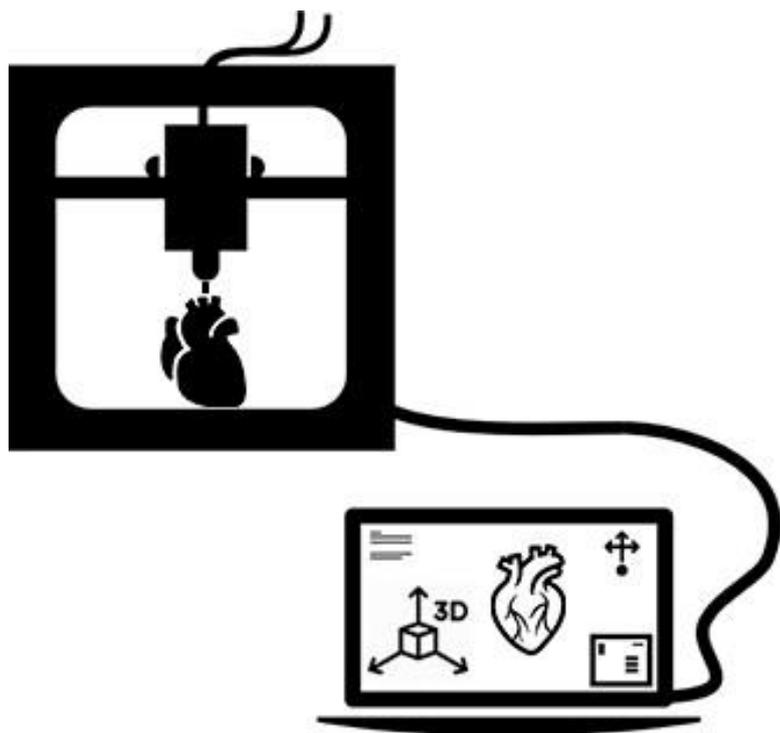


# Implementación de un Servicio de Impresión tridimensional en la Unidad de Arritmias del Hospital Universitario Vall'dHebron



Grupo 17 Trabajo Final de Master en Dirección y Gestión Sanitaria 1805

Portavoz: Nuria Rivas Gándara, Licenciada en Medicina y Cirugía, España

Joel Suárez Jáuregui, Licenciado en Medicina y Cirugía, España

Francisco López Navas, Licenciado en Medicina y Cirugía, España

Tutor académico: Dr. Albert Recolons

## ÍNDICE

Abreviaturas: .....	3
Resumen ejecutivo .....	4
Marco conceptual.....	4
Introducción a la electrofisiología cardíaca.....	4
Epidemiología de las arritmias .....	6
Introducción a la impresión 3D .....	6
Limitaciones.....	12
Justificación del trabajo .....	12
Educación .....	13
Comunicación con los pacientes .....	13
Planificación de procedimientos .....	13
Objetivos.....	14
Objetivo general .....	14
Objetivos específicos .....	14
Metodología .....	14
Planificación estratégica.....	15
Direccionamiento estratégico .....	15
Diagnóstico situacional.....	16
Análisis del entorno.....	16
Análisis del interior .....	20
Análisis DAFO.....	23
Líneas y objetivos estratégicos.....	25
Objetivos estratégicos y operativos .....	26
CANVAS.....	28
Plan funcional .....	28
Modelo de Servicio de Impresión 3D de la UA.....	28
Redimensionamiento de las áreas funcionales .....	31
Circuitos asistenciales.....	31
Cronograma de actividades.....	32
Análisis económico .....	34
Recursos tangibles.....	35
Resumen costes generales .....	37

Seguimiento y evaluación.....	38
Supervisión de la operativa del servicio de impresión cardíaca 3D .....	38
Efectividad centrada en el paciente y eficiencia .....	38
Evaluación de la implementación de la impresión 3D en la formación de profesionales .....	38
Calidad percibida por el paciente .....	38
Conclusiones.....	39
Bibliografía.....	40
Anexos .....	43
Figuras .....	43
Tablas.....	51

**Abreviaturas:**

<b>2D</b>	<b>2 dimensiones, bidimensional</b>
<b>3D</b>	<b>3 dimensiones, tridimensional</b>
<b>ABS</b>	<b>acrilonitrilo butadieno estireno</b>
<b>CatSalut</b>	<b>Servei Català de la Salut</b>
<b>CSUR</b>	<b>Centros, Servicios y Unidades de Referencia</b>
<b>DAFO</b>	<b>Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades</b>
<b>DDG</b>	<b>Double Drive Gear</b>
<b>DICOM</b>	<b>Digital Imaging and Communication On Medicine</b>
<b>HDD</b>	<b>Hard Disk Drive</b>
<b>HDMI</b>	<b>High-Definition Multimedia Interface</b>
<b>HUVH</b>	<b>Hospital Universitario Vall'dHebron</b>
<b>ICS</b>	<b>Institut Català de la Salut</b>
<b>MIR</b>	<b>Médico Interno Residente</b>
<b>PACS</b>	<b>Picture Archiving and Communications System</b>
<b>PIB</b>	<b>Producto Interior Bruto</b>
<b>PLA</b>	<b>ácido poliláctico</b>
<b>PTFE</b>	<b>politetrafluoroetileno (Teflon)</b>
<b>RNM</b>	<b>Resonancia Nuclear Magnética</b>
<b>ROI</b>	<b>Region Of Interest</b>
<b>SD</b>	<b>Secure Digital</b>
<b>SNS</b>	<b>Sistema Nacional de Salud</b>
<b>STL</b>	<b>Standard Triangle Language</b>
<b>TAC</b>	<b>Tomografía Axial Computerizada</b>
<b>UA</b>	<b>Unidad de Arritmias</b>
<b>USB</b>	<b>Universal Serial Bus</b>

## Resumen ejecutivo

Un servicio pionero como es la Unidad de Arritmias (UA) del Hospital Universitario Vall'dHebron (HUVH) necesita estar a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas. Por este motivo se plantea la incorporación de la maquetación de modelos anatómicos tridimensionales (3D) en la práctica ordinaria de la unidad.

En el presente documento se genera un marco conceptual sobre la impresión 3D en el campo de la electrofisiología cardíaca. Mediante metodologías propias de gestión tales como el análisis situacional y estratégico, el desarrollo integral de proyectos o el balance de gastos se proyecta la creación de un Servicio de Impresión 3D en el seno de la UA.

La implementación de esta tecnología en el seno de una unidad de prestigio reconocido permite alcanzar objetivos tales como el incremento de la calidad asistencial o de la capacidad docente. Estas metas persiguen, asimismo, el afianzamiento de la UA como organización puntera a nivel nacional e internacional.

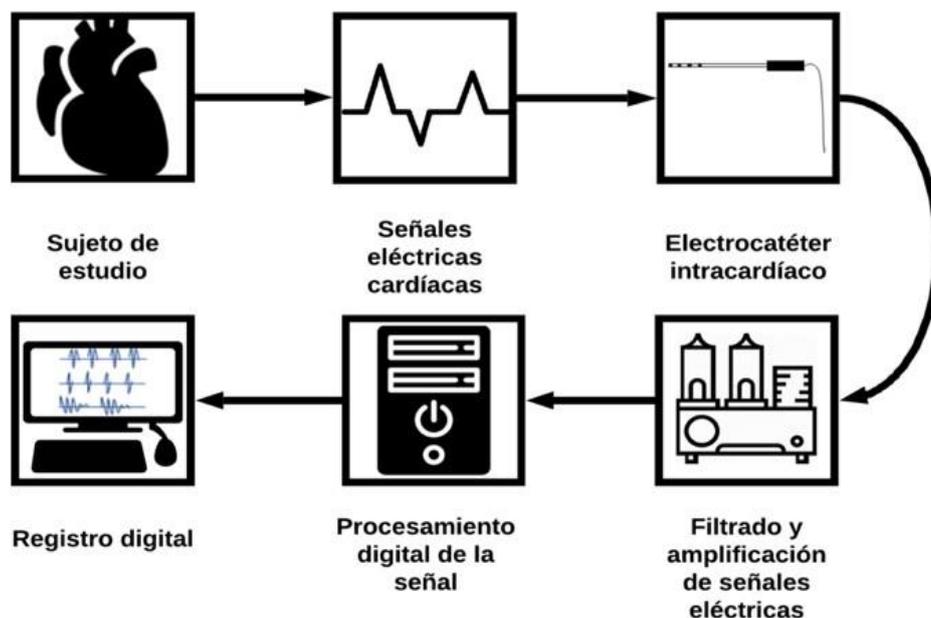
## Marco conceptual

### Introducción a la electrofisiología cardíaca

La electrofisiología cardíaca es una subespecialidad de la cardiología que se dedica al estudio de los fenómenos eléctricos cardíacos. En concreto se encarga del diagnóstico y tratamiento de los trastornos del ritmo (arritmias) que pueden ser rápidos (taquiarritmias) o lentos (bradiarritmias).

Desde el siglo XIX se sabe que el corazón produce potenciales eléctricos (Matteuci, Kölliker, Müller 1856<sup>1,2</sup>). Dichos potenciales eléctricos inicialmente fueron registrados con electrodos colocados sobre preparaciones de corazón. Posteriormente (Einthoven, 1903<sup>2</sup>) se logró registrar la actividad eléctrica cardíaca desde la superficie corporal iniciándose la electrocardiografía. En 1968 se registró por primera vez el potencial del haz de His mediante un catéter intravascular. A partir de aquí la evolución de las técnicas de registro y estimulación ha sido exponencial. En la actualidad la mayor parte de los procedimientos diagnósticos o terapéuticos son intervencionistas requiriendo la introducción de catéteres en las cavidades cardíacas. Los catéteres de electrofisiología, que se introducen en las cavidades cardíacas a través del sistema venoso o arterial, disponen de electrodos que recogen las señales eléctricas cardíacas ([figura 1, ver anexo](#)).

Las señales son procesadas (amplificadas y filtradas) y registradas en un polígrafo digital en donde pueden ser analizadas (figura 2)



**Figura 2**

Para la introducción y movilización de los catéteres se utilizan sistemas de fluoroscopia. Pero, además, en la actualidad existen sistemas de navegación, que, utilizando campos magnéticos y/o impedancias eléctricas, permiten la localización de los catéteres en las 3 dimensiones del espacio y en tiempo real. Con este tipo de tecnología se puede hacer una reconstrucción anatómica y eléctrica de las cavidades cardíacas tanto en un ritmo normal (ritmo sinusal) como durante arritmia cardíaca. Esto permite caracterizar el tejido miocárdico en función de parámetros eléctricos y conocer los circuitos eléctricos responsables de las arritmias cardíacas (figura 3, ver anexo). La principal ventaja de estos sistemas de navegación es que aportan precisión y rapidez y permiten mejorar la seguridad al minimizar el uso de rayos X.

El tratamiento invasivo de las taquiarritmias se basa en la destrucción selectiva de áreas de miocardio en las cuales se asientan partes esenciales de sustrato arritmogénico. En 1968 se llevaron los primeros casos de resección quirúrgica en pacientes con síndrome de Wolf-Parkinson-White<sup>3</sup>. Pero no fue hasta la década de los 80 cuando se empezó a utilizar la ablación mediante electrocatéteres. En la actualidad las formas de energía más frecuentemente utilizadas para la ablación son la radiofrecuencia y la crioblación aunque existen otras fuentes de energía en fase de investigación como el láser o los ultrasonidos.

Además de la ablación, entre los procedimientos terapéuticos realizados en el ámbito de la electrofisiología se incluyen el implante de dispositivos cardíacos para el diagnóstico (Holter de eventos implantable), tratamiento de las arritmias (marcapasos en el caso de las bradiarritmias o desfibriladores en el caso de las taquiarritmias) y el tratamiento de la insuficiencia cardíaca (terapia de resincronización). En la mayor parte de los casos el implante de marcapasos o desfibriladores es una técnica relativamente sencilla. Sin embargo, el implante de dispositivos en sustratos complejos y con gran variabilidad, como es el caso de las

cardiopatías congénitas, puede ser un reto para el operador. Además, la terapia de resincronización, que requiere el implante de un electrodo en la pared lateral del ventrículo izquierdo a través del sistema venoso coronario, puede suponer una gran dificultad. La variabilidad de la anatomía venosa cardíaca explica que la tasa de fracaso en el implante del electrodo de ventrículo izquierdo sea del 8-12%.

Por tanto, se trata de una especialidad altamente tecnológica y que ha experimentado un desarrollo importante en las últimas décadas. Dicha evolución tecnológica ha permitido la expansión de la especialidad y el tratamiento de sustratos anatómicos y eléctricos cada vez más complejos.

### **Epidemiología de las arritmias**

Las arritmias cardíacas constituyen un extendido problema sociosanitario. Un estudio realizado por el grupo de trabajo sobre insuficiencia cardíaca y fibrilación auricular de la Sociedad Española de Medicina Interna<sup>6</sup> mostró que, en el año 2010, hubo 26.416 hospitalizaciones por arritmia dentro del Sistema Nacional de Salud (SNS), con unos costes estimados de 65 millones € y una mortalidad del 1,6%. La prevalencia e incidencia de las arritmias se ha incrementado con el tiempo como consecuencia de envejecimiento de la población, el aumento de los factores de riesgo cardiovascular y la mejora de la supervivencia a enfermedades cardiovasculares. Por ejemplo, los últimos datos indican que la fibrilación auricular (arritmia cardíaca sostenida más frecuente en la población general) afecta a un 1- 2% de la población general y las previsiones indican que la prevalencia por lo menos se doblará en los próximos 50 años.

Las arritmias no sólo pueden ocasionar síntomas diversos como palpitaciones, disnea, síncope o dolor torácico, deteriorando la calidad de vida de los pacientes afectados, sino que también puede traer consecuencias importantes como fenómenos tromboembólicos o insuficiencia cardíaca. Por todo ello, su tratamiento es una prioridad en la cardiología actual.

### **Introducción a la impresión 3D**

#### **Impresión 3D<sup>8-10</sup>**

La impresión 3D de modelos anatómicos humanos es un proceso sencillo y susceptible de sistematización. El procedimiento se inicia con la identificación del paciente objeto de estudio y finaliza con la impresión del modelo anatómico en polímero plástico. Es preciso seguir un flujo organizado de secuencias que permitan la minimización de los errores y la maximización del rendimiento de los recursos.

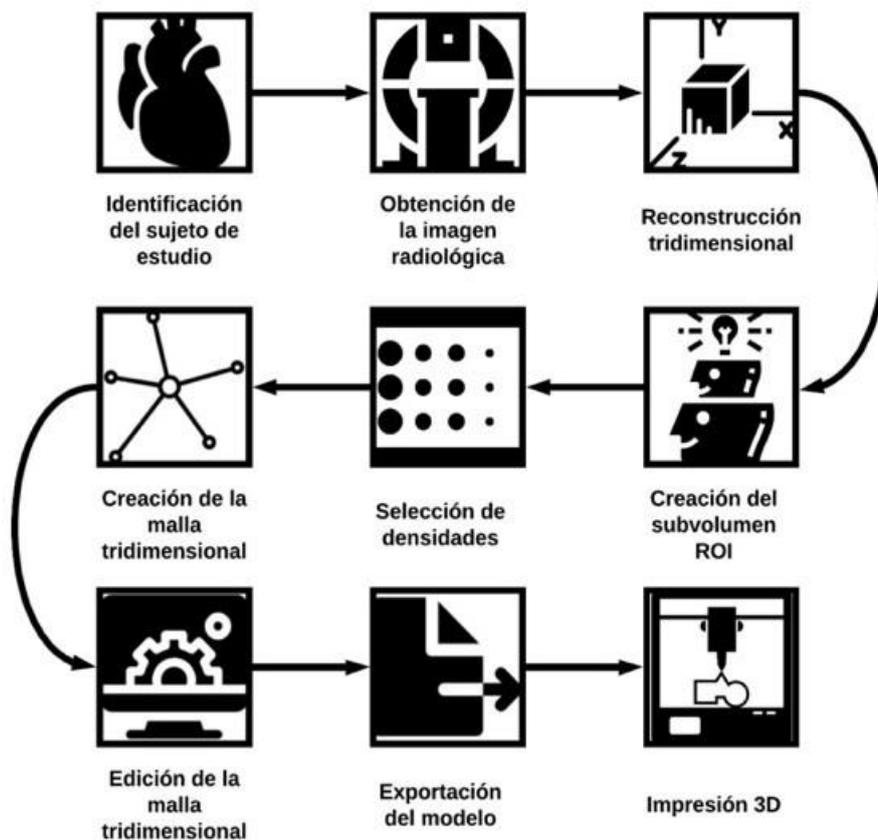


Figura 4

### Estado actual de la impresión 3D

La curva de Gartner es una herramienta diseñada para observar de forma conceptual el estado actual de la impresión 3D. Ofrece una gráfica a modo de tobogán en el que se enfrentan las expectativas frente al tiempo.

En esta gráfica se observa una zona inicial de rápida generación de expectativas, en la que se inflan las esperanzas y las posibilidades potenciales de la nueva tecnología. Tras el punto de máximas expectativas ocurre un tobogán rápido de desilusión tras la confrontación de las ideas proyectivas frente a la realidad operativa de la tecnología emergente. Tras el nadir ocurre una lenta subida hasta llegar a la denominada “meseta de productividad”, en la que perduran aquellas tecnologías o aplicaciones que se consolidan para el uso ordinario.

En el momento actual existen distintos puntos de la curva para las distintas aplicaciones de la tecnología 3D (figura 5, ver anexo)<sup>11</sup>. En la meseta de productividad encontramos los servicios de impresión 3D, el software de edición y maquetación 3D o las tecnologías 'Material Jetting', FFF y 'Binder Jetting', entre otros.

Por su parte, las aplicaciones que se encuentran en su fase de crecimiento de expectativas son la impresión 3D a nanoescala, la impresión 3D de 'wearables' o la impresión 3D de medicamentos.

### **El formato DICOM**

La historia de los formatos de información médica empleados en pruebas complementarias dio un vuelco en 1993 con la creación del estándar DICOM (Digital Imaging and Communication On Medicine). Este estándar permite solucionar el problema de interoperabilidad generado por las distintas formas de codificación de la información médica empleadas hasta la fecha.

DICOM es el estándar de codificación de imágenes médicas más extendido en la actualidad. Está pensado para el manejo, la visualización, el almacenamiento, la impresión y la transmisión de la información médica. Los ficheros DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes en formato DICOM. Las diferentes máquinas, servidores y estaciones de trabajo tienen una declaración de conformidad DICOM que permiten su soporte.

### **El servidor PACS**

Los sistemas de gestión de la imagen médica más extendidos en la actualidad son los sistemas PACS (Picture Archiving and Communications System). En este sistema, el hardware de imagen (resonador, aparato de radiografía, etc.) vuelca la información médica digital en formato.dcm (DICOM) en un servidor PACS remoto. Este servidor permite el almacenamiento, la transferencia y la descarga de imágenes. Cualquier estación de trabajo conectada de forma remota al servidor PACS permite la descarga de imágenes. El visor PACS es un software que se instala en la estación de trabajo que permite recibir y mostrar las imágenes radiológicas.

La mayoría de las estaciones de trabajo vinculadas al sistema PACS permite la descarga de archivos DICOM a formatos extraíbles (memoria USB, tarjeta SD, etc.).

### **Identificación del sujeto de estudio**

El proceso de impresión 3D se inicia con la identificación de un sujeto problema. La patología, el órgano implicado y la reproductibilidad 3D van a ser factores determinantes del éxito de la impresión.

### **Obtención de la imagen radiológica**

Aunque podrían emplearse distintas técnicas de imagen, las más usadas en 3D son la TC y la RM. Tras la realización de la técnica, el hardware de imagen vuelca los archivos DICOM en el servidor PACS. Esta carpeta será descargada y visualizada en la estación de trabajo mediante el visor PACS.

### **La reconstrucción 3D**

La mayoría de los visores PACS permiten la reconstrucción 3D de los cortes axiales obtenidos por el hardware de imagen. Estos visores crean artificialmente los planos sagital y coronal a partir del procesamiento de los múltiples planos axiales obtenidos con la técnica de realizada. La función de la reconstrucción es unir densidades análogas (tonos de grises en la imagen médica) de dos cortes axiales correlativos mediante la generación “ficticia” de infinitos cortes intermedios. El grosor del corte es, por tanto, muy relevante para generar una reconstrucción y un renderizado volumétrico fieles a la pieza anatómica original. En la actualidad se consideran cortes de gran definición los creados en segmentos orgánicos axiales de 0.625mm. La mayor resolución de corte implica mayor exposición a radiación ionizante.

La visión directa de los cortes axiales, la reconstrucción de los dos planos restantes o la renderización del modelo en tres dimensiones permite obtener una idea clara de la región de interés.

En este punto es preciso introducir el concepto de vóxel. Se define como la unidad cúbica que compone un objeto 3D. Constituye la unidad mínima procesable de una matriz 3D y es, por tanto, el equivalente del píxel en un objeto bidimensional (2D).

### **Identificación del ROI**

La identificación del ROI (Región Of Interest) es un paso crucial en el modelaje 3D. Se realiza mediante software de procesamiento de la imagen 3D

(Segmentación). Los programas informáticos más usados en la actualidad son 3D Slicer<sup>12</sup>, OsiriX<sup>13</sup> y Horos<sup>14</sup>. Los visores PACS no permiten, habitualmente, la manipulación de la imagen 3D, de manera que hay que recurrir a software alternativo.

La definición de un ROI implica la reconstrucción 3D previa. Puede definirse como la creación de un subvolumen de interés donde se ubica la región anatómica donde se encuentra el problema subsidiario de impresión. Este ROI permite desechar información 3D externa al área problema que poco eficiente.

La mayoría de los programas de segmentación permiten recortar el ROI y seleccionar el exceso de información “sobrante”. Este paso reduce el volumen de trabajo, por lo que se minimizan los recursos necesarios del equipo informático.

### **Selección de densidades**

El hardware de imagen médica (resonador, máquina de tomografía, etc.) basa su utilidad en la creación de una imagen que permita distinguir entre las exiguas densidades del organismo humano. En una imagen de tomografía computada (TC) se asigna aleatoriamente el color blanco a la densidad hueso y el negro a la densidad aire. Las infinitas densidades intermedias se asignan a distintas tonalidades de grises. La imagen

de RM se basa también en tonalidades de grises, aunque la asignación color-densidad varía según los tejidos, la secuencia o la potenciación empleada y es menos intuitiva.

Los programas de segmentación permiten seleccionar gamas de grises de un intervalo fijo o modulable, de manera que es posible generar volúmenes 3D agrupados por “densidades” de grises. Ciertos softwares permiten aislar gamas pertenecientes a densidades hueso de forma automática, por ejemplo. Otros permiten seleccionar rangos de grises específicos acotados según el interés del operario.

Este proceso es más fiable cuanto mayor calidad tenga la técnica de imagen, más netos sean los márgenes de diferenciación de densidades orgánicas, menos artefactos ocurran o más contrastados estén los tejidos, entre otros.

Una vez seleccionado uno o varios volúmenes 3D entramos en la fase de malla 3D.

### **Creación de la malla 3D**

Los programas de segmentación permiten generar una malla 3D a partir de los volúmenes seleccionados por tonalidades de grises. Este proceso se basa en la creación de una red de puntos en la superficie del volumen seleccionado. Esos puntos se unen entre sí mediante aristas, de manera que se transforman en vértices. La unión de aristas permite crear triángulos o caras que “topografían” el relieve de la superficie volumétrica. De cara a la impresión 3D es muy relevante que la malla 3D sea estanca. Esta “cartografía” de la superficie del volumen marcará el depósito de polímero plástico en la impresión.

La exportación del modelo en formato.stl permitiría la impresión directamente. Sin embargo, es interesante editar la información a imprimir.

### **Edición de la malla 3D**

Existen programas de edición 3D tales como Blender<sup>15</sup> o Rhinoceros<sup>16</sup>. Estos programas permiten modelar la malla 3D. Son muy útiles para cerrar soluciones de continuidad de la malla, retocar irregularidades del modelo, suavizar la superficie, eliminar objetos “basura” creados en el proceso de selección de densidades, dividir el modelo en secciones, crear bases de apoyo o de sustentación para la impresión, escalar el tamaño, ver el “interior” del volumen (cuando hay superficies dentro de superficies, como una muñeca matrioska), dotar de movimiento o “animar” la superficie, etc. Las posibilidades son infinitas.

### **El formato STL**

Una vez terminado el modelo, es preciso exportarlo en un formato de archivo informático compatible con la impresión 3D. El formato más versátil y más extendido es el STL (Standard Triangle Language). Es un lenguaje basado en la creación de puntos topográficos que delimitan triángulos de superficie volumétrica.

Es un formato que excluye información como color, texturas o propiedades físicas (sí soportados por otros formatos), por lo que permite un prototipado 3D muy rápido.

### **La impresión 3D**

El software de impresión 3D más empleados se denomina Cura17. Hay distintos subprogramas específicos para las impresoras más populares del mercado. El software de impresión permite ajustar los parámetros de impresión, tales como la altura de la capa en mm, el porcentaje de relleno, la posición del objeto o el material a emplear. El programa genera de forma automática estructuras

destinadas a soportar piezas del modelo que contengan voladizos o sean antigravitatorias. Además de dar la orden de impresión, permiten hacer simulaciones que nos dan una idea visual muy clara del objeto finalizado. Estiman, asimismo, el tiempo necesario para realizar la impresión o las necesidades de polímero plástico.

Tras dar la orden, comienza el proceso de impresión. Este proceso puede ser muy dilatado en el tiempo (incluso varios días, según el tamaño o la complejidad del modelo).

En el momento actual, las propiedades de las impresoras son muy diversas. Pueden variar en el volumen máximo de impresión, en el espesor mínimo de capa que deposita el extrusor, en los tipos de polímero plástico que son capaces de soportar (PLA [ácido poliláctico], ABS [acrilonitrilo butadieno estireno], materiales exóticos, etc.) o en el número de extrusores que funcionan de forma simultánea, entre otras características.

Los materiales más empleados en la impresión 3D son los polímeros plásticos PLA y ABS.

El ABS tiene una temperatura de impresión de entre 230 °C y 260 °C. Puede soportar temperaturas muy bajas (-20 °C) y muy elevadas (80 °C) sin degradarse. Además de su alta resistencia, es un material reutilizable y puede ser soldado con procesos químicos. Sin embargo, no es biodegradable y se encoge en contacto con el aire, razón por la cual la plataforma de impresión se debe precalentar con el fin de evitar el despliegue de las piezas. Se recomienda, además, la utilización de una impresora 3D con una estructura cerrada para limitar las emisiones de partículas que se desprenden al utilizar este material.

El PLA es un material biodegradable que se fabrica a partir de materias primas renovables, como el almidón de maíz. Es uno de los materiales con los que se puede imprimir más fácilmente. Una de sus características principales es el leve encogimiento tras la impresión 3D, razón por la cual las plataformas calefactadas no son necesarias. Al imprimir con PLA las temperaturas no deben ser muy altas, entre 190°C a 230°C.

## Limitaciones

### Evidencia científica

La evidencia científica sobre los beneficios, en términos de efectividad, eficacia y eficiencia, de la aplicación de la impresión 3D en medicina es limitada. En el área de la cardiología existen publicaciones recientes sobre su aplicación en cirugía cardíaca y cardiología intervencionista<sup>9-21</sup>. Sin embargo, no existe una evidencia científica sólida (ensayos multicéntricos) que valide su uso en este ámbito.

### Precisión

La precisión del modelo creado depende en gran medida de la experiencia y habilidad de los profesionales implicados en la interpretación y segmentación de las imágenes de TC, resonancia magnética (RM) o ecocardiografía. Además, la calidad de las imágenes obtenida influye de forma directa sobre la precisión del modelo. Faltan estándares de calidad que homogeneíen que reduzcan esta variabilidad.

### Tiempo de preparación

La preparación del modelo 3D implica un aumento en el tiempo de preparación de los procedimientos. Sin embargo, esta limitación es relativa ya que una adecuada planificación reduce el tiempo total del procedimiento.

## Justificación del trabajo

El diagnóstico y tratamiento de las cardiopatías se fundamenta en la utilización de imágenes procedentes de la ecocardiografía, la angiografía, la TC y la RM. En el área de la electrofisiología se añade el uso de los sistemas de navegación que permiten la reconstrucción de las cavidades cardíacas añadiendo la información eléctrica del tejido. Sin embargo, todas estas imágenes son bidimensionales y, aunque se pueden hacer reconstrucciones virtuales 3D, estas se proyectan en una pantalla plana por lo que no se puede tener una percepción exacta de las distancias entre estructuras y la profundidad. Además, estas imágenes se amplían en la pantalla por lo que, aunque son medibles, no representan la medida original. Por ello, el cardiólogo intervencionista y el cirujano cardíaco dependen de su habilidad y experiencia para integrar toda esta información en el cerebro y crear una imagen 3D obtenida de múltiples imágenes bidimensionales.

En el campo de la electrofisiología los avances tecnológicos han permitido el aumento de las tasas de eficacia de los procedimientos de ablación. Sin embargo, en el caso de sustratos complejos, aún existe margen de mejora. Este es el caso de los procedimientos de ablación en pacientes con cardiopatía congénita o el implante de dispositivos para la terapia de resincronización.

Las áreas de implementación de la impresión 3D en la electrofisiología son:

## Educación

La formación de los futuros médicos y especialistas es compleja tanto por el elevado coste que supone como por las barreras éticas que plantea. En este sentido la impresión 3D puede aportar soluciones facilitando el acceso y la comprensión de la anatomía cardíaca. Los alumnos pueden disponer de un modelo asequible y que puede ser manipulado. En este sentido la impresión 3D ya ha sido utilizada en el campo de la anatomía humana. Por otro lado, la impresión 3D permite tener múltiples modelos que expliquen la variabilidad de la anatomía cardíaca. Esto adquiere especial relevancia en las cardiopatías congénitas. Así, se ha documentado que cuando se utilizan modelos de impresión 3D para explicar las características anatómicas de las cardiopatías congénitas, como la tetralogía de Fallot, la motivación del alumnado y la capacidad de retención de la información del alumnado es superior<sup>18</sup>.

En las áreas intervencionistas de la cardiología la formación no sólo es altamente dificultosa y costosa, sino que además implica riesgos por el paciente. Es por ello que existen esfuerzos para incluir en las guías de práctica clínica la exigencia de la utilización de la simulación para la formación de los especialistas. Los modelos de impresión 3D facilitarían la formación inicial, la realización del procedimiento de forma repetida y en diferentes escenarios anatómicos y la adquisición de nuevas habilidades sin poner en riesgo la salud de los pacientes.

## Comunicación con los pacientes

Los pacientes cada vez tienen una mayor formación y acceso a información de carácter médico. Este cambio a un paciente informado y activo ha hecho cambiar la relación médico-paciente pasando de un modelo paternalista a un modelo deliberativo. Para que los pacientes puedan tomar decisiones adecuadas a sus necesidades y deseos es imprescindible que entiendan los procedimientos diagnósticos o terapéuticos que se le plantean. La complejidad de los trastornos del ritmo, la anatomía cardíaca y la tecnología utilizada pueden dificultar la comprensión de la información. En este sentido los modelos de impresión 3D pueden facilitar la comunicación entre médico y paciente y ayudar en la toma de decisiones complejas.

## Planificación de procedimientos

En el campo de la cirugía cardíaca la impresión 3D ha demostrado ser de utilidad en la planificación de las cirugías reparadoras en pacientes con cardiopatía congénita que presentan una enorme variabilidad individual. Esta tecnología permite estudiar la anatomía específica del paciente para decidir el abordaje y tipo de reparación más oportuno. Además, se puede planificar de forma minuciosa la secuencia quirúrgica y elegir y dimensionar el material protésico más adecuado<sup>19-23</sup>. Esta tecnología también ha demostrado ser de utilidad en la planificación de la cirugía de tumores cardíacos, miocardiopatía hipertrófica y cirugía aórtica<sup>24-28</sup>. También se ha utilizado en el intervencionismo cardíaco estructural facilitando la selección

del material protésico más adecuado en función de la anatomía específica del paciente a tratar<sup>29</sup>. Además, los modelos 3D permiten ensayar el procedimiento antes de su realización aumentando las posibilidades de éxito y disminuyendo el riesgo. Del mismo modo, esta tecnología puede resultar de utilidad en la planificación en los procedimientos de ablación e implante de dispositivos, permitiendo elegir aquellos catéteres e introductores con curvas más adecuadas y seleccionar el acceso a las cavidades más apropiado.

## Objetivos

### Objetivo general

Mejorar la atención de los pacientes con trastornos del ritmo que requieren procedimientos invasivos mediante la implantación de la tecnología de impresión 3D en la UA del HUVH.

### Objetivos específicos

- Aumentar la seguridad de los procedimientos invasivos de electrofisiología.
- Mejorar la eficiencia de la UA reduciendo el tiempo de los procedimientos invasivos.
- Facilitar la docencia de los médicos especialistas reduciendo el riesgo de los pacientes.
- Empoderar a los pacientes, facilitando la comprensión de su patología y los procedimientos que se les propone para que puedan participar en la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas.

## Metodología

El marco general del proyecto se organiza gracias a la bibliografía científica actual referente a la impresión 3D en los ámbitos de la cardiología y la electrofisiología cardíaca.

El análisis situacional procede directamente de las herramientas epidemiológicas de uso público proporcionadas por el Servei Català de la Salut (CatSalut) y por el Centro Nacional de Epidemiología del Instituto de Salud Carlos III. Así mismo, se han consultado archivos, registros y documentos pertenecientes a la UA del Servicio de Cardiología del HUVH.

El análisis estratégico se ha elaborado empleando los instrumentos propios del análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO)<sup>30</sup>. Se ha generado una matriz DAFO y el sobrecruzamiento DAFO dinámico. Este análisis ha permitido priorizar las estrategias deseables para el futuro del Servicio de Impresión 3D. En esta fracción analítica se ha establecido la misión, la visión y los valores de la organización.

En la faceta del desarrollo integral de proyectos se han utilizado herramientas de generación de modelos de organización tales como el modelo CANVAS<sup>31-32</sup>. Además, se han utilizado las estrategias propias de la creación de planes funcionales organizativos. El plan funcional de la organización lleva intrínseco un análisis

de la situación operativa y proyectiva y los flujos de información y recursos necesarios para implementar la unidad emergente.

Se han empleado varias herramientas online para la creación de diagramas de flujos operativos. Como ejemplos de diagramas eficientes se destacan los usados para esquematizar el cronograma de implementación de actividades o los propios del ámbito de la creación de circuitos asistenciales.

El análisis económico se ha completado gracias a herramientas propias de contabilidad analítica, tales como los balances de ingresos y gastos. El desarrollo de la contabilidad ha sido posible gracias al uso de software específico de contabilidad de costes.

Se requiere una mención aparte para destacar el papel de los distintos gestores de citas bibliográficas empleados para dotar de valor académico e investigador a los apartados del proyecto. A pesar de la consulta de artículos y revistas de investigación científica, el presente documento nace de una vocación transformadora y vanguardista. Se han priorizado, por tanto, los valores de originalidad, creatividad, trabajo en equipo y multidisciplinariedad. Este hecho, potenciado por la escasez de evidencia científica de calidad, ha permitido la creación de un documento genuino y de alta aplicabilidad práctica.

Las áreas de implementación de la impresión 3D en la electrofisiología son:

## Planificación estratégica

### Direccionamiento estratégico

#### **Misión:**

La misión de la UA del HUVH es cuidar la salud de las personas con trastornos del ritmo a través de una asistencia integral, efectiva, eficiente y de calidad, formando a los profesionales que la sociedad necesita, y desarrollando una investigación que contribuya a mejorar la salud y la calidad de vida de las personas.

#### **Visión:**

La UA del HUVH quiere ser reconocida como una unidad innovadora, que destaque en la calidad de sus servicios y la excelencia de sus profesionales.

**Valores:**

La atención a las personas como centro, innovación, excelencia, conocimiento., resolución, acogida, respeto

**Diagnóstico situacional**

La UA está integrada en el Servicio de Cardiología del HUVH.

La UA se erige como servicio de referencia para el tratamiento de las patologías arritmogénicas de alta complejidad en todo el ámbito nacional.

Además de atender a su población de referencia la UA del HUVH es centro referente para procedimientos de electrofisiología de parte de la comarca del Vallés y centro de referencia para ablaciones complejas de la provincia de Lleida. Asimismo, el Hospital Universitario Vall d'Hebron cumple con los criterios CSUR (Centros, Servicios y Unidades de Referencia) del SNS de asistencia integral del adulto con cardiopatía congénita y de cardiopatías familiares del niño y el adulto. Esta rama de la cardiología exige los estándares más altos de tecnología, experiencia y cualificación profesional, ya que asume el tratamiento intervencionista de las arritmias en órganos de alta variabilidad anatómica. Estos defectos estructurales dificultan el abordaje técnico, reducen las posibilidades de éxito intervencionista y, por lo tanto, las tasas de curación. De igual manera, se incrementan las probabilidades de morbilidad o mortalidad peritratamiento. Por este motivo es crucial un estudio riguroso de los casos y una adecuada planificación prequirúrgica.

El Hospital está vinculado a la Facultad de Medicina de la Universitat Autònoma de Barcelona y el Servicio de Cardiología está acreditado para la formación de especialistas según el programa Médico Interno Residente (MIR). Además, la UA está acreditada por la Sección de Arritmias de la Sociedad Española de Cardiología para la formación de cardiólogos especialistas en electrofisiología. Además, la Unidad mantiene una actividad científica e investigadora que se ha traducido en un número relevante de publicaciones en las principales revistas del área.

**Análisis del entorno**

El HUVH33 un centro de titularidad pública administrado por el Institut Català de la Salut (ICS) y ubicado en la ciudad de Barcelona. Es uno de los hospitales acreditados en Cataluña como centro de tercer nivel. El HUVH está ubicado en el distrito Horta-Guinardo de Barcelona y, a pesar de su nombre se sitúa en el barrio de Montbau, en los límites con el barrio Vall d'Hebron. Se extiende sobre una superficie total de 296.000 metros cuadrados en la parte norte de la ciudad.

Actualmente es el complejo hospitalario más importante de Cataluña. Es reconocido como uno de los cuatro grandes hospitales de referencia del ámbito nacional. Tiene una dotación de 1.146 camas de

hospitalización, atiende anualmente a más de 1.200.00 pacientes en sus instalaciones y alberga la totalidad de las especialidades médicas y quirúrgicas reconocidas por el SNS.

El complejo hospitalario del HUVH es la suma de cuatro hospitales: el Hospital General, el Hospital Infantil, el Hospital Materno-infantil y el Hospital de Traumatología, Rehabilitación y Quemados.

Por su parte, el Servicio de Cardiología del HUVH tiene su sede en la segunda planta del Hospital General en donde se encuentra la planta de hospitalización, las consultas externas y la Unidad de Imagen. En la planta baja se encuentra la Unidad de Hemodinámica. La UA está ubicada en la novena planta al lado de la Unidad Coronaria

El HUVH forma parte del Campus Vall d'Hebron que comprende todos los campos de la salud: la asistencia, la investigación y la docencia. Dentro del campus se encuentran el Instituto de Investigación (VHIR, Vall d'Hebron Institut de Recerca), el Instituto de Oncología (VHIO, Vall d'Hebron Institut d'Oncologia) y el Centro de Esclerosis Múltiple (CEMCAT, Centre d'Esclerosi Múltiple de Catalunya).

El Servicio de Cardiología tiene una asignación 97 camas de hospitalización y 4 salas intervencionistas (3 de la Unidad de Hemodinámica y 1 de la Unidad de Arritmias). El equipo cuenta con 31 especialistas en cardiología que ejercen su actividad en este centro y en los Centros de Atención Primaria del área de referencia dentro del programa Red de Atención Especializada.

### **Factores climatológicos**

El clima de Barcelona es el denominado clima mediterráneo de costa. La principal característica de esta variedad climática es la suavidad de las temperaturas.

Barcelona tiene una temperatura media invernal (diciembre, enero y febrero) de 9°C. Es poco frecuente que ocurran heladas ya que los termómetros no suelen bajar de los 0°C. Por el contrario, las temperaturas estivales medias (junio, julio y agosto) rondan los 25°C. La temperatura media anual ronda los 16.5°C.

A pesar de la suavidad de las temperaturas, el clima se caracteriza por una fuerte humedad relativa ambiental (cerca al 80%). Las precipitaciones medias anuales en la zona litoral se sitúan cerca de los 600 milímetros (mm). Las precipitaciones más abundantes se concentran en los meses otoñales, con peligro de fenómenos de gota fría. La irregularidad pluviométrica es la típica del clima mediterráneo.

### Vía urbana y accesibilidad

A pesar de ubicarse en la parte norte de Barcelona, el HUVH se encuentra muy bien conectado con el resto de la ciudad.

El acceso puede realizarse mediante metro, autobús, taxi o vehículo propio<sup>34</sup>. El acceso mediante metro se realiza empleando la línea 3 (verde) y bajándose en la estación de Montbau o en la de Vall d'Hebron. Las líneas de autobús V21, V15, B1, B19, V13, H4y N4 tienen parada aledaña al hospital. Frente al Hospital General se encuentra la parada de taxi.

El hospital cuenta con aparcamiento subterráneo, situado en el interior del recinto hospitalario. También existe un aparcamiento administrado por el ayuntamiento de la ciudad condal situado en el paseo Vall d'Hebron, a pocos minutos de tránsito del hospital.

El HUVH cuenta con helipuerto de reciente construcción y con aparcamiento para ambulancias en el área de urgencias.

### Análisis sociodemográfico <sup>35-36</sup>

El municipio de Barcelona tiene una superficie de 98,21 km<sup>2</sup>, cuenta con 1.620.809 habitantes y tiene una densidad poblacional de 16.503,5 hab./km<sup>2</sup>. Desde 1970 la ciudad ha visto decrecer su número de habitantes en casi 120.000 personas. Sin embargo, en los últimos 20 años la población se ha estabilizado. En los últimos 15 años se ha incrementado muy notablemente el número de personas de nacionalidad extranjera afincadas en la ciudad (23% de la población censada).

El análisis de la pirámide poblacional de la capital condal revela una prevalencia elevada de personas con edades comprendidas entre los 35 y los 55 años. La tasa de natalidad es de las más bajas de Europa, con 8,8 nacimientos por 100.000 habitantes y 1,36 hijos por mujer ([figura 6, ver anexo](#)).

A pesar de lo cual, el índice de envejecimiento de la ciudad permanece estable, lo que se contrapone con el envejecimiento general de la población del área metropolitana ([figura 7, ver anexo](#)). La esperanza de vida es de 83,43 años (superior a la española, que es de 82,83 años), mientras que la tasa de mortalidad anual es de 9,3 fallecimientos por 100.000 habitantes.

El HUVH es el centro de referencia del Área de Atención Integral de Salud de Barcelona Norte, que comprende cinco distritos de la ciudad de Barcelona y una población de más de 430.000 personas.

El HUVH atiende en sus instalaciones a más de 1.200.000 pacientes anualmente, de los cuales 130.000 son diagnosticados y tratados por el Servicio de Cardiología. La UA está formada por 5 especialistas en cardiología con formación especializada en electrofisiología cardíaca. Atiende anualmente a más de 10.000 pacientes y realizan procedimientos intervencionistas a más de 1.200 aquejados de patologías del ritmo.

### Estudio socioeconómico<sup>36</sup>

Históricamente la economía de Barcelona se ha basado en el comercio. Gracias a su enclave geográfico estratégico ha tenido una intensa actividad comercial con Francia, resto de España y los países mediterráneos (ciudad portual).

El área metropolitana de Barcelona es una de las regiones más ricas del sur de Europa. Cataluña tiene un Producto Interior Bruto (PIB) per cápita del 126,4% sobre el PIB medio de la Unión Europea en el año 2009 mientras que el PIB de España, Cataluña incluida, es del 103,1%.

En el año 2016 el PIB de la ciudad alcanzó los 57.237.000.000 euros, lo que supone un PIB por habitante de 35.800 euros. Dividiendo por sectores, destaca el peso de los servicios a empresas e inmobiliarias, que representan un 24,3% del PIB total. En segundo lugar, se encuentran los servicios colectivos, con un 20,7%. El tercer lugar lo ocupa la industria, que proporciona un 12,4% del PIB, seguido del comercio y las reparaciones que aportan un 11,5% del PIB total. Estos datos demuestran que Barcelona tiene una economía muy diversificada, con un importante peso de la industria, especialmente en la del automóvil, la farmacéutica y los productos alimentarios.

### Entorno competitivo

Dentro del SNS existen centros con un amplio desarrollo en las técnicas de imagen cardíacas y su integración en los procedimientos invasivos de electrofisiología. Destacan el Hospital Clínic de Barcelona y el Hospital Gregorio Marañón que han desarrollado importantes estudios de investigación que han quedado reflejados en la publicación de artículos en revistas de impacto científico y en la innovación de tecnología específica<sup>37-38</sup>.

El Servicio de Cardiología del Hospital Virgen del Rocío tiene experiencia en impresión de modelos 3D de corazones de pacientes con cardiopatía que ha aplicado para la planificación de procedimientos de cirugía cardíaca e intervencionismo cardíaco<sup>39-40</sup>.

### Grupos de interés externo

- Proveedores de insumos: empresas de impresión 3D y material fungible para la impresión 3D
- Industria tecnológica vinculada a la electrofisiología intervencionista e implante de dispositivos cardíacos.
- Asociaciones de pacientes con cardiopatía congénita (p.ej. “fundación menudos corazones”).
- Asociaciones de profesionales: Sociedad española de Cardiología, Sociedad Española de Arritmias, Sociedad Española de Cardiología Pediátrica y Cardiopatías Congénitas
- Sociedad Española de Radiología y Sociedad Española de Radiología Intervencionista

### **Análisis del interior**

La UA, como área perteneciente al Servicio de Cardiología, tiene a su disposición las instalaciones propias del servicio. De forma habitual desarrolla su actividad en la segunda planta del Hospital General donde se desarrollan las consultas externas, y en la novena planta en donde se ubica la Sala de Electrofisiología para procedimientos invasivos, la sala de exploraciones no invasivas, el Gabinete de Holter y la consulta de control de dispositivos.

### **Recursos estructurales**

La UA cuenta con la siguiente dotación de infraestructuras:

- Sala de Electrofisiología intervencionista con dedicación exclusiva y capacidad para la realización de todo tipo de procedimientos terciarios. Dicha sala dispone del siguiente equipamiento: Equipo de fluoroscopia, mesa de exploración radioluciente y con movimiento en las 3 dimensiones del espacio, pantallas de visualización, polígrafo, estimulador, sistemas de navegación electroanatómica, fuentes de ablación por radiofrecuencia y crioablación, equipo para reanimación cardiopulmonar, equipo de anestesia, ecógrafo con sonda cardíaca transtorácica, sonda vascular y sonda transesofágica.
- Una sala para consulta externa en la que se realizan 5 módulos de específicos para la atención del paciente con arritmia, incluyendo consultas monográficas sobre fibrilación auricular, arritmias ventriculares, cardiopatías congénitas, canalopatías y muerte súbita.
- Una sala de control de dispositivos (presencial y remoto).
- Gabinete de Holter.
- Una sala para procedimientos menores ambulatorios.
- Un almacén.
- Una sala de trabajo/despacho.
- Sala de administración y atención al usuario.
- Hospital de día para la preparación y atención postintervencionismo.
- Camas de hospitalización pertenecientes al Servicio de Cardiología.
- Vestuario.

De forma adicional la unidad dispone de 5 módulos de consulta externa específicos para la atención del paciente con arritmia, que incluye consultas monográficas de fibrilación auricular, arritmias ventriculares, cardiopatías congénitas, canalopatías y muerte súbita.

Recursos humanos: Actualmente la Unidad de Arritmias la forman un equipo que incluye personal sanitario y una administrativa. El equipo sanitario que trabaja en la unidad lo constituye: 5 cardiólogos subespecializados en la práctica de la electrofisiología, 1 pediatra con formación en

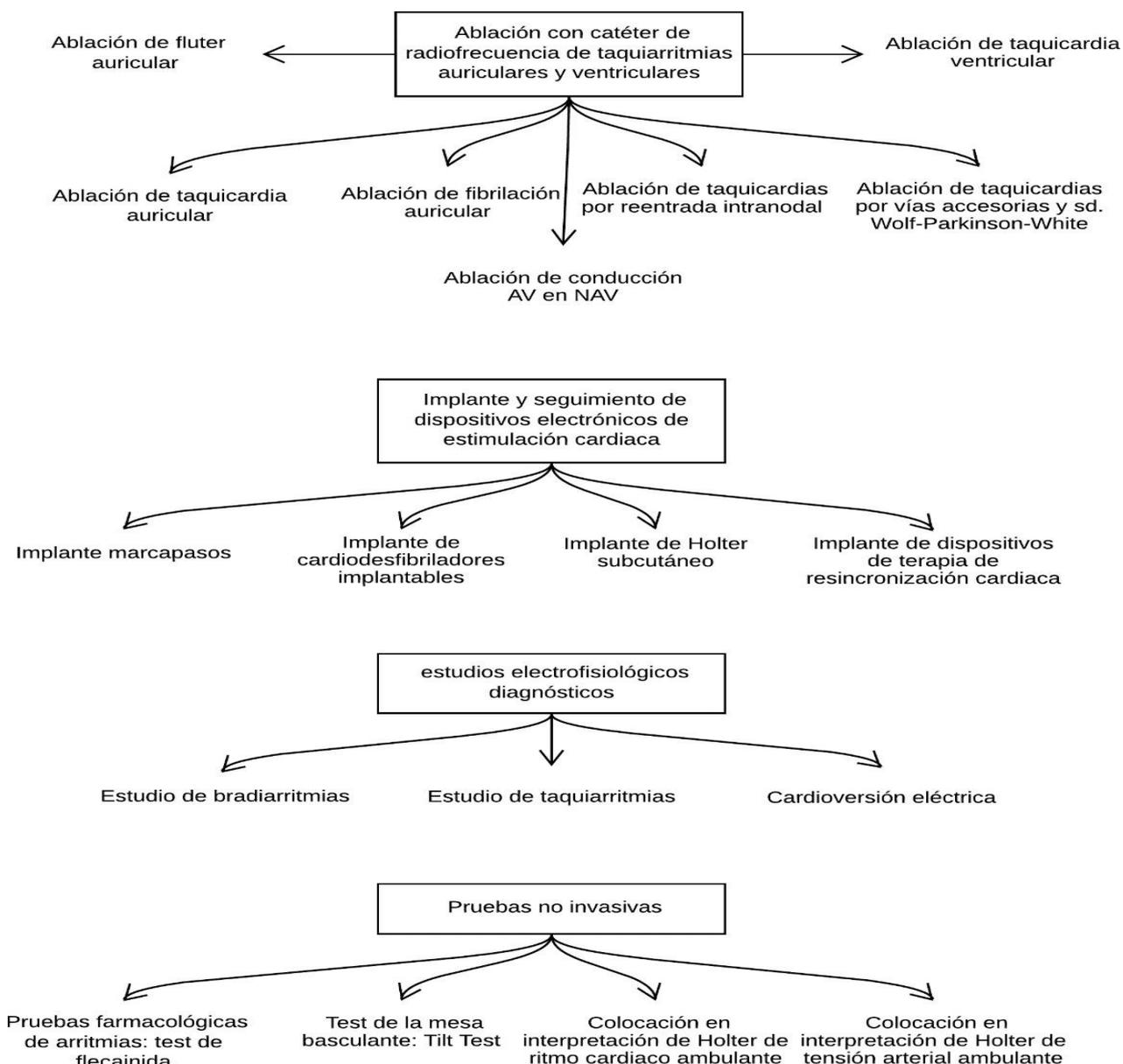
cardiología/electrofisiología, 5 enfermeras, 1 auxiliar de enfermería, supervisora de enfermería. Adicionalmente se dispone de anestesiólogo 3 días por semana.

**Recursos económicos**

Como se trata de un centro de titularidad pública la financiación de la UA proviene de fondos públicos que gestiona el CatSalut.

Los proyectos de investigación que se desarrollan en la Unidad se financian a través de becas públicas o privadas.

**Cartera de servicios**



**Figura 8**

### Dimensionamiento

La UA ejerce su actividad asistencial en el Hospital General del HUVH ([figura 9, ver anexo](#)).

La unidad dispone de 2 áreas de trabajo distribuidas entre la 2ª y la 9ª plantas del Hospital General. Entre ambas áreas suman 269 m2 destinadas al uso específico de la unidad, a lo que hay que sumar el uso de la planta de hospitalización de cardiología. No se tienen en consideración los almacenes de material, los vestuarios o las zonas de paso.

- 2ª planta (87 m2 + planta de hospitalización) ([figura 10, ver anexo](#)): Hospital de Día (arritmias, hemodinámica) 62 m2, consultas externas 25 m2, planta de Cardiología
- 9ª planta (135 m2) ([figura 11, ver anexo](#)): Sala de electrofisiología, sala de trabajo, sala de procedimientos no invasivos, gabinete de Holter, gabinete de control de dispositivos.

### Aspectos organizativos

Los procedimientos invasivos que se realizan en la Unidad de Arritmias pueden tener un carácter ambulatorio o requerir el ingreso del paciente tras el procedimiento durante 24 horas. Para la preparación y control post- procedimiento de los pacientes programados de forma ambulatoria, el Servicio de Cardiología dispone de una unidad con camas monitorizadas denominada “Hospital de día de Cardiología”.

Además, se realizan procedimientos de electrofisiología a aquellos pacientes ingresados por trastornos del ritmo en la planta de hospitalización de Cardiología o la Unidad Coronaria.

### Actividad asistencial

En los últimos años se ha observado un crecimiento sostenido de las indicaciones de los principales procedimientos que se llevan a cabo en la Unidad de arritmias. En las gráficas siguientes (figuras 12 a 15) se puede observar la progresión de la actividad de la UA en los últimos años. Este aumento en la actividad como la previsión de que este siga aumentando en los próximos años es debido a los siguientes factores:

- El envejecimiento de la población aumenta la probabilidad de sufrir cardiopatías. Según los datos del Instituto Nacional de Estadística<sup>41</sup> en el año 2016 la población con edad de más de 65 años era del 18,4% y se estima que llegará al 35% en el año 2066.
- Las técnicas de tratamiento quirúrgico e invasivo de las cardiopatías han aumentado la supervivencia de los pacientes que las sufren, convirtiéndolas en patologías crónicas. Esto ha hecho aumentar la incidencia de arritmias que son una complicación común en el contexto de gran parte de las cardiopatías.
- Los avances tecnológicos en el campo de la electrofisiología cardíaca han mejorado la eficacia de los procedimientos invasivos.

### Actividad docente

El Servicio de Cardiología del HUVH dispone de 3 plazas anuales para la formación de MIR en Cardiología. El programa MIR en cardiología incluye 4 meses de formación en la UA de forma que siempre hay un cardiólogo en proceso de formación.

Además, como centro acreditado, la UA acoge habitualmente entre 1 y 3 cardiólogos en formación para la práctica de la electrofisiología.

### Actividad investigadora

La UA ha participado en diversos proyectos de investigación centrados en el diagnóstico y tratamiento de los trastornos del ritmo. Por otro lado, la UA ha participado en diversos proyectos de investigación multicéntricos, estableciendo redes de colaboración con otros centros de referencia.

### Análisis DAFO

#### Debilidades:

- Falta de experiencia en impresión 3D.
- Alta presión asistencial.
- Variabilidad interoperador e intraoperador en la interpretación de las imágenes y segmentación.

#### Fortalezas:

- Profesionales altamente motivados y formados.
- Ambiente tecnológico.
- Amplia experiencia en el tratamiento de arritmias sustratos complejos como las cardiopatías congénitas.
- Experiencia en formación de cardiólogos y especialistas en electrofisiología.
- Experiencia en investigación en el área de la electrofisiología.
- Unidad de imagen dentro del Servicio de Cardiología con reconocida experiencia.

#### Amenazas:

- Escasa evidencia científica sobre la eficacia de la impresión 3D aplicada a la cardiología.
- Dificultades para la inversión económica en nuevas tecnologías.

#### Oportunidades:

- Aumento en la prevalencia de los trastornos del ritmo.
- Aumento de demanda para la formación de especialistas en cardiología y electrofisiología.
- Incremento en la demanda de procedimientos complejos.

- Mayor sensibilidad con respecto a la disminución de los riesgos para el paciente y la tasa de complicaciones.
- Interés creciente en la aplicación de nuevas tecnologías.

La figura 16 ([ver anexo](#)) muestra la interrelación entre la debilidades y fortalezas

**Matriz DAFO**

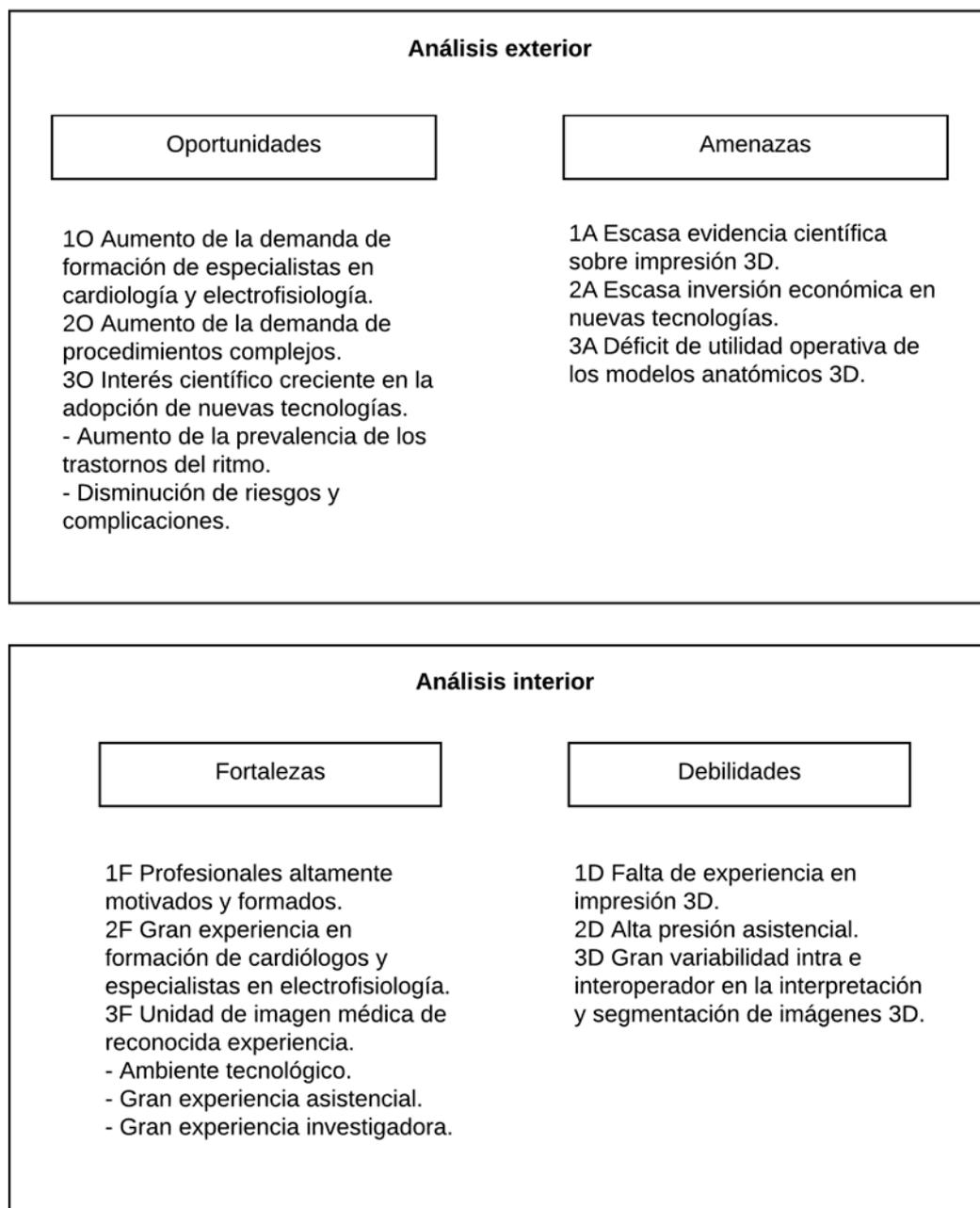


Figura 17

**Matriz DAFO  
dinámica**

		Oportunidades			Amenazas			
		1O	2O	3O	1A	2A	3A	
Fortalezas	1F	4	6	7	7	4	5	<b>23.520</b>
	2F	7	4	5	2	2	7	<b>3.920</b>
	3F	3	7	6	6	4	6	<b>18.144</b>
Debilidades	1D	1	1	7	5	6	7	<b>1.470</b>
	2D	4	6	3	2	2	6	<b>1.728</b>
	3D	1	1	2	5	1	7	<b>70</b>

Figura 18

**Líneas y objetivos estratégicos**

**Fomentar la formación y motivación del equipo humano responsable del Servicio de Impresión 3D**

El equipo humano de la UA se considera el recurso más valioso para la implantación del Servicio de Impresión 3D. Conseguir un equipo cohesionado, altamente motivado y con aptitudes profesionales avanzadas es el objetivo prioritario.

Al tratarse de un servicio de nueva creación y vinculado a conocimiento emergente, se considera imprescindible instaurar una actitud proactiva hacia las nuevas tecnologías y hacia la adquisición de nuevas competencias profesionales.

De igual manera, se desean unas relaciones interpersonales basadas en la cooperación, el altruismo y la empatía. Se potenciarán, por tanto, las actividades profesionales y extracurriculares necesarias para vincular afectivamente a los integrantes del grupo. Se premiará la actitud positiva, la adquisición de competencias profesionales y el desarrollo de iniciativas individuales.

En el ámbito formativo, se prevé una formación integral e individualizada en el procesado de los modelos anatómicos 3D. Además de la formación general, se fomentará la ampliación de conocimientos según las expectativas y aspiraciones de cada integrante. Se adaptará la adquisición de competencias a la capacidad de cada integrante del grupo.

**Impulsar las relaciones profesionales y crear sinergias con el servicio de radiodiagnóstico hospitalario**

La calidad final del modelo 3D, la utilidad práctica del mismo y su correlación con el órgano estudiado están directamente relacionadas con la calidad de la imagen médica obtenida. La función del Servicio de Impresión 3D queda supeditada, por tanto, a la consecución de imágenes médicas de alta calidad.

Este hecho obliga a establecer una relación profesional exquisita con el servicio de radiodiagnóstico hospitalario. Las mejoras en los procesos asistenciales compartidos, la creación de protocolos de impresión, la adquisición de tecnología radiológica de vanguardia, la formación interservicios o el procesado individualizado de la imagen radiológica se consideran sinergias que deben potenciarse para el beneficio mutuo.

La dependencia funcional del servicio de radiología hace imperativo que este servicio sea plenamente consciente de las necesidades operativas de la organización de impresión 3D. Se desarrollarán, por tanto, reuniones y sesiones formativas conjuntas.

**Minimizar la presión asistencial de los profesionales adscritos al Servicio de Impresión 3D y dotar de recursos operativos y funcionales a la UA**

La motivación, el trabajo en equipo y la adquisición de competencias necesitan tiempo y recursos. Los requerimientos de la nueva organización deben integrarse en la asignación horaria de los profesionales de la unidad. Los quehaceres de la nueva organización no supondrán, por tanto, una sobrecarga laboral que deba satisfacerse en el horario extracurricular. Sólo así se conseguirá el equilibrio, la robustez y la estabilidad de la organización en el tiempo.

El incremento cualitativo lleva asociado, por tanto, una disminución cuantitativa. Se prevé la contratación de nuevos profesionales que satisfagan las necesidades asistenciales descubiertas tras la puesta en marcha del servicio.

Las necesidades individuales de los integrantes y de la propia organización quedarán cubiertas por la dotación presupuestaria asignada al Servicio de Impresión 3D. Los integrantes de la unidad no deberán satisfacer, por tanto, las necesidades económicas de la propia organización.

**Objetivos estratégicos y operativos****Fomentar la formación y motivación del equipo humano responsable del Servicio de Impresión 3D**

- Formar de manera integral en materia de impresión 3D.
- Individualizar la adquisición de conocimientos y competencias según las necesidades de cada profesional.
- Fomentar el trabajo en equipo y las sinergias operativas.

- Promover las actividades extracurriculares destinadas a la cohesión grupal.
- Impulsar la adquisición de responsabilidades y el liderazgo en la innovación.
- Potenciar el desarrollo de iniciativas individuales.

**Impulsar las relaciones profesionales y crear sinergias con el servicio de radiodiagnóstico hospitalario**

- Fomentar las relaciones interservicios.
- Corresponsabilizar al servicio de radiología del éxito de la implantación y funcionamiento del Servicio de Impresión 3D.
- Crear procesos asistenciales compartidos en materia de cardiopatía estructural arritmogénica.
- General protocolos de impresión 3D.
- Establecer reuniones periódicas interservicios para transferir información referente al progreso de la organización, las necesidades internas, los nuevos hallazgos o las contrariedades o discrepancias sobrevenidas con el ejercicio diario.
- Promover la adquisición de hardware de radiodiagnóstico.

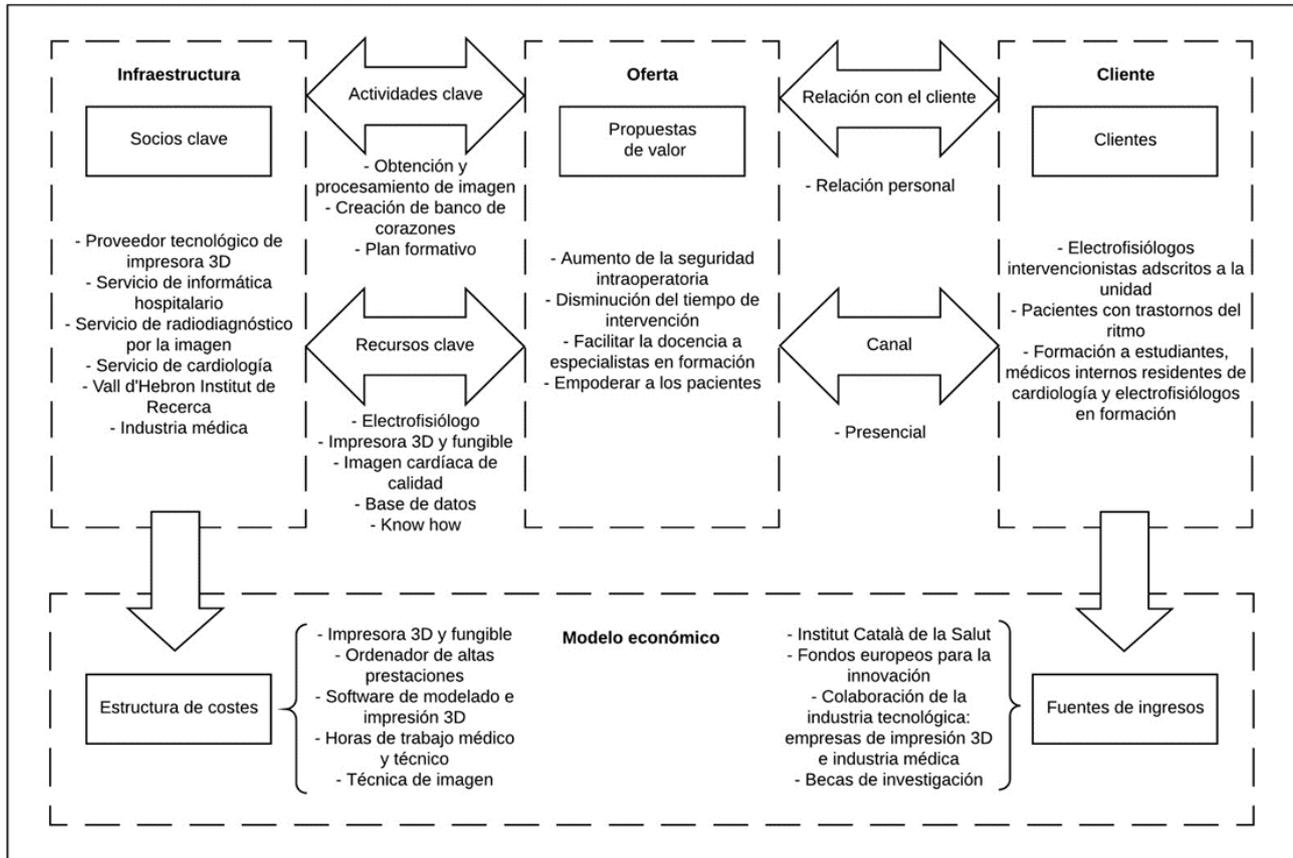
**Minimizar la presión asistencial de los profesionales adscritos al Servicio de Impresión 3D y dotar de los recursos operativos y funcionales necesarios**

- Reducir la carga asistencial y asignar el tiempo suplementario al Servicio de Impresión 3D.
- Optimizar la programación asistencial.
- Contratar a nuevo profesional para satisfacer las necesidades asistenciales descubiertas.
- Evitar la sobrecarga laboral y el trabajo extracurricular.
- Flexibilizar las entregas y los plazos.
- Satisfacer las necesidades individuales para el desarrollo de la actividad innovadora (hardware, software, wearables, equipamiento ofimático, etc).

## CANVAS

### CANVAS

Modelo de la organización  
"Servicio de Impresión 3D"



## Plan funcional

### Modelo de Servicio de Impresión 3D de la UA

El circuito asistencial denominado "Servicio de Impresión 3D" comienza en el ámbito asistencial de consultas externas con la identificación del paciente con una cardiopatía estructural arritmogénica y finaliza en el hospital de día-hospitalización tras la realización del procedimiento intervencionista.

El paciente es derivado a la UA según los flujos habituales de atención: atención primaria, desde consulta externa o interconsulta desde hospitalización.

Una vez recepcionado en la UA se realiza el diagnóstico integral del paciente. Para ello se desarrollan todas las técnicas exploratorias, diagnósticas y complementarias necesarias para llegar a un diagnóstico definitivo. El abordaje diagnóstico debe llevar intrínseca una prueba de imagen (TC o RM) que será empleada para la creación del modelo 3D.

Cuando se dictamina la necesidad de realizar una técnica intervencionista, se incluye al paciente en la lista de espera de la UA. Este acto asistencial puede ser aprovechado para volcar los datos DICOM procedentes del servidor PACS en una carpeta creada en un servidor interno (intranet). Sólo los integrantes de la UAY las personas integradas en el Servicio de Impresión 3D tendrán acceso a la carpeta de intranet con los datos DICOM de las técnicas radiológicas del paciente. La protección de los datos se garantizará en todo momento mediante la anonimización de los datos y el acceso restringido a los mismos.

Cuando se realice la programación asistencial de la unidad y se identifique al profesional que realizará el procedimiento intervencionista del paciente seleccionado, continuará el circuito asistencial en el ámbito del Servicio de Impresión 3D de la UA. El profesional responsable de la intervención se encargará de realizar los distintos pasos necesarios para la impresión 3D del modelo anatómico. En todo momento será supervisado por el técnico de impresión 3D adscrito al servicio. El técnico será el responsable del mantenimiento del hardware de impresión y del aprovisionamiento del material fungible. Además, deberá supervisar y formar paulatinamente a los electrofisiólogos durante el procesamiento del modelo 3D. Los electrofisiólogos recibirán un curso formativo previo a la inauguración del servicio que facilitará la adopción de esta tecnología emergente.

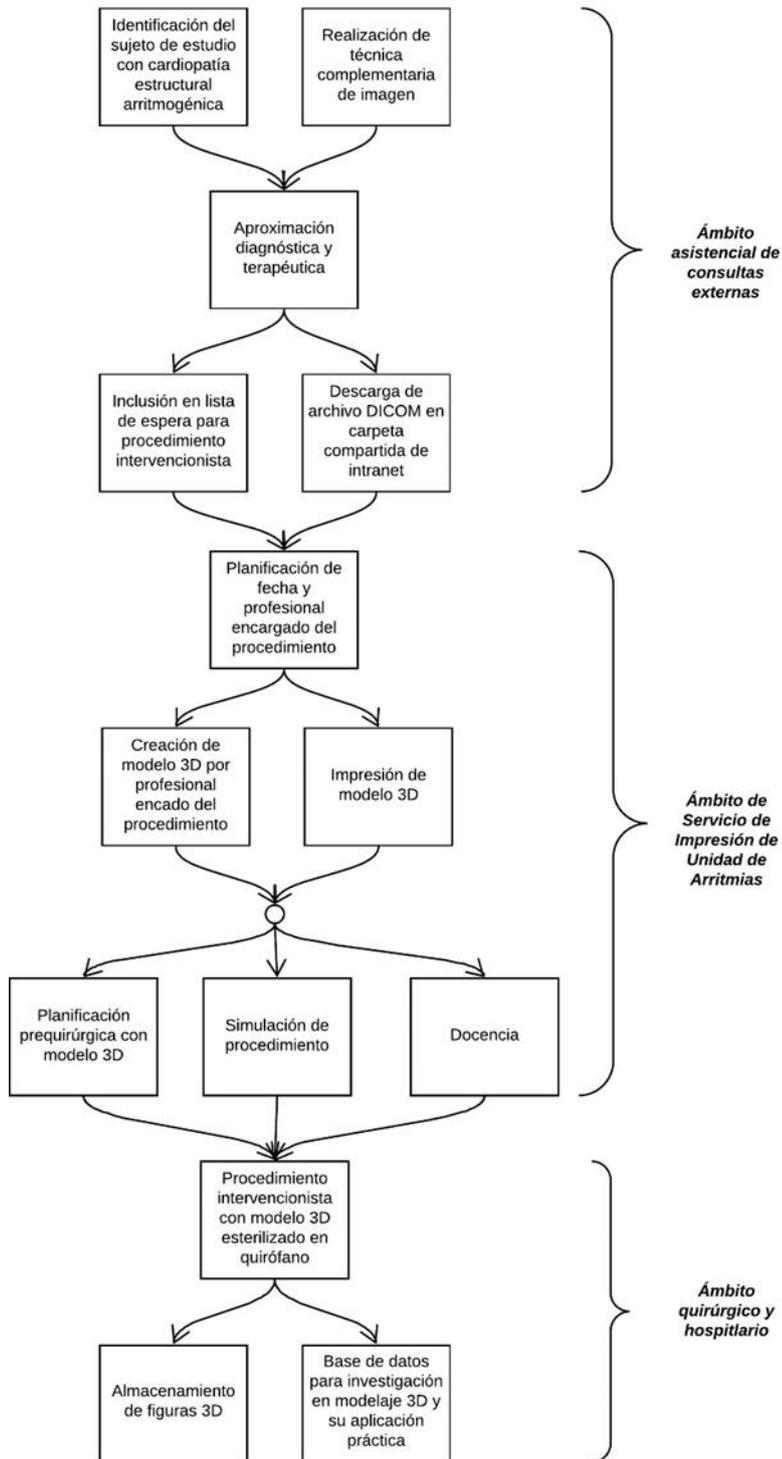
Existen numerosos beneficios derivados del procesamiento del modelo anatómico 3D. Por este motivo se considera necesario que el modelaje sea ejecutado por el propio electrofisiólogo. En primer lugar, la visualización de los cortes radiológicos, la reconstrucción 3D y la selección del ROI permiten estudiar de forma pormenorizada las estructuras anatómicas cardíacas. En segundo lugar, la creación y edición de la malla 3D ayudan a generar una idea anatómica muy fiable de cara a la planificación preprocedimiento. Estos episodios de introspección son muy útiles para el médico intervencionista, ya que posibilitan la planificación de las vías de abordaje, la anticipación de los instrumentos necesarios y la simulación cognitiva de los puntos de máxima complejidad del procedimiento.

Una vez impreso el modelo, puede utilizarse para simular operativamente la intervención, para ensayar con el instrumental, para formar a otros profesionales, para realizar brainstorm con el equipo quirúrgico o para instruir al paciente sobre el procedimiento, entre otras utilidades.

Los modelos anatómicos en plástico pueden ser esterilizados con plasma de peróxido de hidrógeno o con ácido peracético a baja temperatura. De esta forma, pueden emplearse durante la intervención quirúrgica para consultar los detalles anatómicos que generen dudas o sean problemáticos.

Tras el procedimiento intervencionista se plantea la salvaguarda de los modelos anatómicos y la recogida de información para realizar estudios de investigación sobre el modelaje 3D y la aplicabilidad asistencial de los modelos anatómicos 3D.

**Plan funcional del Servicio de Impresión 3D**



**Figura 19**

### Redimensionamiento de las áreas funcionales

El redimensionamiento contempla la obra de las áreas adscritas a la UA (figura 20, ver anexo). No se plantea la modificación del resto de áreas asistenciales, de manera que se evitará la interrupción de la actividad del servicio.

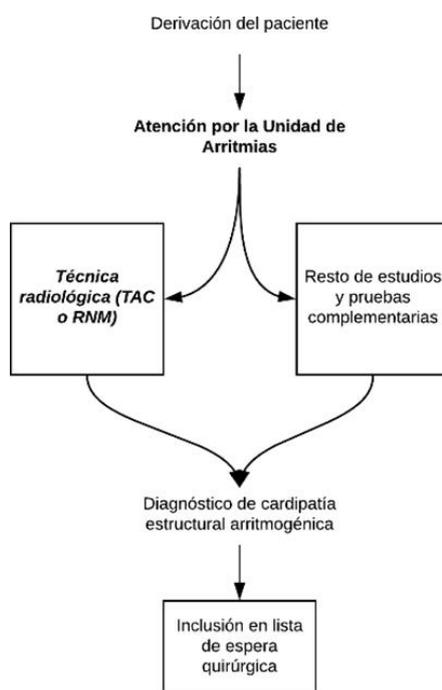
La obra tiene el objetivo de crear una nueva sala de impresión 3D alejada de la zona puramente asistencial y próxima a los ventanales exteriores, con el fin de evitar ruidos u olores desagradables para los usuarios y el personal.

En la actualidad el almacén general de la UA y de la Unidad Coronaria presenta una distribución del espacio poco eficiente, ya que existen amplios volúmenes sin aprovechamiento. En la zona más posterior hay dispuesta una habitación sin ocupación fija y que se emplea habitualmente para depositar material averiado, carros de transporte, sillas de ruedas o palos de gotero.

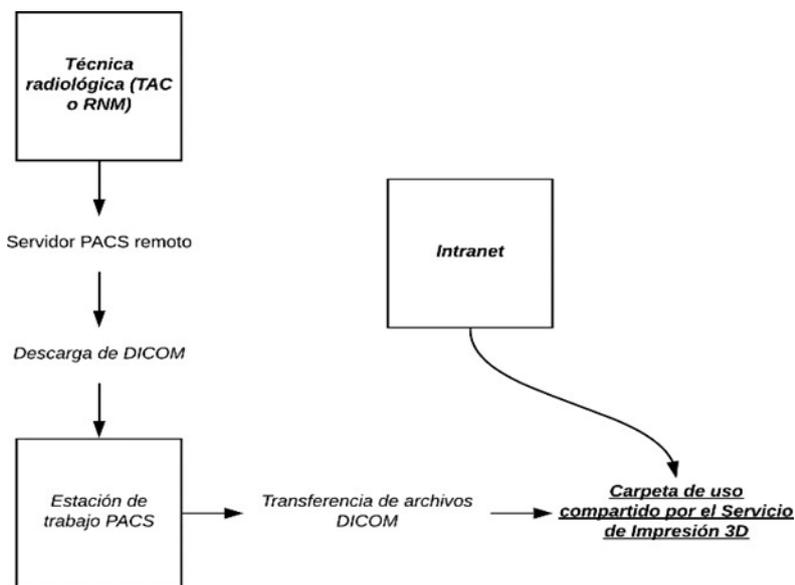
Esta ubicación se considera idónea para ubicar las dependencias del Servicio de Impresión 3D. Al optimizar los espacios disponibles no se hace necesario reubicar ninguna dependencia preexistente. Esto favorece la tolerancia por parte del personal y evita el cese de la actividad asistencial.

La obra disminuiría los espacios desaprovechados del almacén general y emplearía la sala multiusos (que se usa con fines poco productivos). El tamaño final se estima en 15 m<sup>2</sup>, suficientes para alojar el material inventariadle y fungible.

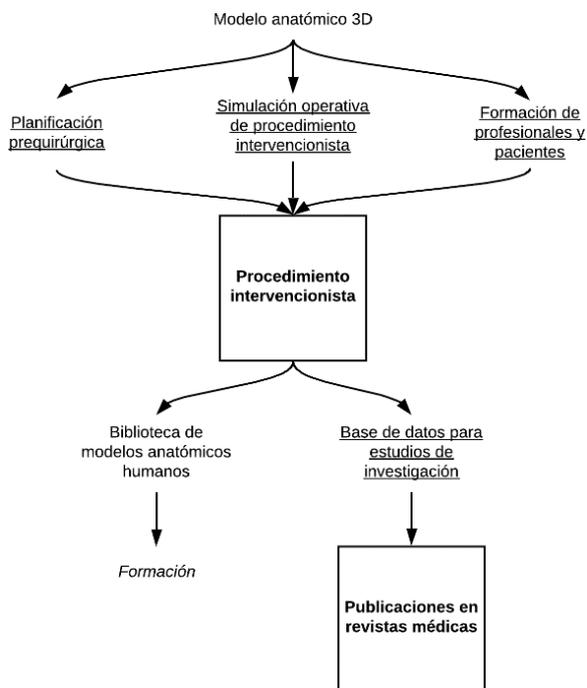
### Circuitos asistenciales



**Figura 21**



**Figura 22**



**Figura 23**

**Cronograma de actividades**

La impresión de los primeros modelos anatómicos 3D se proyecta en el lapso aproximado de 1 año desde la fecha actual.

El cronograma se inicia con la presentación del proyecto de creación del Servicio de Impresión 3D a la dirección hospitalaria (2 meses). La aprobación por parte de la directiva y la creación del proyecto de obras se plantea durante los 4 primeros meses.

Los 4 meses sucesivos a la aprobación por parte de la directiva (meses 2-6) servirán para desarrollar la formación específica del personal de la UA.

Se estima que la obra de las instalaciones se prolongará 2 meses más (meses 4-6). Durante este período no se prevé una interrupción de la actividad asistencial de la unidad.

Tras la contratación del técnico especialista en impresión 3D se proyecta la adquisición del material inventariable y fungible para iniciar las pruebas de impresión (mes 6). Es importante que la adquisición de materiales ocurra tras la contratación firme del técnico, ya que guiará el proceso de adquisición de hardware, colaborará en la configuración de los equipos y probará el correcto funcionamiento del sistema (mes 8).

La puesta en marcha de la unidad se iniciará al décimo mes, aproximadamente. En este momento comenzará el reclutamiento de pacientes candidatos a impresión. Durante los 4 primeros meses tras la puesta en marcha del Servicio de Impresión 3D (meses 8-12) se continuará con la formación operativa de los profesionales y se realizarán las primeras pruebas de software y hardware.

Se plantea que el servicio esté plenamente operativo en el lapso de un 1 año desde el momento actual.

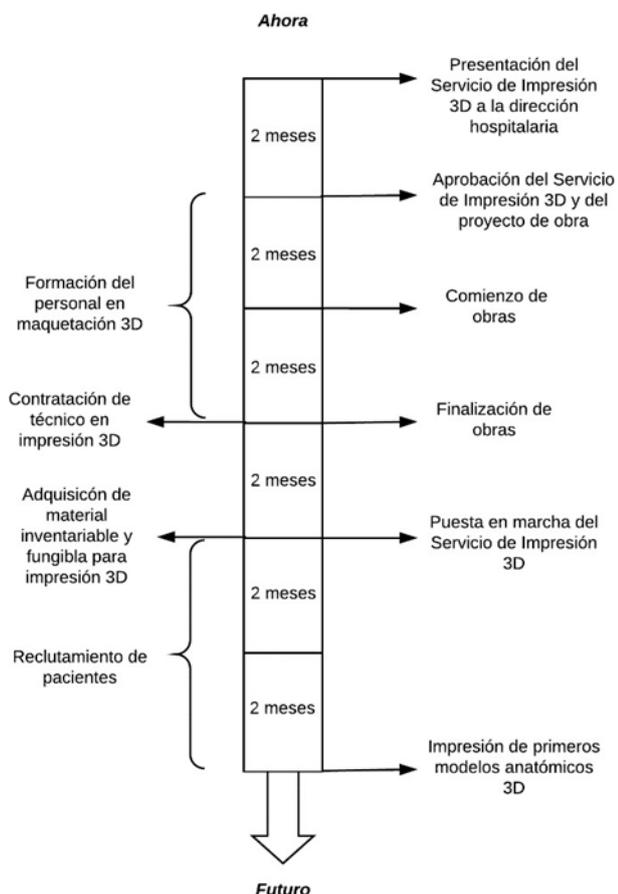


Figura 24

## Análisis económico

Para poder analizar con precisión el abaste de la inversión a realizar es conveniente separar los costes del proyecto en función del horizonte temporal en que van a producirse. Para ello, consideramos por separado aquellos recursos necesarios para la puesta en marcha del proyecto y que solamente deberemos desembolsar una única vez y la inversión anual recurrente que será necesaria mientras el proyecto esté implementado.

Asimismo, se ha establecido un análisis de los costes separados por recursos materiales, humanos y formación de personal.

A continuación, detallamos los recursos que hacen referencia al estándar mínimo exigible para desarrollar la organización de forma eficiente. Se considera un precio estimado del valor de mercado de referencia.

## Recursos tangibles

### Recursos materiales

- Impresora 3D: 3.500€.
  - Volumen de impresión: 200x200x200 mm.
  - Espesor de capa: 20 µm.
  - Cama caliente.
  - Materiales soportados: ABS, PLA y materiales exóticos.
  - Extrusor dual.
- Ordenador: 1.500€.
  - Intel Core i5 8ª generación o similar con frecuencia de procesamiento máxima no inferior a 3.5 Ghz.
  - Memoria RAM DDR4 de 8 Gb.
  - Tarjeta gráfica dedicada GDDR5 de 4 Gb.
  - Almacenamiento en unidad SSD nvme m.2 de 512 Gb.
  - Pantalla 15.6" Full HD 1920x1080 píxeles.
  - Teclado y ratón ergonómicos.
- Puesto de trabajo: 450€.
  - Silla de oficina ergonómica.
  - Reposamuñecas.
  - Escritorio ofimático.
  - Cable Universal Serial Bus-C (USB-C), High Definition Multimedia Interface (HDMI) y Thunderbolt.
  - Disco duro externo Hard Disk Drive (HDD) de 2 Tb.
- Material fungible:
  - Filamento ABS o PLA de dos colores: 20€/Kg. Precio por impresión de pieza anatómica de 100g: 2€. Considerando 171 modelos anuales: 342
  - €/año.
  - Cutter profesional: 5€/unidades. Reemplazable anualmente.
- Mantenimiento de impresora: 25€/mes. Total anual de 300€.
  - Trapo de microfibra para limpieza de restos de impresión.
  - Material de limpieza variado.
  - Pincel metálico para eliminar restos de filamento de extrusores.

- Lubricado de ejes XYZ y rodamientos de valona con grasa industrial de litio.
- Repuestos de roscas, tornillos y muelles.
- Tarjeta de almacenamiento Secure Digital (SD.)
- Revisión del tubo de teflon (PTFE) y retirada de extrusor Double Drive Gear (DDG).

### Recursos humanos

A continuación, se estiman las horas que dedicará cada miembro del equipo a la creación de los modelos en 3D y la estimación del número de modelos necesarios anualmente separados por banco de modelos para formación, modelos para pacientes reales y modelos para la comunicación con el paciente, así como sus respectivos costes.

- Cardiólogo especialista en electrofisiología: 2 horas/modelo.
- Técnico experto en modelaje e impresión 3D: 5 horas/modelo.

### Estimación de producción de modelos 3D ([tabla 1, ver anexo](#))

- Banco de modelos 3D para formación: 10 unidades/año.
- Modelos de pacientes reales: 3 unidades/semana.
- Modelos para comunicación con el paciente: 5 unidades/año

Según los datos del Libro de Retribuciones 2017 para el personal del ICS42 y considerando la implementación de un promedio de 3,29 modelos semanales (171 anuales) pasamos a detallar los costes en recursos humanos divididos por hora, semana y año ([tabla 2, ver anexo](#)). Aunque el coste de los electrofisiólogos no supone coste añadido al tratarse del personal ya contratado por centro, consideramos importante de cara al análisis imputarle las horas de dedicación a este proyecto que comprensiblemente no podrán ser utilizadas con otros fines:

### Recursos infraestructuras

La adecuación de la sala precisa de unos trabajos que hemos definido como recursos en infraestructura, pasamos a definir en qué consisten y sus costes.

- Costes estimados para obras y adecuación: 6.000€
- Sala asegurada con espacio de trabajo para 2 personas.
- Sala con filtro de aire clase I y recambio total mínimo de 10 movimientos/hora.
- Sala con aislamiento sonoro a presión máxima de 40 dB.
- Sala con iluminación suficiente.

### Recursos intangibles

En cuanto a los recursos intangibles hemos considerado todos aquellos costes derivados de la formación del personal, asesoría, así como la suscripción y el acceso a materia del interés para fines relacionados con el proyecto ([tabla 3, ver anexo](#)).

- Recursos de información y conocimientos:
  - Formación profesional: 3.750€.
  - Profesionales a formar: 5 cardiólogos especialistas en electrofisiología, 1 técnico.
  - Tiempo de formación: 25 horas de formación en parejas. Coste de formación: 50€/hora.
  - Asesoría formativa durante el primer año: 1.500€.
  - Biblioteca escrita referente a edición e impresión 3D: 1.000€.
  - Suscripción y acceso a bases de datos de publicaciones médicas: 500€.

También contemplamos una serie de recursos intangibles que debido a su gran variabilidad hemos preferido no asignarles un coste específico, pero sí consideramos importante detallarlos y tenerlos en cuenta en el desarrollo del proyecto.

- Recursos de relaciones y alianzas:
  - Estrategias de implementación de un servicio emergente en el núcleo de una unidad de gestión clínica asistencial.
  - Misión, visión y valores del servicio asistencial. Cultura corporativa.
  - Comunicación y motivación entre iguales. Establecimiento de marco ejecutivo basado en la igualdad jerárquica entre los integrantes.
  - Estrategias de mercadotecnia con medios de comunicación y profesionales vinculados. Establecimiento de una imagen corporativa.
  - Alta reputación correspondiente a un servicio puntero.
  - Relación profesional con pacientes tributarios de tratamiento electrofisiológico.

### **Administrativos**

- Propiedad intelectual del material impreso.
- Publicación de artículos de investigación sobre la aplicación de la tecnología 3D en revistas médicas de alto impacto o en otros soportes de divulgación.
- Publicación de material audiovisual en entidades de divulgación científica.
- Establecimiento de flujos de actividad y de responsabilidades operativas.

### **Resumen costes generales**

En la tabla 4 se detallan todos los costes, separando aquellos costes iniciales que son necesarios para la implementación del programa de aquellos que serán destinados al mantenimiento y que hemos definido como coste anual.

De esta forma la inversión inicial única se situaría en los 17.700 € y el coste anual de mantenimiento en 16.649 €. Con un total necesario para la puesta en marcha del proyecto de 34,349 €. La tabla 5 ([ver anexo](#)) muestra el resumen de los costes.

## Seguimiento y evaluación

### Supervisión de la operativa del servicio de impresión cardíaca 3D

La evaluación estará dirigida a monitorizar los aspectos claves de la calidad del proceso de impresión cardíaca 3D. Los resultados de dicha evaluación se utilizarán para poner en marcha acciones de mejora. En la tabla 6 ([ver anexo](#)) se especifican los criterios, indicadores y estándares de calidad del servicio.

### Efectividad centrada en el paciente y eficiencia

El principal objetivo de la implementación del servicio de impresión cardíaca 3D es mejorar la calidad de la asistencia medida en términos de efectividad y eficiencia. Por ello es necesario evaluar los cambios en indicadores de efectividad, seguridad y eficiencia tras la implementación de la tecnología. La tabla 7 ([ver anexo](#)) muestra los indicadores que se emplearán.

### Evaluación de la implementación de la impresión 3D en la formación de profesionales

En la evaluación de la formación de estudiantes de medicina y profesionales se ha de tener en cuenta la repercusión de la impresión 3D en diferentes aspectos. Así se deberá evaluar la capacidad de la impresión 3D de modificar la comprensión de la anatomía cardíaca, mejorar las habilidades técnicas y la autonomía de los profesionales. Todo ello reduciendo, además, el riesgo que conlleva a los pacientes este tipo de aprendizaje. Los aspectos a evaluar son la satisfacción, grado de aprendizaje, aplicabilidad de los conocimientos adquiridos (transferencia) e impacto sobre la práctica clínica. La tabla 8 ([ver anexo](#)) especifica la estructura del proceso de evaluación.

### Calidad percibida por el paciente

La evaluación de la repercusión del uso de la impresión 3D en el proceso de información al paciente se realizará mediante el cuestionario SERVQHOS43.

## Conclusiones

La implementación de un servicio de impresión en 3D en la UA de HUVH permitiría aumentar la seguridad de los procedimientos invasivos de electrofisiología. Con la individualización de la anatomía específica de cada individuo se puede decidir el abordaje y material más oportuno, pero esto resulta difícil con las técnicas de imagen en 2D. La impresión 3D de la anatomía cardíaca específica de cada paciente permitiría anticipar y prevenir posibles dificultades o complicaciones, al mismo tiempo que reduciría el tiempo del procedimiento.

El HUVH tiene entre sus principales fortalezas la formación docente. La creación de modelos cardíacos en 3D facilitaría la docencia de los cardiólogos MIR y electrofisiólogos en formación reduciendo el riesgo para los pacientes y la curva de aprendizaje de los profesionales.

Otra de las ventajas de la implementación de un servicio de impresión en 3D es que facilitaría la comunicación con el paciente. Una mejor comprensión de la patología y de los procedimientos que se proponen facilita que el paciente participe en la toma de las decisiones diagnósticas o terapéuticas y reduce la ansiedad generada por el acto médico.

Por último, al tratarse de un proyecto novedoso, tenemos que tener en cuenta la falta de evidencia sobre la aplicación de la impresión en 3D en el ámbito de la cardiología y su evaluación coste-eficacia. Sin embargo, esto mismo implica un mayor estímulo para la investigación en el campo de los modelos 3D aplicados a la medicina, así como el desarrollo de mejoras e innovaciones en futuras tecnologías.

## Bibliografía

1. Matteucci C. Sur un phenomene physiologique produit par les muscles encontraction. Ann Chim Phys. 1842; 6: 339-341.
2. Vijay Raghawa Rao BN. Clinical exsamination in cardiology. 2017; second edition. Ed. Elsevier.
3. Sealy WC, Hattler BG Jr, Blumenschein SD, Cobb FR. Surgical treatment of Wolff-Parkinson-White syndrome. Ann Thorac Surg. 1969; 8(1):1-11.
4. Morady F, Calkins H, Dais AH. Diagnosis and cure of paroxysmal supraventricular tachycardia during single electrophysiology test. N Engl J Med. 1999; 324: 1612-1618.
5. Ando K, Kanda S, Miura F, Ashikaga K, Ehara N, Sakai Y, Furukawa T, Yoshimura H, Adachi K. Implant Characteristics of Quadripolar and Bipolar Left Ventricular Leads for Cardiac Resynchronization Therapy. Int Heart J. 2018; 59(5):1002-1007.
6. Montes-Santiago A, Rodila V, Formigab F, Cepedac JM, Urrutiad A, en representación del Grupo de Trabajo sobre Insuficiencia Cardíaca y Fibrilación Auricular de la Sociedad Española de Medicina Interna (SEMI).Características y costes de los pacientes ingresados por arritmias cardíacas en España. Rev Clin Esp. 2013;213 (5): 223-270.
7. Gómez-Doblas JJ, López-Garrido MA, Esteve-Ruiz I, Barón-Esquivias G, Stewart S, Hart CL, Hole DJ, McMurray JJ (Rev Esp Cardiol Supl. 2016;16(A):2- 7 - Vol. 16 Núm.Supl.A DOI: 10.1016/S1131-3587(16)30007. Population prevalence, incidence, and predictors of atrial fibrillation in the Renfrew/Paisley study Epidemiología de la fibrilación auricular. Heart. 2001; 86: 516-522.
8. Berchon M. La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general. 2016. Barcelona Ed. Gustavo Gili, SL. Gómez González S. Impresión 3D. 2016. Ed. Marcombo.
9. Victor P. 2015. Las 10 innovaciones tecnológicas que cambiarán la medicina. Computer hoy. Recuperado de: <https://computerhoy.com/listas/life/10-innovaciones-tecnologicas-que-cambiaran-medicina-30187>.
10. Lucia C. 2019. Reporte Gartner 2019: La impresión 4D comienza su ascenso. 3DNatives. Recuperado de: <https://www.google.com/amp/s/www.3dnatives.com/es/gartner-2019-impresion-4d-140120192/amp/>
11. 3D Slicer. Recuperado de: <https://www.slicer.org/>.
12. Osirix DICOM viewer. Recuperado de: <https://www.osirix-viewer.com/>.

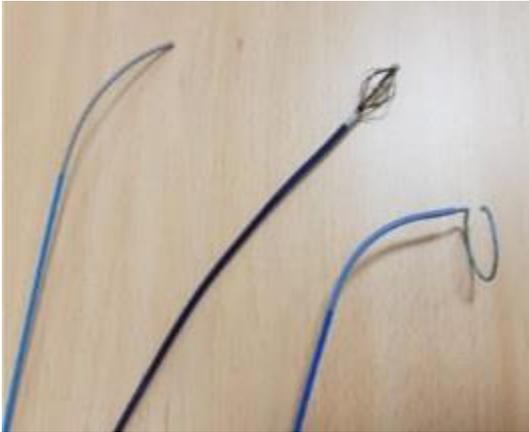
13. OROS. Recuperado de: <https://horosproject.org/>
14. Blender. Recuperado de: [www.blender.org/](http://www.blender.org/).
15. Rhinoceros. Recuperado de: <https://www.rhino3d.com/es/>.
16. Ultimaker. Recuperado de: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>.
17. Loke T, Krieger A, Sable C, et al. Novel uses for three-dimensional printing in congenital heart disease. *Curr Pediatr Rep.* 2016; 4: 28–34.
18. Valverde I, Gomez G, Gonzalez A, et al. Three-dimensional patient-specific cardiac model for surgical planning in Nikaidoh procedure. *Cardiol Young.* 2015;25: 698–704.
19. Farooqi KM, Gonzalez-Lengua C, Shenoy R, et al. Use of a three-dimensional printed cardiac model to assess suitability for biventricular repair. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2016; 7: 414–416.
20. Shiraishi I, Yamagishi M, Hamaoka K, et al. Simulative operation on congenital heart disease using rubber-like urethane stereolithographic biomodels based on 3D data- sets of multislice computed tomography. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010; 37: 302–306.
21. Kiraly L, Tofeig M, Jha NK, et al. Three-dimensional printed prototypes refine the anatomy of post-modified Norwood-1 complex aortic arch obstruction and allow presurgical simulation of the repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2016; 22: 238– 240.
22. Riesenkampff E, Rietdorf U, Wolf I, et al. The practical clinical value of three- dimensional models of complex congenitally malformed hearts. *J Thorac Cardio- vasc Surg.* 2009; 138: 571–580.
23. Schmauss D, Haeberle S, Hagl C, et al. Three-dimensional printing in cardiac surgery and interventional cardiology: a single-centre experience. *Eur J Cardi- othorac Surg.* 2015; 47: 1044–1052.
24. Yang DH, Kang JW, Kim N, et al. Myocardial 3-dimensional printing for septal myectomy guidance in a patient with obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation.* 2015; 132: 300–301.
25. Schmauss D, Juchem G, Weber S, et al. Three-dimensional printing for periopera- tive planning of complex aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg.* 2014; 97: 2160–2163.
26. Sodian R, Schmauss D, Markert M, et al. Three-dimensional printing creates models for surgical planning of aortic valve replacement after previous coronary bypass grafting. *Ann Thorac Surg.* 2008; 85: 2105–2108.
27. Izgi C, Nyktari E, Alpendurada F, et al. Effect of personalized external aortic root support on aortic root motion and distension in Marfan syndrome patients. *Int J Cardiol.* 2015; 197: 154–160.

28. Gomez-Ciriza G, Hussain T, Gomez-Cia T, et al. Potential of 3D-printed models in planning structural interventional procedures. *Interv Cardiol*. 2015 ;7: 343–350.
29. Capdevila JP. Óbito y resurrección del análisis DAFO. *Avanzada Científica*. 2011; 14 (2): 1-11.
30. Osterwalder A (2004). The business model ontology: A proposition in a design science approach (Tesis de grado). L'Ecole des HEC de l'Université de Lausanne. Lausanne.
31. Osterwalder A, Pigneur Y. *Business Model Generation: A Handbook For Visionaries, Game Changers, And Challengers*. 2010. Ed. Wiley.
32. Vall d'Hebron, Barcelona Campus Hospitalari. Recuperado de: <https://www.vallhebron.com/ca>.
33. AMB, área metropolitana de Barcelona. Recuperado de: <http://www.amb.cat/s/es/web/mobilitat/mobilitat.html>.
34. Generalitat de Catalunya, CatSalut, Servei Català de la salut. Recuperado de: <https://catsalut.gencat.cat/ca/coneix-catsalut/25-anys/ambits/siscat/>.
35. Idescat. Instituto de Estadística de Cataluña. Recuperado de: <https://www.idescat.cat>.
36. Berruezo A, Acosta J. To Reach or Not to Reach the Whole Arrhythmic Substrate?: A Matter of Accessibility. *JACC Clin Electrophysiol*. 2019; 5(1): 25- 27.
37. Arenal A, Pérez-David E, Avila P, et al. Noninvasive identification of epicardial ventricular tachycardia substrate by magnetic resonance-based signal intensity mapping. *Heart Rhythm*. 2014. 11(8): 1456-1464.
38. Valverde I, Gomez G, Coserria JF, et al. 3D printed models for planning endovas- cular stenting in transverse aortic arch hypoplasia. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2015; 85: 1006–1012.
39. Valverde I, Gomez G, Gonzalez A, et al. Three-dimensional patient-specific cardiac model for surgical planning in Nikaidoh procedure. *Cardiol Young*. 2015; 25: 698–704.
40. Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de <https://www.ine.es>.
41. Llibre de retribucions 2017. Personal estatutari de l'ICS.
42. Mira Solves JJ, Buil Aina JA, Rodríguez Marín j, et al. Calidad percibida del cuidado hospitalario. *Gaceta Sanitaria*. 1997. 11 (4): 176-189.

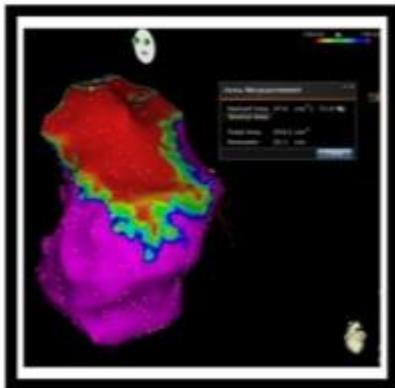
## Anexos

### Figuras

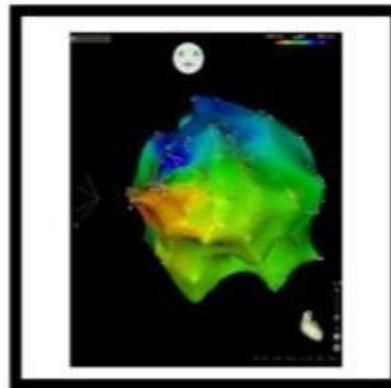
#### Figura 1



#### Figura 2



**Mapa de voltaje (sistema de navegación CARTO 3) del ventrículo derecho en un paciente con tetralogía de Fallot reparada**

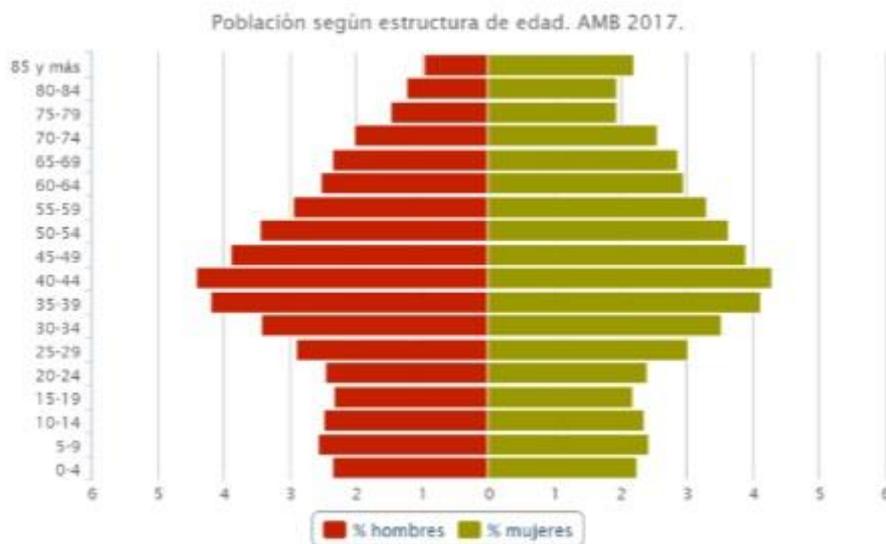


**Mapa de activación (sistema de navegación CARTO 3) de ventrículo derecho durante una taquicardia ventricular de un paciente con tetralogía de Fallot reparada**

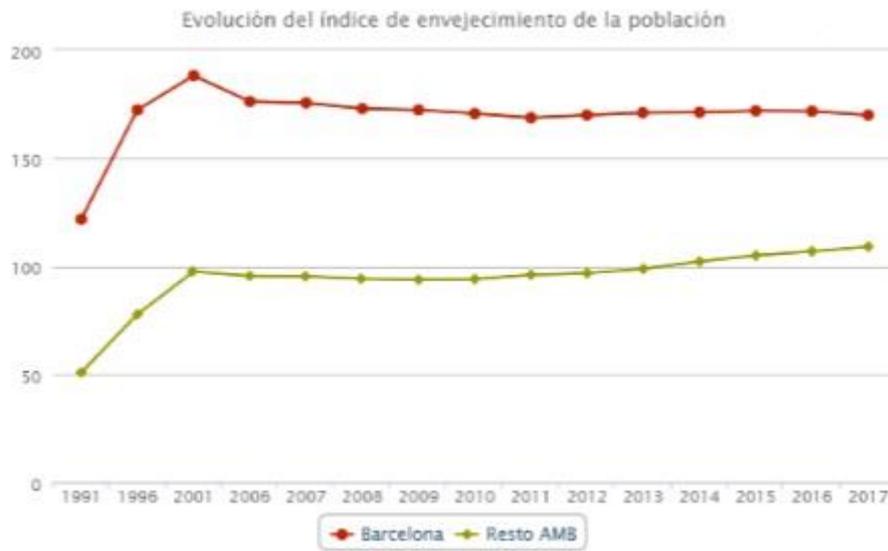
Figura 5



Figura 6



**Figura 7**



**Figura 9**

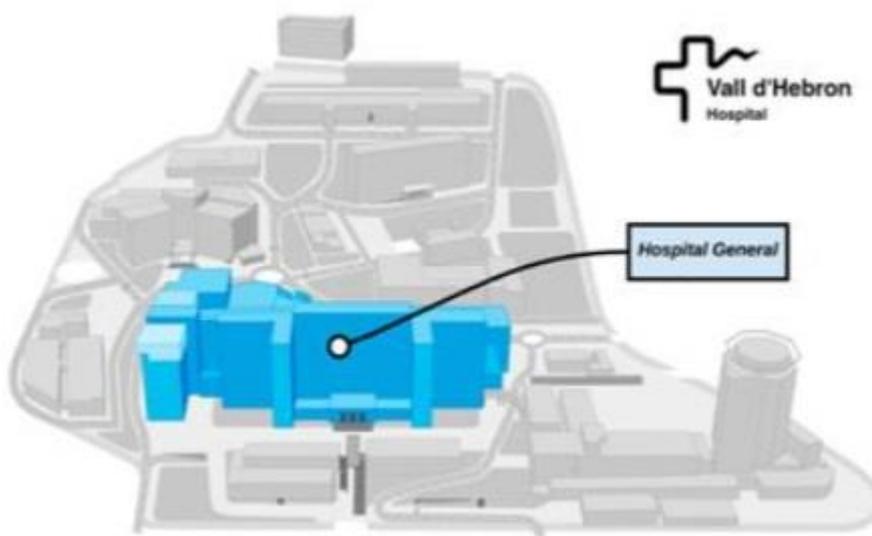


Figura 10





Figura 12

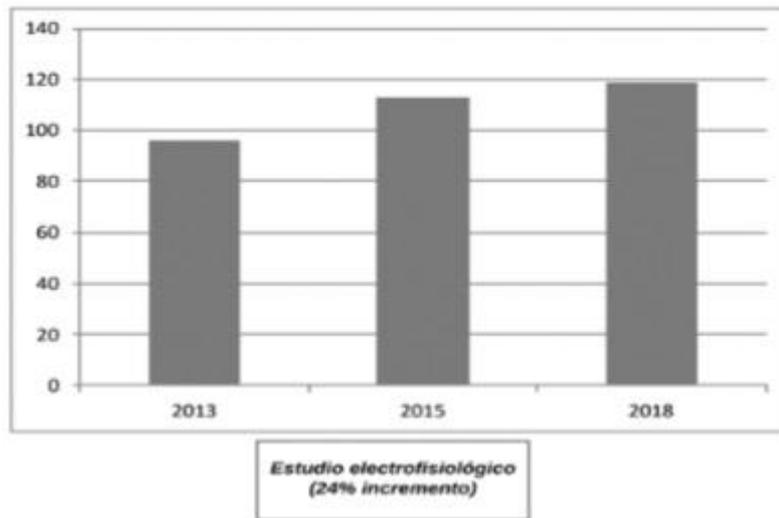


Figura 13

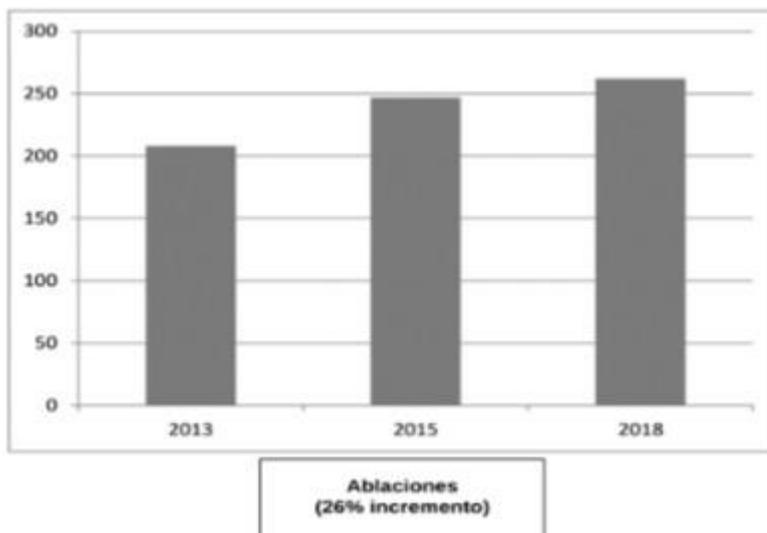


Figura 14

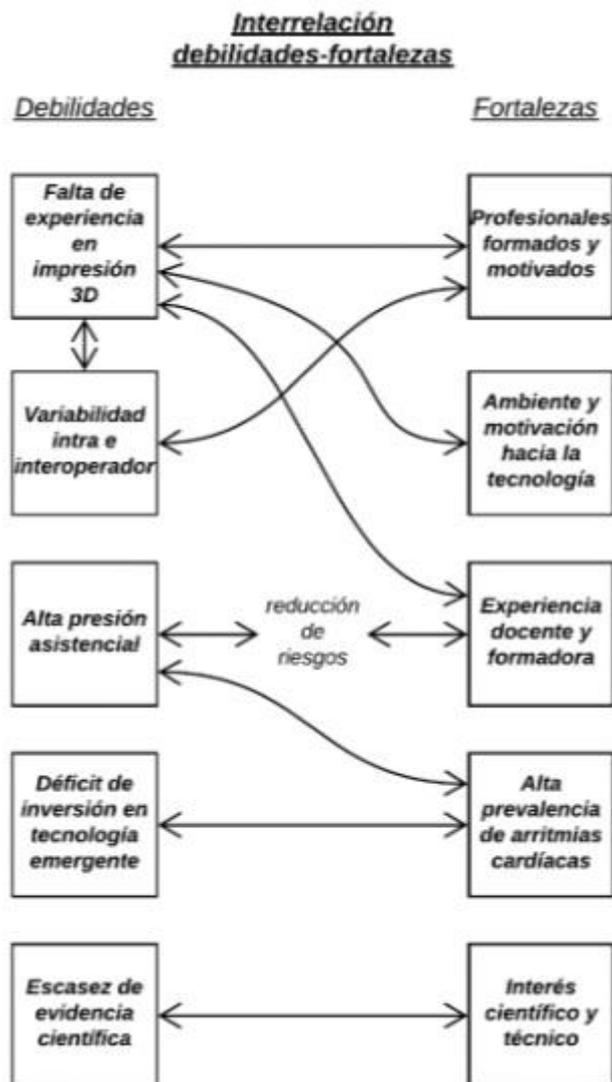


Figura 15

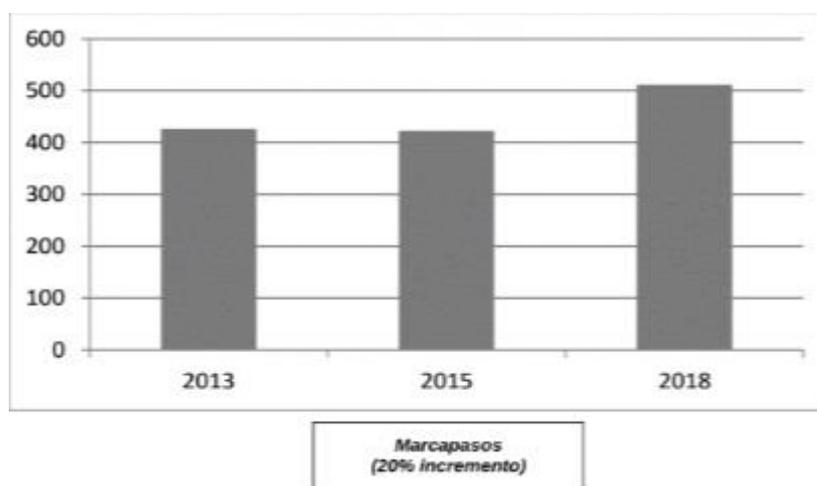


Figura 16

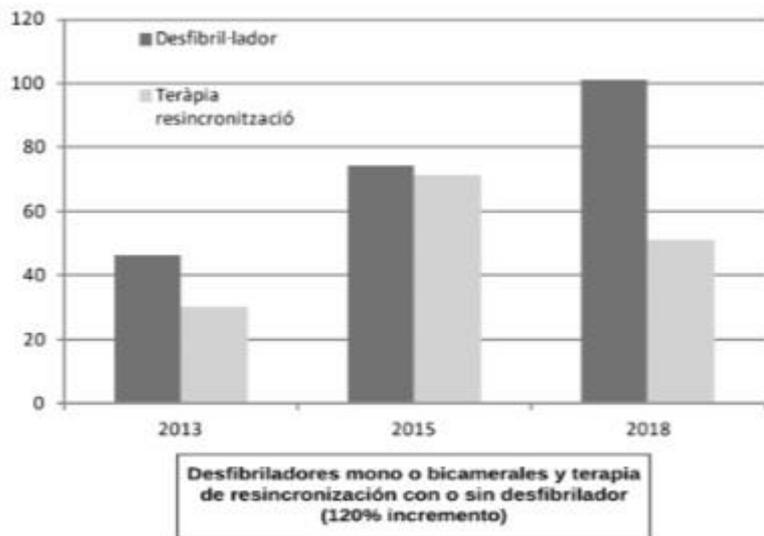
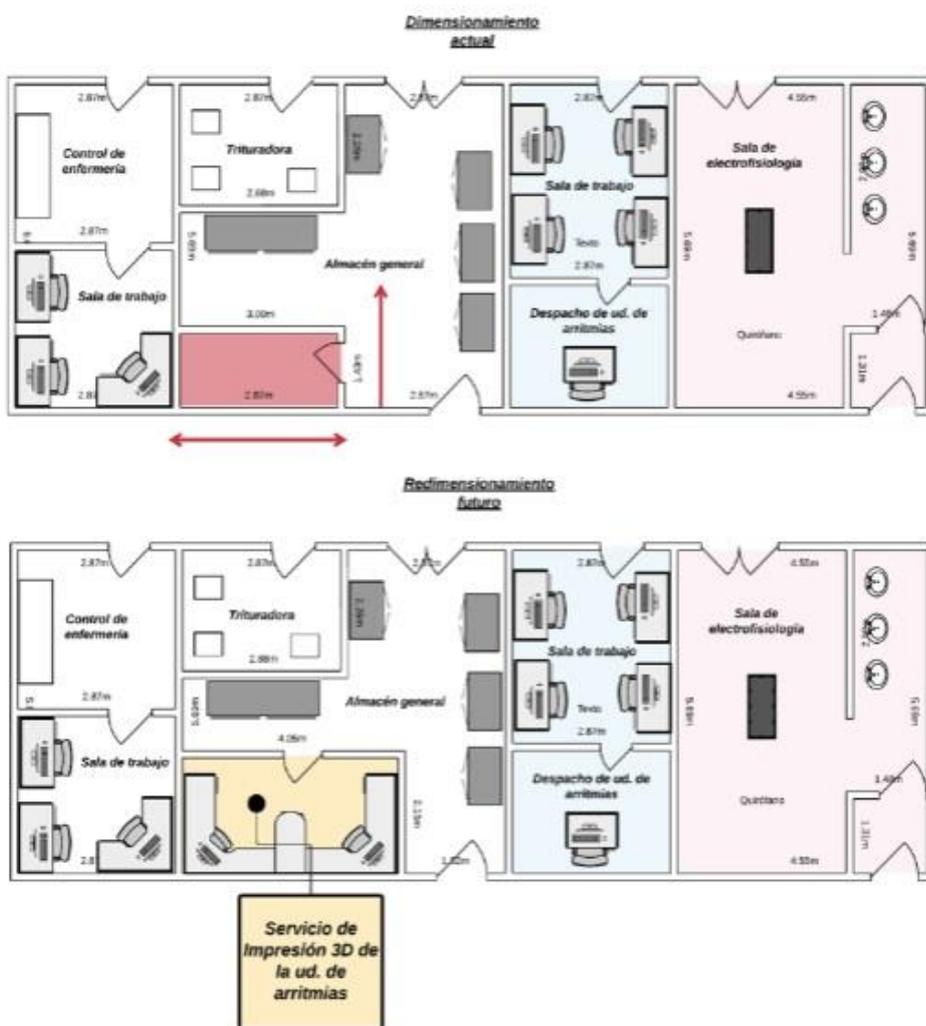


Figura 20



## Tablas

**Tabla 1**

<i>Modelos</i>	<i>Semanales</i>	<i>Anuales</i>
<i>Número modelos pacientes reales</i>	3	156
<i>Número modelos formación</i>		10
<i>Número modelos comunicación paciente</i>		5

**Tabla 2**

<i>Profesional</i>	<i>horas/modelo</i>	<i>horas/semana</i>	<i>Sueldo/hora</i>	<i>Coste semanal</i>	<i>Coste anual</i>	<i>Sueldo anual (40h)</i>
<i>Electrofisiólogo</i>	2 h	6,58 h	15,75 €	125,96 €	6.549,94 €	39.835,88 €
<i>Técnico</i>	5 h	16,44 h	21,52 €	172,17 €	8.952,86 €	21.780,06 €

**Tabla 3**

<u>Concepto</u>	<u>Precio</u>
<u>Coste/hora formación</u>	50 euros /hora
<u>Horas de formación/ profesional</u>	25 horas /formación en parejas
<u>Número de profesionales a formar</u>	5 electrofisiólogos y 1 técnico
<u>Coste total formación</u>	3.750,00 €
<u>Coste asesoría primer año</u>	1.500,00 €
<u>Biblioteca</u>	1.000,00 €
<u>Suscripciones anuales</u>	500,00 €

**Tabla 5**

<u>Tipo Inversión</u>	<u>Importe Total</u>
<u>Inversión Inicial</u>	17.700,00 €
<u>Anual</u>	16.649,80 €
<u>Total</u>	34.349,80 €

**Tabla 6**

<i><b>Criterio</b></i>	<i><b>Indicador</b></i>	<i><b>Estándar</b></i>
<i><b>Calidad de imagen</b></i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de cortes adecuado (Si/No)</li> <li>- Grosor de corte axial &lt;1 mm. (Si/No)</li> <li>- Interposición de cortes aberrantes (Si/No)</li> </ul>	>90% de los estudios de imagen adecuados
<i><b>Calidad modelo 3D</b></i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reproducción fiable de la anatomía (Si/No)</li> <li>- Errores de impresión (voladizos, desconexiones) (Si/No)</li> </ul>	>90% modelos adecuados
<i><b>Recursos de procesado</b></i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de maquetado 3D inferior a 4h (Si/No)</li> <li>- Proceso de modelado finalizado exitosamente en impresión (Si/No)</li> <li>- &lt;100 g de filamento empleado en el modelo (Si/No)</li> <li>- Tiempo de impresora inferior a 20 h (Si/No)</li> </ul>	>90% de los modelos

**Tabla 7**

<i><b>Criterio</b></i>	<i><b>Indicador</b></i>	<i><b>Estándar</b></i>
<i><b>Reducción tiempo procedimiento</b></i>	Tiempo procedimientos en función de la complejidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja complejidad: pacientes sin cardiopatía congénita, estudio electrofisiológico, ablación de taquicardia supraventricular, implante de dispositivos mono y bicamerales</li> <li>- Alta complejidad: pacientes con cardiopatía congénita, ablación de fibrilación auricular, ablación taquicardia ventricular</li> </ul>	Disminución de los tiempos de procedimiento postimplementación de la tecnología de impresión 3D
<i><b>Seguridad</b></i>	Complicaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayores: aquellas que requieren ingreso, transfusión y/o intervención</li> <li>- Menores</li> </ul>	Reducción de la tasa de complicaciones postimplementación impresión 3D
<i><b>Eficacia</b></i>	Eficacia procedimientos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficacia total</li> <li>- No eficaz</li> <li>- Eficacia no determinada</li> </ul>	Evaluación de la tasa de eficacia anual de los procedimientos en función del tipo de procedimiento, pre y postimplementación impresión 3D

**Tabla 8**

<u>Evaluación formación</u>	<u>Satisfacción</u>	<u>Aprendizaje</u>	<u>Transferencia</u>	<u>Impacto en la práctica clínica</u>
<u>Objetivo de la evaluación</u>	Valoración de la satisfacción global	Evaluación del aprendizaje	Aplicabilidad y utilidad en el desempeño habitual	Evaluar el impacto en la práctica clínica según responsable jerárquico
<u>Aspectos a evaluar</u>	- Objetivos - Contenidos - Medios - Programación y gestión - Formadores	Resultados aprendizaje	Influencia sobre la práctica profesional	Influencia de la formación en el desempeño profesional
<u>Agentes evaluadores</u>	Participantes	Formadores	Profesional	Superior inmediato
<u>Instrumento de evaluación</u>	Encuesta de evaluación	Test a alumnos	Encuesta a profesional	Encuesta a superior inmediato
<u>Momento de evaluación</u>	Finalización formación	Antes y después de la formación	3 meses tras la formación	6 meses tras la formación

**Tabla 9**

**Cuestionario de evaluación satisfacción alumnado**

<i>Categoría profesional:</i>	
<i>Criterio</i>	<i>Puntuación (1=muy insatisfecho a 5=muy satisfecho)</i>
Se han cubierto mis expectativas sobre la formación	
La organización de la formación ha resultado satisfactoria	
Los modelos impresión 3D han facilitado mi comprensión de la anatomía cardíaca	
Los modelos de impresión 3D han facilitado mi comprensión sobre los procedimientos de electrofisiología	
Los modelos de impresión 3D han facilitado mi comprensión sobre cómo se ha de utilizar el material (electrodos y electrocatéteres) de electrofisiología	
Los modelos de impresión 3D me han permitido mejorar mis habilidades en la manipulación electrocatéteres intracardiacos	

**Tabla 10**

**Cuestionario transferencia de la formación**

<i>Categoría profesional:</i>	
<i>Criterio</i>	<i>Puntuación (0=muy mal a 10=muy bien)</i>
La impresión 3D me ha permitido solventar dudas o errores en mi actividad profesional	
La formación con modelos de impresión 3D me ha permitido obtener mejores resultados en mi actividad profesional	
La formación con modelos de impresión 3D me ha permitido llevar a cabo nuevas tareas	
La formación con modelos de impresión 3D me ha permitido tener más autonomía	

**Tabla 11**

**Cuestionario de evaluación del  
impacto en la práctica clínica**

<i>Categoría profesional evaluador:</i>	
<i>Categoría profesional del participante en la formación:</i>	
<i>La formación con modelos de impresión 3D ha permitido al profesional:</i>	<i>Puntuación (0=muy mal a 10=muy bien)</i>
Obtener mejores resultados en los procedimientos	
Realizar nuevas tareas	
Aumentar la motivación	
Tener más autonomía	