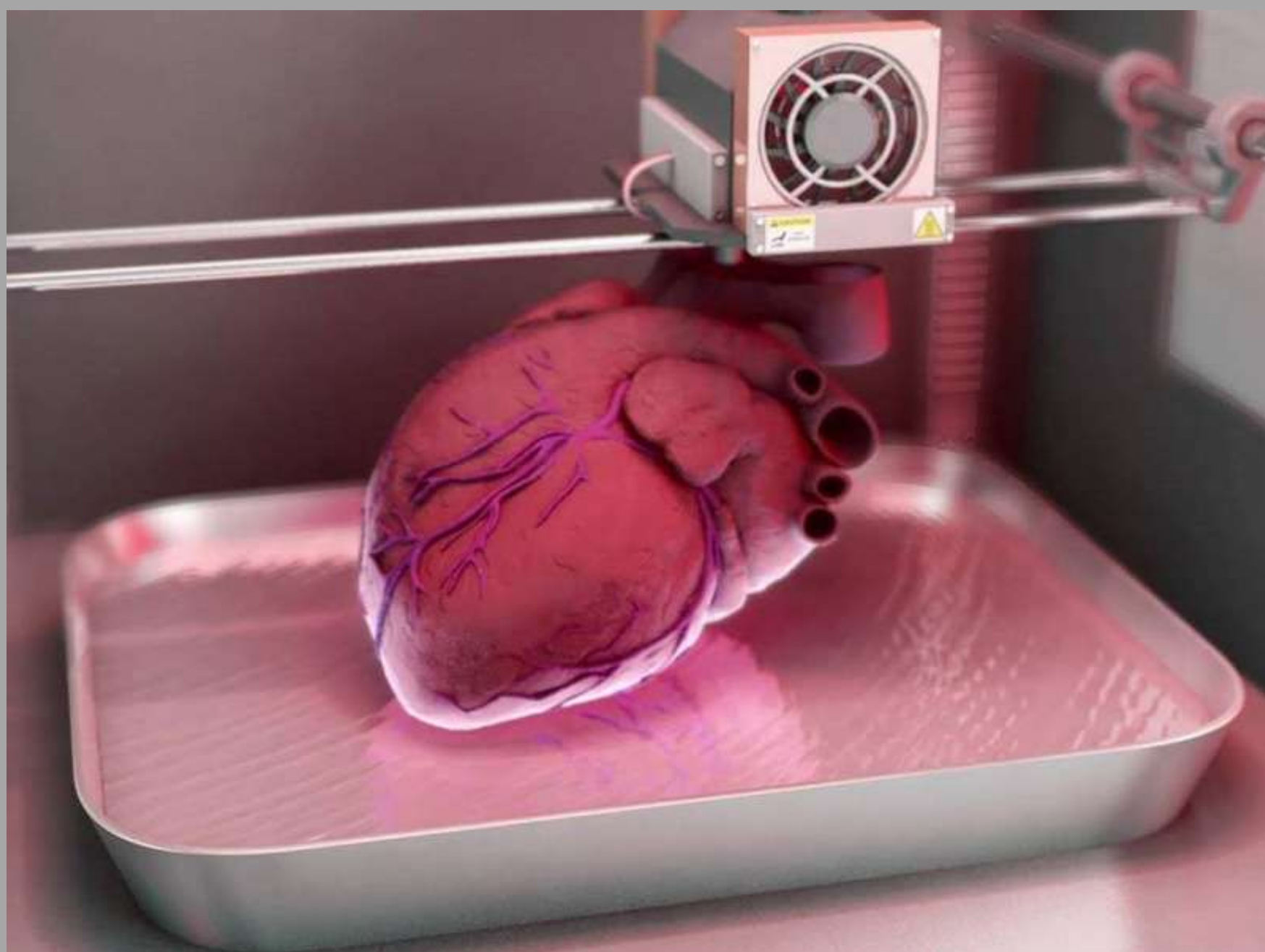
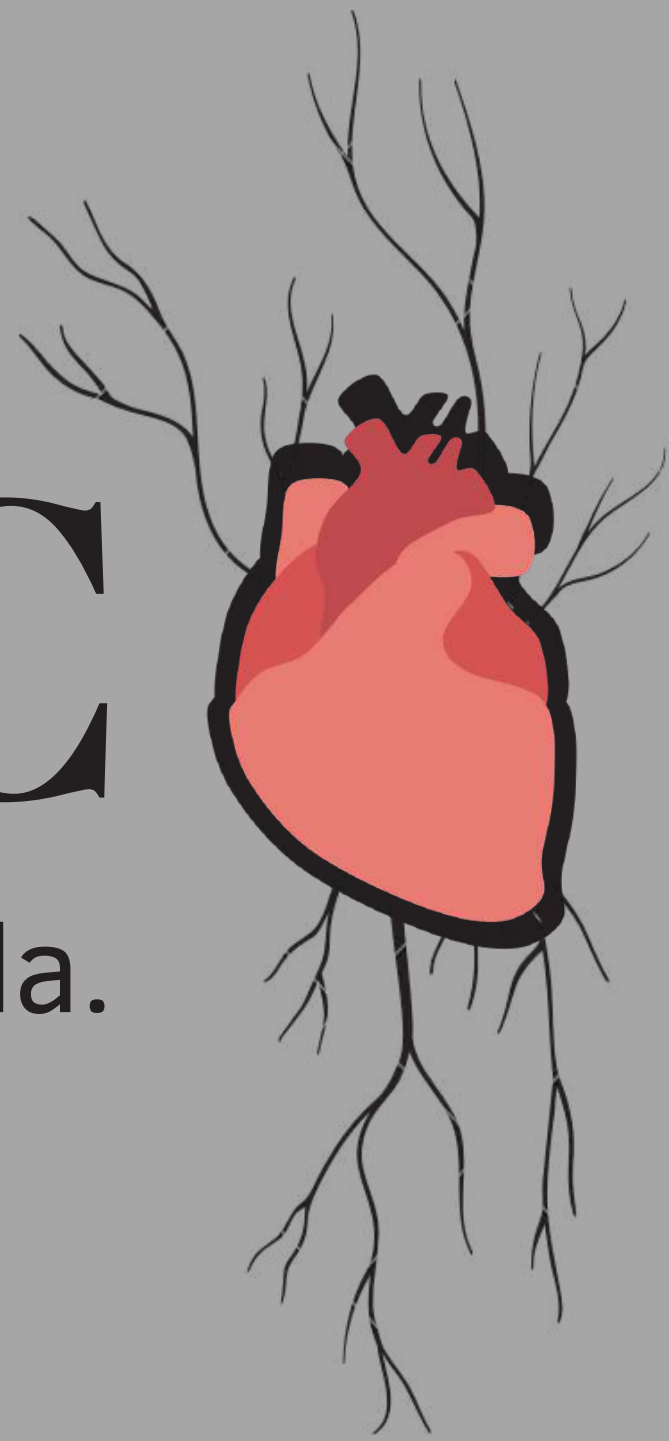


TOT C R

un batec, una vida.



DOBBY

RESUMEN

Poder ayudar a personas con enfermedades cardiovasculares con una solución accesible e innovadora es la intención principal de la creación de un nuevo corazón. De esta manera, no se tendría que esperar a la defunción de alguien compatible.

A pesar de todo, realizar la impresión tridimensional no es nada sencillo ni amigable. Sin embargo, con el objetivo general de beneficiar las vidas con menos fortuna sanitaria, merece el esfuerzo. En este trabajo, se da a entender un nuevo punto de vista al problema con un enfoque revolucionario.

El corazón, un órgano muscular y hueco que se encuentra en la cavidad torácica, está envuelto por una bolsa de tejido, llamada pericardio. El interior de este órgano está formado por cuatro cavidades, dos aurículas y dos ventrículos. Entre estas, se hallan cuatro estructuras valvulares, dos auriculoventriculares y dos válvulas sigmoideas.

Esta bomba impulsa la sangre en el sistema circulatorio. Los ventrículos son los responsables de eyectar la sangre fuera del corazón. Este fluido sanguíneo lo reciben previamente de las aurículas, lo que permite formar un recorrido completo; el ciclo cardíaco. Así mismo, para favorecer el sentido correcto y eficiente de la sangre, se encuentran las válvulas (mitral y tricúspide).

Para poder lograr el objetivo del corazón artificial, se ha seguido investigando con los temas relacionados con la fabricación aditiva. Estos procesos, que crean objetos físicos a través de la colocación de un material en capas a partir de un modelo digital, ha permitido imprimir tridimensionalmente un corazón. Se ha realizado con una impresora Ender-3.

También se ha efectuado un prototipo funcional para el recorrido de la sangre desoxigenada en el sistema cardiovascular a partir de una manipulación de presiones.

ABSTRACT

The main intention behind the creation of a new heart is to be able to help people with cardiovascular diseases with an accessible and innovative solution. This way, one would not have to wait for the death of a compatible person.

However, 3D printing is neither simple nor user-friendly. Nevertheless, with the overall goal of benefiting lives, it is well worth the effort. This research paper provides a new perspective on the problem with a revolutionary approach.

The heart, a hollow and muscular organ, which is located in the thoracic cavity, is wrapped by a sac of tissue, called the pericardium. The interior of this organ is made up of four chambers, two auricles and two ventricles. Between these, there are four valve structures, two atrioventricular and two sigmoid valves.

This is the pump that drives the blood through the circulatory system. The ventricles are responsible for ejecting blood out of the heart. They previously receive the blood fluid from the auricles, which makes it possible to form a complete pathway; the cardiac cycle. Furthermore, the valves (mitral and tricuspid) are used to facilitate the correct and efficient blood flow.

In order to achieve the goal of the artificial heart, additional research has been carried out in the field of additive manufacturing. These processes, which create physical objects by layering material from a digital model, have made it possible to three-dimensionally print a heart. This was done with an Ender-3 printer.

A functional prototype has also been made for the path of deoxygenated blood through the cardiovascular system by manipulating its pressure.

INTRODUCCIÓ	11
1. Presentació del tema	11
2. Motivació i Justificació	11
3. Objectius	12
4. Hipòtesi	12
5. Metodologia	13
6. Antecedents	14
7. Estructura del treball	15
ANATOMIA I FISIOLOGIA	16
8. Entrada	16
8.1. Anatomia	16
8.2. Fisiologia	16
8.3. Relació entre anatomia i fisiologia	17
8.4. Manteniment de la vida	17
> 8.4.1 Homeostasi	17
9. El cor	19
9.1. Configuració externa	20
> 9.1.1 Cares	20
> 9.1.2 Vores	22
> 9.1.3 Base	23
> 9.1.4 Vèrtex o Àpex	23
> 9.1.5 Solcs	23
> 9.1.6 Posició	24
9.2. Morfologia externa	25
9.3. Capes	26
9.4. Configuració interna	27
> 9.4.1 El cor dret	27
> 9.4.2 El cor esquerre	29
9.5. Morfologia interna	31
9.6. Conformació histològica	32
> 9.6.1 Parts del sistema de conducció intrínsec	33
> 9.6.2 Funcionament del sistema cardionector	33
9.7. Sistema de conducció cardíac	34
> 9.7.1 Cicle cardíac	34
> 9.7.2 Sístole i diàstole	36
> 9.7.3 Volum sistòlic	36
> 9.7.4 Irrigació cardíaca	37

10. Sistema cardiovascular	38
10.1. Vasos sanguinis	38
10.2. Flux sanguini	41
10.3. Sistema limfàtic	42
> 10.3.1 Estructura	42
> 10.3.2 Funció	43
PATOLOGIA I TRACTAMENT	44
11. Semiologia cardiovascular	44
12. Patologies cardiovasculars	44
12.1. Arrítmia	44
12.2. Valvulopatia	45
12.3. Insuficiència coronària	45
12.4. Cardiopatia isquèmica	45
12.5. Mort sobtada	46
12.6. Insuficiència cardíaca (IC)	46
13. Patologia vascular: Aneurisma	46
13.1. Tractament quirúrgic. Reparació d'aneurismes	47
IMPRESSIÓ BIOLÒGICA TRIDIMENSIONAL	48
14. Impressora 3D	48
14.1. Estructura, funcionament i filaments de la impressora utilitzada	48
> 14.1.1 Mecànica de la impressora	48
> 14.1.2 Electrònica de la impressora	49
14.2. Programes i paràmetres utilitzats	50
14.3. Filaments	51
15. Aplicació a la maqueta representativa	52
15.1. sTAH: Soft Total Artificial Heart – Cor artificial totalment tou	52
> 15.1.1 Funcionament	52
15.2. CA: Cor artificial del TDR	54
> 15.2.1 Model anatòmic	54
> 15.2.2 Funcionament fisiològic	55
> 15.2.3 Patologia. Aneurisma cardíaca	56
CONCLUSIÓ	58
CITACIONS	59
Bibliografia	59
Bibliografia web	60
ANNEXOS	64
ANNEX I: Esquematització de les cares del cor	64
ANNEX II: Recull de fotografies de la part pràctica	66
ANNEX III: Glossari	67

INTRODUCCIÓ

1. Presentació del tema

Aquest treball explica les bases funcionals del sistema cardiovascular i de la impressió 3D. En aquest cas, mitjançant la fabricació additiva (impressió 3D), es vol aconseguir un prototip que representi correctament sense disfuncions el cor, ja que, així, es demostraria l'ús de la impressió tridimensional totalment aplicable per l'ésser humà.

2. Motivació i Justificació

La impressió medico-biològica tridimensional em va atreure des del primer moment. Cristina Yang, una cardiòloga fictícia d'”*Anatomia de Grey*”, és la representació de cap a peus del que vull ser jo de major. No tan sols és una doctora prolixa, però a més desborda aquesta ambiciositat per aprendre i documentar-se de manera que pugui descobrir alguna eina que, finalment, la representi i li doni el nom de metge que es mereix.

A la desena temporada de la sèrie visita un hospital a Suïssa on la tecnologia afavoreix l'àmbit mèdic. Tot i que les representacions hologràfiques a temps real durant una cirurgia em van impressionar, el que més em captiva en el moment és l'ús de la impressora 3D per crear òrgans completament funcionals i adequats pels pacients.

No obstant això, en aquella època, el film va preveure aquest avenç científic, i es podria dir que el va inventar. Des del moment que vaig escoltar tan sols la idea de “crear” parts del cos desenvolupades i eficients, sabia que faria mans i mànigues per poder recrear-lo en algun moment de la meua vida; quin millor moment que el TDR.

A més a més, tinc una impressora al meu abast i la trobo perfecte per poder estudiar aquesta tecnologia innovadora.

3. Objectius

En un treball de recerca que inclou un avenç mèdic nouvingut i tan sols estrenat amb un parell de proves, que millor que intentar ajudar a la comunitat científica produint una assegurança del funcionament i l'eficiència del projecte.

El meu principal propòsit és la demostració d'un mecanisme automatitzat. Imprimir òrgans 3D és una novetat que vull evidenciar. Concretament, em centro en el motor del nostre cos, el cor.

Per assolir aquest objectiu general he de dividir-ho en diverses metes amb finalitats concretes que em serveixin com un puzle per poder muntar la peça final. Entre aquests subobjectius es poden trobar: la recerca completa del sistema cardiovascular junt amb diferents patologies per entendre l'òrgan cardíac de l'ésser humà, i, finalment, el funcionament de les maquinàries 3D.

4. Hipòtesi

En consideració de tota la població que pateix alguna patologia cardiològica em plantejo un dubte: “Amb tota la ciència i tecnologia moderna, seria possible crear parts del cos artificialment?”. Estudiant amb més profunditat l'àmbit de la fabricació antinatural sorgeix una idea ja contemplada per diferents sèries de ciència-ficció, la impressió tridimensional d'òrgans.

Per abordar la situació plantejada anteriorment, formulo la hipòtesi següent:

“La impressió biològica 3D és la salvació de les persones.”

5. Metodologia

El meu treball d'investigació és aplicat científicament; és a dir, busco una solució que afecta un grup de persones, en aquest cas, malalts del cor.

De bon començament, és necessari informar-se. L'estudi i la recerca de les ciències no es pot fer en qualsevol pàgina web, ha de contenir validesa professional. A més, com a font principal, he utilitzat diversos llibres especialitzats, i recursos visuals de professors de facultats de medicina arreu del món.

La recollida de totes les dades, detalls i proves han estat combinades per poder condicionar tota la informació de la part teòrica.

A continuació, després de reunir els fonaments imprescindibles per poder col·laborar en el projecte, puc centrar-me en la part pràctica, el prototip o maqueta representativa.

Per poder imprimir en tres dimensions cal entendre-les des d'un altre punt de vista que no sigui clicar un botó. He aconseguit la formació professional d'aquest tipus d'impressió gràcies al curs ofert pel Centre Cívic del Rieral de Lloret de Mar (contribuint-hi l'acadèmia de tecnologia i informàtica, Sistemes Linux).

Aquesta llicenciatura no només m'ajuda a comprendre aquesta nova tecnologia, sinó també m'introdueix els recursos primordials per poder crear l'eix de la meva maqueta, el cor artificial.

A posteriori, cal el plantejament de tot el sistema cardiovascular centrat en el tòrax. Amb ajuda de les tutores i professionals en la matèria, assoleixo crear el disseny perfecte pel bon funcionament del mecanisme.

Compatibilitzar una patologia amb l'estructura és difícil. Tanmateix, per poder plasmar la realitat d'un cor defectuós és necessària. Decidint que la malaltia a evidenciar sigui l'aneurisma arterial, facilita la visualització del problema. En aquell moment és l'adequat per ajudar a l'òrgan a sobreviure amb un tractament quirúrgic (reparació d'aneurisma cardíac a l'aorta). Amb aquesta simbolització finalitza el simulacre de com podria arribar a ser la vida d'una persona amb un motor artificial, això sí, completament funcional.

6. Antecedents

La revolució mèdica de la producció d'òrgans ha estat visionada per diferents equips investigadors. Tanmateix, quan es parla de la impressió biològica 3D no sempre és del mateix tipus. Durant els anys d'estudi científic, s'han separat en dos mètodes principals:

a) La impressió biològica tridimensional. Es crea una peça que es podrà ajustar a l'individu partint d'un model.

En la indústria odontològica ja s'han vist tècniques per tractaments; com ara, els alineadors personalitzats d'ortodòncia dental.

Adicionalment, un investigador de la Universitat ETH, a Suïssa, va aconseguir recrear un cor artificial (*TAH: Total Artificial Heart*). Aquest assaig científic es detallarà més endavant en l'apartat 15, Aplicació al prototip.

b) La bioimpressió tridimensional. S'utilitza un filament, natural o artificial, barrejat amb cèl·lules del teixit del pacient per poder reproduir-les amb una forma determinada.

Els projectes més rellevants presentats han sigut, per una banda, el de l'equip d'investigadors israelians; amb un cor format per cèl·lules molt petites capaces de contraure's (vegeu figura 1). Per l'altra banda, els resultats obtinguts per "BIOLIFE4D"; on la companyia estatunidenca aconsegueix imprimir l'òrgan en miniatura amb les seves cavitats (vegeu figura 2).



Fig. 1. Treball del professor Tal Dvir i el seu equip.
Font: 3dnatives.com.



Fig. 2. El petit cor de "BIOLIFE4D".
Font: 3dnatives.com.

Ara bé, no s'han de confondre els dos conceptes, puix que les maquinàries que s'empren són diferents. Cadascuna està adequada per poder fabricar capes de diferents materials. Tenint en compte la recerca del context, el prototip que proposo es classifica en la impressió biològica.

7. Estructura del treball

- Primera part - Capítol 1: Introdueix el perquè d'aquest treball, esmenta els objectius i explica com l'he realitzat.
- Segona part - Capítol 2 i 3: La teoria extreta de fonts fiables per poder entendre la recerca general respecte el sistema cardiovascular.
- Tercera part - Capítol 4: Aplicació de la investigació a la realitat. Inclou altres àmbits d'estudi útils per entendre com l'he fet, com és el de la fabricació additiva.
- Quarta part - Capítol 5, 6 i 7: Finalitza el treball amb conclusions i un glossari per poder mantenir el ritme durant tot el treball sense desorientar-se. També es poden trobar altres annexos per aclarir conceptes del treball.

8. Entrada

Explicació de la visió general per posar en context la teoria posterior.

8.1. Anatomia

És l'estudi de l'estructura, la forma i les parts del cos; a més, les relaciona.

L'etimologia de la paraula expressa el vertader significat. En grec, “*ana*” i “*tomia*” volen dir tallar i separar respectivament.

Quan s'aborden les grans estructures, com ara el cor, s'anomena **anatomia macroscòpica**. És a dir, s'analitzen conformacions de major mida que es poden observar amb facilitat. Per tant, relacionant amb el seu origen, es dissectionen els òrgans per la seva observació i avaluació.

Per contra, també es pot considerar l'**anatomia microscòpica**; l'anàlisi de components de l'organisme que no es poden veure de manera senzilla. Per poder donar a lloc aquest tipus d'examinació, es necessita un microscopi. Així s'han investigat les cèl·lules i els teixits corporals, per exemple.

8.2. Fisiologia

És la investigació de la manera en què funcionen els sistemes vius i les seves parts.

En aquest cas, l'etimologia, ens ajuda a entendre el significat també; “*physio*” expressant naturalesa i “*ologia*”, estudi de.

De la mateixa manera que l'anatomia, se subdivideix en diverses disciplines. Entre elles es troba la cardiofisiologia que estudia el funcionament del cor; actua com una bomba muscular per mantenir el flux sanguini corporal).

Per consegüent, es pot deduir que aquesta recerca se centra en la cardiofisiologia macroscòpica i microscòpica.

8.3. Relació entre anatomia i fisiologia

Tots dos estudis estan sempre correlacionats, ja que les parts del cos humà formen una unitat ben composta, on cadascuna d'aquestes dona lloc a diverses contribucions que cohesionen pel correcte funcionament del cos humà.

8.4. Manteniment de la vida

Per poder sustentar l'extremada organització humana, l'animal es mou, reacciona als canvis del seu entorn, ingereix i digereix nutrients, metabolitza, elimina, etc.

Els òrgans que formen sistemes o aparells, no treballen de manera aïllada, sinó, col·laboren per poder mantenir el benestar, tal com mostra la figura 3.

Tot i això, es necessiten factors addicionals per sobreviure. Com ho és l'oxigen, els nutrients (aliments), l'aigua, la temperatura i pressió atmosfèrica adequada.

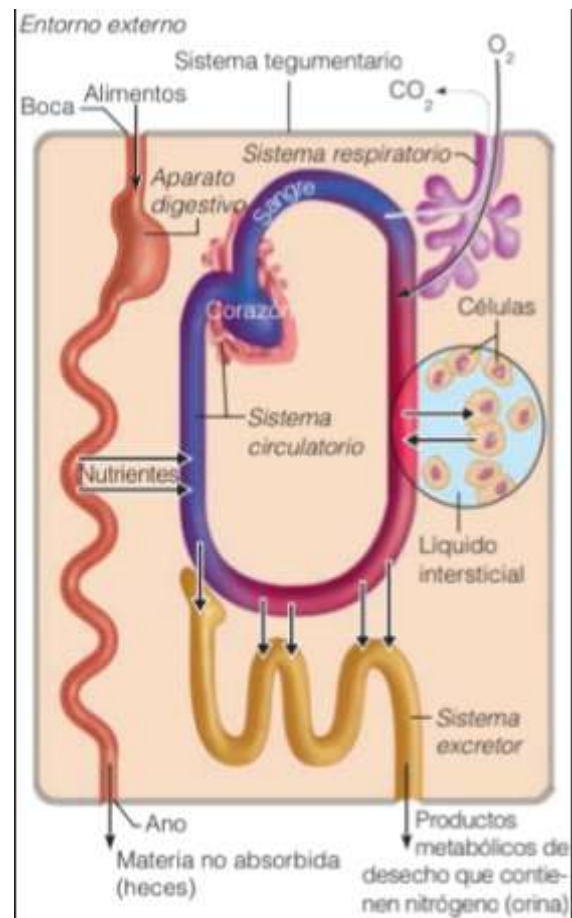


Fig. 3. Exemples d'interrelació entre aparells i sistemes d'òrgans.

Font: Llibre – "Anatomía y Fisiología Humana", Elaine N. Marieb.

> 8.4.1 Homeostasi

Descriu la capacitat de l'ésser per mantenir unes condicions internes relativament estables, malgrat el canvi constant de l'exterior. No és necessàriament un estat immòbil, sinó més aviat, un estat d'equilibri dinàmic, on l'interior es manté sempre entre límits. Aquest entorn interior adequat requereix el funcionament correcte de tots els aparells. S'assoleix mitjançant els sistemes nerviosos i endocrins (amb senyals elèctrics emesos pels nervis o hormones en sang).

Independentment del factor que s'ha de regular (la variable), tots els mecanismes homeostàtics de control s'estableixen amb tres components:

1. **Receptor:** Sensor que controla les reaccions dels canvis de l'entorn o els estímuls, i envia la informació mitjançant la via aferent.
2. **Centre de control:** Determina el nivell on s'ha de mantenir la variable. Analitzant la informació rebuda, estableix una acció com a resposta.
3. **Efecter:** Ofereix els medis per donar lloc a la resposta a l'estímul. Rep la informació del centre de control mitjançant la via eferent.

Els resultats d'aquest procés introdueixen la retroalimentació per influir en l'estímul i mantenir estable l'interior, sigui reprimint-lo (retroalimentació negativa) o activant-lo (retroalimentació positiva).

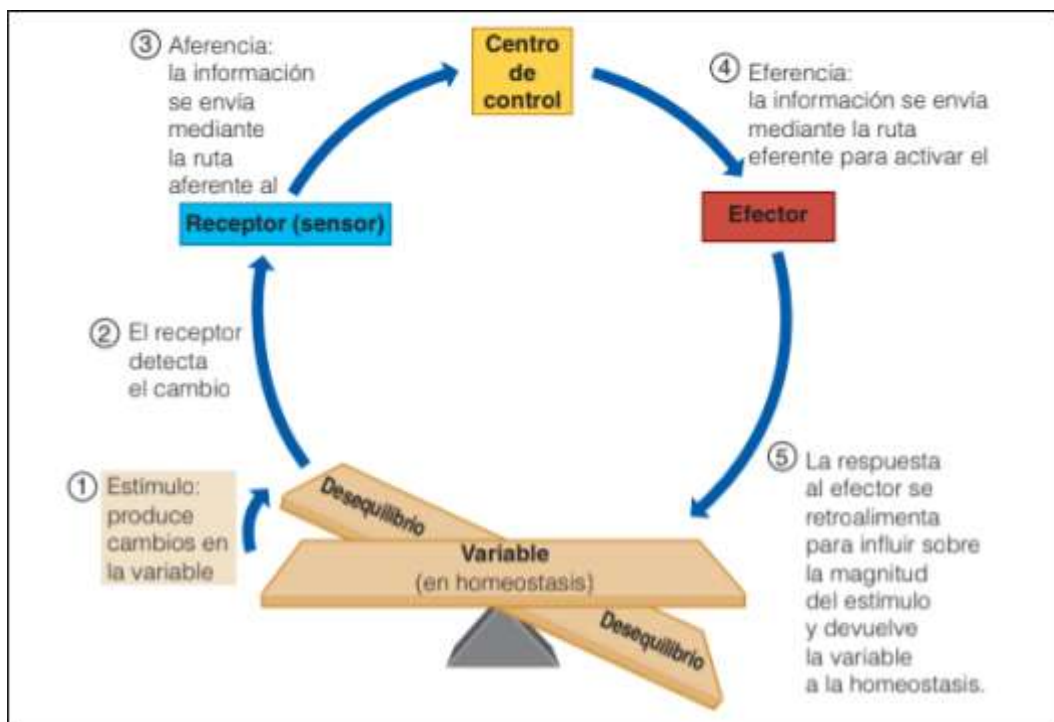


Fig. 4. Elementos d'un sistema de control homeostàtic.
Font: Llibre – "Anatomía y Fisiología Humana", Elaine N. Marieb.

9.1. Configuració externa

L'estudi del triangle que representa el cor, presenta: 3 cares, 3 vores, una base irregularment plana (s'orienta cap amunt, cap a la dreta i una mica cap enrere) i un vèrtex de forma arrodonida (dirigit cap avall, cap a l'esquerra i una mica cap endavant). Veure el concepte a la figura 7.

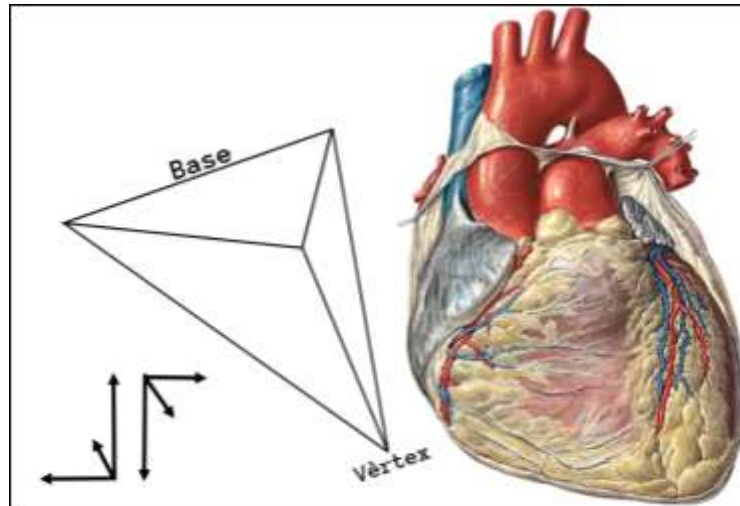


Fig. 7. Representació del cor com a figura geomètrica.
Font: Video de YouTube – Dr. Carlos Andrés García amb edició pròpia.

> 9.1.1 Cares

ANTERIOR O ESTERNO-COSTAL: Es correspon internament amb una part de l'aurícula dreta, el ventricle dret i l'esquerre. S'orienta amb les direccions cap endavant, cap a dalt i cap a l'esquerra. Per poder abordar-la, es diferencien 3 zones:

- **Zona inferior o ventricular:** Conformada per una superfície triangular (discontinuitat de la figura 8). La seva base (línia vermella a la figura 8) correspon amb el solc coronari que separa els ventricles de les aurícules. Tot seguit, hi ha un altre solc vertical anomenat interventricular anterior (recta discontinua grossa a la figura 8).
- **Zona mitjana o pedicular:** El primer component que s'observa és el tronc de l'artèria pulmonar. Rere seu, es troba l'origen de la gran artèria aorta. Veure la figura 9, la línia discontinua marca la regió.
- **Zona superior o auricular:** Format per la cara anterior de les aurícules. L'àrea marcada de blau a la figura 9 envolta l'artèria pulmonar i la gran artèria aorta.

Per entendre de manera més esquematitzada la configuració de les cares, cal considerar l'annex I.

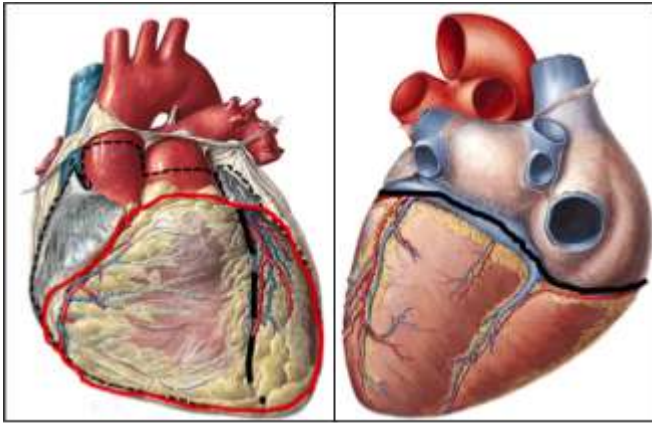


Fig. 8. Cara anterior del cor amb delimitacions dels solcs i la zona inferior.

Font: Vídeo de YouTube – Dr. Carlos Andrés García amb edició pròpia.

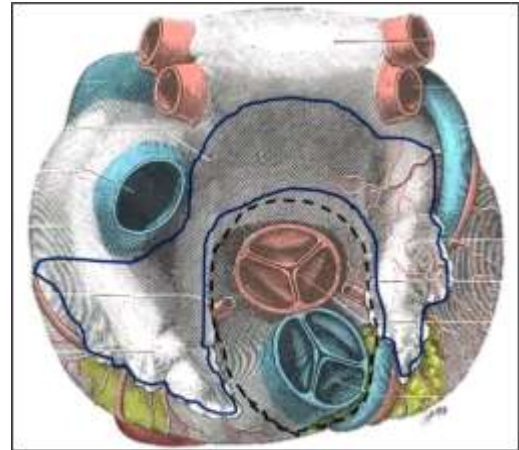


Fig. 9. Zona mitjana i superior de la cara anterior.

Font: Vídeo de YouTube – Dr. Carlos Andrés García.

INFERIOR O DIAFRAGMÀTICA: Establerta internament per una part dels ventricles dret i esquerre. Delimitat per un traçat discontinu a la figura 10. També es poden reconèixer solcs; el solc coronari (delimitació vermella), el solc interventricular posterior (ratlla verda) i un petit solc que separa les dues aurícules, l'interauricular (assenyalat amb una fletxa). En aquesta cara també es diferencien dues porcions; auricular (per sobre del solc interventricular) i la ventricular (per sota del solc interventricular).

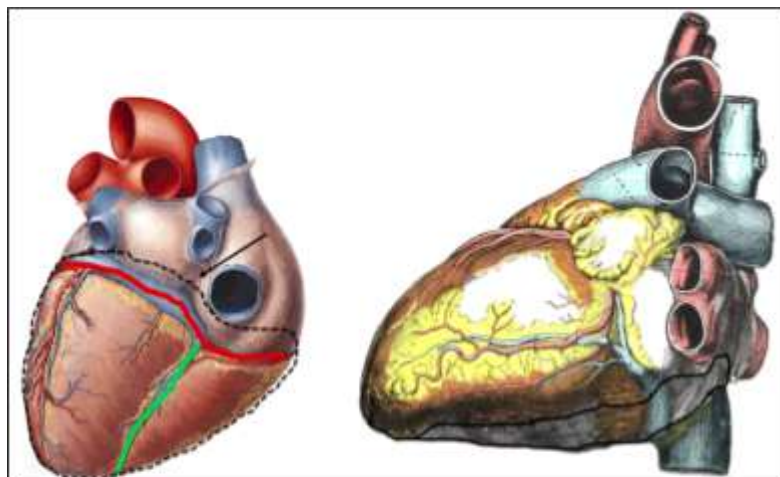


Fig. 10. Cara posterior amb solcs traçats.

Font: Vídeo de YouTube – Dr. Carlos Andrés García amb edició pròpia.

LATERAL ESQUERRA O PULMONAR: Es correspon internament amb el ventricle esquerre i una petita porció de l'aurícula esquerra. És considerat com una vora també, ja que passa a ser una vora completament quan el cor es contrau. Veure la part incolora de la figura 12.

Per entendre de manera més esquematitzada la configuració de les cares, cal considerar l'annex I.

A la figura següent es poden veure les dues cares principals de manera general:

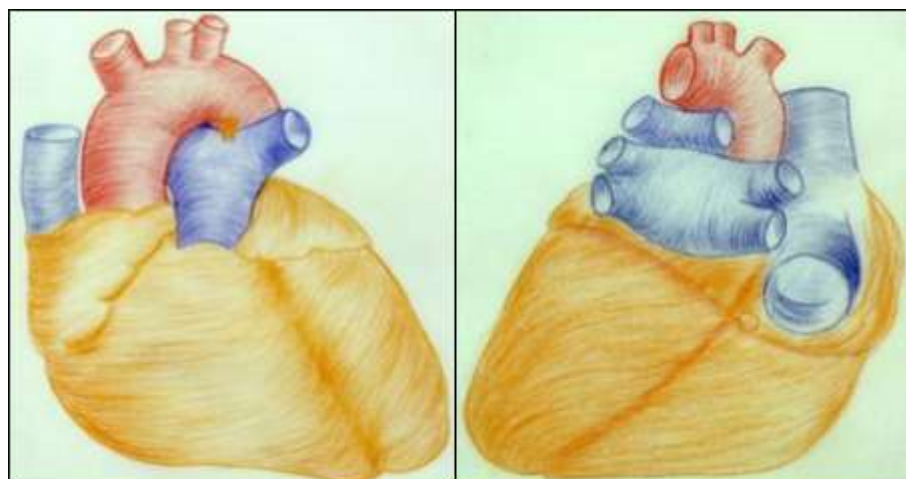


Fig. 11. Il·lustració de la visió anterior (esquerra) i posterior (dreta) en posició anatòmica destacant en color vermell i blau, l'origen de l'aorta i l'artèria pulmonar, i desembocadura de les venes cava i pulmonars, respectivament.

Font: Grupos.unican.es.

> 9.1.2 Vores

DRETA: Formada per la unió de la cara esterno-costal amb la cara diafragmàtica. Es pot veure a la figura 13 com recorre des del vèrtex fins a la desembocadura de la vena cava inferior.

SUPERIOR ESQUERRA: Correspon al color verd de la figura 12.

INFERIOR ESQUERRA:
Equival al color vermell de la figura 12.



Fig. 12. Cara lateral esquerra.
Font: Vídeo de YouTube – Dr. Carlos Andrés García.

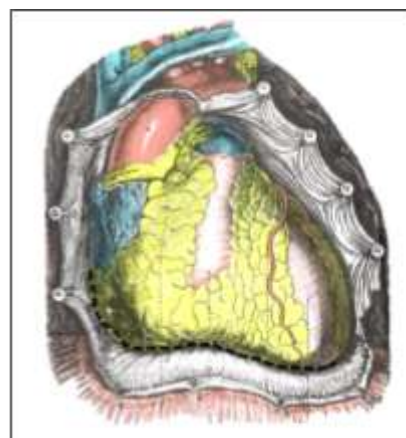


Fig. 13. Vora dreta delimitada discontinuament.
Font: Vídeo de YouTube – Dr. Carlos Andrés García.

Per entendre de manera més esquematitzada la configuració de les cares, cal considerar l'annex I.

> 9.1.3 Base

A vegades considerada com la cara superior de l'òrgan toràctic.

Constitueix la part superior d'ambdues aurícules. Analitzant el cor dret de la figura 14, destaca la vena cava superior i inferior (color blau clar assenyalat amb fletxes), les venes pulmonars dretes i esquerres (rosa en el cor dret i blau fosc en l'esquerre).

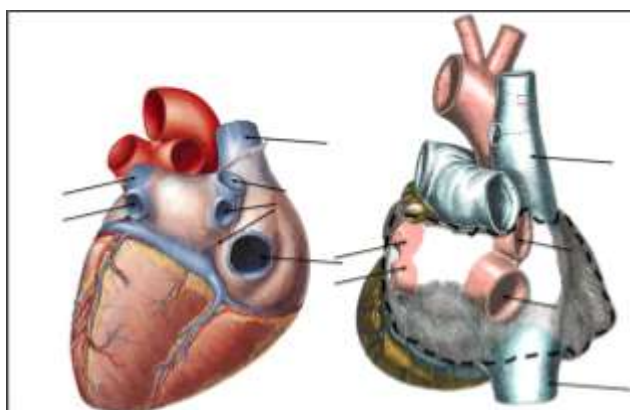


Fig. 14. Anàlisi de la base del cor.
Font: Video de YouTube – Dr. Carlos Andrés García.

> 9.1.4 Vèrtex o Àpex

Constitueix el punt de convergència de la cara anterior, la lateral esquerra i la diafragmàtica. Per tant, correspon a la part final dels ventricles.

L'àpex es troba en el cinquè espai intercostal, pròxim a línia mig clavicular (considerar la figura 15).

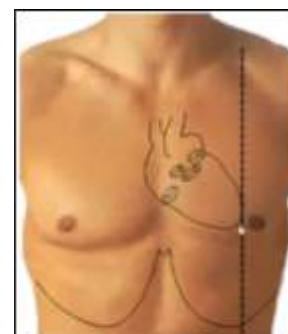


Fig. 15. Visió de l'àpex en un tòrax humà.
Font: Pinterest.com.

> 9.1.5 Solcs

Els envans o septes interns del cor el divideixen en quatre cambres (dos superiors o aurícules, i dos inferiors o ventricles), i donen lloc a depressions externes o superficials anomenats solcs. Els més importants són:

- **Solc interauricular.** Divisor de les aurícules. Se situa des de la vena cava superior fins al solc coronari (línia vermella de la figura 16). La bifurcació produïda pels dos solcs, interauricular i coronari, s'anomena creu del cor o cruix cordis.
- **Solc coronari.** Separador d'aurícules i ventricles. Es troba destacada pel contorn groc horitzontal de la figura 16. És interromput al mig pel tronc de les artèries pulmonars.
- **Solc interventricular.** Secciona els dos ventricles. Representada al cor de la dreta i el de l'esquerre de la figura 16 per línies gruixudes verticals rosa i negre, respectivament.

Per entendre de manera més esquematitzada la configuració de les cares, cal considerar l'annex I.

9.2. Morfologia externa

Relacionant els conceptes anteriors, des d'un punt de vista exterior, es veuen diferents elements que constitueixen el cor, entre ells:

- Dues venes caves (superior i inferior) que s'encarreguen de transportar la sang d'altres parts del cos cap al cor. La vena cava superior mobilitza la sang del cap, coll, braços i tòrax. En canvi, la inferior mou la de les cames, peus i tots els òrgans de l'abdomen i la pelvis.
- L'artèria pulmonar, que surt directament del ventricle dret, és el vas sanguini que porta la sang des del ventricle dret fins als pulmons.
- Quatre venes pulmonars que són les encarregades de transportar la sang oxigenada des dels pulmons fins a l'aurícula esquerra.
- L'aorta ascendent, que surt del ventricle esquerre, és una porció de l'aorta (artèria més gran) que trasllada la sang rica en oxigen a la perifèria corporal.
- Les artèries coronàries s'estenen des de l'artèria aorta i penetren el múscul cardíac per irrigar-lo i fer-li arribar la sang oxigenada.

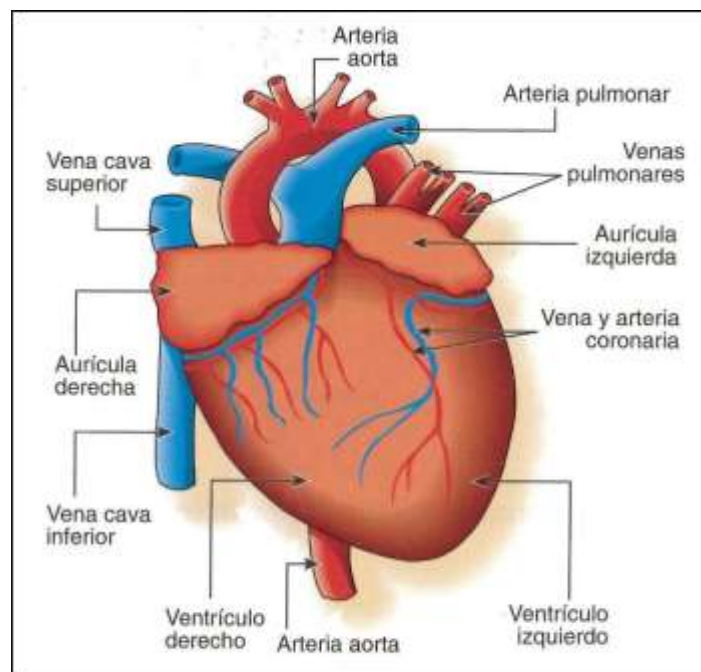


Fig. 18. Parts del cor externes. **Font:** Pinterest.com.

9.3. Capes

S'identifiquen tres cobertures de teixit, de dins cap enfora són:

ENDOCARDI

Membrana de cèl·lules epitelials que revesteix internament les cavitats per evitar el contacte directe de la sang amb el múscul. També cobreix les vàlvules.

MIOCARDI

La capa més gruixuda. Està formada de teixit muscular cardíac que ajuda a dur a terme la funció bombejadora del cor. Conté miosina que li permet ser contràctil. La capa mitjana és més gruixuda als ventricles respecte a les aurícules, ja que són els encarregats d'impulsar la sang i necessiten més potència (predominantment, el ventricle esquerre que envia la sang més lluny).

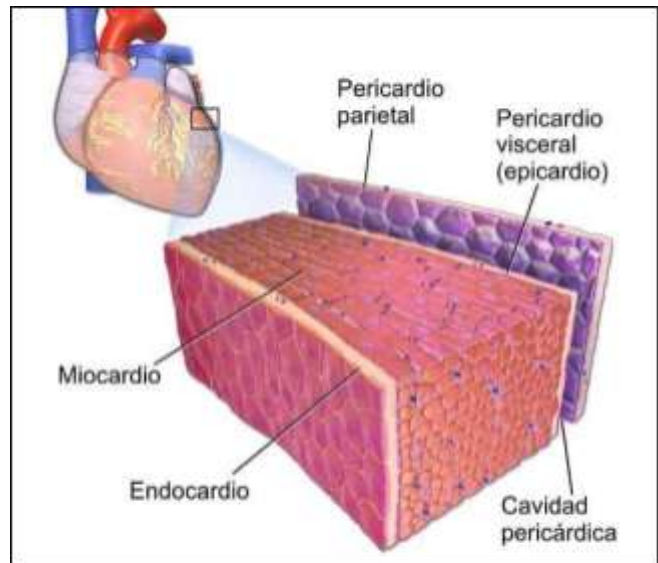


Fig. 19. Paret cardíaca. Font: Paradigmia.com.

EPICARDI

Capa de teixit conjuntiu molt fina formada per la làmina visceral del pericardi. Endemés, protegeix el miocardi de l'exterior.

PERICARDI

La zona més superficial de teixit conjuntiu que manté el cor dins del tòrax, per tant, no forma part d'ell. Les seves dues capes (parietal; més extern amb contacte de la paret toràcica, i serós o visceral; més intern en contacte amb el cor) són adjacents amb un petit espai entre elles anomenat cavitat pericàrdica on es troba el lubricant que amorteix la fricció dels moviments de l'òrgan.

9.4. Configuració interna

Intrínsecament, com es pot veure a la figura 20, es troben diversos components.

Per comprendre'ls de manera senzilla, s'ha dividit el cor en dues parts, la dreta i l'esquerra.

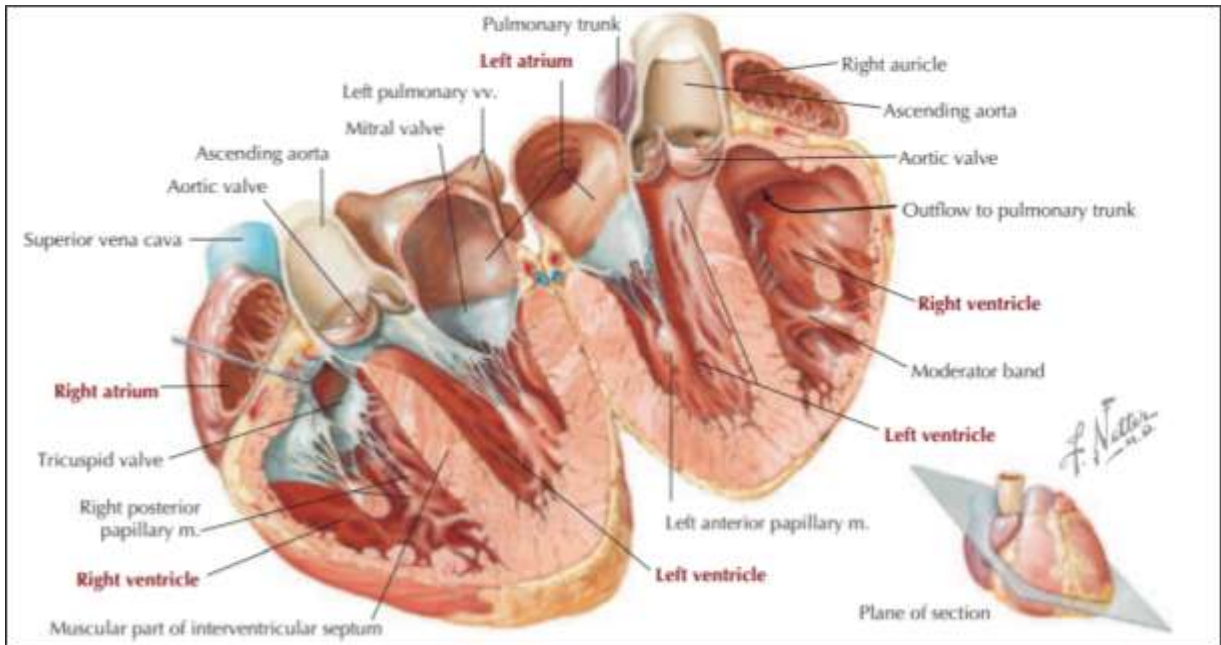


Fig. 20. Anatomia interna del cor. Font: Llibre – “Netter’s Clinical Anatomy”.

> 9.4.1 [El cor dret](#)

AURÍCULA DRETA:

Contemplant només en el costat dret de l'òrgan es pot visionar la vena cava, tant l'inferior com la superior, que drenen a l'aurícula dreta.

Analitzant aquesta aurícula, i considerant la figura 21, s'identifica primerament, la fosa oval. Seguidament, al seu costat, l'orifici del sinus coronari. A més, és important assenyalar els músculs pectinis, que duen a terme la comunicació valvular entre l'aurícula i el ventricle.

VÀLVULA TRICÚSPIDE:

És anomenada així per les seves tres valves (anterior, septal i posterior). Ajuda en la comunicació entre l'aurícula i el ventricle drets.

En el moment quan el cor es troba en sístole (contracció), s'obre. Per contra, en diàstole (relaxació), es tanca. Es pot visualitzar la clau de pas amb més detall a la figura 22.

VENTRICLE DRET:

Per començar es troben uns filaments musculars ancorats al ventricle que sostenen la vàlvula tricúspide, i assisteixen en el seu funcionament, són anomenats músculs papil·lars (anterior i posterior). Altrament, les cordes tendinoses creen la tensió adient pel correcte moviment de la clau de pas com es veu a la figura 21.

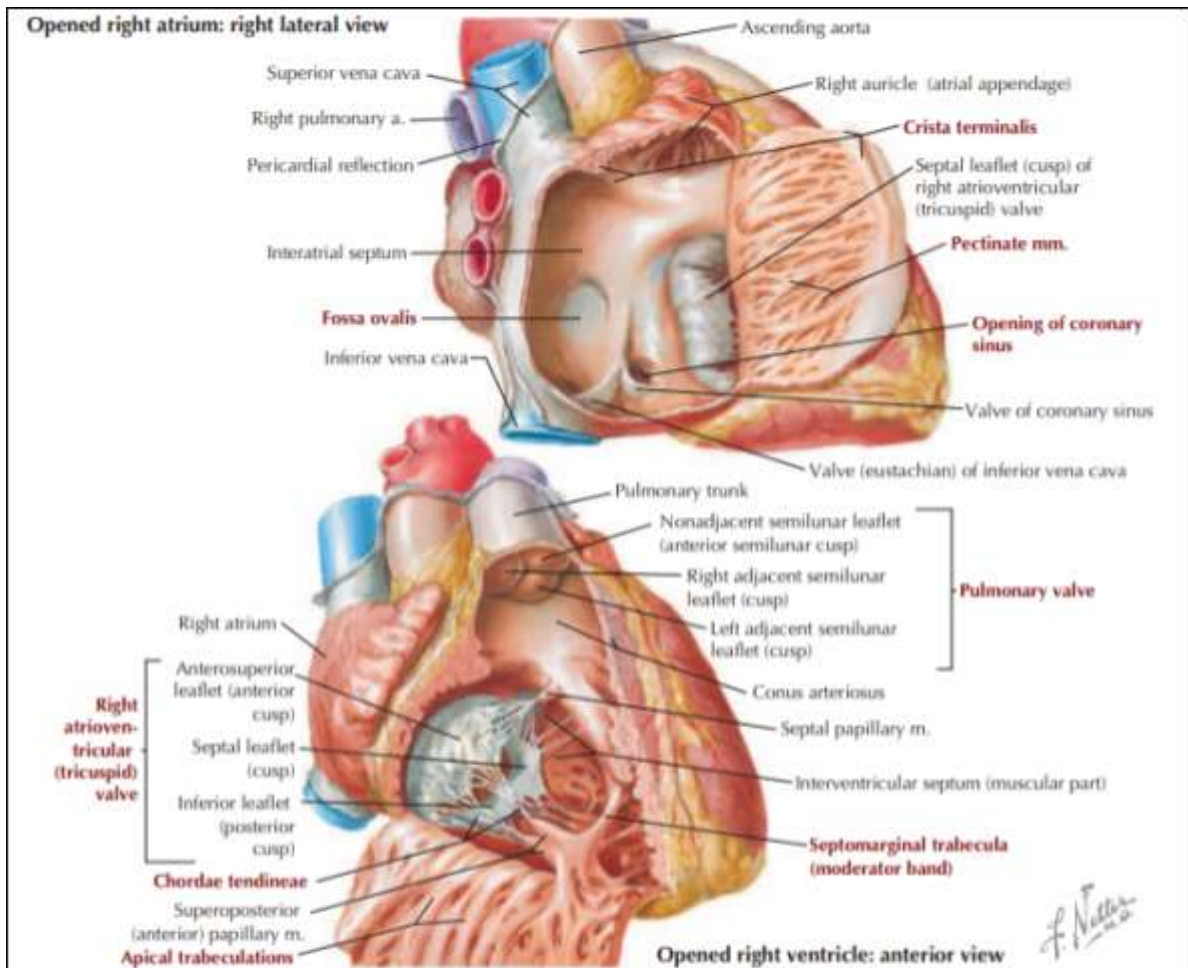


Fig. 21. Aurícula i ventricle drets oberts. **Font:** Llibre – “Netter’s Clinical Anatomy”.

VÀLVULA PULMONAR:

Adicionalment, per poder extreure la sang rebuda, un cop ja estigui plena la cavitat ventricular, hi ha la vàlvula pulmonar.

La clau de pas porta sang del ventricle dret als pulmons. Comporta el mateix funcionament que la vàlvula tricúspide quant al cicle cardíac (sístole i diàstole).

> 9.4.2 El cor esquerre

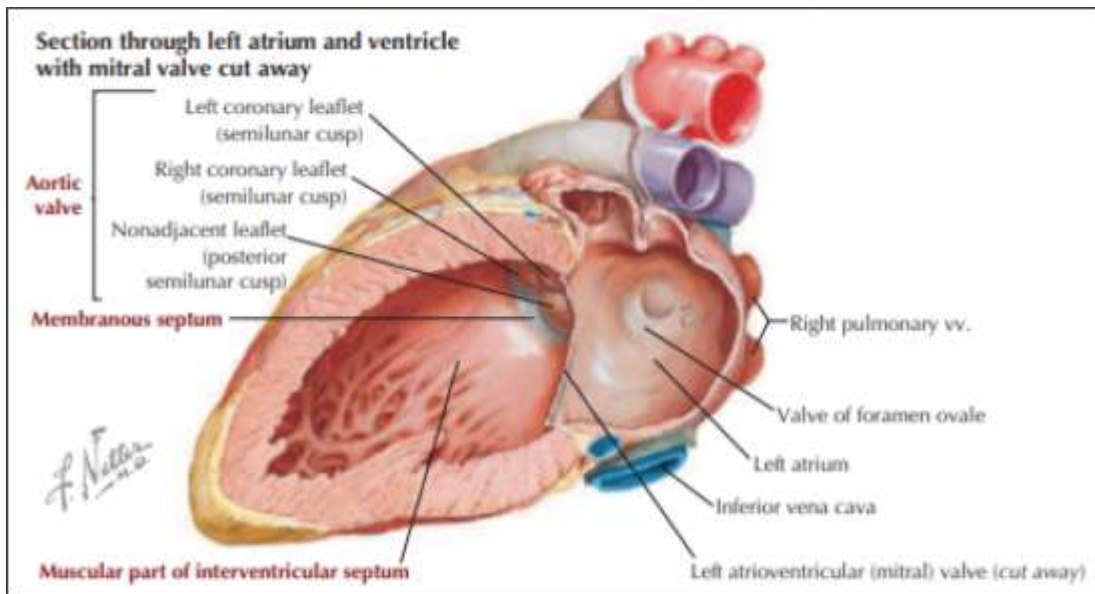


Fig. 23. Atri i ventricle esquerres. Font: Llibre – “Netter’s Clinical Anatomy”.

AURÍCULA ESQUERRA:

Un cop la sang ha arribat als pulmons, i s’ha oxigenat, torna a l’aurícula esquerra mitjançant les quatre venes pulmonars. Igual que a l’aurícula dreta, es troba la fosa oval.

VÀLVULA BICÚSPIDE O MITRAL:

De manera consemblant a la vàlvula tricúspide, els músculs papil·lars juntament amb les cordes tendinoses, maniobren l’obriment i tancament de la clau de pas.

La vàlvula mitral permet el pas de la sang al ventricle esquerre procurant que no retorni a l’atri. Per impedir el reflux tenen lloc les seves dues valves (anterior i posterior).

VENTRICLE ESQUERRA:

És el ventricle més fort, ample i llarg, ja que necessita més força per bombar a tot el cos.

D’igual manera, els músculs papil·lars són continuats per les cordes tendinoses per assolir una bona manipulació de les vàlvules. No obstant això, per aquesta cavitat, les cordes són molt més resistents.

VÀLVULA AÒRTICA:

Quan la sang ja s'ha acumulat en la cambra, s'encamina cap a la vàlvula aòrtica (més gran que la resta de claus per la gran quantitat de sang que ha de sortir).

Generalment, s'observen tres valves i comunica el ventricle esquerre amb l'aorta ascendent i, més endavant, amb tot el cos. Considereu la figura 22.

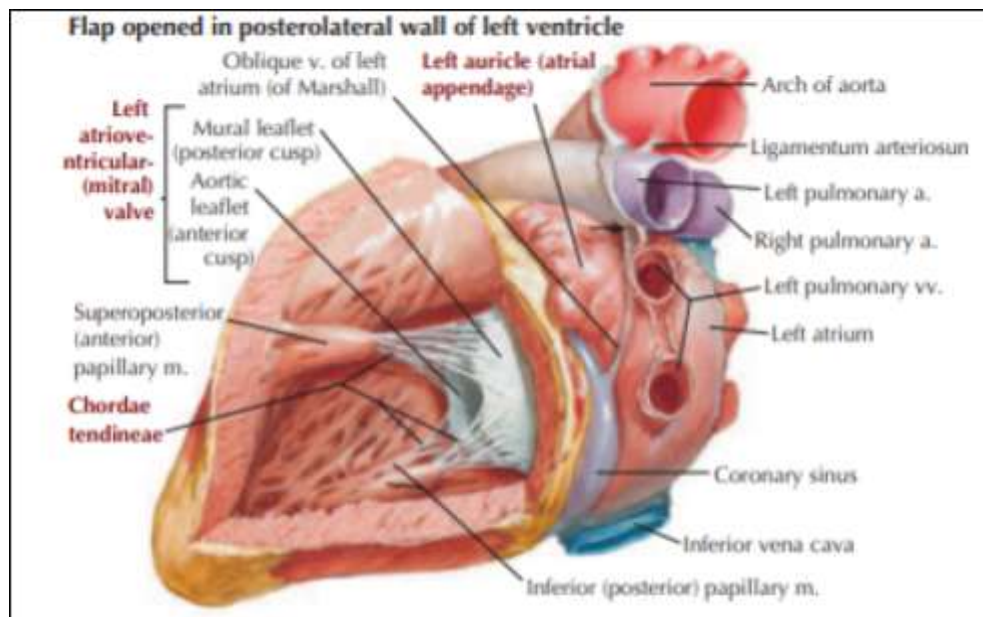


Fig. 24. Cavitat inferior esquerra.
Font: Llibre – “*Netter’s Clinical Anatomy*”.

9.5. Morfologia interna

Relacionant els conceptes anteriors, des d'un punt de vista interior, es veuen diferents elements que constitueixen el cor, entre ells, els que es poden veure a la figura 25.

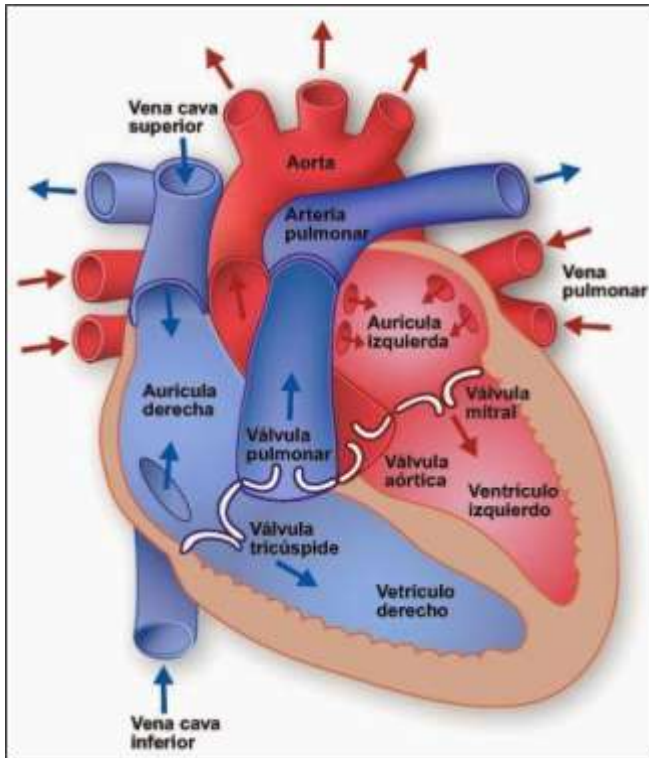


Fig. 25. Anatomia del cor interior. Font: Google.com.

Normalment, en totes les representacions d'aquest òrgan s'utilitzen dos colors oficials pels dos costats. Per una banda, el blau, que figura la part dreta. Per l'altre, el vermell, la part esquerra, tal com es veu a la figura 25. D'aquesta manera es diferencia el cor dret (aurícula dreta i ventricle dret – especialitzat en sang venosa) i esquerra (aurícula esquerra i ventricle esquerre – ocupat per la sang arterial). Aquestes diverses sangs mai es barrejaran gràcies als envans que els separen anomenats septes interventriculars (separació d'ambdós ventricles) i interauriculars (divisió marcada de les aurícules – aquest es

troba obert al fetus i es tanca al moment del naixement provocant la fosa oval prèviament comentada).

Es poden observar dos grups de cavitats a l'interior. El primer, i superior, conforma les dues aurícules o atris (rebedores de sang de la vena cava i les venes pulmonars). El segon, i inferior, representa els dos ventricles (especialitzats a extreure el fluid sanguini a través de les artèries). Les quatre cambres es connecten gràcies a les vàlvules. El cor es compon de dos grans grups d'aquestes. Entre cada aurícula i ventricle es troba una vàlvula auriculoventricular o atrioventricular. Entre l'aurícula dreta i el ventricle dret està la vàlvula tricúspide, i entre l'atri esquerre i el ventricle esquerre, té lloc la vàlvula mitral o bicúspide. Altrament, es consideren les dues claus de pas sigmoidals, semilunars o arterials. A diferència de les altres, aquestes, compleixen la funció de separar el ventricle dels vasos sanguins pels quals surt la sang. Quan el fluid arriba al ventricle dret, surt mitjançant l'artèria pulmonar. Pel pas de la sang es necessita una vàlvula, la pulmonar. Igualment, al ventricle esquerre, la sang que surt per l'aorta, utilitza la vàlvula aòrtica.

9.6. Conformació histològica

Com la resta de l'organisme, aquest òrgan està format per cèl·lules. Les seves es divideixen principalment en dos grans grups:

1. Miòcits o cèl·lules contràctils: Generen la contracció i la força contràctil que impulsa la sang per mobilitzar-se tant als pulmons com a la resta del cos.

Són cèl·lules individuals connectades entre si. La fusió de les membranes adjacents és formada per unions GAP.

Els nexes resultants ajuden al pas dels ions que desencadenen el potencial d'acció i permeten la seva divulgació. De manera que es crea una sinapsi elèctrica.

En atenció a això, és parcialment un sinciti; és a dir, el nom correcte seria sinciti funcional com el de la figura 27.

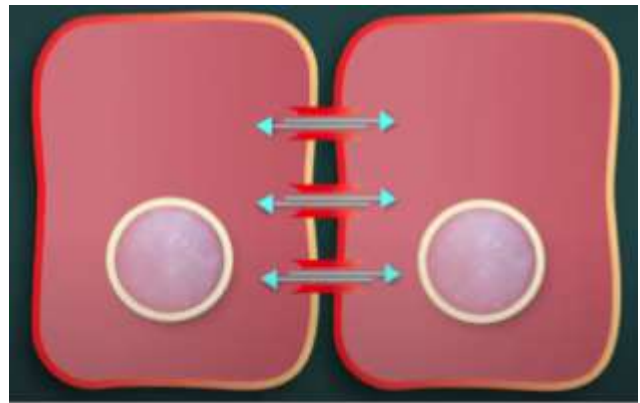


Fig. 26. Miòcits contràctils amb unions GAP.
Font: Vídeo de YouTube – *Facultad de Ciencias Médicas.*

2. Cèl·lules de l'aparell cardionector o del sistema de conducció cardíac:

Especialitzades en la generació i conducció de l'impuls elèctric. Tenen com a característica principal el desenvolupament d'un potencial d'acció sense estímuls exteriors; aquesta propietat s'anomena automatisme. Propaguen el potencial d'acció a la resta de cèl·lules per despolaritzar (excitar) als miòcits.

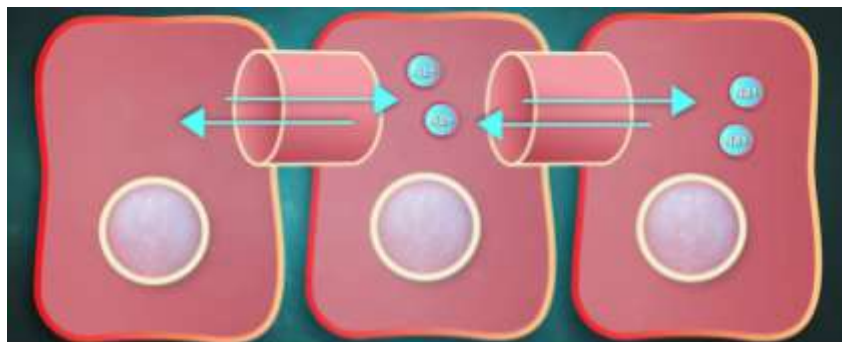


Fig. 27. Sinciti funcional dels miòcits.
Font: Vídeo de YouTube – *Facultad de Ciencias Médicas.*

> 9.6.1 Parts del sistema de conducció intrínsec

En primer lloc, com es mostra a la figura 28, es troba el Nòdul Sinusal o Sinoauricular (NSA) que se situa en la part posterior de l'aurícula dreta i constitueix una mena de marcapassos del cor (s'il·lustra de color verd a la figura 28). En segon lloc, el Nòdul Auriculoventricular (NAV) que, com ja indica, té lloc entre els atris i els ventricles del costat dret i es representa amb el color blau clar a la figura 28. A continuació, es localitza el Feix de His que travessa el septe interventricular (color rosa de la figura 28). Es bifurca en dues branques que pugen per les parets ventriculars. Tenint en compte que la cavitat esquerra és molt gran, es torna a ramificar en dos.

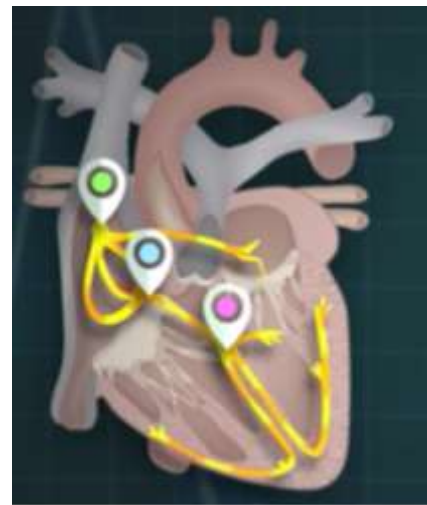


Fig. 28. Sistema cardionector.
Font: Video de YouTube – *Facultad de Ciencias Médicas.*

Finalment, totes les branques i bifurcacions es divideixen en petites fibres anomenades Fibres de Purkinje (FP). Les fibres arriben a tots els miòcits cardíacs per abocar l'impuls elèctric.

Aleshores, genera espontàniament impulsos elèctrics que transmet a les cèl·lules cardíques, la qual cosa produeix la contracció del miocardi, per tant, els batecs del cor.

El fet que la transmissió de l'impuls elèctric es produeixi seguit i no alhora, permet que s'efectuï la seqüència sístole-diàstole; on les aurícules es contrauen quan els ventricles estan relaxats i a l'inrevés. D'aquesta manera, el retard permet que la bomba cardíaca funcioni correctament.

> 9.6.2 Funcionament del sistema cardionector

Comença amb la despolarització més ràpida d'un grup de cèl·lules marcapassos trobades al Nòdul Sinoauricular. Aquestes comanen l'activitat elèctrica. La propagació del corrent es du a terme mitjançant la resta del sistema de conducció (Node auriculoventricular, Fes de His i Fibres de Purkinje). En darrer terme, arriba a les cèl·lules contràctils o miòcits que són capaces de generar la força contràctil per a cada batec.

9.7. Sistema de conducció cardíac

La difusió de la sang es pot dividir en dues parts:

Per un costat, la **circulació menor** o **pulmonar** que s'encarrega d'enviar la sang als pulmons perquè s'oxigeni i es generi l'hematosi (bescanvi de gasos). Durant aquest procés, la sang arriba a l'aurícula dreta, seguidament, passa al ventricle dret que l'impulsa fins als pulmons on es durà a terme l'intercanvi de gasos.

Per l'altre costat, la **circulació major** comença quan la sang retorna dels pulmons al cor, concretament a l'atri esquerre. Quan la cavitat ja està plena, traspassa al ventricle esquerre i és ejectada mitjançant l'aorta a la resta de l'organisme per nodrir els teixits. Aquesta, regresa a través de la vena cava inferior i superior per arribar a l'aurícula dreta i reiniciar el cicle.

> 9.7.1 Cicle cardíac

És tot el procés de successos des de l'inici d'un batec fins al començament de l'altre. Veure les fases a la figura 29.



Fig. 29. Fases generals del cicle cardíac representades icònicament.

Font: Vídeo de YouTube – *Mentes Mèdicas*.

Ompliment Passiu: Es comença el cicle amb les aurícules plenes de sang, d'aquesta manera, la pressió dels atris supera a la dels ventricles. Això comporta a l'obriment de les vàlvules auriculoventriculars. La sang flueix cap a les cavitats inferiors de manera passiva (d'acord amb el gradient de pressió; de major a menor pressió). Aquest flux du a terme el 80 % d'ompliment de les cambres baixes.

Ompliment Actiu o Sístole Auricular: En aquest moment és on les aurícules es contrauen per extreure la sang que queda en elles. Llavors, s'acaba completant el 20 % restant. La pressió de les aurícules continua sent major. Així, les vàlvules sigmoidals romanen tancades.

Contracció Isomètrica: És la fase que representa el començament de la sístole amb els ventricles plens totalment (120 mL de volum telediastòlic; quantitat que es troba al final de la diàstole).

Pel que fa a la pressió, la dels ventricles supera a la dels atris. El canvi en la pressió comporta el tancament de les vàlvules auriculoventriculars produint el primer soroll cardíac o R1.

El volum es manté constant perquè totes les claus es troben sense donar pas i aquest no es pot mobilitzar.

Ejecció: Es du a terme una contracció total dels ventricles i la pressió de les cavitats inferiors supera a la de les artèries. Comportant així, l'obriment de les vàlvules semilunars i el bombament de la sang a la resta del cos. La quantitat de sang que és expulsada conforma 70 mL (volum sistòlic).

Relaxació Isomètrica. La musculatura del cor se suavitza, així es prepara per rebre sang. La quantitat més gran de fluid a l'òrgan es troba a les artèries, augmentant la seva pressió respecte a les altres cavitats. A causa del funcionament a gradient, la sang intentarà retornar als ventricles. No obstant això, les vàlvules, es tanquen i no ho permeten. Aquest últim acte dona lloc al segon soroll cardíac o R2. El volum telesistòlic, al final de la sístole, és de 50 mL.

Aquesta informació del cicle cardíac es pot entendre intuïtivament al diagrama de la figura 30, i servirà per poder realitzar el prototip més endavant.

> 9.7.2 Sístole i diàstole

La línia diagonal entre els punts D i B del gràfic de la figura 30 del cicle cardíac permet la divisió de les dues grans fases del cicle cardíac.

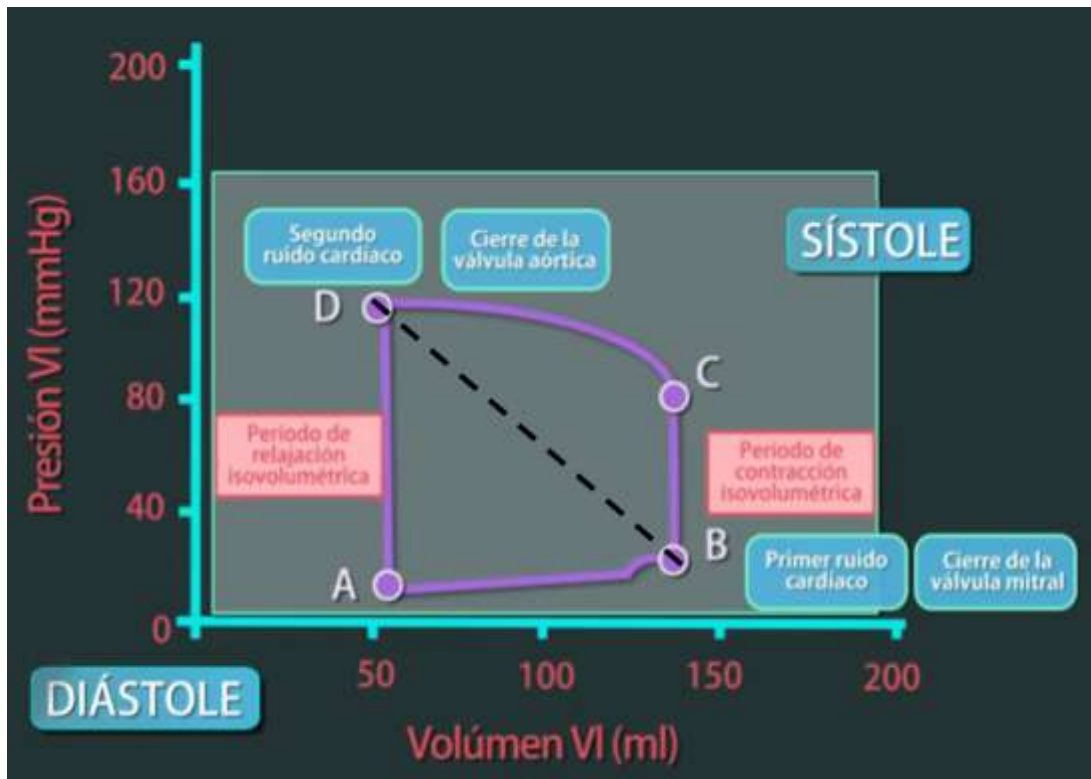


Fig. 30. Diagrama pressió-volum del cicle cardíac.

Font: Video de YouTube – Facultad de Ciencias Médicas amb edició pròpia.

D'una banda, la **sístole**. Equival a la contracció del cor on es bomba la sang cap a l'organisme. Comença amb el període de contracció isomètrica (on l'òrgan ja es troba contret, però la sang encara no ha sigut expulsada) i seguidament, en resulta el període ejectiu.

D'altra banda, la **diàstole**. Corresponent a la relaxació del múscul on rep la sang (des del punt B fins al D; relaxació isomètrica). En altres paraules, quan torna a emplenar-se i determina la seva fase d'ompliment on el cor es troba relaxat.

> 9.7.3 Volum sistòlic

Especifica la quantitat de sang impulsada en cada fase sistòlica. No es pot veure clarament al gràfic, de totes maneres, es pot calcular amb facilitat, restant el volum residual del ventricle i la quantitat que s'omple per ser desplaçada. És a dir, $120 \text{ mL} - 50 \text{ mL} = 70 \text{ mL}$, ergo, la quantitat de sang bombada per un ventricle a cada batec.

> 9.7.4 Irrigació cardíaca

Les cèl·lules del teixit cardíac, igual que la resta de cèl·lules de l'organisme, necessiten l'aportació de nutrients i oxigen per viure i assolir les seves funcions. No poden agafar aquestes substàncies de la sang de l'interior del cos, ja que circula a molta velocitat.

Per això, la bomba cardíaca disposa d'un sistema de vasos sanguinis anomenat circulació coronària que s'encarrega de fer les funcions següents:

- **Artèries coronàries:**

1. Nodreixen les cèl·lules i aporten oxigen.
2. Neixen a l'inici de l'artèria aorta. Quan aquesta surt del cor es ramifica en dues artèries coronàries principals, la dreta i l'esquerra que envolten l'òrgan com si fossin una corona per assegurar l'intercanvi en totes les cèl·lules.

- **Venes coronàries:**

1. Recullen la sang que prové de les cèl·lules cardíques després de l'intercanvi amb els productes d'excreció i diòxid de carboni.
2. La sang s'aboca directament a l'aurícula dreta a través del sinus coronari.

Es poden veure il·lustrades a la figura 31:

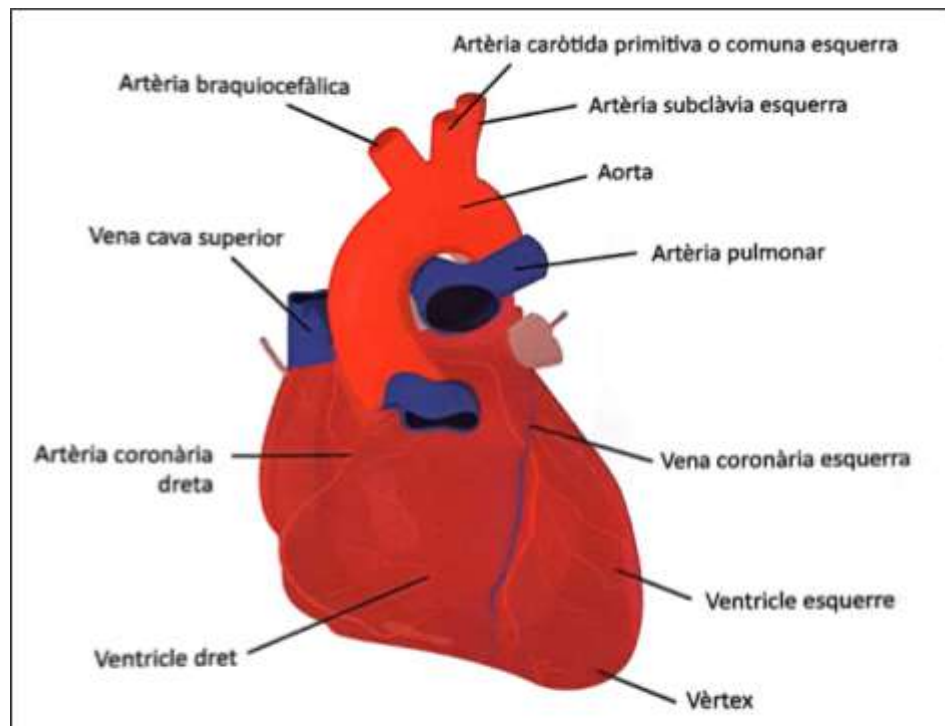


Fig. 31. Circulació coronària.

Font: Llibre – "Anatomofisiologia i Patologia Bàsica".

10. Sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular o aparell circulatori del cos es compon del cor, la sang (plaquetes, glòbuls vermells i blancs i plasma), els vasos sanguinis (artèries i venes) i el sistema limfàtic (també part del sistema immunitari com a col·laborador o sistema auxiliar). Junt amb aquest últim, els vasos i el cor, formen el sistema circulatori.

Les cèl·lules necessiten nutrients per dur a terme les reaccions metabòliques per viure i funcionar, tal com s'ha comentat a l'apartat 8.4, com a resultat, han d'eliminar els productes de rebuig. Aquest intercanvi el fa l'aparell circulatori. El sistema cardiovascular té un paper fonamental en el manteniment de l'homeòstasi.

10.1. Vasos sanguinis

Cada organisme, tant humà com animal, els conté per poder circularitzar la sang al cos, i també l'ajuden a arribar al cor o d'aquest mateix a altres parts de l'individu. Els tres tipus més rellevants són les artèries, els capil·lars i les venes.

ARTÈRIES. La sang oxigenada es transporta des del cor en vasos molt grans amb parets dures i grosses. Gràcies a la seva elasticitat són capaços de resistir les altes pressions del bombeig. Les seves ramificacions s'anomenen arterioles.

La sang del ventricle dret surt mitjançant l'artèria o tronc pulmonar que es divideix en les artèries pulmonars dreta i esquerra, que s'encarreguen de transportar la sang cap als pulmons.

En canvi, el fluid del ventricle esquerre surt per l'artèria aorta que distribueix la sang per la resta del cos.

Unes de les artèries principals que neixen a partir de l'aorta, són les artèries coronàries que irriguen el cor.

La conformació de les artèries es divideix en tres capes principals que es troben representades a la figura 32:

- Una capa externa de teixit connectiu.
- La cobertura mitjana de múscul suau.
- El revestiment interior de teixit endotelial.

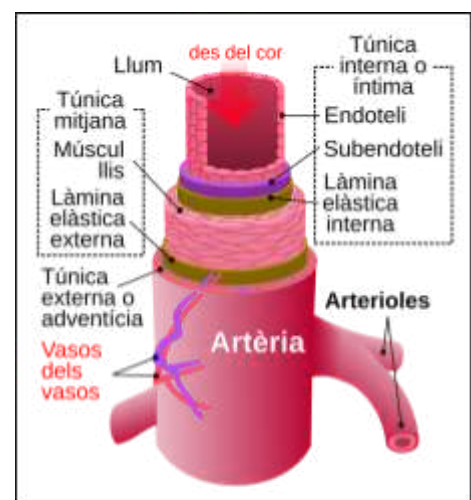


Fig. 32. Estructura de l'artèria.

Font: Viquièdia.org.

CAPIL·LARS. La seva mida és microscòpica. S'encarreguen de dur a terme l'intercanvi de substàncies importants i deixalles. El fet que la superfície exterior sigui formada únicament per una cèl·lula de grossor (endoteli) i la circulació lenta de dins, facilita el bescanvi de materials amb les cèl·lules del cos i la sang mitjançant la difusió.

VENES. A comparació de les artèries, les venes contenen unes parets endotelials molt més fines. Les ramificacions dels capil·lars, anomenades vènules, porten la sang cap a les venes com es mostra a la figura 33. Aquesta sang desoxigenada rebuda, la tornen al cor a través dels atris.

A l'aurícula dreta arriben:	A l'aurícula esquerra arriben:
<ul style="list-style-type: none"> - <u>Vena cava superior</u>: Porta la sang que prové del cap, extremitats superiors i tòrax. - <u>Vena cava inferior</u>: Recull la sang de la resta del cos. - <u>Sinus coronari</u>: Aboca directament a l'atri la sang venosa del teixit cardíac. 	<p>Les quatre venes pulmonars (dues dretes i dues esquerres).</p>

D'afegitó, la pressió sanguínia disminueix quan es mobilitza pels capil·lars abans d'entrar a les venes. Els conductes més grans del cos tenen plecs de teixit anomenats vàlvules. Les claus de pas regulen el flux de la sang i no permeten que aquesta flueixi de tornada.

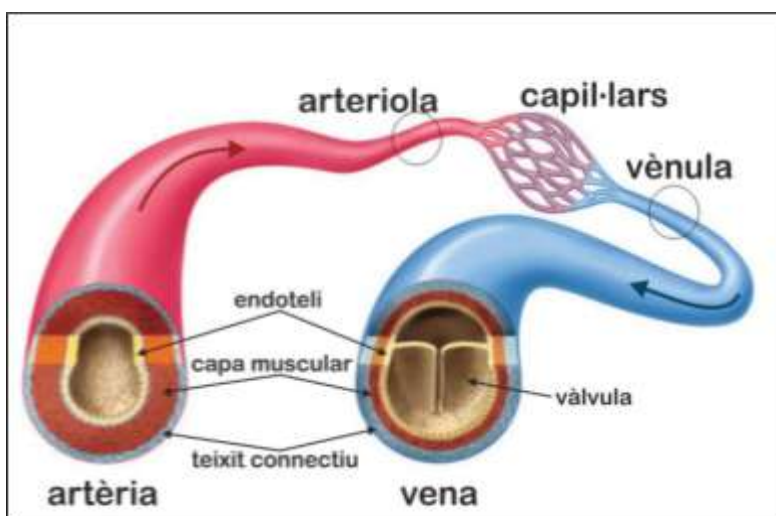


Fig. 33. Relació dels vasos sanguinis.
Font: Tema 3 – “Fpaontinyent.com”.

Des d'un punt de vista histològic les venes i les artèries estan formades per tres capes, però les seves característiques varien segons el vas sanguini:

- **Capa íntima o endoteli:** Conté elastina, sobretot a les artèries per proporcionar elasticitat i adaptació al volum sanguini. Gràcies al fet que està en contacte directe amb el flux sanguini, la seva integritat, actua com anticoagulant. Aquest mateix, a les venes, origina les vàlvules venoses.
- **Capa mitjana:** Es tracta de teixit muscular llis de contracció involuntària amb fibres elàstiques. És molt més gruixuda a les artèries i arterioles que no pas en les venes i vènules.
- **Capa adventícia:** Capa més externa del teixit connectiu que aïlla el vas sanguini de la resta dels teixits. És una mica més gruixuda a les venes.

A la figura 34 es comparen les estructures dels vasos sanguinis esmentats.

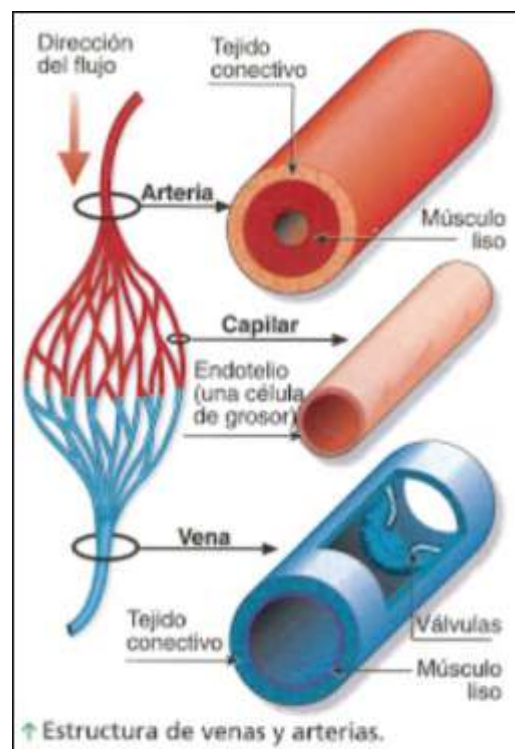


Fig. 34. Capes dels vasos sanguinis.

Font: Educacioidigital.cat.

10.2. Flux sanguini

És important distingir els dos circuits pels quals flueix la sang per poder identificar els vasos sanguinis pel qual es desplaça.

1. **SANG DESOXIGENADA:** El costat dret del cor bomba sang desoxigenada als pulmons. Quan arriba a l'aurícula dreta, conté una baixa concentració d'oxigen. Per contra, inclou molt diòxid de carboni. Aquest fluid es troba de color vermell obscur. Per poder transportar-la als pulmons, passa a través del ventricle dret i les artèries pulmonars. Posteriorment, flueix cap als capil·lars dels pulmons, que es troben en contacte amb l'aire que entra als pulmons. L'aire conté molta més quantitat d'oxigen que la sang dels capil·lars, per tant, aquest, es difon dels pulmons cap al fluid. Alhora, el diòxid de carboni es dissemina en direcció oposada (de la sang cap a l'espai d'aire dels pulmons).
2. **SANG OXIGENADA:** El cor esquerre bomba el fluid oxigenat a la resta del cos. El fluid, prèviament oxigenat, ara de color vermell brillant, flueix cap a l'aurícula esquerra del cor per ser bombada cap a tot el cos. El procés és dut a terme pel ventricle esquerre i l'artèria més gran del cos, l'aorta. A continuació, la sang es transporta pels capil·lars que es ramifiquen per tot l'organisme. D'aquesta manera es pot alliberar l'oxigen a les cèl·lules corporals mitjançant la difusió. Igualment, el diòxid de carboni passa de les cèl·lules a la sang. Un cop desoxigenada i, plena de diòxid de carboni, retorna a l'atri dret a través de les venes.

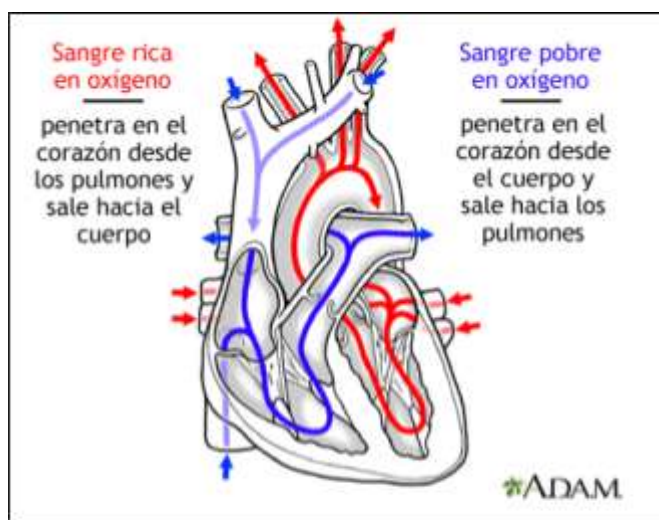


Fig. 35. Circulació de la sang a través del cor.

Font: MedlinePlus.gov.

10.3. Sistema limfàtic

Tan aviat com s'ha produït el bescanvi de gasos, nutrients i deixalles als capil·lars sanguinis, part de líquid intersticial (fluid a l'espai entre cèl·lules) no pot ser retornat al sistema sanguini. El fluid romanent es drena pel sistema limfàtic. Des del moment que passa dels teixits intersticials als vasos limfàtics, se l'anomena limfa.

> 10.3.1 Estructura

És format per un líquid clar anomenat **limfa** que flueix a l'interior dels vasos limfàtics, a la medul·la òssia i altres components o òrgans que contenen teixit limfàtic. La limfa es constituïa per l'excés de líquid extracel·lular (LEC).

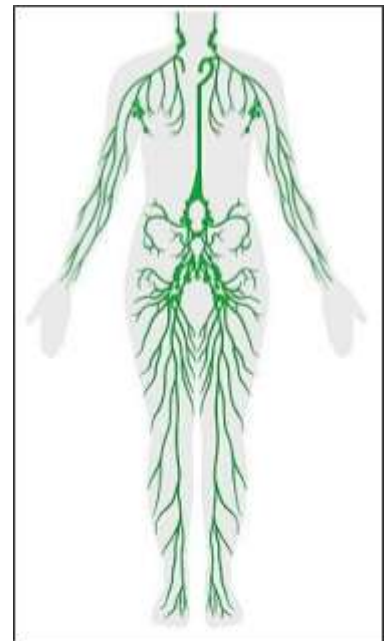


Fig. 36. Sistema limfàtic.
Font: Es.wikipedia.org.

Els **vasos limfàtics** són el resultat de la interconnexió dels capil·lars limfàtics (trobat als espais intersticials). L'estructura és semblant a la de les venes. Tanmateix, tenen unes parets molt més fines i un major nombre de vàlvules per afavorir el flux unidireccional de la limfa.

Altrament, els **capil·lars limfàtics** tenen un diàmetre lleugerament major que els sanguinis, i una estructura que permet que el fluid d'entre les cèl·lules sigui capaç d'entrar però no de sortir. Aquests vasos es van unint fins a confluir al tòrax com a dos grans vasos, la vena limfàtica i el canal toràcic. Finalment, aquests, els aboquen a les venes subclàvies.

Els extrems de les cèl·lules endotelials que formen la paret dels capil·lars se superposen. D'aquesta manera, quan la pressió és major al líquid que a la limfa, les cèl·lules se separen lleument com si fossin claus de pas. Llavors, el líquid penetra als capil·lars limfàtics.

Contràriament, quan la pressió a dins dels capil·lars és superior respecte al líquid intersticial, les cèl·lules s'adhereixen impedint que la limfa pugui tornar als espais intercel·lulars.

En tot el recorregut del sistema limfàtic se situen components defensius anomenats **ganglis**. Per poder eliminar patògens.

> 10.3.2 Funció

Presenta tres funcions fonamentals:

1. Drenatge de líquid intersticial sobrant als espais dels teixits per retornar-lo al torrent. Enllaçat amb el sistema venós que equilibra l'aparell circulatori.
2. Transportació dels greixos de la dieta com els lípids o vitamines liposolubles per incorporar-los a la circulació general. Relacionada amb el sistema digestiu.
3. Protecció immunitària; és a dir, produint i transportant limfòcits (cèl·lules o leucòcits), i eliminant substàncies tòxiques o restes cel·lulars en el seu recorregut a través dels ganglis. Correlacionada amb el sistema immunitari.

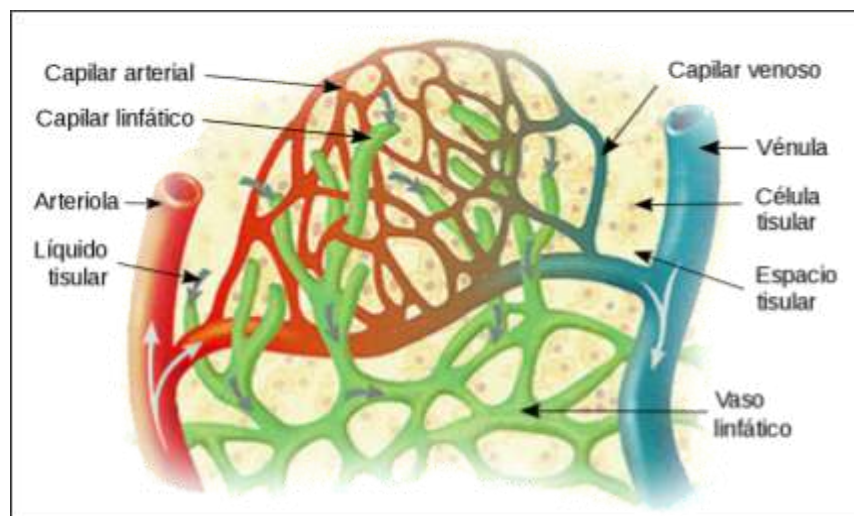


Fig. 37. Formació de la limfa des del líquid intersticial o tisular.

Font: Es.wikipedia.org.

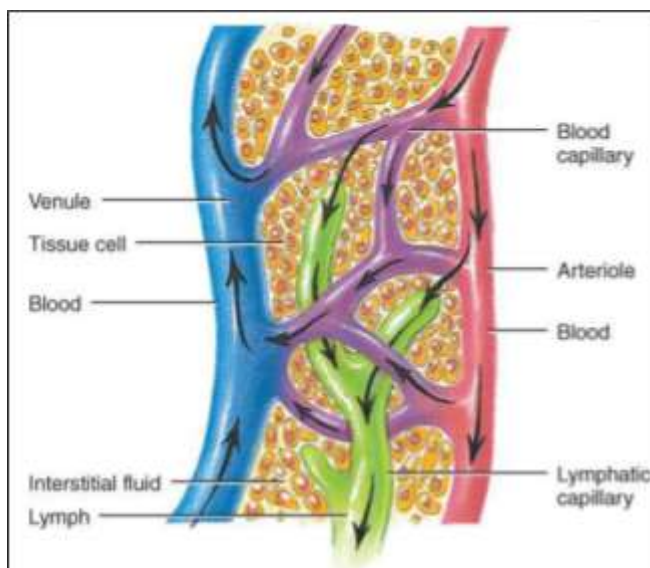


Fig. 38. Relació dels capil·lars limfàtics amb el teixit cel·lular i capil·lars sanguinis.

Font: PPT – Cosmolinux.no-ip.org.

El líquid (plasma) que s'escapa pels capil·lars (a causa d'un defecte natural de les pressions corporals) durant la circulació, se situa a l'espai d'entre les cèl·lules. Els vasos limfàtics el reabsorbeixen i el retornen al torrent sanguini. Alhora, com ha de passar per tot el recorregut limfàtic, els ganglis aprofiten per filtrar i eliminar microorganismes o cèl·lules anormals. D'aquesta manera es controla el líquid del cos i se'l protegeix.

Les malalties que engloben el cor s'anomenen cardiovasculars o CVDs. Per poder estudiar-les, la medicina crea una branca anomenada patologia. Dins d'ella s'inclouen, els símptomes, signes i causes.

El sistema circulatori és essencial per poder transportar oxigen i nutrients al cos mitjançant la sang i a través del cor. Si aquests no arriben o són deficientes, els teixits de l'organisme comencen a danyar-se. Endemés, segons l'OMS, aquest tipus de malalties normalment se centren en el conjunt de desordres relacionats amb el cor.

11. Semiologia cardiovascular

Cal tenir clars una varietat de conceptes claus sobre els símptomes i signes de les malalties:

- **Dispnea:** Dificultat per respirar. Aquesta pot ser en repòs (indica major gravetat), d'esforç (típica de la insuficiència cardíaca) i ortopnea (apareix en estirar-se).
- **Taquicàrdia:** Freqüència cardíaca per damunt dels valors normals (més de 100 batecs per minut).
- **Bradicàrdia:** Freqüència cardíaca per sota de la normal (menys de 60 batecs per minut).
- **Palpitació:** Percepció desagradable dels batecs del cor.
- **Síncope:** Pèrdua transitòria de consciència a causa d'una disminució del flux sanguini cerebral; ja sigui per un problema cardíac, circulatori o altres.
- **Edema:** Acumulació de líquid als teixits a causa d'un augment de la pressió venosa.
- **Cianosi:** Coloració blavosa a la pell i les mucoses a causa d'una manca d'oxigen (hipòxia).

12. Patologies cardiovasculars

12.1. Arrítmia

Engloben els trastorns de la freqüència o del ritme cardíac. S'hi diferencien:

- Alteracions de la freqüència (del pols): Taquicàrdia o bradicàrdia.
- Fibril·lació: Contracció ràpida, irregular i ineficaç.
- Extrasístole: Contracció cardíaca fora del ritme habitual (un batec de més).

12.2. Valvulopatia

Les patologies de qualsevol de les vàlvules del cor que no funcionen correctament; perquè no tanquen bé i permeten el reflux de la sang, o el pas que deixen és estret (estenosi), això impedeix la sortida completa del flux sanguini. Poden ser degudes a infeccions, traumatismes, envelliment, etc.

12.3. Insuficiència coronària

És la incapacitat de les artèries que irriguen el cor de fer arribar al teixit cardíac l'oxigen i els nutrients necessaris.

Principalment, és causada per l'obstrucció d'una artèria coronària i, majoritàriament, és conseqüència d'una aterosclerosi (acumulació de substàncies a les parets arterials).

De tota manera, qualsevol malaltia que disminueix el flux sanguini del múscul cardíac o que, per contra, augmenta les seves necessitats, pot causar un desequilibri entre la sang que irriga el cor i les demandes de les cèl·lules cardíques. Això resultaria en una cardiopatia isquèmica o, fins i tot, la mort cel·lular.

12.4. Cardiopatia isquèmica

També és anomenada com malaltia coronària o cardiopatia coronària. És una patologia on el cor no rep l'aportació de sang necessària de les artèries coronàries. La causa és una insuficiència coronària, generalment produïda per una aterosclerosi.

Les manifestacions d'una cardiopatia isquèmica són:

- **Angina de pit**

Al cor hi arriba una irrigació insuficient durant un període de dos a cinc minuts. Desapareix espontàniament amb repòs o amb nitroglicerina.

- **Infart de miocardi**

Igual que l'angina de pit, és produïda per una insuficiència de la irrigació, però de major durada i es produeix necrosis del teixit cardíac afectat (el que l'artèria obstruïda irrigava).

Les manifestacions impliquen sensació de gravetat i mort imminent.

12.5. Mort sobtada

Consisteix en una aturada cardíaca imprevista d'una persona sense cardiopaties i sana. Si l'individu no és atès immediatament (reanimació cardiopulmonar i desfibril·lador), mor en pocs minuts amb pèrdua de coneixement i aturada respiratòria.

12.6. Insuficiència cardíaca (IC)

Es produeix quan el cor no és capaç de bombar tota la sang a la resta de l'organisme. Els símptomes més comuns són cansament, dispnea d'esforç, ortopnea, edemes i augment de la pressió venosa.

Moltes patologies del cor acaben produint insuficiència cardíaca, com, per exemple, una cardiopatia isquèmica, una arrítmia o una valvulopatia.

13. Patologia vascular: Aneurisma

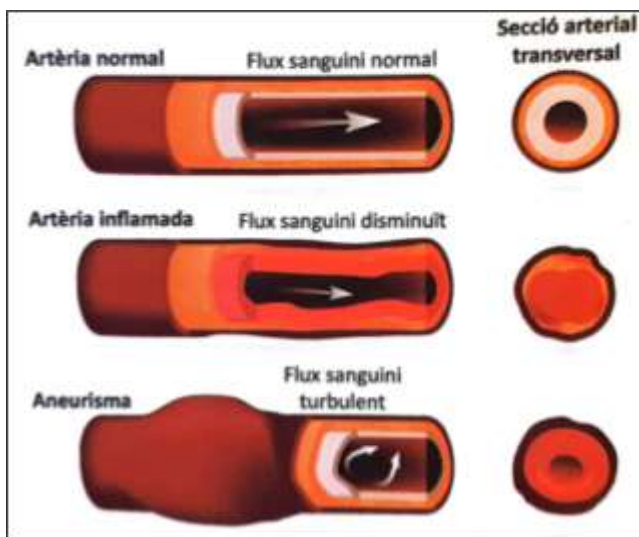


Fig. 39. Aneurisma.

Font: Llibre – "Anatomofisiologia i Patologia Bàsica".

Es tracta de la dilatació anormal i persistent d'un segment de paret arterial produïda per una debilitat del vas sanguini.

L'eixamplament facilita la formació de trombes (coàguls de sang en un vas sanguini) i èmbols (trombes que s'han desplaçat pel cos), a més, pot provocar la ruptura de l'artèria.

Considereu la figura 39 per comprendre visualment la malaltia.

13.1. Tractament quirúrgic. Reparació d'aneurismes

El tractament d'un aneurisma és principalment una cirurgia. Consisteix en el lligament d'aquesta dilatació o bé, si es troba molt afectat el vas sanguini, l'extracció del segment arterial eixamplat. Això implicarà que es reemplaci amb una pròtesi artificial.

En una cirurgia per reparar-lo abans que es trenqui se substitueix la secció debilitada del vas amb un empelt. No obstant això, si l'individu ha patit un atac cardíac on les parets dels ventricles s'han debilitat i, per tant, s'ha format un aneurisma ventricular esquerra, s'hauria d'intervenir a cor obert per extirpar la part danyada de la cavitat.

Per entendre algunes de les tècniques quirúrgiques, s'han de tenir en compte les figures 40 i 41.

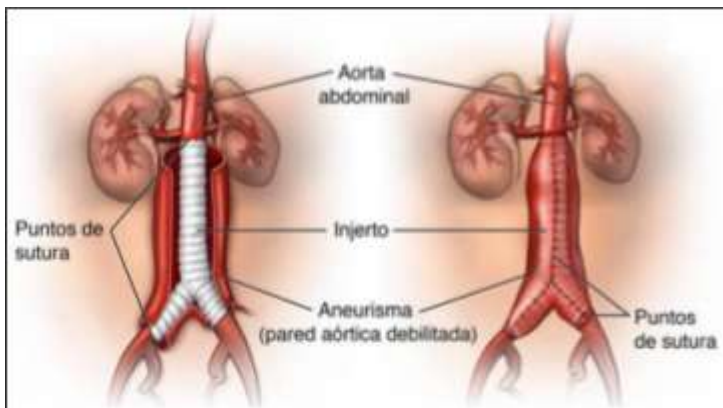


Fig. 40. Reparacions d'una aneurisma.
Font: Diariodenavarra.es.

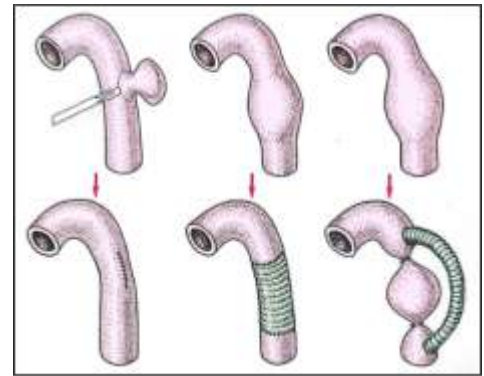


Fig. 41. Tractaments dels aneurismes arterials.
Font: Llibre – “Enciclopèdia de Medicina i Salut, Volum 3”.

IMPRESSIÓ BIOLÒGICA TRIDIMENSIONAL

La impressió tridimensional, també anomenada fabricació additiva, és un procés que genera objectes afegint un material a capes (corresponen a seccions transversals successives d'un model 3D). Aquest procediment pot funcionar amb qualsevol element, tant formigó, com teixit viu; com és el cas de la bioimpressió.

14. Impressora 3D

En aquest projecte s'ha fet servir la impressora "Ender-3", com es pot veure a la figura 42.

14.1. Estructura, funcionament i filaments de la impressora utilitzada

> 14.1.1 Mecànica de la impressora

Engloba tots els elements que es poden veure a simple vista. En aquest apartat, però, es presentaran els conceptes bàsics.

SISTEMA EXTRUSOR: És una de les parts més importants de la impressora, per què és la responsable de transformar el filament que surt de la bobina, escalfar-lo, per tant, fondre'l i, a més, extrudir i guiar-lo per crear les capes que formen la peça tridimensional.

Aquest mecanisme es compon per l'extrusor i el fusor:

Extrusor o Nozzle	Fusor
<p>Mou el filament per donar-li sortida a través del filtre.</p> <p>Els seus components són:</p> <ul style="list-style-type: none">● <u>Motor</u>: Exerceix la força per empènyer el filament.● <u>Dissipador de calor</u>: Es troba unit al motor.● <u>Engranatge de tracció</u>: Transmet el moviment del motor a través del filament.● <u>Rodament de pressió</u>: Exerceix pressió sobre el filament per proporcionar la continuïtat del seu moviment.	<p>S'encarrega d'escalfar el plàstic i guiar-lo per construir la peça sobre la cama o base.</p> <p>Es divideix en diferents peces:</p> <ul style="list-style-type: none">● <u>Hotend</u>: Escalfa el filament a la temperatura indicada per fondre'l.● <u>Sensor de temperatura</u>: Controla la temperatura d'extorsió.● <u>Filtre</u>: Orifici de sortida del filament que marca el diàmetre de l'extrusió.● <u>Ventilador</u>: Refreda el plàstic per evitar deformacions.

EIXOS: La majoria de les impressores no professionals, és a dir, les cartesianes, compten amb tres eixos (X, Y i Z). Cada eix transmet el moviment adequat per guiar al filament durant la sortida a través del filtre.

- Eix X. Desplaça l'extrusor d'un lateral a l'altre.
- Eix Y. Mou la plataforma d'impressió des del front cap endarrere i a la inversa.
- Eix Z. Arrossega l'extrusor verticalment (de dalt a baix i viceversa).

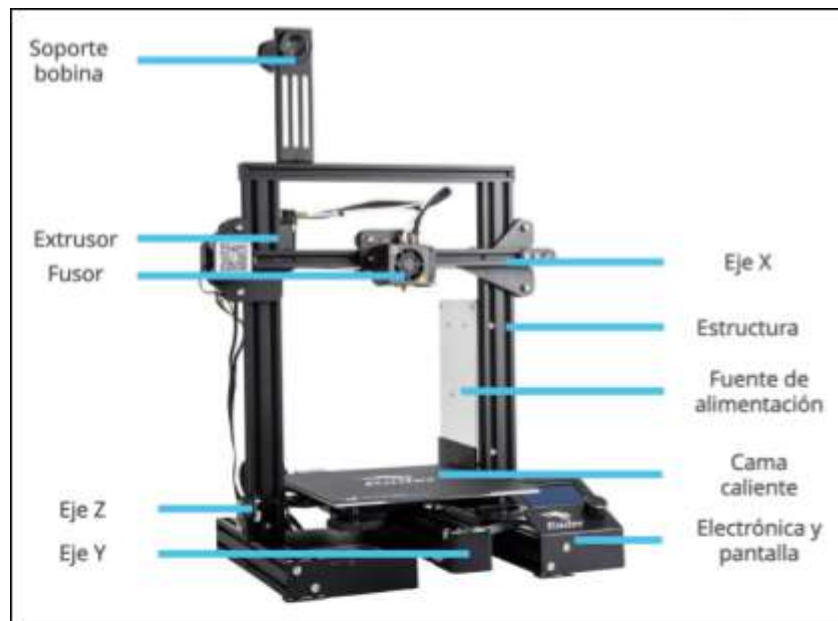


Fig. 42. Parts de la impressora 3D Creality Ender-3.

Font: Bitfab.io.

> 14.1.2 Electrònica de la impressora

Les impressores 3D utilitzen múltiples tecnologies de fabricació.

El que fan és crear un objecte amb tres dimensions, això ho aconsegueixen mitjançant la construcció de capes successives fins a obtenir l'objecte desitjat.

Aquest procés additiu es pot dur a terme, entre d'altres, amb un mètode d'addició de polímers (plàstics); l'emprat per poder imprimir el cor artíficia

14.2. Programes i paràmetres utilitzats

Per poder imprimir el cor artificial s'han seguit unes pautes. En aquest cas, s'ha fet servir el “procés normal” delimitat pel recorregut de fletxes blaves a l'esquema de la figura 43.

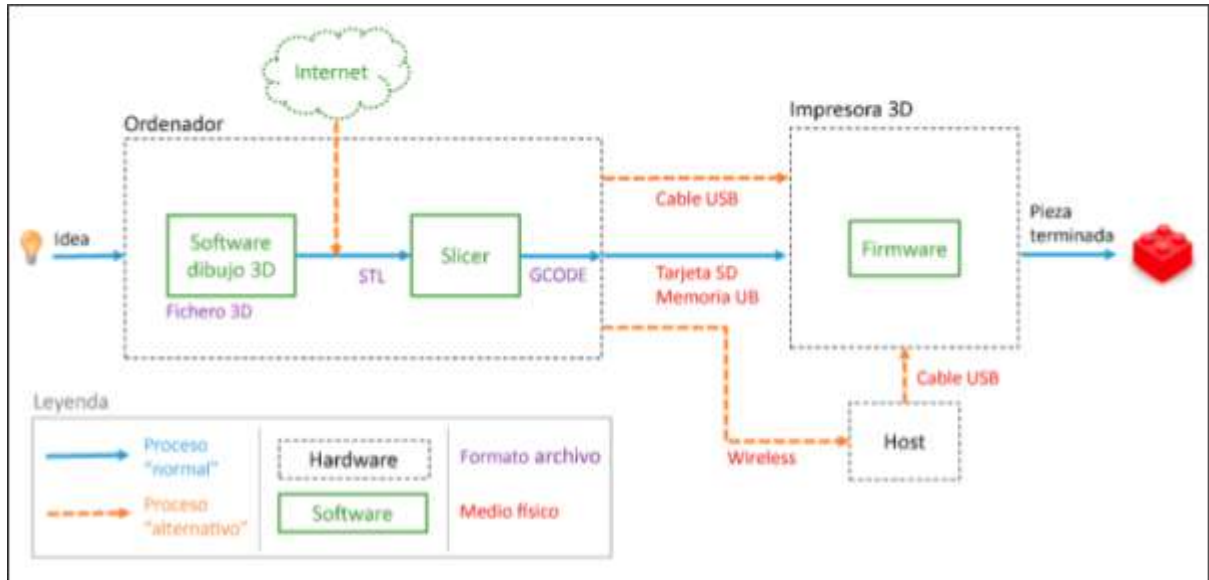


Fig. 43. Procés senzill de la impressió 3D que s'ha seguit per arribar al cor artificial.
Font: Luisllamas.es.

Abans de res, el format d'arxiu de l'estructura anatòmica del cor s'anomena **.STL** i ha sigut extret de la pàgina web www.cults3D.com on s'ofereixen models gratis per a impressores 3D. No obstant això, calia configurar adequadament alguns detalls per aquest treball.

Un dels programes de disseny fet servir per poder ajustar el model **.STL** és **Tinkercad**. Aquesta eina digital permet treballar amb dissenys bàsics, com poden ser les figures geomètriques. En el cas del cor, s'ha pogut dividir en dues parts com es pot veure a la figura 44. Així doncs, es pot assolir més detall en la impressió i, a més, ha sigut essencial per poder

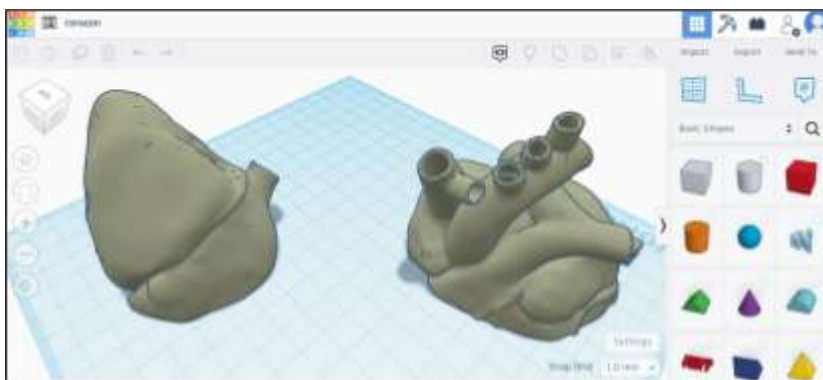


Fig. 44. Divisió del STL del cor amb Tinkercad.
Font: Pròpia.

automatitzar l'òrgan de manera sintètica (sense teixits biològics). D'aquesta manera, es pot muntar l'estructura interna que simularia la conducció intrínseca de manera senzilla.

A continuació, per poder imprimir s'ha utilitzat *Simplify3D*; una aplicació dissenyada per importar models des d'altres plataformes, modificar els paràmetres i enviar-los a una impressora 3D amb un codi de programació, anomenat G-Code, perquè la peça es pugui imprimir correctament. La pantalla electrònica que es pot veure a la figura 42 controla el moviment de l'estructura i fa que executi el codi que s'ha introduït amb Simplify3D.

Els paràmetres més rellevants per poder imprimir amb TPU són:

PARÀMETRE		Valor	Idees principals
Temperatura	Extrusor	215-235 °C	Es necessiten temperatures lleugerament més altes que amb PLA (filament rígid més comú). Són especificades pel fabricant.
	Cama o Base	0-40 °C	
Velocitat		35 mm/s	S'ha de reduir la velocitat, ja que el material flexible necessita un flux suau sense canvis bruscos que puguin provocar la descomposició del material i, com a conseqüència, encallar la bobina.
Multiplicador d'extorsió		1,15	Permet l'ajustament de la quantitat de material que surt pel filtre.

Un cop realitzada la part més tècnica, queda imprimir. Prosseguint amb el patró de la figura 43, descarreguem el G-Code a una targeta micro SD que pugui transmetre'ls a la impressora. Finalment, s'obté la peça mitjançant la fabricació additiva; el cor (es pot veure a l'annex II).

14.3. Filaments

Hi ha una diversitat enorme de filaments que es puguin fondre per crear un objecte nou. Tanmateix, en el cas d'un cor es necessita flexibilitat i capacitat de resistència a la tracció, ja que s'han de representar els batecs del múscul real. Per aquest cas, el material més adient hauria sigut la resina (SLA), perquè amb ell es poden assolir capes molt més detallades i precises, el que resulta rellevant per l'estructura interior de l'òrgan. A més, és altament resistent, pel fet que es parteix d'un líquid i no d'un filament sòlid.

Ara bé, com a substituent més econòmic i eficaç es troba el TPU (poliuretà termoplàstic). És un material flexible per realitzar peces elàstiques que es comporten com goma. Les seves característiques principals són la resistència a la tracció, la duresa i la resistència tèrmica.

15. Aplicació a la maqueta representativa

Com s'ha comentat prèviament als antecedents de la impressió biològica (apartat 6), per poder fer un cor funcional s'ha tingut en compte el treball del Nicholas H. Cohrs. De fet, s'ha intentat contactar amb ell sense èxit.

15.1. *sTAH: Soft Total Artificial Heart* – Cor artificial totalment tou

Investigadors del centre ETH Zurich (Suïssa) han desenvolupat un cor artificial amb materials tous que es pot imprimir 3D i, a més, batega com el cor humà. Actualment, però, es troba limitat a 3 000 batecs (equivalent 30 minuts) i amb un flux insuficient (4,5 L/min) que es podria millorar amb l'optimització dels materials emprats.

Es va dur a terme l'any 2018 per Nicholas Cohrs, estudiant de doctorat en un grup dirigit per Wendelin Stark, professor d'enginyeria de materials funcionals.

A diferència del cor humà, que és un múscul tou, la bomba de sang artificial fins ara, s'ha construït amb materials rígids. Aquests dispositius no poden imitar el funcionament dels humans realment, per culpa de les limitacions de les propietats dels materials.

Per primer cop a la ciència, s'introdueix el cor artificial totalment tou (*sTAH: Soft Total Artificial Heart*). La tesi de Cohrs descriu les possibilitats d'aplicar elastòmers (polímers elàstics) de silicona barrejats amb Bioglass® per les pròtesis cardíacques.



Fig. 46. *sTAH: Soft Total Artificial Heart*. Prototip cardíac de Nicholas Cohrs.
Font: ETH Zurich Research Collection (tesi doctoral de Nicholas Cohrs).

> [15.1.1 Funcionament](#)

El dispositiu és accionat per aire a pressió, tota l'estructura del *sTAH* es mou durant el batec, donant a terme una situació similar a la del cor humà. Així mateix, s'ha pogut validar amb una circulació simulada híbrida (combinació de simulacions per ordinador i proves de laboratori físiques), figurant així, el sistema cardiovascular.

La figura 47 mostra el disseny del *sTAH* a partir de l'òrgan humà real. Tanmateix, el seu model exclou l'aorta, l'artèria pulmonar i les venes pulmonars i caves, per reduir la complexitat del sistema. Endemés, a l'interior, només es troben dos ventricles, el dret i l'esquerre; és a dir, prescindeix de les aurícules.

Entre totes dues cavitats es troba una cambra d'expansió accionada neumàticament que permet el bombeig sanguini simultani des d'ambdós ventricles. Per poder controlar la inflació i la desinflació d'aquesta nova cavitat, s'han afegit quatre ports d'entrada al cor (dos a l'apex i dos a la part posterior).

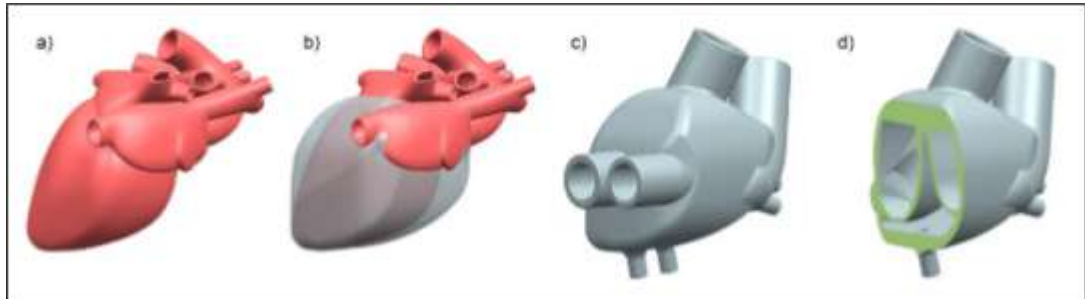


Fig. 47. Il·lustració del procés de disseny del cor artificial.
Font: *ETH Zurich Research Collection* (tesi doctoral de Nicholas Cohrs).

La cavitat d'expansió permet dur a terme el sistema de conducció cardíac en les seves dues parts:

- **Sístole (figura 48.a):** L'aire pressuritzat infla la cambra d'expansió, desplaçant així, la sang dels ventricles, dret i esquerre, i produint un flux pulsatiu cap a les artèries aorta i pulmonar, respectivament.
- **Diàstole (figura 48.b):** La pressió en la cavitat d'expansió s'alleugera, el que provoca una caiguda de la pressió en els ventricles i, finalment, dona lloc a la forma inicial del cor on s'omplen les cambres amb sang (conduïdes per les vàlvules cardíacues; les de sortida es tanquen i les d'entrada s'obren).

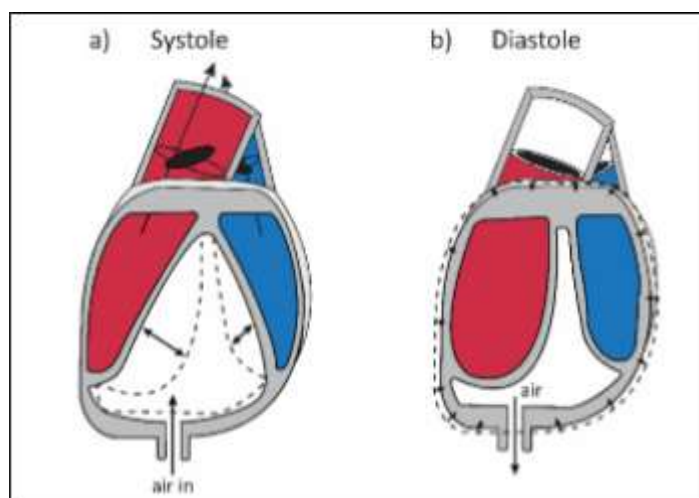


Fig. 48. Representació de l'accionament del cor artificial.
Font: *ETH Zurich Research Collection* (tesi doctoral de Nicholas Cohrs).

15.2. CA: Cor artificial del TdR

Aplicant tots els coneixements previs, s'ha pogut realitzar el prototip o maqueta representativa.

> 15.2.1 Model anatòmic

Per portar a terme el recorregut de la sang a l'interior del cor, sense les particions auriculoventriculars de l'òrgan real, s'ha assolit una divisió de tres cavitats:

- **Ventricle dret (VD):** Simula la cavitat que rep la sang desoxigenada del cos.
- **Ventricle esquerre (VE):** Representa la cavitat que rep la sang oxigenada dels pulmons.
- **Cambra d'expansió (CE):** Permet el bombeig simultani de les dues cavitats anteriors, per tant, ocupa més espai. Aquesta, funciona incorporant pressió amb bomba d'aire manual.

Tots dos ventricles es troben com a petites bosses de plàstic hermètiques i resistents a dins d'una altra bossa que es troba a l'interior del cor imprès a priori. Entre elles es troben adherides, però no unificades per no mesclar les dues sangs.

Per aparentar els pulmons, es fa servir un recipient de plàstic i una xeringa. Tot i que al sistema cardiovascular real, és un procés simultani de tots dos pulmons, i no dividit, per fer-ho entenedor i visual, es fa servir un recipient de plàstic amb líquid de color blau, que representa la sang desoxigenada rebuda del cor (recipient superior de la figura 49 que simbolitza els pulmons), i l'altra, amb una xeringa amb líquid de color vermell (sang oxigenada dirigida cap al cor).

El cos de l'individu a qui se li ha trasplantat el CA, s'il·lustra amb un altre recipient de plàstic i una altra xeringa. Al capdavant, uns tubs de plàstic transparents, imiten els vasos sanguinis de l'òrgan cardíac. Aquests marquen el recorregut del flux sanguini al sistema cardiovascular, per una part, del cor al recipient amb líquid blau, i de la xeringa amb líquid vermell, al cor (circulació menor), i per l'altre, des de la resta del cos fins al cor i viceversa (circulació menor). Per evitar el reflux sanguini, les vàlvules són figurades amb pinces que es podran posar i treure a conveniència. Altres detalls estudiats anatòmicament, com els atris, per exemple, no seran representats per la falta d'un model .STL adequat amb els envans delimitats, i la manca de dissenyadors de peces tridimensionals.

> 15.2.2 Funcionament fisiològic

Com s'ha investigat a l'apartat 10.2, el recorregut de la sang al sistema cardiovascular es divideix en dos, l'oxigenada i la desoxigenada, per tant, es fa el mateix amb el prototip del CA. Malgrat això, s'ha simplificat de la següent manera:

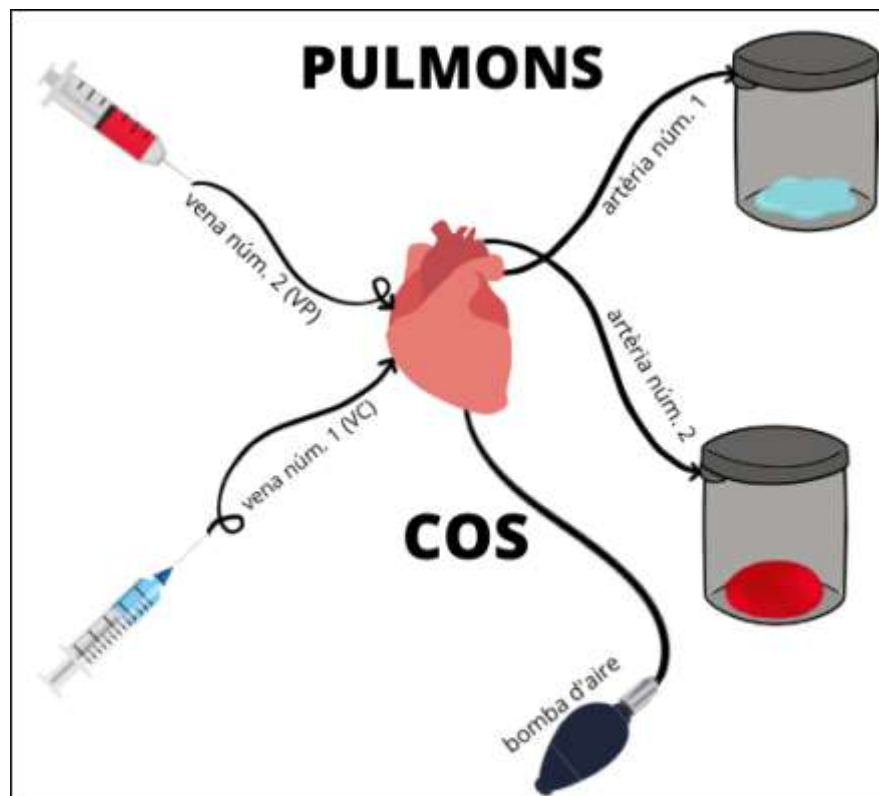


Fig. 49. Disseny complet de la maqueta representativa amb el CA, on VC és la vena cava i VP, vena pulmonar.
Font: Pròpia.

Primerament, es comença amb la sang que ha d'entrar al cor, tant l'oxigenada, com la desoxigenada.

PAS 1. En primer lloc, amb una xeringa s'injecta la sang desoxigenada (líquid blau), provinent del cos, al ventricle dret mitjançant la vena cava inferior (vena número 1 de la figura 49).

PAS 2. Seguidament, amb l'altra xeringa, s'introdueix la sang oxigenada (líquid vermell), provinent dels pulmons, al ventricle esquerre mitjançant una de les venes pulmonars (vena número 2 de la figura 49).

A continuació, se simula el batec del cor amb l'ajut una bomba d'aire manual. Aquesta funciona neumàticament; és a dir, fent servir aire per generar pressió.

PAS 3. Per poder representar la sistole, s'ha de comprimir la bomba. Això, comporta la inflació de la cambra d'expansió a la qual es troba connectada mitjançant el tub unit a la bomba manual de la figura 49.

Per consegüent, les altres dues cavitats es troben pressionades per l'augment de volum de la CE, el que dona lloc al desplaçament del líquid. Observant la figura 49, per una part, el fluid blau (sang desoxigenada) arriba al pulmó (recipient superior) mitjançant l'artèria pulmonar (artèria número 1), i per l'altre, el líquid vermell (sang oxigenada), arriba al cos (recipient inferior) a través de l'aorta (artèria número 2).

No obstant això, aquest seria el model sencer i utòpic. Per la pràctica del TDR, a fi de fer-ho més senzill i modelable, s'ha representat només el circuit menor; és a dir, és la meitat del procés (el pas 1 i el pas 3, el qual només actua en el ventricle dret). D'aquesta manera, quedaria com a l'esquema següent:

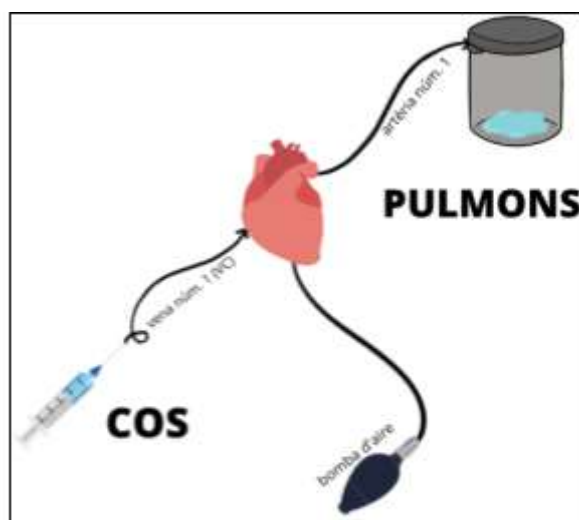


Fig. 50. Disseny de la maqueta representativa amb el CA, on VC representa la vena cava.
Font: Pròpia.

> [15.2.3 Patologia. Aneurisma cardíaca](#)

Per realitzar la malaltia visualment, s'efectua un eixamplament d'un dels vasos sanguinis amb un tub de diàmetre més gran. Es tornarà a fer el procediment anterior amb el tub de l'aorta més ample que la primera vegada. D'aquesta manera es podrà apreciar la dilatació anormal d'un dels segments de paret. Posteriorment, es tractarà quirúrgicament com es pot veure a la figura 41 de l'apartat 13.1. En altres paraules, es tallarà el tros dilatat i s'introduirà un de nou amb la mida de les altres artèries. Per poder fixar-lo, caldrà cinta adhesiva com a mètode casolà.

CONCLUSIÓ

En aquest treball no s'ha demostrat un mecanisme automatitzat. La impressió d'òrgans 3D, una innovació científica que es volia evidenciar, ha resultat més complexa un cop plantejada.

Malgrat això, la investigació no ha sigut pas un desaprofitament. El més rellevant d'haver volgut aconseguir aquest mecanisme ha sigut entendre prèviament tot el relacionat amb l'àmbit mèdic i tecnològic. Creant així, una base fonamentada i un profit personal positiu. Nogensmenys, no ha sigut prou per poder robotitzar l'òrgan sense cap teixit biològic, és a dir, tot i que es volia crear un cor artificial el qual funcionés sense aportacions externes, els pocs recursos tant, econòmics com de material i personal, han sigut una dificultat. Addicionalment, es podria mencionar la poca preparació de la ciència per enfortir aquest tipus de models robòtics i experimentar amb ells.

De totes maneres, encara sense tenir cap formació professional en l'àmbit de la medicina, gràcies a les investigacions prèvies s'ha pogut obtenir una metodologia adient per poder realitzar un prototip mitjà funcional. Això no garanteix la hipòtesi principal d'afirmar que la impressió biològica 3D sigui la salvació de les persones, perquè, encara que sigui possible en un futur, la bioimpressió és un mètode més convenient de fer més hàbil o apta la vida per a les persones que pateixen malalties cardíques.

La part més complexa de dur a terme en aquesta recerca involucra el funcionament fisiològic del cor imprès. A més, la carència de material adequat impedeix assolir un bon prototip funcional. Si bé, s'han afrontat les dificultats i s'han solucionat a mesura que apareixien.

Per a futures investigacions involucrades en el tema, seria oportuna la impressió amb SLA i la mescla d'aquest amb teixit contràctil. D'aquesta manera, l'estructura externa que conforma l'òrgan cardíac seria representada per la resina flexible i resistent i, el teixit de miòcits facilitaria portar a cap el cicle cardíac de manera simultània en ambdues parts del cor. També és important recalcar, com aquest model de bioimpressió podria fer servir el procés del sistema cardionector, tal com un múscul cardíac real. Això, a més de fer-ho més funcional, s'obtidria assistir a altres dels problemes de la ciència moderna, com ara, l'acceptació d'innovacions, ja que no involucra una robotització completa, sinó que l'enfocament proposat tracta d'una automatització de l'òrgan per poder salvar vides.

CITACIONS

Bibliografia

Brunat, E., & Giménez, J. (2019). **Anatomofisiologia i Patologia Bàsica* (1.^a ed.). Marcombo.

Calduch, J. H., Cassan, A., Enciclopèdia Catalana, S. A., Coderch, J., Tomás i Abadal, Ll. & Domingo i Albós, A. (1989). Enciclopèdia de medicina i salut: Pell, aparell locomotor 2. Sistema nerviós, visió, oïda 7. Malalties infeccioses, sistema immunitari, genètica 8. Edats i situacions especials 9. Vida sana 10. Primers auxiliis. Glossari. Índex analític. En *Enciclopèdia Medicina i Salut. Aparell Càrdio-Vascular. Sang* (1.^a ed., Vol. 3). Enciclopèdia Catalana.

Cassan, A. (2009). *El gran llibre del cos humà* (2.^a ed.). Parramón.

Cohrs, N. H., Stark, J. W. & Meboldt, M. (2018). Silicone Elastomers for Artificial Hearts: 3D-Printing, Bioactive Glass and Potential. *ETH Research Collection Bibliography*. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000298063>

Filguth, R. (2009). *El cuerpo humano / The human body: La maravilla del cuerpo revelada / The wonder of the body revealed* (1.^a ed.). Paidotribo.

Hansen, J. T. (2018). *Netter's Clinical Anatomy* (4.^a ed.) [Libro electrónico]. Elsevier. Recuperado 17 de agosto de 2022, de <https://enarm.com.mx/catalogo/31.pdf>

E.N. Marieb (2008). *Anatomia Y Fisiologia Humana* (9.^a ed.). Pearson Educación. [https://ifssa.edu.ar/ifssavirtual/cms/files/LIBRO%20IFSSA%20Anatomia.y.Fisiologia.Human.a.Marieb%209aed.%20\(1\).pdf](https://ifssa.edu.ar/ifssavirtual/cms/files/LIBRO%20IFSSA%20Anatomia.y.Fisiologia.Human.a.Marieb%209aed.%20(1).pdf)

Rouvière, H., & Delmas, A. (1987). *Anatomia humana, descriptiva, topografica y funcional T.II* (9.^a ed., Vol. 2). Masson.

Tank, P. W., Gest, T. R., & Benlloch, N. I. (2013). *LWW Atlas de Anatomia* (1.^a ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Walker, R., Winston, R., Donat, M., & Manairons, T. (2006). *Gran atlas del cos humà*. Cercle de Lectors.

Bibliografia web

3DPrint.com. (2021, 16 octubre). «*Grey's Anatomy*» Prominently Features Medical 3D Printing Technology. 3DPrint.Com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. Recuperado 16 de julio de 2022, de <https://3dprint.com/43211/greys-anatomy-3d-print-heart/>

Simplify3D, ¿un laminador 3D para profesionales? (2020, 19 mayo). 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/simplify3d-laminador-profesionales/>

TPU y TPE: filamentos flexibles. (2021, 30 julio). Abax Innovation Technologies. <https://abax3dtech.com/2021/02/09/tpu-y-tpe-caracteristicas-de-los-filamentos-flexibles/>

¿*Qué es la impresión 3D?* | *Software de impresión 3D* | Autodesk. (2021, 25 septiembre). <https://www.autodesk.es/solutions/3d-printing>

B. (2018, 28 septiembre). *Las cifras de la enfermedad cardiovascular*. Fundación Española del Corazón. Recuperado 17 de julio de 2022, de <https://fundaciondelcorazon.com/blog-impulso-vital/3264-las-cifras-de-la-enfermedad-cardiovascular.html>

Materiales de impresión 3D FDM. (2019, 17 abril). Bitfab. <https://bitfab.io/es/materiales-de-impresion-3d-fdm/>

Diseño 3D online por. (2020, 13 julio). Bitfab. <https://bitfab.io/es/disenio-3d/>

C., L. (2019, 16 abril). *Primer corazón impreso en 3D con tejido humano*. 3Dnatives. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://www.3dnatives.com/es/primer-corazon-impreso-en-3d-180420192/>

C., L. (2019, octubre 2). *BIOLIFE4D, desarrolló un pequeño corazón humano bioimpreso completamente funcional*. 3Dnatives. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://www.3dnatives.com/es/biolife4d-corazon-humano-bioimpreso-031020192/>

Díaz, J. (2021, 8 marzo). *Nuevo avance en la fabricación de órganos humanos para trasplantes*. elconfidencial.com. Recuperado 29 de julio de 2022, de https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-03-08/medicina-transplantes-organos-impresos-3d_2980816/

Nuevo avance en la fabricación de órganos humanos para trasplantes. (2021, 8 marzo). elconfidencial.com. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-03-08/medicina-transplantes-organos-impresos-3d_2980816/

Facultad de Ciencias Médicas. (2019, agosto 27). *FISIOLOGIA: Corazón. Parte I. Generalidades del corazón* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=OdqguNpzQ5E&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=27&t=11s>

Facultad de Ciencias Médicas. (2019, agosto 27). *FISIOLOGIA: Corazón. Parte II. Ciclo cardíaco*. [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gFSop-Z0T1Q&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=28>

Anatomía Normal - FCM - UNR. (2020, 22 junio). *Corazón Clase 1 Generalidades y configuración externa* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=l1A74BFoZ0U&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=7&t=809s>

Dr. Carlos Andrés García. (2017, 7 abril). *Anatomía - Configuración Externa del Corazón (Caras, Bordes, Relaciones, Área Precordial)* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sVd7JG7cid4&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=16&t=609s>

IFMSA - UNS. (2020, 29 septiembre). *ANATOMÍA DEL CORAZÓN* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=K6Xtd2Ea0Vo&list=PLV8QBNlYrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=18&t=1048s>

Impresoras 3D Que es, Como Funciona, Tipos, Precios. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2022, de <https://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>

Científicos crean corazón impreso en 3D que late como uno real. (2018, 25 enero). El Informador :: Noticias de Jalisco, México, Deportes & Entretenimiento. <https://www.informador.mx/tecnologia/Cientificos-crean-corazon-impreso-en-3D-que-late-como-uno-real-20180124-0072.html>

Guía básica de introducción a la impresión 3D. (2020, 22 enero). Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/guia-basica-impresion-3d/>

M., A. (2021, 12 julio). *Proyectos de bioimpresión: órganos y tejidos impresos en 3D.* 3Dnatives. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://www.3dnatives.com/es/proyectos-bioimpresion-organos-tejidos-impresos-3d-070420202/#>

Mentes Médicas. (2018, 23 septiembre). *CICLO CARDÍACO ¡fácil explicación!* | Mentes Médicas [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=0lJzSqsNL_o&list=PLV8QBNlYrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=29

Cirugía cardiovascular - Generalidades. (s. f.). Curso MIR Asturias. Recuperado 1 de septiembre de 2022, de <https://www.curso-mir.com/especialidades/cardiovascular-1.html>


Montero Simon, J. A. (s. f.). *Web de Anatomía de Juan Antonio Montero Simon.* grupos.unican.es. Recuperado 5 de agosto de 2022, de https://grupos.unican.es/apoptosis/corazon/aspecto_externo.htm

Paradigmia. (2019, 2 julio). *El Corazón.* Recuperado 10 de agosto de 2022, de <https://paradigmia.com/curso/anatomia-humana/modulos/el-corazon/>

R., A. R. (2022, 16 marzo). *¿Cuál es la diferencia entre impresión 3D y bioimpresión?* - @alfieforshort. @alfieforshort - Apasionado por la Manufactura Aditiva, Impresión 3D y Bioimpresión 3D. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://alfieforshort.com/cual-es-la-diferencia-entre-impresion-3d-y-bioimpresion/>

El primer corazón impreso en 3D dura 3.000 latidos. (2017, 14 julio). Redacción Médica. <https://www.redaccionmedica.com/secciones/cardiologia/el-primer-corazon-impreso-en-3d-du-ra-3-000-latidos-5148>

Dr. Valdez Saenz. (2011, 8 noviembre). *El Sistema Circulatorio - Documental de Biología* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Jbt3b8DvHzc&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=41>

Anatomía Fácil por Juan José Sánchez. (2020, 2 mayo).  *Anatomía del CORAZÓN 1/5 - Generalidades, Caras y Configuración Externa* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IULGYEX-MK8&list=PLV8QBNIyrYuoJbuC0jAQ8q0GLahGbAaQF&index=10>

Información general sobre cirugía cardiovascular. (2019, 25 agosto). Texas Heart Institute. Recuperado 1 de septiembre de 2022, de <https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/informacion-general-sobre-cirugia-cardiovascular/>

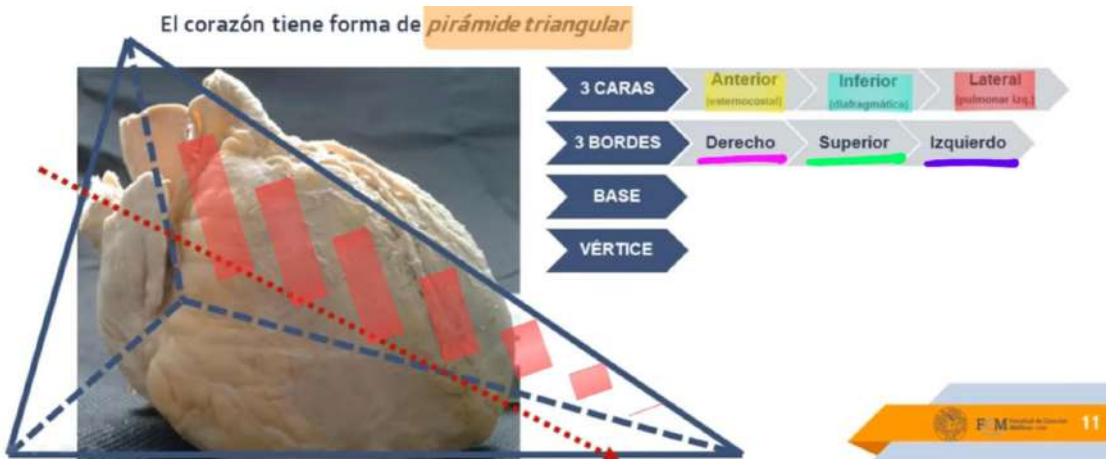
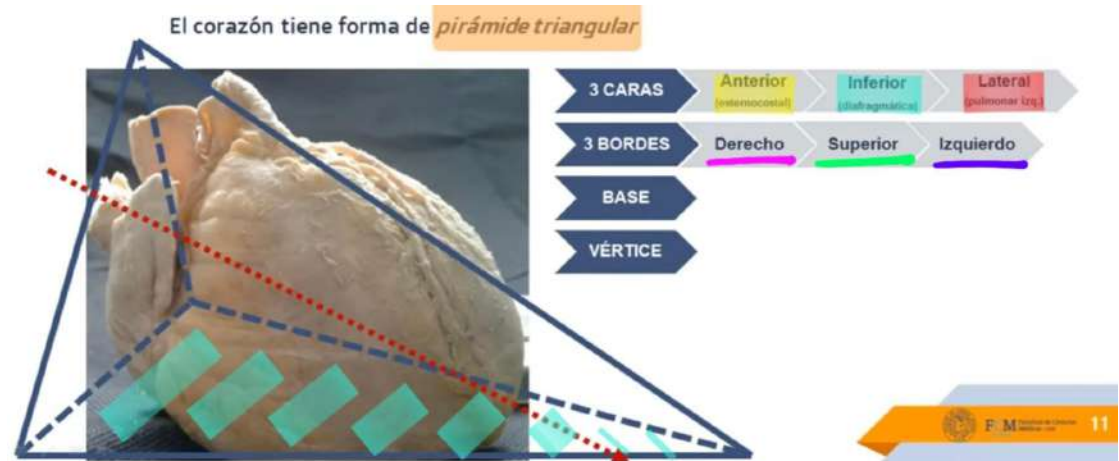
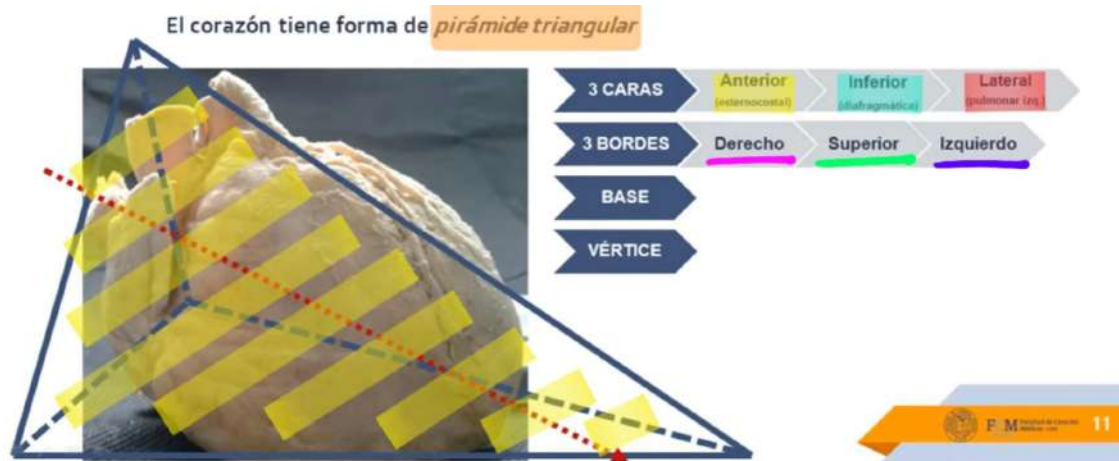
Heart Valves. (2021, 30 septiembre). Texas Heart Institute. Recuperado 12 de agosto de 2022, de <https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/the-heart-valves/>

Partes de la impresora 3D y su funcionamiento. (2021, 8 noviembre). BLOG | TintasyTonerCompatibles. es. Recuperado 16 de octubre de 2022, de <https://www.tintasytonercompatibles.es/blog/partes-de-la-impresora-3d/>

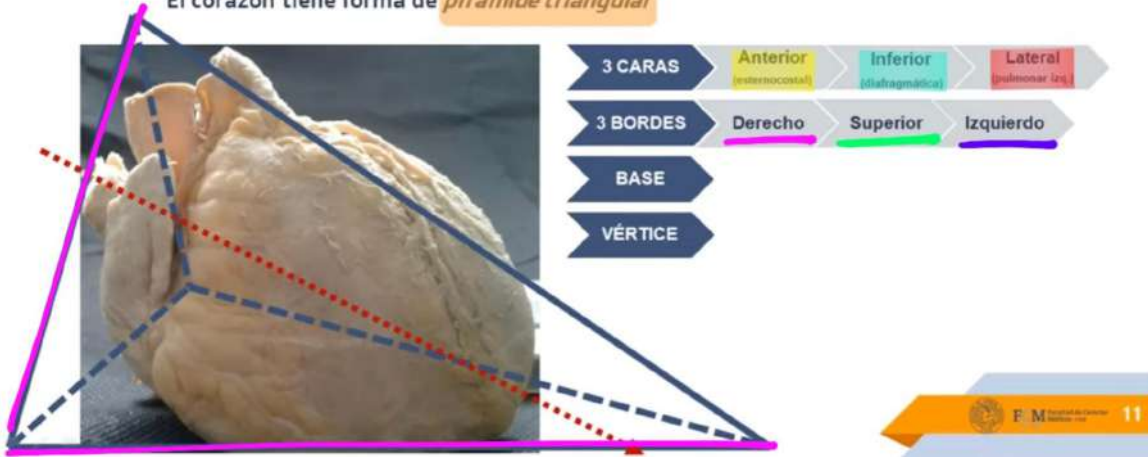
Corazón - *Vikidia.* (s. f.). Wikidia. Recuperado 17 de agosto de 2022, de <https://es.wikidia.org/wiki/Coraz%C3%B3n>

ANNEX I: Esquematzació de les cares del cor

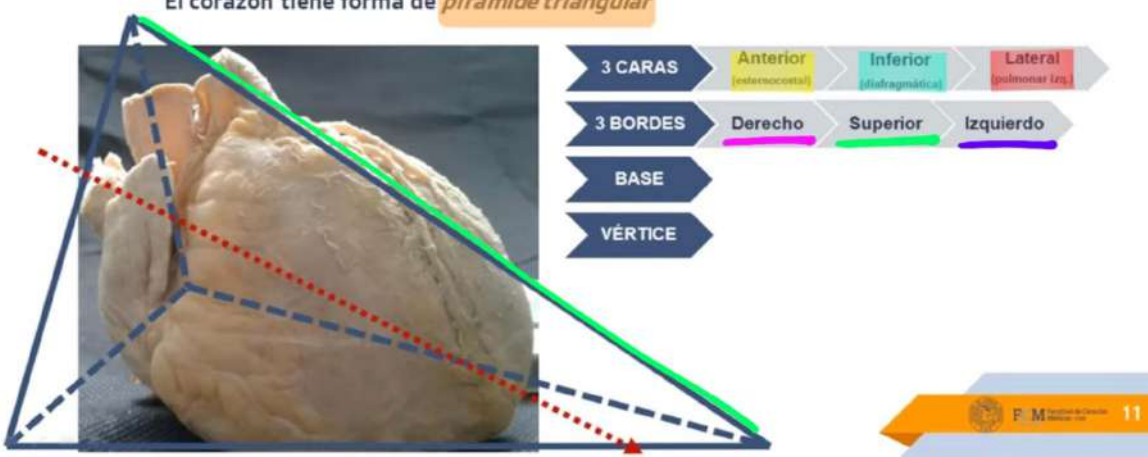
La diapositiva d'anatomia de la Facultat de Ciències Mèdiques UNR mostra la imatge d'un cor amb les seves direccions, jo he pintat totes les parts per fer-ho més visual:



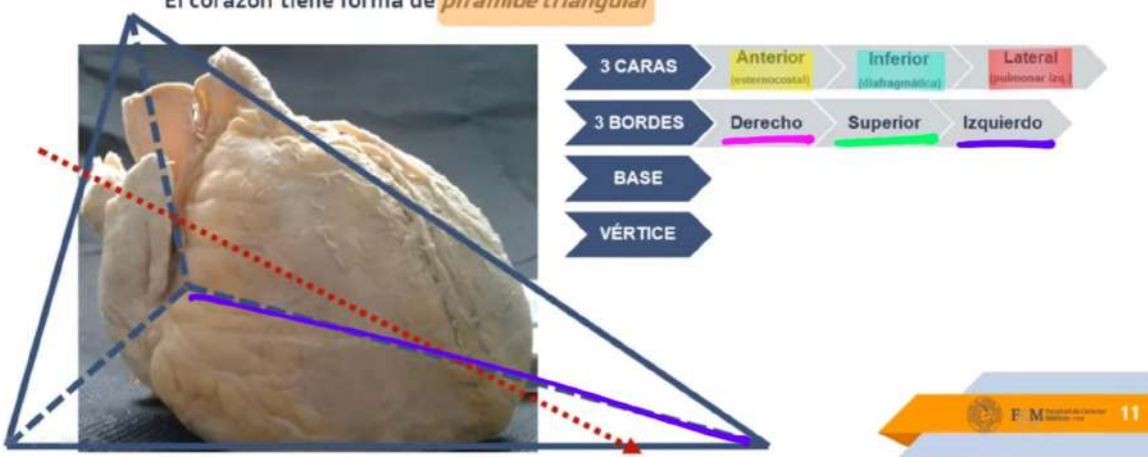
El corazón tiene forma de **pirámide triangular**



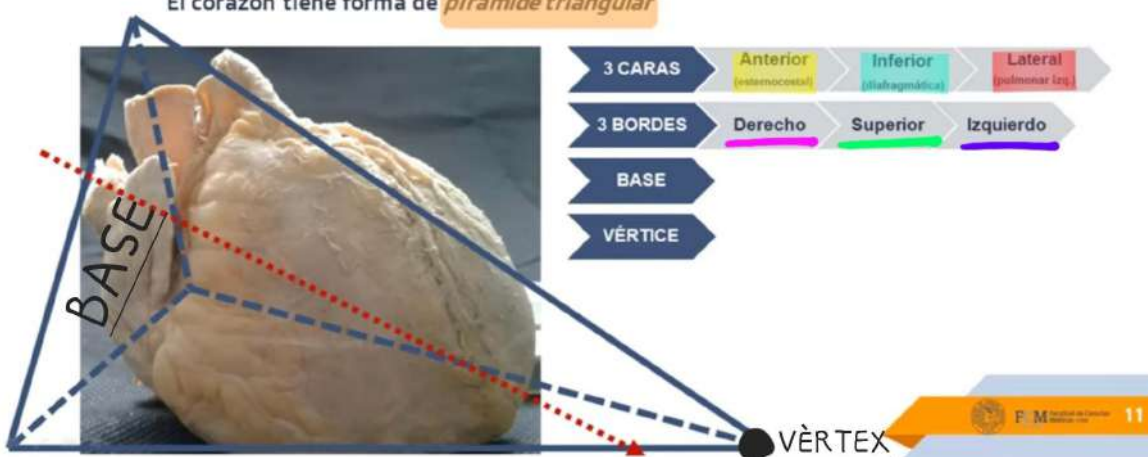
El corazón tiene forma de **pirámide triangular**



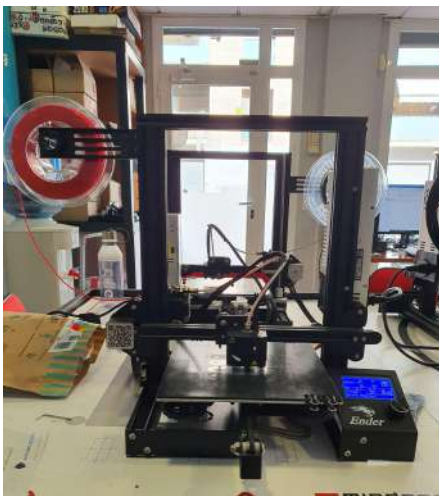
El corazón tiene forma de **pirámide triangular**



El corazón tiene forma de **pirámide triangular**



ANNEX II: Recull de fotografies de la part pràctica



ANNEX III: Glossari

Atri: Per definir el que tradicionalment es coneix com a aurícula. Durant els anys, “aurícula” s’ha anat acceptant, però no és la forma del tot correcta segons l’etimologia.

Automatisme: Capacitat de despolaritzar la membrana cel·lular sense la necessitat d’un estímul extern.

Cèl·lula epitelial: Un tipus de cèl·lula que recobreixen l’interior i exterior de les superfícies del cos. Es troben a la pell, vasos sanguinis i els òrgans.

Contractilitat: Aptitud de generar força i augmentar la tensió en resposta a un estímul (en el cas del cor, el potencial d’acció).

Despolaritzar: Procés electrofisiològic que neutralitza la polarització d’una cèl·lula muscular o nerviosa. Aquest, acte dona lloc a un potencial d’acció i a l’excitació d’aquesta cèl·lula.

Diàstole: Relaxació del múscul cardíac que permet l’ompliment de la cavitat amb sang.

Difusió: Fenomen de transport de matèria produït pel moviment molecular.

Espai intersticial: Superfície situada entre les cèl·lules.

Freqüència cardíaca: Nombre de vegades que el cor es contrau o batega en un minut.

Hardware: Conjunt d’elements físics o materials que constitueixen un ordinador o un sistema informàtic.

Hematosi: Bescanvi de gasos que es produeix entre l’aire dels alvèols pulmonars i la sang venosa, que passa a ser arterial per la fixació de l’oxigen i eliminació del diòxid de carboni

Irrigació: Acció vinculada a la introducció d’un líquid a una cavitat corporal. En cas de la fisiologia cardíaca, implica el transport de sang a un sector del cos a través d’un vas sanguini.

Miosina: Proteïna implicada en la contracció muscular per interacció amb l’actina (proteïna).

Necrosis: Mort de les cèl·lules i teixits d’una zona determinada d’un organisme viu.

Polarització: Separació localitzada de càrregues d’ions positius i negatius.

Potencial d’acció: Canvi sobtat, ràpid i transitori. També denominat com excitabilitat (generar un potencial d’acció com a resposta d’un estímul). Aquesta capacitat és comuna en totes les cèl·lules de la massa cardíaca.

Pressió arterial: Subcategoria de la pressió sanguínia. Força o empenta que té la sang a les artèries. D’aquesta es diferencia la tensió arterial sistòlica (màxima) i la diastòlica (mínima).

Pressió atmosfèrica: Força exercida sobre la superfície del cos pel pes de l’aire.

Pressió sanguínia: Pressió que exerceix la sang contra les parets dels vasos sanguinis.

Pressió venosa: Subcategoria de la pressió sanguínia. Tensió exercida sobre les parets de les venes.

Relaxació: Propietat de disminuir la tensió generada durant la contracció.

Ritme cardíac: La seqüència de batecs que es du a terme a un ritme constant, és a dir, amb un mateix interval de temps entre batec i batec.

Sang arterial: Engloba el líquid sanguini oxigenat. Generalment, és de color vermell brillant.

Sang venosa: El fluid sanguini desoxigenat que viatja pels vasos sanguinis fins a l'aurícula dreta del cor. Normalment, és d'un color vermell obscur.

Sinciti: Un aglomerat de cèl·lules interconnectades que han perdut les membranes, on els nuclis es troben en una mateixa bossa. Quan una s'excita, totes les veïnes ho fan.

Sinus coronari: Conjunt de venes que s'uneixen per formar un vas sanguini que recull la sang del miocardi.

Sistema cardionector: Conformat per un conjunt de fibres miocardiàques especialitzades que produeixen i transmeten impulsos elèctrics de forma automàtica, rítmica i ordenada a la massa muscular del cor, perquè aquesta es contragui.

Sístole: Contracció de les cavitats cardíques.

Software: Conjunt de programes i rutines que permet a l'ordinador executar tasques determinades.

Teixit connectiu o teixit conjuntiu: Sosté, protegeix i estructura altres teixits i òrgans del cos.

Teixit endotelial: Monocapa que separa els teixits de la sang. Principalment, regula el flux.

Transversal: S'estén o es troba a travessant d'un costat a l'altre.

Vàlvula aòrtica: Deixa que la sang oxigenada passi del ventricle esquerre a l'aorta, l'artèria més gran del cos, la qual transporta la sang a la resta de l'organisme.

Vàlvula mitral: Permet que la sang rica en oxigen, provinent dels pulmons, passi de l'atri esquerre al ventricle esquerre.

Vàlvula pulmonar: Manipula la sang del ventricle dret a les artèries pulmonars, les quals transporten la sang als pulmons per oxigenar-la.

Vàlvula tricúspide: Controla el flux sanguini entre l'aurícula dreta i el ventricle dret. Vena cava: Vena gran que transporta la sang del cos al cor.

