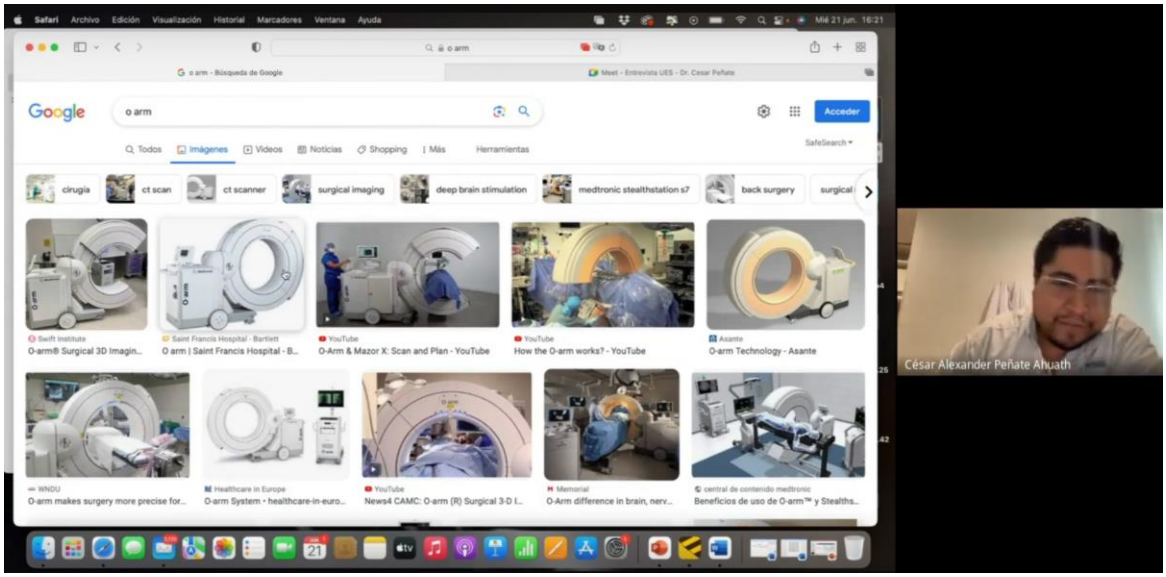
Esos puntitos que ustedes ven son los electrodos, nosotros los desandemos en el cerebro hasta llegar a un punto, estos electrodos son pequeños, que miden aproximadamente 1 mm, o 1.5 de diámetro, entonces estos van a estar generando los impulsos que van a estar modificando la conducta, o modulando la enfermedad como en el caso del Parkinson.



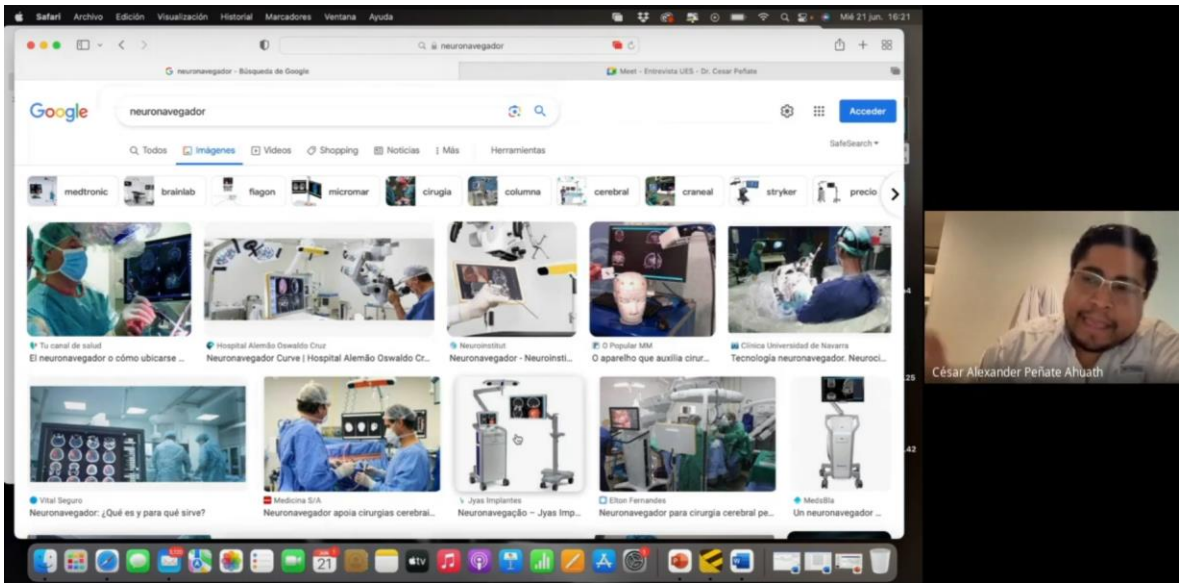
2. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?

Usualmente, lastimosamente en el país, no voy hablar de otras cosas, si no lo que me compete, hay tecnología que lastimosamente todavía no tenemos, para estos pacientes, del Parkinson que son los que yo estoy viendo y también pacientes con epilepsia, usualmente una tomografía no tarda más de aproximadamente unos 2 o 3 minutos, por la secuencia que toma, pero el problema es que las tomografías en El Salvador todavía son lugares estáticos, es decir tienes que desplazar al paciente para poder tomar un estudio, entonces a veces a nosotros como neurocirujano se nos hace muy importante tener esa guía intra operatoria, entonces para eso nosotros utilizamos diferentes tipos de tecnología, le voy a mostrar, la tecnología se llama o arm, que si fuera importante, pues también si podemos desarrollar algún tipo de tecnología algún día nosotros en El Salvador seria perfecto, les voy hablar de cómo se coloca un electro en El Salvador. En El Salvador nosotros para poder conectar un electrodo, primero que no tenemos gente especializada para hacerlo, por eso es por lo que estoy estudiando yo esto, para poder

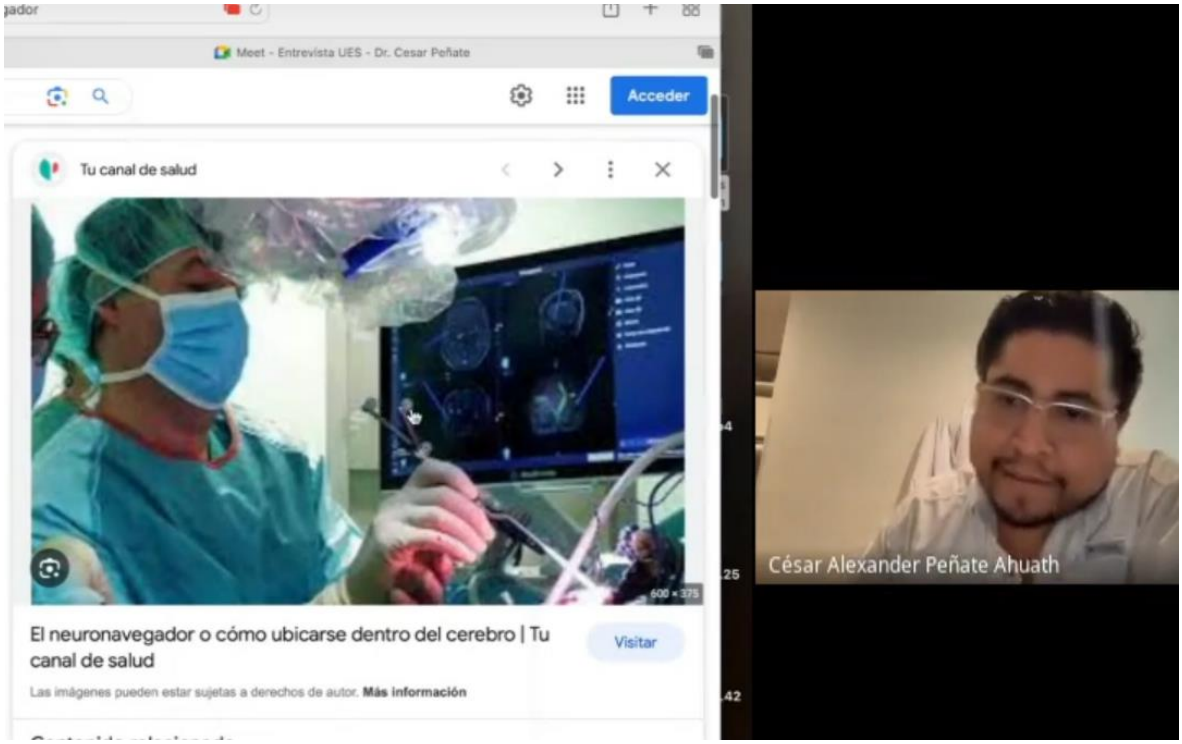
hacerlo próximamente en el país, y lo otro es que no contamos con algunas tecnologías que nos facilitarían a nosotros, pueden ver:



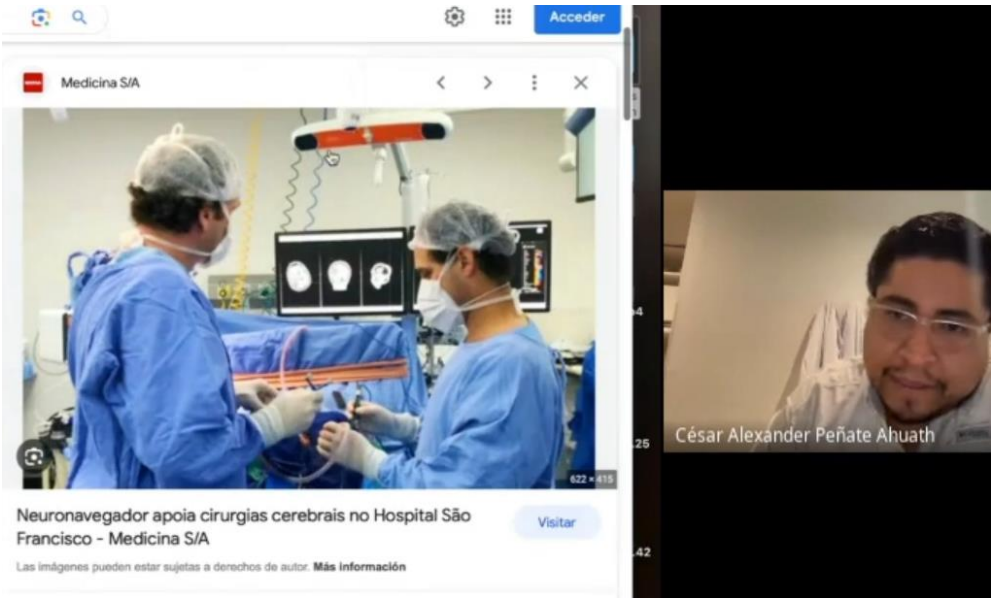
Esto es llama "O arm", porque es una tomografía portátil, si ustedes logran ver, el paciente queda adentro del arco, y esto me permite adquirir imágenes entra operatorias en cuestiones de 1 o 2 minutos lo más. Y también contamos con otra que se llama "neuro navegador", son estas tecnologías:



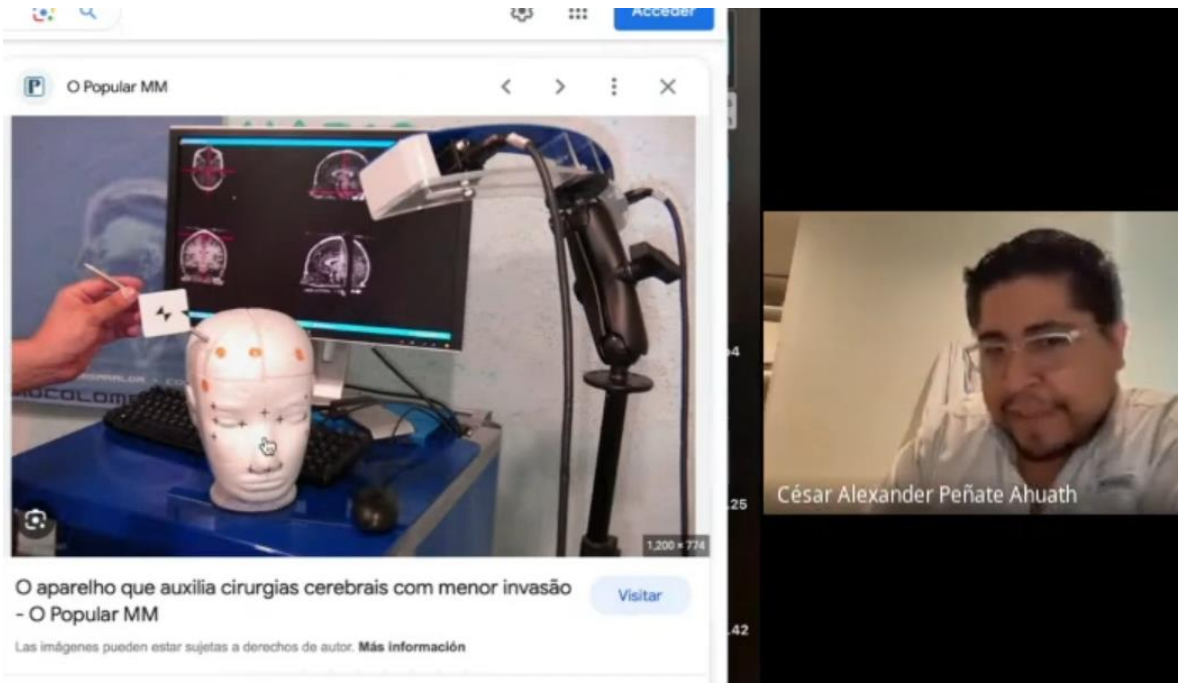
Que lo que hace es que mi resonancia magnética, el paciente esta acotado en la cama, entonces la neuro navegación sirve como, como esta ese cerebro o esa cabeza dentro de mi quirófano, entonces me sirve como un GPS, y este funciona a base de imágenes infrarrojas, entonces nosotros tenemos estos instrumentos si ustedes ven



Si ustedes ven tienen unas esferas, son unas esferas térmicas, el neuro navegador trabaja a base de reconocimiento que son estas cosas que ustedes ven aquí:



Que son infrarrojos, entonces esto me permite a mi navegar dentro del cerebro del paciente y de esa forma hacerlo de una forma más segura, entonces, nosotros lo que tenemos antes de hacer una cirugía, que en el país lastimosamente no lo tenemos, que son estos Phantoms:



Que es ahí donde el tema de ustedes entra, estos Phantoms me permiten a mi adquirir imágenes, por ejemplo yo a este Phantom le puedo colocar un tumor, hecho a base de un gel o base de alguna resina que me permite a mi poder simular la cirugía y poder ver el trayecto, por ejemplo en este caso están haciendo un trayecto hacia alguna estructura, es decir hacia algún tumor, puede ser hacia un aneurisma cerebral o en mi caso que sería la colocación de los electrodos, entonces el tema de ustedes es muy importante porque eso ayuda a todo el personal de salud a que previo a cirugía y que para que minimizar los riesgos en una cirugía, nosotros podemos hacer un estudio del paciente, antes de poder nosotros acceder ya en forma presencial, entonces eso es un poquito de lo que nosotros hacemos con respecto a los Phantom

Vamos hacer un estudio aquí, se llama un estudio de "brendshiften", con estas imágenes que nosotros adquirimos, como el cerebro es una estructura cerrada y tiene líquido, cuando nosotros hacemos trepanaciones, es decir hacemos hoyos en el cráneo y abrimos lo que recubre el cerebro, nosotros tenemos un salida de líquido, el cerebro no es una estructura estática, es decir él se mueve dentro del contenedor que es el cráneo, cuando se sale el líquido, nosotros tenemos márgenes de error en esas imágenes porque se deforma el cerebro, entra líquido y entra aire, y el cerebro como es pastoso se deforma entonces ya la imagen intra operatoria no tiene tanto valor para poderme yo guiar intra operatoriamente, entonces estamos trabajando en eso, para que por medio del uso de Phantoms, disminuir ese "brendshiften" para poder hacer la cirugía con una mayor precisión un poco mejor. Lo que actualmente se hace, es que una de las medidas que nosotros podemos tomar es el uso del "O arm" con la neuro navegación se fusionan mediante un bluetooth, entonces yo puedo tomar una imagen de radiografía y ver que tanto se movió, y me da un parámetro de error, de más o menos cuanto es lo que yo tengo de error al momento de estar haciendo la cirugía o la medición con neuro navegación. Lo otro es que también se puede adjuntar el ultrasonido, es decir que puedo hacer un ultrasonido y ver más o menos cuanto se ha movido de la imagen real, de la imagen de resonancia, con la que yo hice

en mi planeamiento y con eso corrijo cuantos mm o cm se ha deformado el cerebro para poder operar.

3. ¿Esas imágenes se tardan días, horas, en generarse?

No, la resonancia preoperatoria usualmente, dependiendo de lo que yo quiera, si es una resonancia básica son 30 minutos lo que dura, porque si yo quiero añadirle otras cosas, por ejemplo, contrate u otros estudios, entonces puede ser hasta 45 o 50 minutos que el paciente tiene que estar en la cámara para adquirir las imágenes.

4. ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de esa imagen?

Si, para nosotros en neurocirugía, es muy importante porque primero nos permite, si no tenemos un Phantom, o una imagen pre operatoria, entonces me permite a mí, simular que es lo que yo voy hacer antes de poder ir hacer el procedimiento, eso sería ideal, lo ideal sería que nosotros tuviéramos la posibilidad de poder hacer la cirugía antes o practicarla antes en un modelo, eso sería lo más recomendado para el momento de llevar los diferentes planes para poder hacer la cirugía en el momento, lo que antes se hacía es que se iba al cadáver, lastimosamente ahora pues los cadáveres están tan deteriorados en la facultad, que ya no dan para poder ir a estudiar para poder planear la cirugía, ahora viene el salto que se está dando, ahora ya es posible hacer lo mismo de los Phantoms con la realidad virtual, mi critica para la realidad virtual, es que no es lo mismo estarlo viendo que también estar tocando textura y ver la profundidad con tu motricidad, es lo único, de ahí por los demás es una tecnología que creo que va a mejorar mucho estas condiciones.

5. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?

La dificultad viene dada por cada quien, es decir, si yo no tengo la experticia en poder interpretar una imagen, entonces el error realmente viene de la persona que está interpretando la imagen, gracias a Dios, la neurocirugía y creo que en otras áreas, a nosotros en la universidad

nos dan una parte de neuro radiología, en mi entrenamiento como neurocirujano también recibo parte de neuro cirugía para poder entender las imágenes, entonces muchas veces hay especialidades que dependen mucho del radiólogo para poder interpretar estas imágenes, en mi caso yo prefiero ver las imágenes, ver cómo está la disposición de las estructuras, pero depende mucho de cada quien, de la formación de radiología ha recibido.

6. ¿Considera usted que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente o eficiente?

Como les comentaba antes, el advenimiento de las tecnologías, las imágenes se van consiguiendo de una mejor calidad, por ejemplo la resonancia que nosotros tenemos actualmente en el país es de 1.5 teslas, y ya hay resonadores de 3 teslas y de 7 teslas, y las de 7 teslas incluso permiten ver estructuras tan pequeñas con una definición tan buena, que quizás la mayor limitantes es la adquisición de esa tecnología, pero actualmente en el país, no estamos mal con respecto a la adquisición de esas imágenes.

7. ¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?

Primero, en medicina, nada va a sustituir la clínica, me refiero a examinar y a escuchar al paciente, con solo eso ya tienes un 80% de lo que el paciente puede tener, el otro 20% es con ayuda de todos estos estudios, entonces tu examinas, tú ves, oyes las quejas del paciente, después mandas y orientas los estudios complementarios, por ejemplo, si es una epilepsia un electroencefalograma, una tomografía, una resonancia, por ejemplo si es un paciente con un tumor, voy a orientar mi solicitud de radiología en base a la clínica que yo encuentro, por ejemplo, no es lo mismo tener una patología en la región motora que otra que tenga en el tallo, entonces voy a orientar mi solicitud en base a lo que yo encuentro en la clínica, después de esto, después que has examinado, has mandado tus estudios complementarios, lo que hago es analizar, tiene

esto clínicamente, y ver si se correlaciona o no con las imágenes, y si se correlaciona con las imágenes, viene la parte de la planeación. La planeación usualmente la hago en el programa que les mostré donde estaba viendo las imágenes, usualmente las hago midiendo cual es la distancia entre la piel y el tumor, o cual es la distancia entre el hueso y el tumor, cuanto mide el tumor, en ancho, en largo, en espesura, que estructuras arteriales me voy a encontrar, toda esa planeación yo la hago, idealmente como les digo voy a orientar todas estas cuestiones tecnológicas a mi cirugía, después que tengo la planeación, viene la parte más importante, hablar con la familia y hablar con el paciente, muchas veces hay colegas que no lo hacen, y ahí vienen los problemas, la parte de informar es muy importante porque el paciente va a comprender cuál es su situación, su patología, que es lo que yo estoy ofreciendo como cirugía y como procedimiento para mejorar su calidad de vida, que consecuencias puedan haber, me refiero a beneficios y cuestiones como complicaciones que puedan pasar por factor humano o pueden ser debida a la misma patología que pueden desencadenar que él pueda tener alguna complicación neurológica grave o que pueda tener incluso implicaciones en las que pueda fallecer el paciente, entonces todo eso es bien importante que ellos estén bien sabedores de esa situación , usualmente lo que hago es que para explicarles cómo voy hacer el procedimiento lo hago en mi programa, les explico más o menos que vamos hacer, no contamos por el momento con una herramienta para poder explicar de forma virtual o de forma tangible para que ellos conozcan como es que vamos hacer el procedimiento, pero trato la manera de hacerlo con las imágenes, y después ya voy al procedimiento quirúrgico.

8. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear para diagnosticar?

Para diagnostico las tecnologías que tenemos son muy buenas, creo que se podrían mejorar, en el sentido de que se podría implementar otra forma, por ejemplo, la resonancia la limitante que tiene es que si tu tiene algún tipo de artefacto metálico te genera una interferencia, si tengo alguna corona, un implante, eso distorsiona mucho la imágenes, cuando yo quisiera

adquirir una imagen por resonancia con algún dispositivo colocado, como por ejemplo los electrodos, las personas que tienen electrodos colocados en las medulas no se puede porque desconfigurar o arruinan los aparatos, creería yo que lo que fuera encaminado fuera para eso, para mejorar tecnologías que ya nosotros tenemos.

9. ¿Con base a su conocimiento y/o experiencia, cuanto es el tiempo promedio que puede tomar una planeación quirúrgica?

Depende, por ejemplo, hay pacientes que no requieren una planeación, pero usualmente yo me tardo unos 4 días, máximo 1 semana en planear una cirugía porque me gusta estar seguro de todas las estructuras, que es lo que voy hacer, que es lo que voy a encontrar, y me mentalizo como que estoy haciendo la cirugía, que es lo que me puedo encontrar, y hago un plan A, un plan B, plan C, plan D, y si el plan A no me funciona me paso al B, y así sucesivamente, a manera de disminuir los riesgos en un paciente, pero eso depende mucho de cada uno.

10. ¿Gracias y usted conocerá la aplicación de los modelos 3 d en la medicina?, no solo en impresión

Los modelos 3d, cuando nosotros ingresamos a la Universidad, pues ahí había algunos modelos que sirven para estudiar, no es muy diferente a los modelos quirúrgicos.

Los modelos quirúrgicos, por lo menos nosotros, yo he tenido la oportunidad de trabajar con los Phantoms, para poderlos hacer, es un poquito difícil en el sentido de que hay que gastar en materiales, etcétera. Solamente para modelos de planeación, no al momento no, solamente para hacer estudios, por ejemplo, estudios experimentales. Eso es lo que yo he podido tener, cómo se llama contacto con ellos.

Pero sería, como le digo, sería esta esta tesis, Lo felicito realmente porque, es una pauta para que nosotros, como médicos tengamos, la posibilidad de hacer modelos prequirúrgicos para que nosotros podamos entrenar antes de la cirugía y de esa manera disminuir los riesgos en un

paciente. Entonces, la aplicabilidad no solamente se queda también en la en la parte prequirúrgica, sino que también como muy bien en alguno de los colegas que usted ya ha entrevistado, dijeron, hay aplicabilidad es también terapéuticas, a qué me refiero, por ejemplo nosotros, cuando hay pacientes que tienen algún golpe muy fuerte en la cabeza, nosotros tenemos que retirar parte del cráneo, para poder que el cerebro se hinche de una manera controlada, y darle chance a los medicamentos que el cerebro se des hinche entonces, cuando el cerebro se deshinche, ustedes van a haber gente que tiene como un hoyo dentro del cráneo, entonces eso de alguna manera que hay que corregirlo, entonces usualmente nosotros mandamos a pedir a Estados Unidos porque todavía no tenemos las empresas que lo hagan aquí en el en El Salvador, que son mallas de PIC, que es un poliedro cetona que son las que nosotros colocamos que se ven más estéticas para un paciente.

Lo otro que se utiliza es titanio, entonces aplicabilidad, así como para poder no solamente hacerlo prequirúrgico para hacerlo ya como una terapéutica. Incluso hay también fabricación con tejido vivo de cartílago para hacer narices para hacer orejas.

Que cartílagos para hacer tráqueas, vejiga urinaria. O sea, hay la aplicabilidad de la tecnología 3 d cada vez va mejorando y eso es lo que uno tiene que ir viendo, viendo qué otras cosas puedo yo hacer para mejorar en el sentido de.

Un trasplante de un auto en la actualidad recientemente se va aprobando la ley de trasplantes en El País, entonces este.

¿Qué pasa? que tenemos montón de gente que está necesitando un trasplante, entonces a eso vamos aquí. La impresión 3 d también nos ayude, en algún momento sustituir órganos, ¿OK?

11. ¿usted sí alguna vez ha empleado un modelo 3D?

Sí, sí.

12. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento acerca del modelado en 3D?

Sí, sí, realmente, como le digo, es importantísimo.

13. ¿*Cree* usted que en el sistema de salud de El Salvador tenemos las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en la cardiología y en otras ramas de la medicina?

Claro que sí. Toda la cuestión, todo depende de la voluntad. Así es.

14. ¿Qué tipo de profesional sería de la medicina sería el más adecuado para hacerse cargo del área de impresión 3D?

Depende, como te digo, la aplicabilidad depende de los de las especialidades. Por ejemplo, no te pudiera decir, el de trasplante que solamente ve a trasplante, porque cada especialidad, tiene sus aplicabilidades, es decir, no puedes pedirle a un dermatólogo, verte un cráneo o verte un cerebro, entonces creería yo que dentro de la misma especialidad debería de haber alguien encargado, o, como coordinando, la aplicabilidad de la tecnología en su rama.

15. Con bases de conocimiento y experiencia. ¿Cuánto es el tiempo promedio, mínimo o máximo que puede durar una operación? En un paciente de su área.

Mínimo pueden ser, por ser por situaciones así, 1 hora, hora y media, máximo depende, columna y cerebro pueden inclusive hasta 12 horas de cirugía.

16. ¿Nos podría mencionar cuáles son los equipos y maquinarias más importantes al realizar una cirugía en su área?

Aparte de la instrumental quirúrgico que es importante porque con eso operamos, microscopio quirúrgico neuroquirúrgico. Nosotros utilizamos el puntero 900. El neuro navegador, nosotros en El Salvador tenemos el Brain lab, pero vamos a cambiar a metronic creo yo, y el brazo en C que es,

Y el brazo en C, que es como una fluoroscopia portátil que primero Dios según por pláticas con mi jefe, ya adquiramos el O arm, que el que yo les mostré. Y la ultrasonografía intraoperatoria. El invento del que así fue revolucionario neurocirugía fue la coagulación bipolar.

Y también el sistema de cráneo tomo, como un aparato que me permite a mí cortar el hueso del cráneo, ese oscila más rápidamente y lo que hace es cortar rápidamente el cráneo, a diferencia de cuando antes, que se tenía que hacerse de forma manual y también los hoyos están de forma manual, entonces eso viene a modificar mucho y el y disminuir los tiempos en las cirugías.

También los sistemas de fijación craneana, es decir, para que opere un paciente por lo menos de cráneo, tengo que colocarlo, entonces los sistemas de fijación craneana que es el May Field.

También tenemos este el aspirador ultrasónico, es un aparato, que me permite a mí, por ejemplo, yo tengo un tumor, que es un poco, de consistencia más firme. Entonces, ese aspirador ultrasónico lo que hace es que te tira agua, y vibra a una frecuencia, entonces pulveriza el tumor y lo va aspirando. Entonces eso ayuda también mucho en el momento la cirugía.

En otra sub área de la neurocirugía, por ejemplo, la utilización del angiografo, es un aparato que me permite a mí entrar a través de una arteria, subir hasta el cerebro, hacer tirar contraste para adquirir imágenes de las arterias y de las venas del cerebro y de esa manera hacer diagnóstico e incluso terapéutico, por ejemplo, aneurismas antes había la necesidad, de tener que abrir el cráneo y extirparlos, ahora, a través de esa mínima invasión, es decir, colocándose catéter que llega hasta el cerebro, puedo rellenar el aneurisma, y de esa manera, tratarlos las patologías, entonces, siento que en mi área, hay muchas tecnologías de eso que han sido desarrolladas y que yo creo que va a haber muchas más, pero básicamente esas son las que nosotros utilizamos.

17. Con respecto al equipo profesional, ¿Cuáles son los profesionales que integran el equipo quirúrgico?

El equipo realmente somos todos verdad, desde la enfermera que cuida el paciente en la cama, hasta pues todos los que hacen la limpieza, etcétera. Todos somos un equipo que funcionamos adecuadamente, porque si falla uno, falla todo, pero te puedo hablar del equipo multidisciplinario de neurocirugía, está la enfermería que es muy importante, en toda la parte de la preparación de la cirugía, me estoy refiriendo en la cirugía, en la parte de la preparación del material, hay enfermedades circular y enfermera instrumentista. Esta el anestesiólogo, que es el médico que está especializado en anestesia, es más, nosotros tenemos neuro anestesiólogo que está altamente especializado solamente en anestesia para cerebro. Tenemos anestesistas que son licenciados en anestesia, que nos ayudan también a nosotros. Estamos el cirujano, el ayudante, el residente porque es el que está en formación, entonces son los que participamos. Y muchas veces nosotros necesitamos la ayuda y colaboración de otros de otros colegas, por ejemplo, en mi caso, neurocirugía funcional que es Parkinson. Nosotros operamos con el paciente despierto, no lo operamos dormido porque nosotros tenemos que evaluar al paciente como está con la movilidad, entonces en esa cirugía se precisa de un neurólogo que esté haciendo un examen neurológico mientras nosotros operamos el cerebro del paciente.

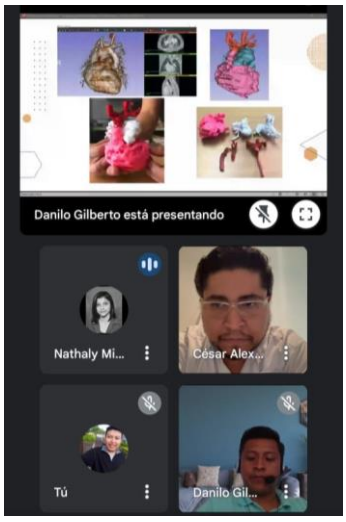
Y también necesitamos neuro psicólogos, es decir, un psicólogo que está especializado en neurología que me permite hacer estos test, es decir, evaluando las funciones cognitivas del cerebro, en el momento de la cirugía, por ejemplo, poniéndole a escribir, mostrándole tarjetas, etcétera. Entonces es un equipo realmente grande, también están los radiólogos, los técnicos de radiología que nos ayudan el montaje, la adquisición de tecnología, por ejemplo, fluoroscopia, el O arm, los de arsenal, que son los que preparan las cajas que lavan el instrumental. Entonces realmente es un equipo bastante grande, pero en el quirófano, pues son los principales los que te los que te comento.

18. ¿Usted considera que a al aplicar un modelo de impresión 3 d el tiempo de duración de la cirugía se puede reducir? ¿O cómo cree usted que podría influir?

Realmente te puede ayudar mucho, como ya expliqué en hacer tus planes, en tu planeación, es decir, cómo voy a hacer yo la cirugía, te agiliza en el sentido de que ya sabes, más o menos, cómo vas a llegar al tumor, digamos, o a la patología que quieras tratar, y te va a ayudar también en entrenamiento físico, es decir, nosotros también tenemos una memoria que es una memoria mecánica, es decir, cuando nosotros llegamos, ya prácticamente hacer las cosas ya por automático, digámoslo así, entonces solo piensas, y solo estás haciendo, entonces eso puede ayudar mucho en esa situación, en disminuir el tiempo quirúrgico con la mejoría de la de la motricidad fina y de tener los planes de como los vas a realizar.

19. ¿Usted recomendaría incorporar los modelos 3D en el diagnóstico y planeación preoperatorio?

Definitivamente. Definitivamente es importantísimo y esperemos en Dios que esto que siente en la base, y no sea solo la base, si no que ustedes pueden trabajar en esto, en el desenvolvimiento de la tecnología, en biomédica, pues sería perfecto, eso ayudaría mucho a la medicina.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 16 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Dr. Daniel Cortez

Especialidad: Cirujano pediatra y cirugía cardiovascular pediátrica

Puesto de trabajo: jefe de cirugía cardiología vascular en el hospital Bloom

SECCIÓN 1: INTERROGANTES DEL PROCESO DE PLANEACIÓN PREOPERATORIA.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar a un paciente?

Bueno de una u otra forma en El Salvador, generalmente en el Hospital Bloom en cardiólogo, un estudio de rayos X, electrocardiograma y posteriormente un ecocardiograma para evidenciar las malformaciones cardiacas que podrían traducirse en una cardiopatía. Hemos avanzado en la tecnología, se hacen los estudios de Angiotac, con material de contraste para luego hacer un modelo de visualización 3D para ver lo que nosotros podamos operar. En los últimos años hemos estado haciendo esfuerzos para generar modelos tangibles que nos ayuden

a evidenciar las malformaciones antes de nuestra intervención quirúrgica. También se puede hacer uso de la resonancia magnética, depende mucho de las limitantes de la tecnología, cateterismo cardiaco en vivo con contraste toda la anatomía cardiaca, puede ser como terapéutico también.

2. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?

Las imágenes 3D de angiografía y todo dependerá de la burocracia del ámbito hospitalario. Primero depende de las captaciones de los hospitales periféricos, ya que el hospital Bloom es un hospital de tercer nivel, se depende de las referencias. Se implementa un rastreo rápido por parte de un cardiólogo para ver si el paciente amerita o no tiene un cierto tiempo de operación, para ver si se hace de inmediato o en meses, años, días para hacerlo. El tiempo es relativo, si es una emergencia de un neonato de un paciente, si se necesita una intervención, se debe coordinar para sacar todo lo antes posible.

3. ¿Cree que entiende completamente la patología viéndola a través de una imagen?

En un alto porcentaje si, por eso es por lo que antes en algunas ocasiones los médicos anteriores a nosotros, años atrás tenían una buena clínica, ellos diagnosticaban solamente viendo. Con la tecnología y variantes como electrocardiograma y el electrocardiograma esofágico para poder visualizar mejor y más cerca las estructuras cardiacas. Nos quedamos cortos cuando los niños son muy pequeños, en algunas ocasiones no se logra visualizar bien por el tamaño en un ecocardiograma, en esos casos se utiliza la angiografía y luego una dimensión virtual 3D para ver las patologías. Si son de los vasos sanguíneos las patologías, se ha tratado de imprimirlas para tener una mejor visualización e interpretación. Con las estructuras que ustedes han mostrado, nos han ayudado enormemente para visualizar, no todas las patologías se pueden hacer en 3D. Hay unas que sí y otras que no porque hay más acuosidad solo con el ecocardiograma, es suficiente, pero hay otros de los vasos sanguíneos o estructuras cardiacas que si nos ayuda normalmente la impresión 3D.

4. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?

A veces siempre el error humano, ya que la apreciación de persona a persona es diferente y debido a que la tecnología nos va alcanzando y hay nuevos equipos también, tenemos que adecuarnos a la tecnología y hacer uso de esta para interpretar. También de una u otra forma el factor económico de no poder conseguir la tecnología adecuada, pero tener acceso a la tecnología 3D ya nos ayuda bastante en cierto sentido.

5. ¿Considera usted que el método utilizado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente?

Hacemos uso de diferentes tecnologías, dependiendo de la patología que queramos ver para evidenciar eso, así se elige la tecnología. Hay enfermedades que necesitan más de un estudio, más que un ecocardiograma para poder visualizar, si hay más enfermedades o complicaciones, son más complejas, ahí estamos necesitando más de otras tecnologías. La deficiencia es más de la tecnología que se dispone para poder diagnosticar en el hospital porque como país no la hemos alcanzado.

6. ¿Cuáles son los pasos que emplea para planificar una cirugía?

Primero la captación de este paciente en un hospital periférico, ya que no todos nacen aquí o en aquellos hospitales donde nacen niños con cardiopatía, necesitamos la referencia. Luego lo ve el cardiólogo o el pediatra, si ve que necesita o no una intervención, si lo ve descompensado o no, luego se refiere al hospital Benjamín Bloom, se le hacen los estudios necesarios como radiografía, ecografía, electrocardiograma, posteriormente se refiere a una sesión médico-quirúrgica. En esta sesión ya entramos todos, cardiología y cirugía cardiovascular, se aborda al paciente en una forma completa y en esa sesión, están los cardiólogos, cirujanos, intensivistas, también las personas que manejan la bomba extracorpórea y ahí se decide si se opera inmediatamente, reciente o si puede esperar por algunas otras patologías que tenemos antes. Una vez programado se dejan sus exámenes, sus donantes de sangre y después viene

su control o programación del día de la operación. Se opera ese día, si viene descompensado se le hacen otros estudios, como una Angiotac, se opera luego a unidad de cuidados intensivos, que dependiendo de la patología será el tiempo que esté ahí, luego se le da el servicio por donde ingreso para ver si se le da el alta.

Si un dado caso es más complejo la patología, como otros estudios como el ecocardiograma, Angiotac, en menos de una semana, si no hay una evidencia de una buena estructura anatómica, se utiliza la impresión 3D para evidenciar lo que nosotros queremos hacerle al paciente.

7. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?

Tenemos bastantes tecnologías, pero no las podemos usar todas. Como el cateterismo cardiaco, dependiendo de la patología. Que nos puede brindar en vivo el estado de la anatomía del paciente, cosa que no se puede visualizar de forma estática y eso no permitiría intervenirlo de forma quirúrgica porque no cuenta con las condiciones, porque por ejemplo las presiones altas pueden arruinar lo que se ha hecho.

Algo que no se está haciendo en el país es tratar de utilizar la cirugía mínimamente invasiva a nivel cardiaco, se está utilizando más en adultos, pero también se puede en niños, como en casos de intervención de la válvula mitral o aórtica, o coloca válvulas a nivel pulmonar, no lo tenemos aquí, pero en otros sí.

8. ¿Cómo fue su experiencia utilizando la impresión 3D?

¿Qué fue lo bueno y lo malo? Nuestra experiencia fue excelente, eran niños bien pequeños de meses de vida, no se lograban visualizar las patologías en un ecocardiograma o en un Angiotac. Al tener una impresión 3D nos orientamos en lo que queremos hacer en el paciente. De las cuales 2 eran de pacientes con esa patología que nos ayudó enormemente con estos niños.

9. ¿Fue para estudio y práctica o también para comunicarles a los demás?

Si también sirvió para comunicarles a los demás, la tuvimos en sala de operaciones para evidenciar todas las cosas que planeábamos hacer, lo hemos divulgado al personal de cirugía cardiovascular y cardiaca. A veces corremos con el tiempo y debemos llevar todo el estudio, no sale bien con los tiempos, pero en pacientes que lo hemos implementado hemos tenido resultados satisfactorios.

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?

¿Sí, me gustaría? Si lo que estamos tratando de implementar, a veces nos gana el tiempo con ciertos pacientes y nos tarda mucho tiempo en eso.

11. ¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?

Si yo creo que sí, entre más, veamos este tipo de tecnología y la estamos aplicando, y nos ayuda de una u otra forma en salir a delante con la patología de los pacientes. Igual que otras tecnologías, unas sirven para unas patologías y las demás sirven para otras, por lo menos en cirugía cardiovascular se está utilizando esto y la impresión 3D, no solo para ayudar a la cirugía, sino también ya modelos terapéuticos que se pueden utilizar en el paciente.

12. ¿Qué tipo de profesional del área de medicina podría hacerse cargo del área de impresión 3D?

Hay ciertas especialidades que pueden incluirse para la impresión 3D, neurocirujanos puede hacerse para férulas, hay distintos tipos de impresiones que se pueden realizar. Hay hasta impresiones de tejidos. Yo creo que tendría que ser un equipo multidisciplinario, ya que nosotros podemos tener una noción de lo que nosotros pensamos hacer, pero siempre se necesita un

equipo que nos diga cómo se puede hacer o dimensiones. Si se puede ayudar a aprender eso, pero debería ser un equipo multidisciplinar.

13. ¿Cree que la cirugía puede ser menos invasiva si se utiliza un modelo 3D durante el proceso quirúrgico?

Tal vez no menos invasiva, pero tal vez entre menos utilicemos la bomba extracorpórea, para mantener el vivo al paciente y entre más nos tardemos en completar la cirugía, es más perjudicial para el paciente. La ventaja sería disminuir el tiempo quirúrgico. No es lo mismo tener una corrección de una 1 hora que una de 2 o 3 horas por no saber cómo están las estructuras del paciente.

14. ¿En cuanto al tipo de material que se utilizó en modelos 3D para el hospital Bloom has sido eficiente?

Utilizamos material rígido porque eran las primeras impresione que teníamos y tuvimos donación de material, el personal de la universidad nos regaló un material que no es tan rígido que lo empezamos a utilizar que es más amigable. Comentamos el caso de usar un material más maleable o cortable para evidenciar las estructuras internas a nivel cardiaco, pero que sean estructuras internas abiertas que nos puedan ayudar a visualizar otro tipo de patologías.

15. ¿En cuanto a la maquinaria que el hospital cuenta para la generación de imágenes, el hospital cuenta con toda?

Si con rayos X si se cuenta, los estudios de tac también, pero tenemos coordinación con otros hospitales como en la de TAC de estructuras a nivel cardiaco que podrían ayudar para la impresión 3D.

16. ¿El factor tiempo en cuanto a la utilización de impresión 3D cuanto tiempo se tardaba?

Si se tarda más que una imagen de rayos X, no conocen mucho que tanto se tarda. Nos mencionaron que iban a comprar unas más rápidas, pero el tiempo puede ser relativo, por ejemplo, en lo que se mandan a hacer todos los demás estudios que es una semana se puede mandar a hacer la impresión 3D, puede que no pasen más de 24 horas en hacer la impresión. Me imagino que sería adecuado.

SECCIÓN 2: INTERROGANTES EN CUANTO AL PROCESO QUIRÚRGICO

17. ¿Sabe usted cuál es la guía que se emplea para visualizar la orientación del proceso quirúrgico?

Guía clínica y protocolo operatorio. Están el ecocardiograma esofágico, pero es una tecnología que no siempre puede utilizarse porque el cuerpo del paciente es muy pequeño. Algunos por ejemplo para colocar un parche lo hacen con estructuras continuas y otros con estructuras separadas. Cuando ya está reparado el corazón se saca el paciente de la bomba y reanimar al paciente para que su corazón vuelva a latir, es una rutina. Siempre son los mismos pasos en la cirugía cardio vascular, lo que varía la técnica quirúrgica especifica la patología del paciente.

En tiempo real, en este país, no contamos con toda la tecnología por motivos económicos. La sonda esofágica la que tenemos para niños de 12 kg solamente.

18. ¿Con base a su conocimiento y/o experiencia, cuanto es el tiempo mínimo y el máximo que puede durar la operación de un paciente del área?

Se cuenta desde el primer contacto. Una cirugía, un promedio de 8 horas, depende de la patología, como por ejemplo en unas puede durar 8 horas. La transposición de las grandes arterias podía tomar bastante, pero dependiendo de la experticia por el conocimiento del cirujano.

Durante un proceso quirúrgico, cuáles serían los profesionales que integran el equipo de apoyo en las cirugías. *Participa todo el hospital, es un equipo multidisciplinario. Se entra en la*

sala de operaciones, cirujano, enfermería, ayudante, anestesiólogo, anestesista, personal de bomba extracorpórea, cardiólogo, personal que trae la sangre del banco de sangre.

19. ¿A todos estos miembros del equipo, se les comunica o se les informa el procedimiento que se va a aplicar?

A los anestesiólogos si, el procedimiento y duración para brindar la anestesia que se va a necesitar. Por lo general los equipos en cirugía son muy compactos, entonces cuando se dan esos comités o sesiones de los grupos de cardiología y los cirujanos, también entran las enfermeras para estar enteradas del caso.

20. ¿Cuándo se dan esas sesiones que usted menciona, cree usted que sería útil tener la impresión 3D durante la misma?

Si para que todos visualicen, en este caso la anatomía.

21. ¿Cuáles son los equipos o maquinarias más importantes para realizar una cirugía de este tipo?

De entrada, el cardiólogo, en primera instancia, hace el ecocardiograma y el diagnóstico que se le comenta al cirujano el caso, además que es quien realiza la cirugía. La máquina de anestesia, equipos de succión, equipo de tomas de oxígeno, la bomba extracorpórea, el corazón debe quedar sin latir para poder manipularlo. Esta bomba se conecta a las venas y arterias importantes del corazón. Hace la función de los pulmones y el corazón durante la operación, mantiene la circulación mientras el corazón está detenido. Junto con la máquina de anestesia, estos últimos son de los más importantes.

22. ¿Considera que con la aplicación de los modelos 3D el tiempo de cirugía se podría reducir?

Sí, eso es lo que le mencionaba o sea nos ayuda con el tiempo quirúrgico. No es lo mismo tener una idea mental porque es lo que se va a acordar en cierto sentido en ver la foto de ecocardiograma o Angiotac a tener la muestra en 3D, y ya al tener eso disminuye todo el tiempo quirúrgico. Entre menos tiempo quirúrgico tengamos una cirugía cardiaca, mejor es la evolución del paciente.

23. ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D en el diagnóstico y planeación preoperatoria?

Sí, es lo que le mencionaba que sí. Tal vez depende en algunas ocasiones es económicamente alto, pero en algunas patologías sería ideal tenerlo.

24. ¿En qué tipo de patologías lo recomendaría?

En el hospital Bloom la mayoría de las patologías que son extra-cardíacas, es decir las patologías como a nivel de los vasos sanguíneos, patologías aórticas, arterias o venas pulmonares que nos ayuda a evidenciar las formaciones cardiacas. Es lo que les mencionaba, las patologías cardiacas en niños son bien diferentes, hay demasiadas variantes. Como por ejemplo malas conexiones de las venas al corazón, igual en adultos se puede evidenciar bien en algunas ocasiones el daño que podría tener a nivel aórtico.

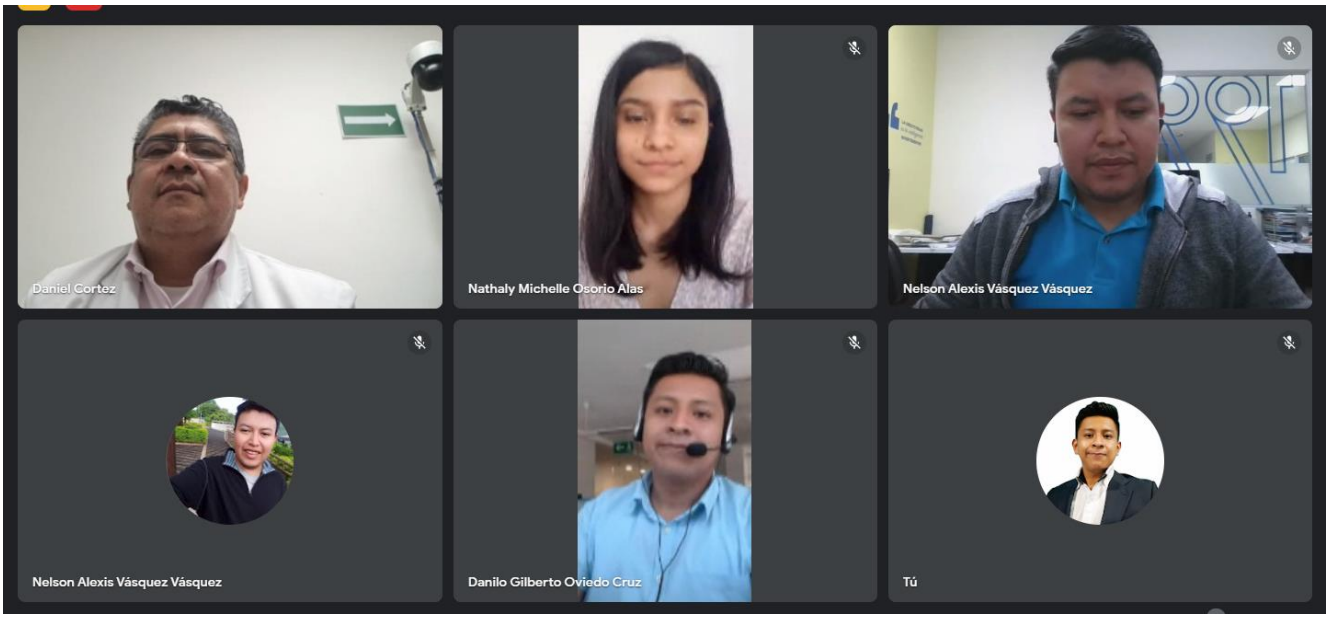
SECCIÓN 3: INTERROGANTES DEL PROCESO POSTQUIRÚRGICO

25. ¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de una cirugía cardiovascular?

Dependerá del tipo de enfermedad del niño y evolución que tenga el niño. Hay patologías que se hacen con bombas extracorpóreas, hay patologías que también se hacen sin esa bomba. A veces hay niños que entran a cirugía cardiaca un martes, pasa a cuidados intensivos, pasa 1 o 2 días, luego pasa al piso y se va de alta, se puede estar unos 5 o 6 días. Si no tiene una buena evolución a veces puede estar 1 o 3 semanas. Puede ser variable, un promedio pude ser de unos 5 o 7 días.

26. ¿Considera que el promedio de días de hospitalización se reduciría con una cirugía menos invasiva y una cirugía que dure menos tiempo?

Entre menos tengamos el paciente en bomba, la cirugía sea menos larga, disminuye el tiempo del paciente en cuidados intensivos. Que la bomba extracorpórea no es algo inocuo o que no va a causar daños, no es como nuestro sistema que nos da una buena oxigenación, es una máquina que están hechas de plástico, siempre existe cierto tipo de daño y entre menos tiempo se utilice eso, y se usó nuestra bomba natural habrá menos daño.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 25 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Dra. Ana Flores

Especialidad: Radióloga en resonancia magnética con postgrado en imagen cardiovascular.

Puesto de trabajo: Radióloga

Lugar de trabajo: Analiza imágenes.

SECCIÓN 1: INTERROGANTES DEL PROCESO DE PLANEACIÓN PREOPERATORIA.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar anatomías?

   Actualmente, no hemos podido realizar un plan de trabajo de impresión, ahorita es por medio de tomografías que es como los cirujanos de adultos o de niños panifican su proceso quirúrgico. En los niños es para ver los vasos. También se usa la resonancia, pero se usa más la tomografía.

2. ¿Cuáles son los pasos que emplea para obtener las imágenes?

Primero la adquisición, llega el paciente, al adulto se le prepara, a los niños no. Una vez adquiridas las imágenes las almacenamos en Dicom, se entrega al cirujano y nosotros procesamos esas imágenes, entregamos además un reporte escrito con el diagnóstico, algunas mediciones volumétricas y lineales que necesitan ellos saber durante la cirugía.

3. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar estas imágenes?

Las imágenes son tomadas rápidamente, ya que ha ido evolucionando todo en la medicina. Los radiólogos de antes se tardaban un poco más, el estudio de corazón se tomaba en 2 o 3 minutos, ahora con las máquinas de alta capacidad de 128 cortes o más. Para un estudio cardiaco se tarda alrededor de 20 s. Es más, lo que se tarda el paciente en estar preparado y que se le tome venas.

Después esas imágenes pasan en automático a nuestros visualizadores médicos y tenemos herramientas especiales para poderlas procesar o depende de la máquina, hay máquinas o estaciones de trabajo ya tienen herramientas dedicadas al corazón. Normalmente, nos tardamos un día en estar reconstruyendo cada arteria o vaso para entregar un reporte más confiable.

4. ¿Cuál es la principal dificultad en la creación de esas imágenes?

Yo creo que hay varias, primero que, aunque ya hay equipos más accesibles, en los hospitales no hay toda la tecnología disponible en los hospitales. Eso representa un costo para el paciente. Y no todos los pacientes tienen la facilidad económica de poder pagarse un estudio de $300 o un poco más. Esa es una limitante y todavía hay poca gente especializada en imágenes cardiacas, quizá son 4 o 5 en el país.

Otras cosas dependen meramente de los pacientes, como si no llega óptimamente preparado, hay que recetar al paciente, o a veces incluso repetir ese tipo de estudios.

5. ¿Cuál es la principal dificultad en la interpretación de esas imágenes?

Nos hemos tenido que formar en el área, por eso que no hay mucha gente que se haya especializado en esta rama.

6. ¿Considera que el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas es deficiente o eficiente?

En realidad, es lo que se tiene y es con lo que se ha estado trabajando, es lo que se tiene disponible. Sin embargo, creo que hay que siempre apostar a mejorar, innovar y aplicar la tecnología disponible en el mundo con el fin de mejorar las cirugías.

En el caso de los niños, con un modelo 3D, les cambia prácticamente todo el pronóstico posquirúrgico, verdad. Porque en lo que el cirujano se prepara mejor, reduce el tiempo de cirugía y eso ayuda a la recuperación del paciente.

7. ¿Participa en la planeación quirúrgica?

No con médico cirujanos, pero sí trabajo en imagen cardiovascular con un posgrado en imagen cardiovascular de tomografía y resonancia.

8. ¿Cómo es la relación funcional entre radiólogos y cirujanos*?*

Yo creo que ya hoy día está un poco más establecido y entendido que el bienestar de estos pacientes es necesario un equipo no se puede trabajar individual.

Tanto yo necesito información clínica para poder brindar un diagnóstico más certero, así como algunos estudios previos que probablemente ellos hayan hecho; y ellos necesitan de nuestras imágenes para poder hacer una planeación quirúrgica efectiva.

9. ¿Cuáles son los equipos más importantes en el área de radiología (de su área)?

La resonancia magnética que casi todos los hospitales las tienen, de alto campo, que tienen todo lo necesario para realizar los estudios cardiacos, funcionales, de aorta y la tomografía, que ya empezó desde hace varios años, pero que últimamente ha tenido más auge, ya que con los equipos más recientes prácticamente en un latido saca todas las imágenes.

10. ¿Conoce de otras tecnologías que le gustaría emplear?

Todas en realidad verdad, de hecho, en hospitales utilizan todas las imágenes disponibles en el mercado como la ecocardiografía, la resonancia, la tomografía y funcionan esas imágenes para realizar la impresión 3D y los modelos biométricos para obtener mejores resultados.

11. ¿Conoce sobre software que permitan crear modelos 3D a partir de archivos DICOM?; ¿Cuáles recomienda?

Software específico para la impresión 3D, sé que, si hay más disponibilidad en el mundo, pero desconozco los softwares.

12. ¿Conoce usted la aplicación de los modelos 3D en la medicina?

Además de la cardiología, pues se usa en varias regiones del cuerpo, como para cortes y prótesis y esos modelos anatómicos, al final es para una mejor planeación quirúrgica en pacientes que se han amputado, pacientes que se han quemado y necesitan un reemplazo de algún miembro. En todas esas áreas se ocupa además de cardiología.

13. ¿Alguna vez ha empleado un modelo 3D?

No, nunca he tenido la oportunidad, Me encantaría, pero nunca he tenido la oportunidad de poderlo realizar.

14. ¿Estaría dispuesto a adquirir conocimiento en el modelado e impresión 3D?

Si, claro que sí. Me encantaría de hecho.

15. ¿Cree que el sistema de salud del país tiene las condiciones para adaptar la aplicación de la impresión 3D en cardiología? ¿Por qué opina eso?

Yo creo que hoy día si le están apostando bastante a mejorar la salud y que, con propuestas y modelos, que están demostrados a través de estudios, que se prueba que se reducen los días de recuperación, se reduce la mortalidad y que ya están probados en el mundo. Yo creo que se pueden empezar a implementar, se pueden vender y dar la idea.

SECCIÓN 2: INTERROGANTES EN CUANTO AL PROCESO QUIRÚRGICO

16. ¿Sabe usted cuál es la guía visual que se emplea para orientar un proceso quirúrgico?

Normalmente, después que ellos han visto los estudios de imagen, ellos entran directo. Como por ejemplo el cerebro hay un ultrasonido que se puede meter al quirófano, en el corazón, una vez ellos abren ya es visual puramente, no hay una herramienta que se usó que se pueda usar para ir viendo.

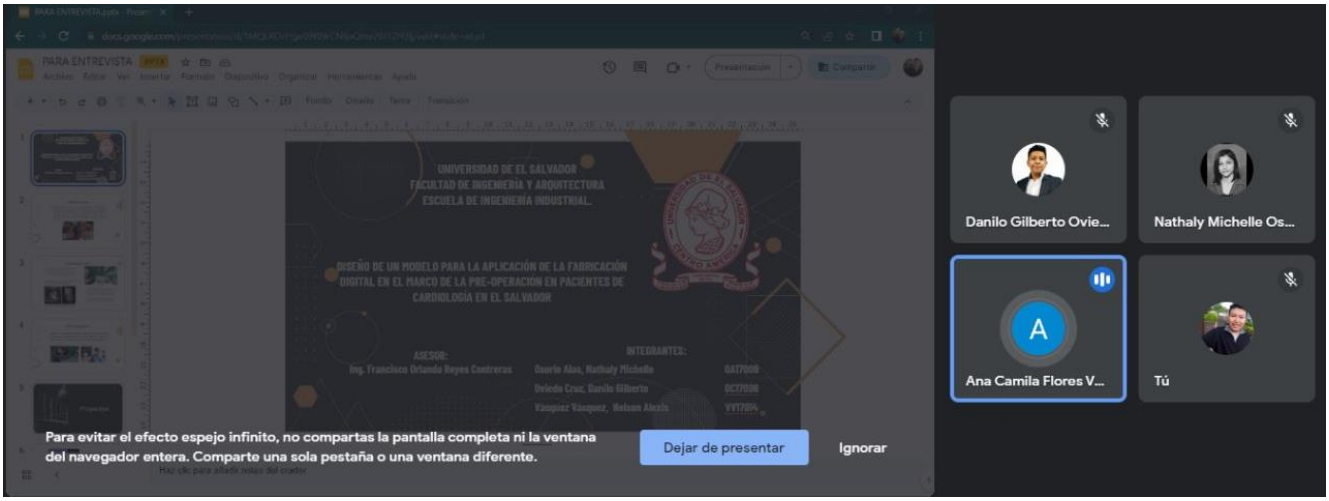
17. ¿Recomendaría incorporar modelos en 3D en el diagnóstico y planeación preoperatoria?

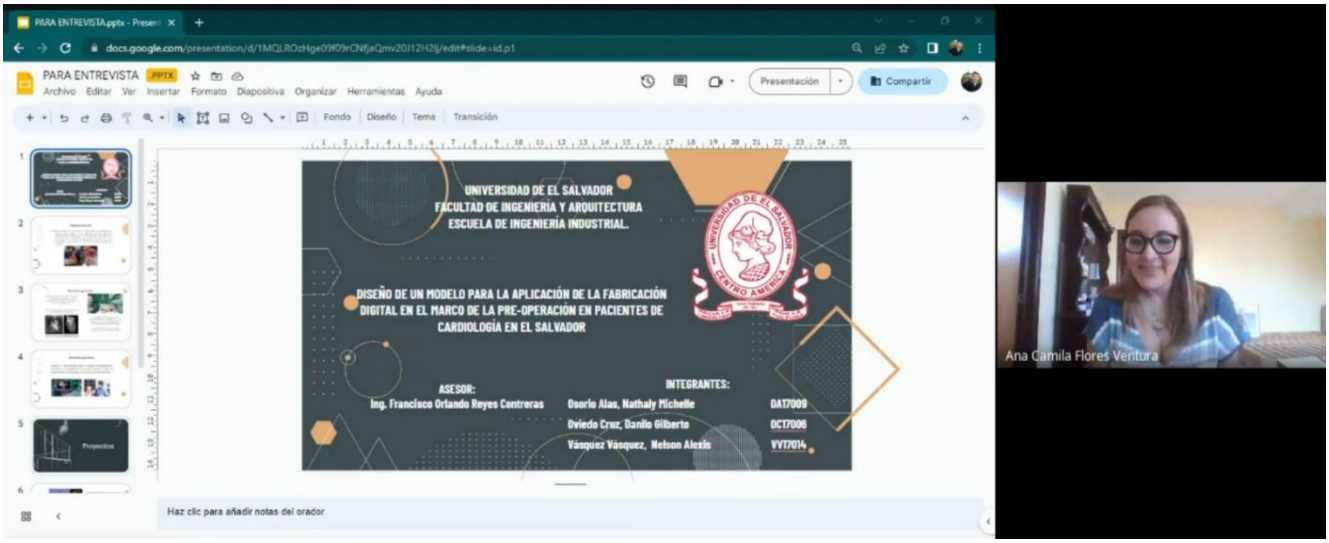
Sí, sin duda ustedes habían señalado muy bien las ventajas de aplicarlo. Los máximos beneficiados serán los niños, que tienen las cardiopatías más complejas. Aun con las imágenes no se puede comprender la totalidad de las cardiopatías. Ya que los modelos 3D como ellos pueden practicar como ellos van a entrar y en qué dirección, como van a tocar, qué área anatómica específicamente van a entrar ellos. Entonces definitivamente será un paso gigantesco en general paran niños y pacientes cardiacos.

18. ¿Cuál es la cantidad óptima de cortes para que una imagen tenga una resolución decente?

En el archivo Dicom, son más los cortes del equipo. Cuando empezó a usarse en el área cardiaca, se empezó a hacer en equipos de 16 cortes, rotaba 16 veces el tubo para tomar la

imagen, hoy en día alrededor de 500 veces. Hoy en día son muchísimos. No puedo decir la cantidad, pero debe referirse a los cortes del equipo. Un equipo entre menos cortes tenga, será menos clara y será menos real la imagen. Ya hoy los equipos giran tan rápido los tubos que prácticamente es imperceptible la unión que hacen.





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTR

Fecha: 20 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades de mejoras, al involucra nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nombre del entrevistado: Lic. Sandra Marlene Jacobo Farfán de Hernández

Especialidad: Licda. Anestesiología e inhalo terapia

Puesto de trabajo: Especialista de terapia respiratoria.

1. ¿Actualmente usted conoce de las tecnologías que se emplean para diagnosticar a pacientes antes de un proceso quirúrgico?

***Ultras sonografías en 3D**, antes solo se empleaba a través del análisis por rayos x de manera monocromática, se puede dar el caso en el que solo se vea el órgano, pero aun así se dificulte el identificar como este está siendo afectado. Por lo que se ha empleado **resonancias magnéticas**, para visualizar mejor los casos y ampliar el panorama. No se deja de lados los signos y síntomas que el paciente va presentado durante el proceso de evaluación. Los **electrocardiogramas** donde se puede contemplar las ondas, verificando la actividad eléctrica del corazón.*

***Nota:** considera que el avance médico del país está más claro y se puede diagnosticar de una mejor manera, en contraste con el pasado.*

2. ¿Considera que, a través de estas tecnologías empleadas, se facilita la interpretación de diagnóstico de los casos que requieran de cirugía?

No en su totalidad, siempre se dan los casos en que falta algo en consideración, esto también debido a que cada modelo de innovación medica va mejorándose. Teniendo en cuenta que cada época se va innovado y que los cambios surgen a raíz de mejorar las tecnologías actuales, teniendo en cuenta que la preparación académica siempre mejora, pero siempre queda a la expectativa de mejora.

3. ¿Cuál considera usted que es la principal dificultad de operar con las tecnologías actuales, para el diagnóstico quirúrgico?

En cuanto a dificultades de conocimientos, se considera que los médicos se capacitan constantemente según el empleo de nuevas tecnologías en el proceso que se relacionan. El conocimiento depende mucho del interés de los profesionales; ejemplo actualmente el ara donde el entrevistado labora incorporo nuevas tecnologías para apoyo a las personas con dificultades respiratorias y se capacito por esto mismo al personal.

***Nota:** la entrevistada hace énfasis en que la preparación con las nuevas tecnologías puede ser fácil para un profesional del área de la salud, pero el costo que puede implicar esto, hace que muchas veces se visualicé desde un acceso limitado.*

4. ¿Usted conocía de la aplicación de los modelos 3D en la medicina?

Debido al área en el que se desarrolla la persona entrevistada, desconoce de la aplicación, pero si considera que el área de radiología puede tener conocimientos más claros y experiencia cercanas a estas tecnologías.

5. ¿Desde su experiencia laboral, cual es el equipo que forma parte del proceso de cirugía?

Existe un equipo especial para el área de cardiología, entre estos se encuentra los médicos especialistas, se cuenta con enfermeras y anestesistas preparadas justas para esa área, no se permite que otros especialistas como en el área de anestesiología ingresen a tratar a en procesos quirúrgicos de esa área. Es esencial mencionar que este equipo maneja instrumentos, herramientas y maquinarias muy especializado como una bomba extracorpórea.

6. ¿Cómo se da la comunicación con el equipo que forma parte de la cirugía?

Si se le explica el proceso con se va a tratar al paciente, ya que para poner en proceso la cirugía, se debe de conocer la claridad del diagnóstico del paciente por las partes que se ven involucradas en el proceso, ya que el diagnostico permite ver que complicaciones se pueden generar, teniendo en cuenta otras alteraciones o enfermedades de los pacientes.

7. ¿De ser incorporadas estas nuevas tecnologías, usted estaría dispuestos a adquirir nuevos conocimientos?

Si, porque es esencial la innovación de manera profesional, teniendo en cuenta que esta tecnología es de beneficio al paciente y facilita el proceso en el cual el profesional se ve involucrado. Pero es esencial siempre la preparación y actualización médica.

8. ¿Considera que el país tiene las posibilidades de incorporar estas nuevas tecnologías en la red hospitalaria?

Se vuelve algo difícil de considerar, debido a que la situación del país se ve ligada en gran manera a los cambios políticos que el país puede sufrir; el proceso de adaptación a las nuevas tecnologías se ha llevado constantemente, pero se ve ligado en gran medida a decisiones de las personas que gobiernan la nación.

9. ¿Qué profesional o área recomienda para el uso de la tecnología de impresión en 3D?

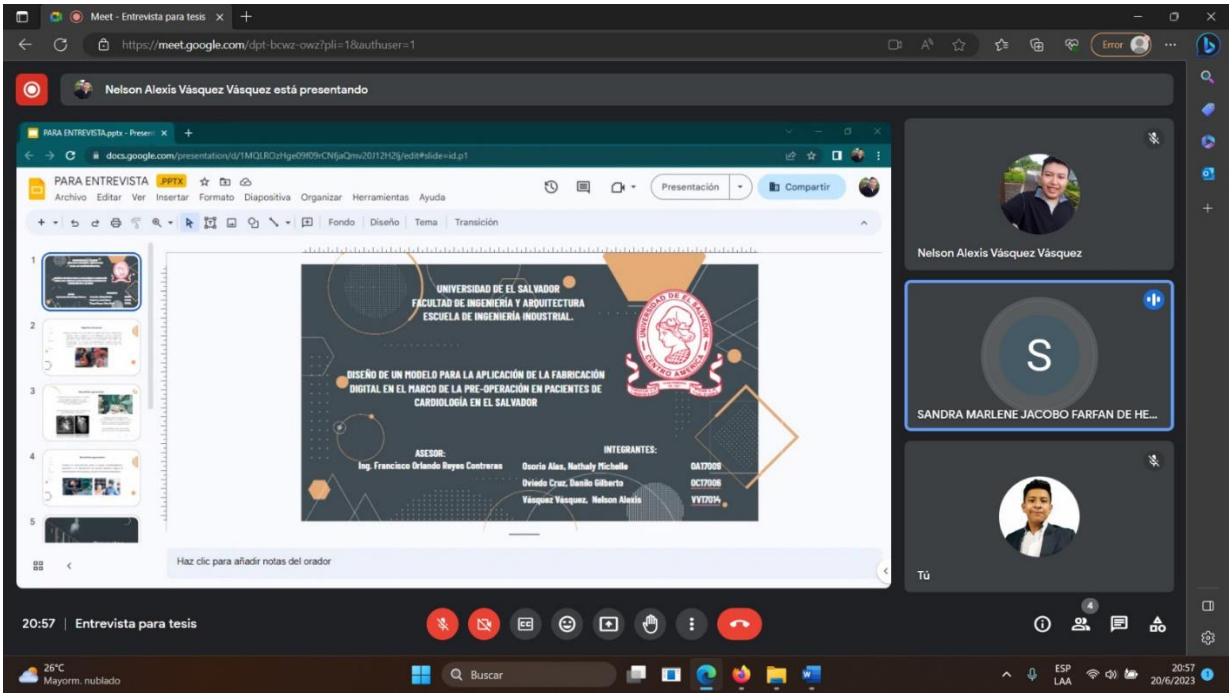
En forma general, se puede enfocar a muchas áreas, ya que nota esencial que las diferentes áreas de la medicina, tenga un acercamiento con estas innovaciones. El 3D es muy útil en anestesiología, ya que puede orientar de mejor manera al especialista al momento de bloquear un nervio.

10. ¿Cuáles son los instrumentos utilizados en el proceso quirúrgico?

Lámparas dialíticas, las cual cuentas a ver lo más mínimo al momento de intervenir al paciente, se tiene máquina de anestesia, ventiladores mecánicos, se usa instrumentos quirúrgicos como pinzas, bisturí y monitores, que puede ser digitalizado, electrocauterios, electros cardiogramas y otros.

11. ¿Con base a lo abordado y su experiencia en el área, usted recomienda incorporara la impresión en 3D en la medicina?

Si, ya que la medicina debe de ir evolucionado, seria idóneo incorpóralo teniendo en cuenta que uno interviene con mejor confianza al paciente y la preparación es bastante favorable para el médico.



Análisis del cuestionario para profesionales de la salud aplicados Online

Objetivo general: Establecer las deficiencias en los procesos de planificación e intervención quirúrgicas en pacientes del área de cardiología, definiendo oportunidades demejoras, al involucrar nuevas tecnologías que ayuden a diagnosticar e intervenir a un paciente.

Nota: El instrumento fue aplicado en forma online, debido al tiempo de los profesionales que brindaron su postura en cuanto al tema de investigación y su enfoque desde las perspectivas de avances tecnológicos actuales, en el área de la medicina**.**

Sección 1: Datos generales.

Nombre del profesional	Lugar donde reside	Especialidad	Puesto de trabajo	Lugar de trabajo
José Roberto Peña Hueso	El Salvador	Cirugía General	Jefe Depto. Cirugía	Hospital General ISSS
Claudia Isaula	Honduras	Ecocardiografía Pediátrica	Cardióloga Pediatra y Ecocardiografista Pediatra	Hospital María de Especialidades Médicas

Estefanía de los Ángeles Gámez Pacheco	Alemania	Médico General	Médico General	(Prefirió no dar respuesta)

<u>Sección 2:</u> Preguntas relacionadas con el proceso de diagnóstico y planeación quirúrgica.

1. ¿Cuál es la tecnología que se emplea actualmente para visualizar y diagnosticar aun paciente?

- *Eco transesofágico – ecocardiograma (Dr. Peña)*
- *Ecocardiograma (Dra. Isaula)*
- *Exámenes de laboratorio (hemograma, química sanguínea, EGH, EGO, hormonas y otros) y Exámenes de gabinete (Rx, Ultrasonografías, Resonanciamagnética, Tomografía axial computarizada, Angiografías y otros) (Dra. Gámez)*

2. ¿Cuánto tiempo se tarda en generar imágenes con la tecnología antesmencionada?

- *Inmediata (Dr. Peña)*
- *40 minutos a 2 horas (Dra. Isaula)*
- *Se obtienen de forma inmediata o en cuestión de minutos (Dra. Gámez)*

3. ¿Cómo considera la interpretación y visualización de las patologías o anatomíasviéndola a través de imágenes?

Valorización	Puntuación	Porcentaje
Muy difícil de comprender	0	0.00%
Difícil de comprender	0	0.00%
Compresibles	1	33.33%
Fácil de comprender	1	33.33%
Muy fácil de comprender	1	33.33%

4. ¿Cuál es la principal dificultad de la interpretación de esas imágenes?

- *La experiencia del especialista (Dr. Peña)*
- *Depende mucho del operador y de la máquina, su resolución, transductor y factores externos como edad del niño, complejidad de la cardiopatía. Ventanaacústica del niño (Depende mucho de otras enfermedades que tenga el paciente) (Dra. Isaula)*
- *Se necesita un conocimiento más específico en el área de radiología. (Dra.Gámez)*

5. ¿Cómo considera usted el método usado actualmente para obtener las imágenes anatómicas?

Valorización	Puntuación	Porcentaje
Muy Deficiente	0	0.00%
Bastante Deficiente	0	0.00%
Eficiente	1	33.33%
Bastante Eficiente	1	33.33%
Muy Eficiente	1	33.33%

6. ¿Podría mencionar otras tecnologías que le gustaría emplear para diagnosticar yplanear una cirugía?

- *Angiografía coronaria (Dr. Peña)*
- *Tomografía, resonancia magnética. Ecocardiograma 3D (Dra. Isaula)*
- *Estudios que no requieran exposición a materiales de contraste y que se puedafacilitar la imagen a través de una aplicación específica para cada hospital que aparezca al final ir el estudio. (Dra. Gámez)*

7. ¿Qué tipo de profesional del área de medicina tiene más conocimiento enmanipulación virtual de tomografías?

Los tres profesionales de la salud coincidieron en que el personal con mayor conocimiento en estas áreas, son los profesionales de área de radiología.

8. ¿Conocía usted sobre la aplicación de los modelos 3D en la medicina? Ya sea anivel nacional o internacional.

Los tres profesionales de la salud tienen conocimiento acerca de la aplicación dela aplicación de los modelos 3D.

Sección 3: Experiencia con la aplicación de las impresiones 3D en la medicina.

9. ¿Alguna vez ha empleado un modelo 3D para diagnosticar, observar, anatomías, practicar o planear?

De los tres profesionales sometidos al cuestionario, uno de ellos comento tener experiencia en ello y dos de estos no han tenido una experiencia cercana con laaplicación los modelos 3D.

10. ¿Cree que el sistema de salud del país estaría interesado en aplicar la impresión3D en el diagnóstico, prácticas y planeación quirúrgica?

Variable	Puntuación	Porcentaje
Imposible	0	0.00%
Poco Imposible	0	0.00%
Aplicable pero poco Útil	0	0.00%
Aplicable	1	33.33%
Muy aplicable y útil	2	66.67%

11. ¿Estaría dispuesto a pagar por una impresión 3D para estudiar o practicar unacirugía?

Con respecto a esta interrogante, los tres profesionales de la salud respondieronque si están dispuestos a adquirir piezas medicas en 3D, que les permita estudiary practicar cirugías.

12. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una impresión 3D?

Cantidad monetaria	Puntuación	Porcentaje
$ 30.00	1	33.33%
$ 40.00	2	66.67%
$ 50.00	0	0.00%
$ 60.00	0	0.00%
$ 70.00	0	0.00%
Más de $ 80.00		

Sección 4: Expectativas sobre el uso y aprendizaje de la impresión 3D en la medicina

13. ¿Estaría dispuesto a ampliar sus conocimientos en el modelado e impresión 3D?

En cuanto a la pregunta que cuestiona el interés de los profesionales para ampliarsus conocimientos en el área de la fabricación digital, enfocada en la impresión 3Dlos tres estuvieron estar de acuerdo.

14. ¿Estaría dispuesto a comprar impresiones 3D para estudiar anatomías?

Los tres profesionales mostraron interés para adquirir modelos 3D que le ayudenen el desarrollo de aprendizaje, teniendo en cuenta el enfoque de visualización más clara sobre la anatomía del ser humano.

Sección 5: Experiencia y/o conocimiento sobre cirugías.

15. Con base a su conocimiento y/o experiencia, ¿Cuál es el tiempo mínimo y máximoque ha durado una operación en la que ha participado? Escriba el tipo de cirugía.

Cirujanos Cardiovasculares (Dr. Peña)}

Cirujanos cardiovasculares, enfermeras quirúrgicas, percusionistas, anestesiólogos, ecocardiografista. (Dra. Isaula)

Anestesiólogo, Enfermería, Médico Cirujano, Ayudante (Médico staff de cirugía,residente de cirugía o interno) (Dra. Gámez)

16. Con base a su conocimiento y/o experiencia, ¿Cuánto es el promedio de días de recuperación que un paciente continúa ingresado en el hospital después de dichacirugía?

7 días (Dr. Peña)

Depende la cirugía, pero mínimos 4 días a 1 semana (Dra. Isaula)

Desde 2 días en cirugías no complicadas hasta más de 10 días en cirugíascomplejas. (Dra. Gámez)

17. Con base a su conocimiento y/o experiencia, ¿Considera que el promedio de díasde hospitalización se reduce con una cirugía menos invasiva?

Caracterización	Puntuación	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	2	66.67%
De acuerdo	1	33.33%
No tienen relación	0	0.00%
En desacuerdo	0	0.00%
Totalmente en desacuerdo	0	0.00%

Análisis del cuestionario para profesionales de laboratorios de impresión 3D

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 08 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Conocer las aristas de la fabricación digital y el funcionamiento de un laboratorio de impresión 3D.

Nombre del entrevistado: Ing. Saúl Guardado

Especialidad: Industrial **Puesto de trabajo:** Docente y coordinador del FIA LAB

Lugar de trabajo: **Universidad de El Salvador**

SECCIÓN 1: INTERROGANTES GENERALES

1. ¿Cuáles son las principales fases del proceso para la generación de los modelos para medicina?

Aquí es bien importante que ustedes describan el proceso como tal, sino también el proceso de acercamiento. Se tiene un proceso de documentación, desde la pandemia se realiza vía correo. En mi correo personal tengo una carpeta de solicitudes de apoyo que tenemos, algunas son rechazadas. Son evaluadas por la dirección de la escuela. Se le comunica al director de la escuela actualmente, con el Ing. Georgeth. Algunos de los requerimientos son los materiales y tiempo, varios casos se han rechazado por ese motivo. Si es de motivo personal no se acepta,

Con el tema de cooperación externa como el Bloom, como odontólogos nos han pedido ayuda, nos hemos trabajado, pero nos han dado un reconocimiento en especias como filamento o algún insumo que el laboratorio necesite. Eso se ha hecho con todas las entidades que se han

acercado, porque no hay tarifario y la política de la universidad no es muy abierta. La Universidad no me da mucho espacio de abastecerme.

Finalizada la tapa de aceptación, pasamos a modelado a través del Dicom, a través del slicer4D, que es el que nos entrega mejores resultados y ahí se va haciendo la segmentación. El proceso no es tan técnico, depende mucho de tus conocimientos anatómicos, pero anatómicamente es rugoso. Un técnico de lab con un doctor o un doctor debe especializarse.

El post procesado es la limpieza del modelo, para poder hacer la entrega, se hace un poco de lijado, ya que los modelos se pueden romper porque hay partes muy delgadas, que sale mejor lijar. Se le notifica al interesado para que lo retire y se hace una foto de documentación.

2. ¿Cuáles han sido las principales dificultades para generar los modelos que solicitaron los médicos en general?

Todavía no considero que seamos expertos en el tema, pero todavía hay muchos problemas y cosas que no conocemos, uno de los principales es la calidad del Dicom. Entre más capas tiene es mejor la calidad del modelo, entre más capas más detalles a la hora de generar los modelos.

Segundo punto la dificultad del software, no es un software muy fácil de utilizar la capacidad del software que se usa es open source no es muy fácil de utilizar, que tal vez si fuera de pago se podría usar más fácil y se podrían evitar las barreras que puedan existir.

3. ¿Cuánto tiempo, en promedio, toma generar el modelo desde que la entidad le brinda los diseños?

De acuerdo con mi investigación, que como les comentaba al principio es parte de mis funciones estar leyendo y conocer del tema. Por ejemplo, de odontología ya hay software

especial para piezas específicas, simulaciones, luego de usar Brackets, entonces en este caso que es para cardiovasculares, no lo he visto. no hay expresamente para eso como en odontología. Según creo que un software de paga, según he visto, porque no lo he pagado, pero es más fácil para un doctor, es más fácil de entender que es más intuitivo para su uso propio.

4. ¿Qué software de paga ha ganado rango en este tipo de aplicación?

Sí conozco un par, no he entrado demasiado en el tema, pero sí hay, te voy a comentar los nombres intelliypace, traía módulo de neurológico, cardiología, que te podrían ayudar a que el proceso sea un poco más fácil. El otro de los más pegados en el mundo, materiallze, tiene bibliotecas muy grandes y potentes, ese incluso permite planificar la cirugía como donde cortar y qué tejido será.

5. ¿Cuál es el tiempo promedio que les toma generar el modelo que la entidad les pidió?

Depende del modelo, ya que no nos consideramos expertos en el tema, por lo que no puedo dar un tiempo estándar de lo que nos queremos tardar. Pero nosotros creemos que podemos entregar un modelo en una semana, aunque no seamos bien de los cortes, y que se debe hacer una investigación e iteraciones. Si tuviéramos más trabajo en esto y un software especializado podría avanzarse mucho, ya que la intrusión dependiendo del tamaño del modelo también así va a tomar.

6. ¿Es posible imprimir modelo 3D con calidad aceptable en un tiempo inferior a 24 h?

Siempre va a depender del tamaño del modelo, aunque eso se puede subsanar con tener varias máquinas, imprimiendo varias partes en varias máquinas. Es cuestión de programar de la producción y de la capacidad instalada que tengamos. Arterias vasculares perfectamente se podrían en 24h.

7. ¿Cuántas personas se requieren para administrar un laboratorio de fabricación digital?

Bueno llegaremos de nuevo otra vez a lo mismo, depende de las actividades que realice y la demanda que se tenga. Sin embargo, yo creo que, por ejemplo, que llega un modelo al día, se necesita tener una persona a tiempo completo en el laboratorio. Si te llegan 2 modelos al día, ya necesitas 2 personas y 3 al día, perfectamente se puede 2. Una que se encargue del mantenimiento de las impresiones y la otra de los cortes del modelo. Si el producto no pasa de un cubo de 10 cm de lado.

8. ¿Cuáles son las habilidades que una persona debe poseer para el manejo de los procesos de impresión 3D?

Debe saber de electrónica, mantenimiento en ese sentido, no es nada del otro mundo hacerlo, son conocimientos que se pueden adquirir en capacitaciones. Lo siguen es que tenga un poco de conocimiento relacionado con resistencia de materiales, porque hay piezas más frágiles dependiendo de la dirección en la que se imprime. Luego en relación en conocimientos de anatomía.

Por eso creo que, si un doctor compra una impresora y la ocupa sin parar por un mes, puede dirigir un laboratorio. O un técnico en enfermería o alguien que trabaje con imágenes, solo se necesitaría capacitarse en impresión.

9. ¿Cuál considera que es el salario mínimo para un técnico encargado de un laboratorio de fabricación digital?

En ese caso podría ser alguien que trabaje con imágenes, de ahí hacia arriba, ese salario debe andar entre los $200 a $1200

SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE INSTALACIONES Y EQUIPO

10. ¿Cuáles son las máquinas necesarias para realizar un modelo de impresión 3D?

Ahí pueden hablar de tecnología de deposición de filamentos, pero no es el acabado más bonito, pero también de resina. Luego de requerimientos de volumen de cuanto sea lo que quieren imprimir los tamaños máximos, como si se extienden, como una impresora gran de pared.

11. ¿Recomienda impresoras de resina para modelos anatómicos?

Sí, perfectamente por la presión

12. ¿Conoce filamentos o resinas para fabricar piezas flexibles?; ¿Cuáles?

Sí hay resinas que te dan resinas y filamentos elastómeros. Con cualquiera que quieran trabajar van a encontrar opciones.

13. ¿Conoce impresoras de resina o filamento para fabricar piezas flexibles?; ¿Cuáles?

Sí, cualquier impresora solo hay que revisar que la resina tenga esas propiedades.

14. ¿Hay herramientas o piezas que se deben cambiar para poder imprimir piezas flexibles?

Si es de resina no, lo que se hace es cambiar en el software, se debe dejar más exposición, ya que queda semi aguado hasta que lo cures. Desde el año pasado en las de filamentos ya traen para electrométricos. Hoy en día la mayoría de las impresoras ya traen aeros, lo que trae el Aero es una cámara de calentamiento que es especial de aluminio y eso es más caro.

15. ¿Existen proveedores con variedad de filamentos y resinas en El Salvador?

Sí, conozco básicamente 4. Nextfia, Nextia, factory lab, 3Dprint y Creativo. Son las que conozco que tienen impresoras de resina y filamento y los materiales.

16. ¿Qué estaciones de trabajo se requieren en un laboratorio de fabricación digital?

Se necesita un área de impresión y post procesado, un área de diseño, y un apartado para entrega final. Si lo haces con resina vas a necesitar una estación de lavado y una de curado, si lo haces con filamento vas a necesitar una estación de lijado, una estación de calor por si te pasas con la lijada y la pieza quedó blanca.

En el área de diseño se deben poseer computadoras de alta potencia, área de impresión, sus llaves, pinzas. En el procesado está la estación de lavado, curado y resto de espacio para quitar soportes, lijar y desecharlos apropiadamente.

17. ¿Qué herramientas se necesitan para afinar los detalles de las piezas?

Vas a necesitar lijas, acetona, alcohol isopropílico, bisturí, pinzas y tenazas.

18. ¿Cuál es el protocolo de mantenimiento de las máquinas?

De acuerdo con el uso, por ejemplo, si las máquinas trabajan toda la semana. Por ejemplo, limpieza Y engrase de Nosol y rieles para asegurar que las máquinas están lo mejor que se puedan y un proceso de calibración. de la máquina, en nuestro caso era manual, girábamos el eje Z con nuestras manos para calibrarlo al máximo en la cámara, eso es mantenimiento básico que hay que hacer.

Luego si es ocasional, ahí de acuerdo si se observa que el material se empieza a quedar pegado el material, puede que la cámara tenga muchos residuos.

19. ¿Qué condiciones ambientales requieren las instalaciones de impresión 3D?

Un extractor de olores, se necesita una campana de ventilación porque el ABS y la resina son cancerígenos, puede desarrollar cáncer en los pulmones.

Por otro lado, al tener trabajo con calor, se debe tener un extintor a la mano.

En cuanto a temperatura, es una barrera que se está eliminando porque los filamentos y resinas ya tienen aleaciones para evitar problemas, ahora son materiales que ayudan a facilitar el trabajo con la temperatura. La temperatura no debe ser muy caliente, ya que las máquinas calientes pueden generar un ambiente malo de trabajar. Se puede ventilar manualmente para que el olor no se quede encerrado por días.

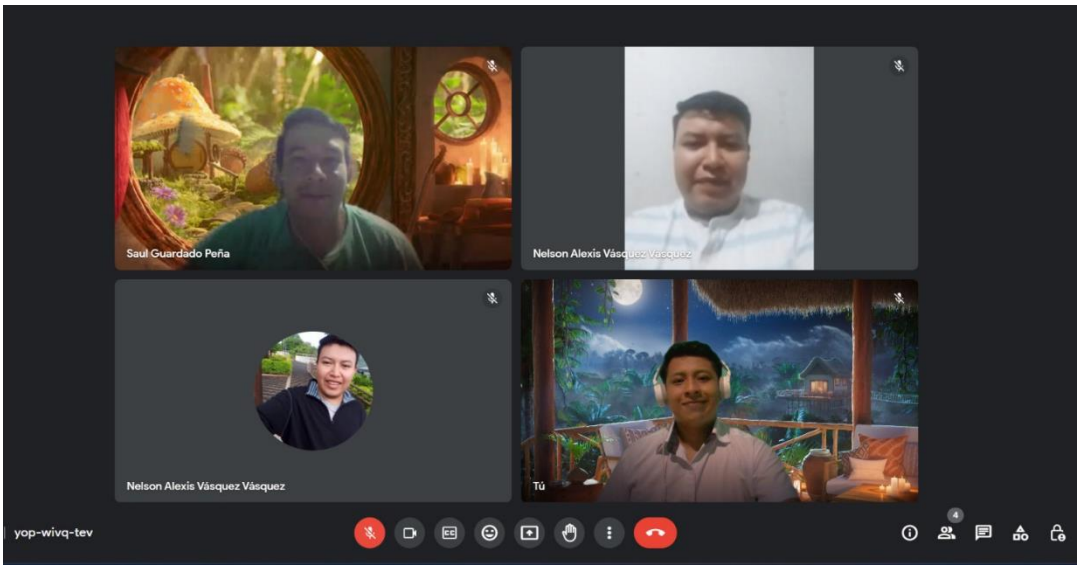
SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE SOFTWARE Y HABILIDADES

20. ¿Cuánto estima que es el costo del financiamiento de un curso para aprender las tecnologías de impresión en 3D?

Alrededor de $80-100k, para tener los equipos decentes que ayuden a dar una instrucción adecuada.

21. ¿Usted considera que las tecnologías de aplicación de modelos 3D son adaptables a laboratorios de hospitales o considera más viable aplicarlo en instalaciones donde se realizan exámenes especializados?

Yo lo veo como que puede ir, como por ambas cosas. Si se planteara para un hospital específico o si fuera un negocio fuera de un hospital, sería un servicio combinado, se puede tener en el hospital con gente especializada en el tema o que se pueda dar servicios varios en el laboratorio. Algo híbrido. Esto debe estar en el área más clínica, debe estar más en el lado quirúrgico.


Saul Guardado Peña
Nelson Alexis Vásquez Vasquez
Nelson Alexis Vásquez Vásquez
Tú
yop-wivq-tev

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fecha: 08 / 06 / 2023

Tema: diseño de un modelo para la aplicación de la fabricación digital en el marco de la pre-operación en pacientes de cardiología en El Salvador

Objetivo: Conocer las aristas de la fabricación digital y el funcionamiento de un laboratorio de impresión 3D.

Nombre del entrevistado: Enrique Pereira Avilés
Especialidad: Impresión 3D en resina **Puesto de trabajo:** Técnico de impresión 3D
Lugar de trabajo: Negocio propio

SECCIÓN 1: INTERROGANTES GENERALES

- ¿Qué tipo de material utiliza para sus proyectos de impresión 3D?

Se usan varios tipos de materiales, el principal sería un tipo de polímero como la resina o el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el alcohol isopropílico (IPA), luz UV, epoxica, lijas de agua, pintura spray primer negra y pintura acrílica. Y para seguridad usamos guantes de nitrilo y máscara para gases con doble filtro.

- ¿Por qué motivos utiliza ese material?

22. *El polímero es lo que compone la pieza, la resina es la más común que usamos, ABS solo para piezas que necesiten más flexibilidad y resistencia a impactos.*
23. *El IPA lo usamos para lavar las piezas luego de su impresión y eliminar todo residuo del exceso de polímero líquido en la pieza sólida. La luz UV se usa para curar las piezas y que ya no sea tóxica al tacto de la piel.*

24. *La epoxica se usa para pegar piezas si el modelo es separado, se quiebra o tenemos grietas en el modelo. Las lijas de agua son para limpiar detalles o imperfecciones en la superficie de la pieza.*
25. *El primero se usa para darle un color base y preparar para el pintado con los acrílicos.*
26. *Los guantes de nitrilo son por motivos de seguridad, ya que la resina como el ABS, son altamente tóxicos cuando no están curados.*
27. *La máscara de gases con doble filtro es para no inhalar los gases nocivos que se producen cuando el polímero está pasando de forma líquida a sólida (ya que estamos calentando un plástico para que se endurezca).*

- ¿Cuáles son las principales fases del proceso para la generación de los modelos 3D? (desde el inicio)

Debemos tener en cuenta que hay dos tipos de máquina para crear modelos 3d una es las impresoras de filamento y las de resina, nos concentramos en la de resina que es la que usamos.

Primero empezamos con la idea en papel o en un programa de dibujo para bocetar nuestra idea, luego de eso creamos un modelo 3D en un programa como Autodesk Maya, con una combinación de Zbrush para esculpir detalles, más rápido que el método tradicional de modelado, siempre tomando en cuenta que los modelos tienen que estar hechos a escala real.

Una vez el modelo está creado se exporta en un formato como OBJ, STL a otro programa conocido como Slicer, donde ponemos estructuras para soportar el modelo, manejar las especificaciones con las cuales la máquina imprimirá el modelo (tiempo que cada capa va a estar calentándose para solidificar la pieza, cuánto subirá en el eje Y). Luego corremos el Slicer y este cortará la pieza en capas y con esto ya podemos pasar el modelo en una USB a la máquina para que sea leído.

Desde este punto es regulación usar las medidas de seguridad como los guantes y la máscara, ya que estaremos manejando químicos altamente nocivos y estaremos expuestos a gases, los cuales tienen reacciones tanto de corto como a largo plazo a la salud y las reacciones pueden variar de persona a persona. Se prohíbe el acceso al cuarto, sin la máscara requerida y la resina solo puede ser manipulada como los modelos por la persona con guantes.

Una vez la pieza termina de ser impresa, se remueve de la plataforma y pasamos a lavarla en una máquina de curado, la cual tiene un tanque que llenamos de IPA y ponemos las piezas, el tanque tiene una pequeña turbina que hará que el agua gire para poder eliminar todo residuo de la resina líquida que queda en el modelo sólido.

Una vez terminado el lavado, removemos la pieza del IPA y dejamos secando al aire para que el IPA se seque al ambiente y con un cepillo limpiamos la pieza, la pieza. Ya cuando el IPA se ha evaporado completamente, nos movemos a curar la pieza bajo luz UV, para finalizar la solidificación del modelo y ya pueda ser manipulada sin uso de protección, ya que deja de ser tóxica.

Separamos la pieza de los soportes, si la pieza está compuesta de múltiples piezas pegamos cada una con epóxico, si algo se nos quiebra mientras separamos la pieza de las estructuras y si tenemos grietas para taparlas.
Luego nos movemos a lijar la pieza con lija de agua (estas se mojan para que ayuden a retener el residuo y funcionen bien) para remover cualquier imperfección que haya en la superficie del modelo.

Ya cuando estamos felices con el resultado, nos movemos a aplicar el Primer sobre la pieza, color negro es de preferencia, ya que ayudara con las sombras, y el Primer también ayuda a que la pintura acrílica se pegue a la pieza y al terminar de pintar dejamos la pieza secando.

- ¿Cuáles han sido las principales dificultades para generar los modelos que le han solicitado?

Se encuentran varios problemas al imprimir, en el caso de una impresora de resina, nos encontramos con que las piezas serán solo de un color.

Si la exposición de la pieza es muy alta, la pieza puede ser casi imposible de remover de la plataforma o las estructuras estarán bien pegadas al modelo, dejando demasiadas imperfecciones; si está baja la exposición, la pieza puede no imprimir bien o ser demasiado frágil, que al tacto se quiebre.

Si las estructuras no han sido colocadas bien cuando la plataforma se está levantando, puede quebrarse la pieza o no se pueden imprimir bien algunas partes.

Siempre se debe tener en mente como los modelos por lo generalmente se hacen huevos o con un panal de abeja por decirle así, creamos un vacío, esto genera más presión cuando la plataforma se está levantando de la pantalla, tenemos que dejar alguna cavidad para que salga la presión y el calor, porque si curamos, el aire caliente dentro de la pieza va a querer salir rajando la pieza en múltiples partes.

En otra parte yo me encontré con un problema debido a que yo vengo de años de experiencia en modelado 3D para videojuegos y renders tanto para animación como para imágenes, donde a los modelos le borramos caras que no vemos en los objetos vinales, esto causaba que el Slicer al prepararlo para crear la impresión en capas no reconociera piezas. Si las caras que faltaban eran en el eje +Y, esa parte no iba a ser impresa; y si la cara era en el eje -Y, el slicer piensa que la parte tiene que ser impresa desde la primera capa, causando imperfecciones imposibles de remover.

Nos hemos encontrado en prueba y error de poder encontrar el nivel de tolerancia de piezas que sostienen algo o se conectan con otro componente, donde encontramos que el mejor nivel de tolerancia es ±0.02mm.

Cuando empezábamos ningún modelo nos quedaba a escala correcta ya que trabaja todo en mm, pensando que iba salir todo bien, pero nos dimos cuenta de que el Slicer no le importa que unidad uses para modelar, siempre transformará todo a mm, ejemplo 1 cm será 1 mm

- ¿Cuánto tiempo, en promedio, toma generar el modelo desde que se le hace la solicitud?

Esto siempre depende del tamaño del modelo, cada 1 mm es alrededor de 3 min. con 30 segundos y en lo que nos hemos concentrado en miniaturas y teclas. Las teclas toman alrededor 1 hora a 1 hora 30 min, los modelos miniatura están tomando entre las 3 h a 5 h. Si tomamos en cuenta una pieza que no estaba previamente modelada y nos toca hacerla desde 0 generarla depende de la complejidad, puede tomar el modelar en un programa 3D desde 2 h a 12 h. El curado completo toma 10 días de lavado y entre 6-8 minutos bajo UV. El pintado dura alrededor de 2-6 horas. En total estamos entre 8-21 h de trabajo.

- ¿Qué software utiliza para este tipo de aplicación?

Usamos Autodesk Maya y Zbrush para generar los modelos 3D. Un Slicer para preparar el modelo con estructuras, las exposiciones de las capas, tanto la capa de abajo como la exposición normal de las siguientes y para cortar el modelo y convertirlo al formato STL para su impresión.

- ¿Cuál es el tiempo promedio que les toma generar el modelo?

  8-21 h como antes establecido

- ¿Es posible imprimir y entregar un modelo 3D con calidad aceptable en un tiempo inferior a 24 h?

Sí lo es

- ¿Cuántas personas se requieren para administrar un laboratorio de fabricación digital si se trabaja en producción masiva?

1 persona es suficiente, ya que las impresoras de resina tienen la ventaja de poder imprimir en capas, así pudiendo imprimir varios duplicados en la plataforma y se puede usar lo que se conoce como Apilado para duplicar en el eje Y.

- ¿Cuáles son las habilidades y conocimientos que una persona debe poseer para el manejo de los procesos de impresión 3D?

Depende de la meta de la persona, venderá solo modelos ya hechos por otras personas, no debe tener ningún conocimiento más que conocer su máquina y su resina o ABS. Si la persona quiere hacer sus propias piezas tienen que saber modelar 3D, conocimiento de topología para evitar problemas grandes al modificar piezas si se requiere, el nivel en ambas puede ser desde básico hasta avanzado; básico si las piezas son simples y no tienen grandes detalles y avanzado si la pieza será miniaturas, figuras de acción, coleccionables. Y si serán piezas movibles o para prototipo una comprensión intermedia a avanzada de los movimientos de componentes mecánicos.

- ¿Cuál considera que es el salario mínimo para un técnico encargado de un laboratorio de fabricación digital?

Nunca hemos pensado en esto, porque el mercado está dominado por emprendedores que se dedican a la producción de piezas y/o ventas de dichas piezas. Hay gente que no crea y solo compra los planos de una pieza e imprime y su salario se basa en la ganancia que generan (a cuanto las venden contra el gasto que toma producirlas y enviarlas a sus clientes). Hay otros que solo crean planos de piezas y las venden en línea para que otros las impriman, el salario en este caso se basa en la cantidad de personas que descargan el modelo versus las regalías que

dichas páginas cobran. Y la última persona donde me encuentro yo atacamos ambas ramas, tanto como vender en línea ciertos modelos e imprimir otros, el salario se basará en la demanda de ambos con sus pros y contras.

SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE INSTALACIONES Y EQUIPO

- ¿Cuáles son las máquinas necesarias para realizar un modelo de impresión 3D?

Una computadora de gama media o alta. Una impresora 3D de filamento o una impresora 3D de resina SLA (láser) o DLP (pantalla LCD) Si se tiene una impresora de resina se necesita también tener una curadora que trae el tanque de lavado y se intercambia con una plataforma que gira la pieza en las luces UV, por lo general vienen en combo.

Extra, pero no necesario, se puede agregar una pistola de calor que puede ayudar a suavizar el polímero para remover la estructura más fácil o poder lijar con más facilidad. Una sopladora para evaporar más rápido el IPA. Y una lámpara de luz UV para sellar el componente que se use para arreglar detalles como grietas o solidificar la pega de reacción a UV para pegar las piezas

- ¿Recomienda impresoras de resina para modelos anatómicos?

Sin duda alguna, yo las prefiero más que una de filamento. Y recomendaría una impresora de rescinda DLP con una resolución mínima de 4k, mientras más alto sea el pixelaje de la pantalla LCD mejor el acabado de detalles que se pueden lograr.

- ¿Conoce filamentos o resinas para fabricar piezas flexibles?

Si, pero estoy más familiarizado con las resinas; ¿Cuáles? Se que los filamentos en su mayoría vienen en variedades de colores; en la resina tenemos una variedad entre todos los polímeros que cada compañía ofrece, tenemos también resinas vegetales que son más flexibles

que la normal y la ABS que es una de las más flexibles se encoge menos y es más resistente a impactos, también hay resinas que se curan en agua sin necesidad de IPA.

- ¿Conoce impresoras de resina o filamento para fabricar piezas flexibles?

Si; ¿Cuáles? Elegoo, Prusa, Creality, Athena y mi favorita por sus precios baratos a comparación de sus competidores Anycubic, de la cual soy cliente.

- ¿Hay herramientas o piezas que se deben cambiar para poder imprimir piezas flexibles?

Realmente no, todo depende del polímero que estemos usando, su exposición. La resina tiende a ser más flexible que los filamentos

- ¿Existen proveedores con variedad de filamentos y resinas en El Salvador?

Por el momento solo he encontrado uno en el país, que son distribuidores en todo Centroamérica. Es muy difícil pasar por aduana, más que toda la resina porque es muy volátil

- ¿Qué estaciones de trabajo se requieren en un laboratorio de fabricación digital?

Se requiere un espacio amplio ya que hablamos de gases plásticos. En cuanto a las estaciones en si depende que tipo de máquina estemos hablando si hablamos de filamento está solo requiere de tres estaciones, y si se quiere crear menos impacto de contaminación ambiental pudiéramos agregar dos estaciones más.

La primera estación fuera el área de almacenamiento de filamentos, donde se tienen los filamentos guardados en sus respectivos rollos, categorizados por tipo de polímero (más rígidos más flexibles) y colores. La segunda estación fuera donde encontraremos todas las impresoras de filamento, estas tendrían que estar sobre una mesa. Y debajo de ellas recipientes donde

podamos tirar los residuos de los filamentos, fallas de impresión y estructuras que removamos de las piezas finales.

La tercera estación sería para refinado, donde tendríamos una mesa vacía donde se tenga pistolas de calor y lijas, para afinar detalles e imperfecciones de las superficies de las piezas y asegurar una superficie lisa.

Aquí ya podemos tener las últimas dos estaciones opcionales, su enfoque solo es no crear impacto de contaminación de plástico en el medio ambiente.
La cuarta estación sería una trituradora donde vertemos los desperdicios plásticos que teníamos en los recipientes de la segunda estación. Se tritura el plástico para conseguir unos granos del tamaño de un frijol hasta posiblemente como arena. Esto luego se mete en contenedores los cuales se moverán a la última estación.

La quinta y última estación es una máquina especializada que se compone de 3 partes: un horno que calienta los granos de plásticos para derretirlos; una boquilla de la cual saldrá el filamento algo viscoso y permite que se enfríe un poco, luego unos rodillos ayudan a refinar el filamento al grosor que se busca; un rodillo en el que colocamos el rollo contenedor y esta gira para enrollar el filamento, para volver a ser almacenado.

Ahora hablando de la resina, es necesario cinco estaciones y una sexta que fuera opcional, en diferencia al filamento lamentablemente no podemos tener estaciones para reciclar.

La primera estación sería para el almacenamiento de las resinas e IPA, ambas separadas. Las resinas se pueden separar por el tipo de polímero y colores (si se tienen). Siempre teniendo en mente seguir las indicaciones de seguridad, ya que la resina e IPA son altamente volátiles.

La segunda estación estarían las impresoras de resina, cada una con un contenedor donde podamos poner las piezas con sus estructuras si las piezas lo requieren (si no se quiere crear tanto impacto de contaminación ambiental es necesario buscar formas de imprimir sin

estructuras, en piezas que vengan directo a nivel de la plataforma y luego se puedan pegar). El contenedor se mueve a la siguiente estación.

La tercera estación tendría la máquina de curado (lavado y luces UV) y sopladoras de aire, sumergimos las piezas en el IPA, al terminar el lavado se termina de secar el IPA con la sopladora para acelerar y evitar imperfecciones al curar bajo luz UV (manchas blancas por el residuo de IPA). Se quitan los contenedores para el lavado y ponemos el disco para luego usar la función de luces UV para curar la máquina.

La quinta estación fuera para afinado se cuenta con una mesa con las herramientas necesarias en gavetas para orden y acceso fácil de sus usos, tales como: lijas de agua, pinzas de corte y una pistola de calor, para poder remover las estructuras fácilmente y ayudar a suavizar las superficies para lijar, se puede tener un pegamento epoxica para pegar si las piezas se sacan en varias partes. Y un contenedor debajo de la mesa para verter las estructuras.

La sexta estación, cual es opcional, es donde podemos pintar las piezas, preparándose con un primer y pintando con una pistola de spray para acrílicos y/o pinceles. Esta estación debe contar con una gaveta donde tengamos todas las pinturas en un orden por gama de colores, ganchos con brazos flexibles para ayudarnos a sostener piezas cuando las pintamos o una plataforma rotativa para asegurar el fácil manejo de las piezas para pintar.

- ¿Qué herramientas se necesitan para afinar los detalles de las piezas?

  Lijas de agua finas (1000-800-400-200)

- ¿Cuál es el protocolo de mantenimiento de las máquinas?

Cuando hablamos de impresoras de filamento solo sé que la boquilla hay que limpiarla y asegurarse que no se tape, revisar que la boquilla no esté desbalanceada, posibles reemplazos de boquilla y cadenas; en el caso de la resina, hay que asegurarse de retirar la resina del

contenedor, luego de su uso, revisar siempre que la plataforma esté balanceada antes de imprimir, se aconseja lijar la plataforma a la misma vez, asegurarse que el eje Y este en 0.

- ¿Qué condiciones ambientales requieren las instalaciones de impresión 3D?

Se aconseja una temperatura ambiente y un cuarto amplio, óptimo el uso de aire acondicionado para evitar que las máquinas se sobrecalienten.

SECCIÓN 2: INTERROGANTES SOBRE SOFTWARE Y HABILIDADES

- ¿Cuánto estima que es el costo del financiamiento de un curso para aprender las tecnologías de impresión en 3D?

Entre los $100-$500 porque se tiene que enseñar, aunque sea lo más básico de modelado 3D.

- ¿Usted considera que las tecnologías de aplicación de modelos 3D son adaptables a laboratorios de hospitales o considera más viable aplicarlo en instalaciones donde se realizan exámenes especializados?

Sin duda alguna ya está aplicada en laboratorios de hospitales, ya hay avances en eso, hay resina dental para el área de ortodoncia, ya hay máquinas de impresión 3D para metales para crear placas para cráneos. Tenemos máquinas ya de resina de placas grandes para la producción de prótesis. Y se está avanzando en la impresión de células para crear tejidos y llegar a "clonar" un órgano usando células madre del paciente, eso eliminaría la necesidad de esperar donantes y no tener el riesgo que el cuerpo del paciente rechace el órgano.

Evidencia de la aplicación de encuestas presenciales









