

# Interfície per a la interacció cirurgià-robot

Treball de fi de grau

Grau en Enginyeria Informàtica

Especialitat: Enginyeria de  
computadors

Autora: Alicia Vila Rodriguez  
Directora: Alícia Casals Gelpí  
Co-director: Albert Hernansanz Prats  
Departament: ESAII  
Data: 1 de Febrer de 2019

Facultat d'Informàtica de Barcelona (FIB)

Universitat Politècnica  
de Catalunya (UPC) - BarcelonaTech

Institute for Bioengineering of Catalonia (IBEC)



# RESUM

La fetoscòpia làser com a tractament per a la Síndrome de Transfusió Fetal, que afecta a embarassos de bessons derivats d'un sol zigot, permet salvar els dos fetus en un 80% dels casos; tot i això, la cirurgia no està exempta de risc. La introducció de la robòtica permet augmentar la seguretat i la precisió, així com dotar al cirurgià de major control sobre el procediment.

Aquest treball consisteix en el disseny i desenvolupament d'una interfície d'usuari per a la interacció entre un cirurgià i un robot quirúrgic, integrada a un sistema de teleoperació específic per a aquesta cirurgia.

# RESUMEN

La fetoscopia láser como tratamiento para el Síndrome de Transfusión Fetal, que afecta a embarazos de gemelos derivados de un solo cigoto, permite salvar los dos fetos en un 80% de los casos; sin embargo, la cirugía no está exenta de riesgo. La introducción de la robótica permite aumentar la seguridad y la precisión, así como dotar al cirujano de mayor control sobre el procedimiento.

Este trabajo consiste en el diseño y desarrollo de una interfaz de usuario para la interacción entre un cirujano y un robot quirúrgico, integrada a un sistema de teleoperación específico para esta cirugía.

# ABSTRACT

Laser fetoscopy as a treatment for Fetal Transfusion Syndrome, which affects pregnancies of twins derived from a single zygote, allows to save the two fetuses in 80% of the cases; however, this surgery is not without risk. The introduction of robotics allows to increase security and precision, as well as to provide the surgeon with greater control over the procedure.

This work consists in the design and development of a user interface for the interaction between a surgeon and a surgical robot, integrated into a system of teleoperation specific for this surgery.

# AGRAÏMENTS

Als meus pares, per la confiança dispostada en mi i suport al llarg de la meva vida.

A l'Àlícia Casals, per donar-me l'oportunitat de col·laborar al grup ESAII.

A l'Albert Hernansanz, pel suport, la tendresa i el bon humor que inspira dia a dia.

A la Rut Martínez, per confiar en mí i inspirar-me per definir el meu futur.

A l'equip d'ESAII, per la calidesa amb la que m'han acollit.



# ÍNDIX

1 INTRODUCCIÓ .....	13
1.1 CONTEXT .....	14
1.1.1 Projecte <i>Tècniques quirúrgiques en cirurgia fetal</i> .....	14
1.1.2 Projecte <i>SARAS</i> .....	14
1.2 FORMULACIÓ DEL PROBLEMA .....	15
1.3 SÍNDROME DE TRANSFUSIÓ FETUS-FETAL .....	16
1.4 OBJECTIU .....	17
2 ABAST .....	18
3 ESTAT DE L'ART .....	19
3.1 Da Vinci .....	20
3.2 Senhance .....	20
3.3 Flex .....	21
3.4 Rosa .....	21
3.5 Altres projectes en estat I+D .....	21
5 METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ .....	24
5.1 METODOLOGIA .....	24
5.2 PLANIFICACIÓ .....	25
5.2.1 FASE INICIAL DEL PROJECTE .....	25
5.2.2 DESENVOLUPAMENT DE LA INTERFÍCIE .....	26
5.2.3 COMUNICACIÓ SISTEMA DE CONTROL-UI .....	27
5.2.4 INTEGRACIÓ .....	27
5.2.5 VALIDACIÓ .....	27
5.2.6 DOCUMENTACIÓ .....	28
5.2.7 DIAGRAMA DE GANTT .....	29
6 PRESSUPOST ECONÒMIC .....	30
6.1 COSTOS DIRECTES PER ACTIVITAT .....	30
6.2 COSTOS INDIRECTES .....	32
6.3 AMORTITZACIONS .....	32
6.3 COSTOS DE CONTINGÈNCIA .....	33
6.4 POSSIBLES IMPREVISTOS .....	33
6.5 PRESSUPOST FINAL .....	35



7 IMPACTE MEDIAMBIENTAL .....	36
8 IMPACTE SOCIAL .....	37
9 ESTUDI DELS REQUISITS DE LA INTERFÍCIE .....	38
9.1 REQUISITS GENERALS D'UNA CIRURGIA .....	38
9.2 REQUISITS CONCRETS DE LA FETOSCÒPIA LÀSER.....	39
9.3 ESTUDI DE LES CAPACITATS I NECESSITATS DEL CIRURGIÀ.....	40
9.4 ESTUDI DE LA REPRESENTACIÓ DE LES DADES .....	41
9.5 ESTUDI DE L'ESTRUCTURA DE DADES PER A LA FETOSCOPIA LÀSER.....	42
9.6 ASSISTÈNCIA A QUIRÒFAN.....	42
10 ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	44
10.1 DESCRIPCIÓ DELS COMPONENTS .....	45
10.1.1 SISTEMA CENTRAL DE CONTROL DE TELEOPERACIÓ .....	45
10.1.2 MÀSTER .....	45
10.1.3 PEDALS.....	46
10.1.4 ROBOT .....	47
10.1.5 UI .....	47
10.1.6 SISTEMA DE VISIÓ.....	48
10.1.7 LÀSER.....	48
10.1.8 SISTEMA DE COMPENSACIÓ TROCAR.....	49
10.2 ESPECIFICACIONS HARDWARE DELS MÒDULS.....	49
10.2.1 SISTEMA CENTRAL DE CONTROL DE TELEOPERACIÓ .....	49
10.2.2 MÀSTER .....	49
10.2.3 ROBOT .....	50
10.2.4 UI + SISTEMA DE VISIÓ .....	50
10.2.5 LÀSER.....	50
10.2.6 COMUNICACIONS.....	50
11.1 MÀQUINA D'ESTATS.....	53
11.1.1 GRAF D'ESTATS .....	54
11.1.2 DESCRIPCIÓ DELS ESTATS.....	54
11.1.3 DESCRIPCIÓ DE LES TRANSICIONS DEL GRAF .....	55
11.2 SEGURETAT DEL SISTEMA.....	57
12 INTERACCIÓ ENTRE ELS MÒDULS.....	59
13 DESENVOLUPAMENT DE LA INTERFÍCIE .....	61
13.1 SELECCIÓ DE LES TECNOLOGIES .....	61
13.2 MÒDUL DE VISIÓ .....	62

13.3 MAPA INTERACTIU.....	63
13.4 MÒDUL D'INTERACCIÓ .....	66
13.4.1 CONNEXIÓ DELS MÒDULS .....	66
13.4.2 ESTAT DEL LÀSER.....	67
13.4.3 SELECCIÓ DE PUNTS D'INTERÈS .....	69
13.4.4 SELECCIÓ DEL MODE DEL SISTEMA .....	70
13.5 DISSENY FINAL .....	71
13.6 COMUNICACIONS.....	72
13.7 INTEGRACIÓ I TEST .....	72
13.8 ESTRUCTURA DE LA IMPLEMENTACIÓ .....	73
13.9 PRESA DE DECISIONS CONSCIENTS DEL HARDWARE .....	74
13.9.1 ROBOT .....	74
13.9.2 MASTER .....	74
13.9.3 LÀSER.....	75
13.9.4 SISTEMA DE COMPENSACIÓ DEL TROCAR.....	75
14 AVALUACIÓ .....	76
14.1 TESTS AMB L'EQUIP DE CIRURGIANS.....	76
14.2 CONCLUSIONS DELS TESTS.....	77
15 VIES DE CONTINUÏTAT .....	78
16 CONCLUSIONS DEL TREBALL .....	79
17 GLOSSARI .....	81
18 BIBLIOGRAFIA .....	82



# 1 INTRODUCCIÓ

L'evolució de la cirurgia ha ajudat a salvar i millorar la qualitat de moltes vides. Al llarg del temps s'han optimitzat les eines i procediments per tal de ser el menys lesives i invasives possible, incrementant així la taxa d'èxit. La tecnologia és una eina bàsica a la cirurgia i, en aquest treball, es pretén contribuir a la recerca en l'àmbit de la cirurgia robòtica.

El laboratori de robòtica d'ESAI de la Universitat Politècnica de Catalunya<sup>[9]</sup> es dedica principalment a la recerca i està centrat en desenvolupar eines i/o solucions per la robòtica mèdica i de rehabilitació. Aquest treball final de grau es farà servir a un dels projectes en els que el laboratori treballa, assistència robòtica en cirurgia fetal. L'objectiu és desenvolupar i avaluar plataformes de teleoperació amb un o diversos robots quirúrgics com a assistents a la cirurgia mínimament invasiva.

Concretament, el laboratori s'encarrega de desenvolupar una plataforma de teleoperació per a la fetoscòpia làser com a tractament per a la *síndrome de transfusió feto-fetal (STFF)*. Aquesta operació consisteix a coagular les connexions vasculares (anastomosis) d'ambdós fetus -el cas més comú és el de dos fetus- de manera que els dos sistemes vasculares funcionin independentment. L'objectiu d'aquest TFG és el desenvolupament de la interfície d'usuari del dispositiu màster dins del sistema de teleoperació proposat. Aquesta interfície ha d'interactuar i assistir al cirurgià durant la cirurgia.

## 1.1 CONTEXT

Aquest treball final de grau es realitza al laboratori de robòtica del departament d'ESAI de la Universitat Politècnica de Catalunya en la modalitat B amb un contracte laboral. El seu desenvolupament s'ha realitzat com a part d'un dels projectes en els que el laboratori hi treballa, assistència robòtica en cirurgia fetal, tot i que es podrà aprofitar una gran part per un altre projecte de cirurgia assistida per un sistema robòtic multi-braç. Per definir els objectius d'aquest treball, caldrà una prèvia contextualització dels objectius d'aquests dos projectes.

### 1.1.1 Projecte *Tècniques quirúrgiques en cirurgia fetal*

El projecte assistència robòtica en cirurgia fetal (projecte finançat per la fundació privada CELLEX) està emmarcat en un projecte més ampli que té com a objectiu la millora de la cirurgia fetal, per navegar, diagnosticar, monitoritzar paràmetres biològics del fetus i transmetre'ls a l'exterior, així com un sistema d'ajuda robòtica per millorar la precisió del cirurgià durant la cirurgia fetal.

En concret, el laboratori s'està encarregant del desenvolupament d'un sistema integrat que permeti al cirurgià interactuar amb un nou robot específic per a la fetoscòpia làser com a tractament de la STFF, també dissenyat al laboratori.

### 1.1.2 Projecte *SARAS*

*SARAS (Smart Autonomous Robotic Assistant Surgeon)* és un projecte europeu amb l'objectiu de desenvolupar una plataforma per un robot quirúrgic d'última generació que permeti a un únic cirurgià realitzar una cirurgia mínimament invasiva (CMI) sense la necessitat d'un assistent quirúrgic expert, augmentant així l'eficiència tant social com econòmica d'un hospital alhora que garantint el mateix nivell de seguretat pels pacients.

El laboratori s'encarrega d'investigar la simulació i pràctica de la laparoscòpia i definir estratègies de control per a la interacció dels braços robòtics auxiliars amb les eines principals i amb l'espai quirúrgic.

## 1.2 FORMULACIÓ DEL PROBLEMA

La recerca i evolució de la cirurgia al llarg de la història sempre s'ha centrat en dos objectius principals: incrementar la seguretat del pacient i millorar la qualitat de la cirurgia. Aquests objectius es resumeixen en petits reptes com:

- Minimitzar danys i incisions en els pacients.
- Millorar la reacció davant de possibles complicacions durant l'operació
- Reduir el temps de la cirurgia
- Millorar la precisió del cirurgià
- Minimitzar la morbiditat a les cirurgies
- Minimitzar el temps i patiment dels pacients per a la seva recuperació

Amb l'aparició de la robòtica, molts dels anteriors problemes o reptes esmentats s'han millorat molt. La precisió a l'hora de manipular, tallar, disseccionar, extirpar o suturar teixits d'un organisme viu pot ser molt més acurada que la mà del cirurgià.

A l'àmbit de la cirurgia robotitzada encara li queda molt per evolucionar. Existeixen robots quirúrgics basats en tècniques mínimament invasives laparoscòpiques com el Da Vinci de Intuitive, que donen solució per certs tipus de cirurgies com, per exemple, les relacionades amb la pròstata. Aquest robot suposa una ajuda per aquestes cirurgies però és car tant a l'hora de comprar-lo com, sobretot, de mantenir-lo i encara té limitacions funcionals per aconseguir l'eficàcia desitjada. A més, per altres tipus de laparoscòpies com la fetoscòpia no és adient perquè les eines que utilitza tenen un diàmetre molt gran (8mm). Aquesta

requereix d'eines de 3mm perquè la placenta i les membranes del sac amniòtic són molt delicades i es podrien fer malbé.

Per això, l'equip del laboratori està treballant a desenvolupar una plataforma de teleoperació robòtica específica per aquest tipus de cirurgies. El robot utilitza un fetoscopi que permet introduir al ventre de la pacient una òptica i un làser per coagular les anastomosis que connecten els sistemes vascular dels dos fetus. La interfície per tant, està dissenyada per permetre al cirurgià interactuar amb la plataforma i no només això sinó també ajudar-lo a situar-se i a realitzar la cirurgia més còmoda i eficientment.

## 1.3 SÍNDROME DE TRANSFUSIÓ FETUS-FETAL

Per entendre el procediment de la fetoscòpia esmentada cal entendre el problema biològic que es planteja. La fetoscòpia làser és una tècnica quirúrgica que s'utilitza a diverses cirurgies però en aquest treball es pretén oferir una solució més eficient per a la fetoscòpia làser com a tractament per a la síndrome de transfusió fetus-fetal.

Aquesta síndrome és una complicació que es produeix en un 10-15% dels embarassos de bessons que deriven d'un sol zigot (bessons idèntics que comparteixen placenta). Els cordons umbilicals dels dos fetus surten de la placenta i el problema sorgeix quan els vasos sanguinis (artèries i venes) d'un fetus es connecten amb els de l'altre. Aquestes connexions vasculars anomenades anastomosis impliquen la transfusió de sang d'un fetus a l'altre. El receptor rep massa sang mentre que el donant no té prou flux sanguini per desenvolupar-se amb normalitat. En aquests casos, si no s'aplica cap tipus d'intervenció, el receptor acaba morint per parada cardíaca (el seu cor no pot suportar tant flux de sang) i el donant no creix prou i no té prou líquid amniòtic, acabant morint per falta d'oxigen.

La solució quirúrgica que s'aplica en aquests casos clínics és la fetoscòpia làser. Aquesta consisteix a introduir el fetoscopi amb una càmera i el làser incorporats a través d'una única entrada a l'abdomen

de la dona embarassada. L'objectiu de la cirurgia és trobar les anastomosis que provoquen el pas de sang d'un fetus a l'altre i coagular-les amb el làser. Així, els sistemes vasculars dels dos fetus funcionen de manera independent i poden desenvolupar-se amb normalitat. Aquesta cirurgia té una durada d'uns 20 minuts i en un 80% dels casos els dos fetus surten amb vida.

## 1.4 OBJECTIU

L'objectiu d'aquest treball és el disseny i implementació d'una interfície d'usuari per a la interacció amb la plataforma de teleoperació que s'està desenvolupant al laboratori. Més concretament, la implementació és específica per a la fetoscòpia làser com a tractament per a la síndrome de transfusió fetus-fetal. Els mòduls principals es resumeixen en:

- **Mòdul visió:** Mostra la imatge de la càmera (fetoscopi) introduïda al cos del pacient per un dels orificis de la fetoscòpia.
- **Mòdul navegació:** Consta d'un mapa interactiu, en realitat augmentada i temps real, de la placenta amb els punts d'interès i les estructures vasculars de la placenta identificats i classificats segons el seu tipus i estat pel cirurgià durant la cirurgia. A mesura que el robot es desplaça va generant i mostrant nova informació del recorregut visitat, permetent a l'operador consultar, afegir i modificar informació sobre el mapa. D'aquesta manera, el cirurgià té una visió general de la placenta que l'ajuda a situar-se, navegar-hi i identificar la seva anatomia superficial.
- **Mòdul control:** És la interfície de control que ofereix al cirurgià la possibilitat d'interactuar amb el sistema de teleoperació. Concretament, permet determinar el mode de treball de la plataforma, gestionar l'actuació del làser i consultar l'estat dels diferents mòduls.



## 2 ABAST

Aquest projecte parteix de diversos estudis que s'han realitzat abans de començar la fase d'implementació i disseny per tal de definir la proposta final de la interfície:

- L'estudi dels òrgans, teixits i estructures de l'organisme de la dona embarassada que es veuen implicats a la cirurgia. A partir d'aquesta informació, definir els mòduls de dades de la interfície el més modularment possible.
- L'estudi de les necessitats de la fetoscòpia làser en concret
- L'estudi de la cinemàtica i dinàmica del robot i de les limitacions (per exemple: el volum de treball, accessibilitat, etc.) que pugui tenir.
- L'estudi de les capacitats dels cirurgians per tal de fer la interfície el més fàcil d'utilitzar i intuïtiva possible, minimitzant la càrrega cognitiva necessària per la correcta interacció i flux d'informació.
- L'estudi de les tecnologies adients per desenvolupar la interfície i realitzar les comunicacions amb el sistema de control del robot.

A partir d'aquests estudis s'ha desenvolupat una interfície modular que permet provar diversos plantejaments de disseny i mòduls per determinar quina és la versió més còmode i eficient pels cirurgians i, per tant, per a la cirurgia. El disseny s'ha realitzat a partir de l'estudi de les diferents fases de la fetoscòpia làser. S'ha fet una selecció d'aquella informació rellevant a cada fase per tal que el cirurgià pugui veure la informació que realment importa i traient aquelles parts que poden distreure.

La plataforma desenvolupada s'ha provat en un entorn específic de fetoscòpia làser i s'ha fet totalment enfocada a aquesta, però l'abast d'aquest treball no acaba aquí: el desenvolupament s'ha realitzat de manera modular i per tant, tota aquella part comú que necessitarien totes les cirurgies mínimament invasives es podrà utilitzar com a base per a una nova interfície específica.

## 3 ESTAT DE L'ART

La cirurgia ha evolucionat molt al llarg del temps gràcies a nous descobriments mèdics, tècniques quirúrgiques i eines avançades. Actualment, una de les tècniques que s'està aplicant és la cirurgia mínimament invasiva o laparoscòpia. A diferència de la cirurgia oberta, aquesta tècnica consisteix a realitzar talls petits a la pell en comptes d'un gran tall per accedir a la regió anatòmica a operar. Això implica que hi ha un risc molt menor d'infecció i que la seva cicatrització és més ràpida; fent així que la recuperació del pacient sigui més curta i menys dolorosa. Aquesta tècnica, té molts beneficis, però a l'hora de realitzar la cirurgia planteja alguns inconvenients respecte a la cirurgia oberta. Els més destacats són:

- L'accés als teixits més interns són molt més restringits
- La maniobrabilitat és molt limitada amb les pinces de la laparoscòpia
- Es perd el sentit del tacte i de la visió directa

La cirurgia robòtica pretén ajudar al cirurgià a realitzar aquesta tècnica de manera còmode i oferir-li una plataforma segura que supleixi aquestes restriccions esmentades i, alhora, millori altres aspectes com la precisió dels moviments i la supressió de tremolors. Actualment ja existeixen robots de teleoperació que s'utilitzen per cirurgies mínimament invasives. A continuació es fa una breu descripció dels més coneguts i les seves aplicacions.

## 3.1 Da Vinci

Da Vinci és una plataforma robòtica nascuda a l'any 1999 a Silicon Valley, a mans de l'empresa nord americana Intuitive Surgical Inc. amb l'objectiu de potenciar les habilitats i les capacitats del cirurgià i també per oferir una opció menys invasiva en procediments quirúrgics més complexos.

El robot Da Vinci és considerat el sistema quirúrgic més avançat del món per cirurgia laparoscòpica. Això és degut a la gran precisió de moviments que ofereix al cirurgià conjuntament amb un joc d'eines poli-articulades que milloren l'accessibilitat. En l'actualitat existeix la possibilitat d'operar a través d'una única incisió (cirurgia de port únic), dur a terme una cirurgia robòtica en multi-especialitat -amb diferents equips mèdics operant al mateix temps – i, per últim i no menys important, el pacient afronta una intervenció menys traumàtica, amb menys cicatrius, un sagnat mínim i una recuperació post-operatòria menys dolorosa i més ràpida.

La principal aplicació és l'extirpació de pròstata, però també s'utilitza en altres patologies urològiques (bufeta i ronyo), cirurgia abdominal, cardíaca, toràcica, pediàtrica i ginecològica.

Un dels grans desavantatges del Da Vinci és la reduïda elit mundial amb accés a la cirurgia robòtica. Encara s'usa en un escàs nombre d'operacions (entre un 2% i un 5%), la majoria d'urologia i ginecologia. Això és degut a l'elevat preu del robot (adquisició i manteniment), es calcula que el cost per intervenció és d'aproximadament 3.200 dòlars.

## 3.2 Senhance

És un robot nord-americà de l'empresa TransEnterix. La seva peculiaritat és que el cirurgià pot dirigir la càmera amb els seus ulls: si centra la vista a un punt de la pantalla, la càmera es mou a enfocar aquell punt. A més, aquest robot fa servir eines reutilitzables, reduint així els costos per cirurgia. Actualment els cirurgians estan entrenant per implantar-lo en molts altres hospitals.

### 3.3 Flex

**L'empresa nord-americana *Medtronic* va dissenyar aquest robot flexible poli-articulat que incorpora una càmera d'alta definició i instruments quirúrgics al seu extrem. Dissenyat com a un catèter avançat, és capaç d'adaptar-se a vies naturals d'accés com el coll o els intestins. El seu ús és sobretot per a cirurgia de recte i de colon. El seu preu és bastant inferior al del Da Vinci i un dels avantatges que té és que pot ser transportat d'un quiròfan a un altre fàcilment.** [7]

3.4 Rosa

Aquest robot, d'origen francès, està dissenyat per a operar dins el cervell amb alta precisió. La seva funció principal és ajudar als cirurgians a arribar a tumors de molt difícil accés a partir de la localització d'alta precisió del crani i l'eina quirúrgica.

Consta d'un braç que posiciona i orienta l'eina quirúrgica en el punt i direcció d'entrada al crani. A partir d'aquest punt, controla la profunditat de l'eina dins el cervell. El robot va acompanyat d'un programari de reconstrucció 3D del crani, cervell i lesions i de planificació de l'operació. Té l'avantatge que la cirurgia és molt precisa i mínimament invasiva, la extirpació del tumor és menys agressiva i més completa.

### 3.5 Altres projectes en estat I+D

Existeixen múltiples projectes de recerca que estan desenvolupant robots quirúrgics per millorar aspectes dels robots comercials actuals, reduir preus, especialitzar robots, etc. Entre aquests, es poden trobar, per exemple, el robot Bitrack de RobSurgicalSystems (spinoff de

la UPC i l'IBEC). El Bitrack proposa un robot multi-braç per laparoscòpia que, gracies al seu disseny, minimitza els danys en la zona abdominal del pacient. El robot està equipat amb eines poli-articulades de gran precisió. El projecte BROCA proposa l'ús de robots de cost moderat (Universal Robots) amb capacitat de mesurar forces en les seves articulacions. Utilitza com a dispositiu màster uns dispositius hàptics que transmeten la força mesurada al cirurgià.

## 4 ACTORS IMPLICATS

Aquest TFG forma part de la investigació que es realitza al laboratori del Grup de Recerca en Robòtica Intel·ligent i Sistemes, GRINS. Els col·laboradors d'aquest treball són, per una part, l'equip d'investigació i, per una altra, els cirurgians que, de manera regular, col·laboren per perfilar tot el projecte i definir les necessitats que tenen a quiròfan.

La interfície d'usuari resultant d'aquest treball serà utilitzada pels cirurgians, en aquest cas concret, en cirurgies de fetoscòpia làser. Les principals persones que es beneficiaran d'aquesta interfície seran:

- **Pacients:** La cirurgia serà més segura per les mares amb la síndrome de transfusió fetus-fetal. Per conseqüència i amb la mateixa importància, s'hauran salvat moltes vides dels nadons.
- Els **cirurgians** podran realitzar aquest tipus de cirurgies amb major eficiència, precisió i seguretat. A més, s'incrementa l'ergonomia durant la cirurgia, cosa que es reflecteix en major qualitat de la mateixa.
- Els **hospitals** podran oferir un servei de major qualitat, reduiran índex de morbiditat i temps de recuperació de les pacients. Això es reflecteix també en un decrement dels costos associats a cada pacient.

# 5 METODOLOGIA I PLANIFICACIÓ

## 5.1 METODOLOGIA

Per optimitzar el rendiment i controlar les tasques dins el projecte, s'ha utilitzat el procediment Scrum basada en la metodologia Agile.

- Divisió de les tasques: s'ha analitzat la càrrega de feina de totes les tasques i s'han desglossat en tasques petites, de curta durada i el més independents possible, reduint així la dependència entre elles.
- Definició de tasques setmanals: cada setmana s'ha analitzat el progrés del projecte i s'han definit les tasques per la setmana següent. D'aquesta manera, els canvis en el desenvolupament i la trajectòria del projecte eren més flexibles.
- Lliuraments setmanals: cada setmana s'han revisat les tasques realitzades i s'han comparat amb els objectius que havien estat estipulats per aquesta.
- Reunions periòdiques amb l'equip d'investigació: els objectius i les tasques realitzades setmanalment s'han revisat amb el grup d'enginyeria del projecte.
- Reunions periòdiques amb l'equip de cirurgia: per una correcta definició de les necessitats del projecte, s'ha treballat constantment amb els cirurgians.
- Utilització d'eines de gestió de projectes: per definir les tasques i organitzar tant la càrrega de feina com els períodes temporals s'han utilitzat la plataforma en línia Bitrix24. S'han definit tasques, responsables, RRHH, dependències i temps d'execució gràcies a les eines que proveeix aquesta plataforma (definició de tasques, diagrames recursos, diagrames de Gantt, etc.).
- Demostracions a usuaris finals: per a la validació de la interfície s'han realitzat contínues proves amb els cirurgians involucrats en el projecte.

## 5.2 PLANIFICACIÓ

La planificació del treball es va fer tenint en compte que es podrien dedicar 6 mesos (16 de juliol de 2018 al 14 de gener de 2019) treballant a mitja jornada al laboratori (4h diàries). Això suma un total de, aproximadament, 540h. A continuació es detallen les tasques principals planificades.

### 5.2.1 FASE INICIAL DEL PROJECTE

#### 5.2.1.1 ESTUDIS PRÈVIS

A la fase inicial es varen estudiar els requisits de la interfície d'usuari. Per poder definir-los, es va estudiar l'anatomia implicada, la problemàtica mèdica i la tècnica de STFF amb abordatge fetoscòpic. Els diferents estudis realitzats han estat els següents:

- Estudi de les necessitats d'una cirurgia de tipus CMI
- Estudi del context, causes i objectius de la fetoscòpia làser
- Estudi de les capacitats i necessitats del cirurgià alhora de realitzar la cirurgia
- Estudi de la transformació de les dades de l'espai 3D a un mapa de visualització.

#### 5.2.1.2 SELECCIÓ I INSTAL·LACIÓ DEL SOFTWARE PER A LA IMPLEMENTACIÓ

Un cop definides les funcionalitats necessàries de la interfície d'usuari, el següent pas va ser determinar les llibreries i software que es faria servir per al desenvolupament de la interfície.



### 5.2.2 DESENVOLUPAMENT DE LA INTERFÍCIE

El desenvolupament de la interfície s'ha fet de forma modular i escalar. Primerament s'han definit les funcionalitats i mòduls que la componen. A continuació, s'han implementat les funcionalitats bàsiques de cada mòdul per, després, implementar la resta de funcionalitats auxiliars. Els mòduls principals són: visualització de la càmera fetoscòpica, mapa de navegació interactiu i el conjunt de botons i quadres d'informació per controlar i interactuar amb el sistema de teleoperació. De cadascun d'aquests tres mòduls principals deriven diverses tasques. A més, cal esmentar la tasca del disseny global de la interfície:

#### 5.2.2.1 MÒDUL VISUALITZACIÓ CàMERA FETOSCÒPICA

- Cerca i instal·lació dels *drivers* i entorn de desenvolupament (SDK) de la càmera
- Cerca del *widget* més adient per la visualització de la càmera
- Implementació del mòdul
- Integració amb el sistema de visió

#### 5.2.2.2 MAPA NAVEGACIÓ INTERACTIU

- Estudi d'OpenGL i el seu funcionament per poder dibuixar i interactuar
- Representació del mapa i dels punts d'interès a partir de les ordres de l'usuari
- Implementació de la rotació, translació i zoom de l'escena amb el punter
- Modificar l'estat i color de les cel·les del mapa a partir de les instruccions de l'usuari

#### 5.2.2.3 MÒDUL D'INTERACCIÓ

- Identificar la informació rellevant del sistema
- Implementar cada mòdul d'informació de manera independent per a facilitar possibles canvis en el disseny

#### 5.2.2.4 DISSENY INTERFÍCIE

- Disseny coherent dels elements gràfics de la interfície : icones, botons, marcadors, etc.
- Disseny de cada vista independent
- Disseny de la disposició a la pantalla dels diferents components gràfics

### 5.2.3 COMUNICACIÓ SISTEMA DE CONTROL-UI

Per a la comunicació entre la interfície i el sistema de teleoperació, calia implementar un sistema de comunicació de tipus client-servidor. Les tasques associades eren:

- Selecció de la tecnologia de comunicació adient
- Presa de decisions de l'arquitectura
- Implementació i test

### 5.2.4 INTEGRACIÓ

La interfície necessita enviar les ordres de l'usuari així com informar-lo de l'estat en tot moment. Per això, amb l'equip d'enginyeria s'havia de definir un graf d'estats del sistema de teleoperació que tingués en compte totes les funcionalitats necessàries així com mantenir la sincronització entre l'estat del sistema i la interfície.

- Definició del graf d'estats per al control del sistema amb l'equip del laboratori

### 5.2.5 - Definició dels missatges entre el sistema de control i la interfícieVALIDACIÓ

Un cop finalitzada la interfície, s'havia de realitzar diverses proves amb el sistema totalment integrat. L'objectiu era poder ensenyar aquesta interfície als cirurgians i que aquests poguessin provar-la i comentar aquells aspectes a millorar per acabar definint un disseny final.

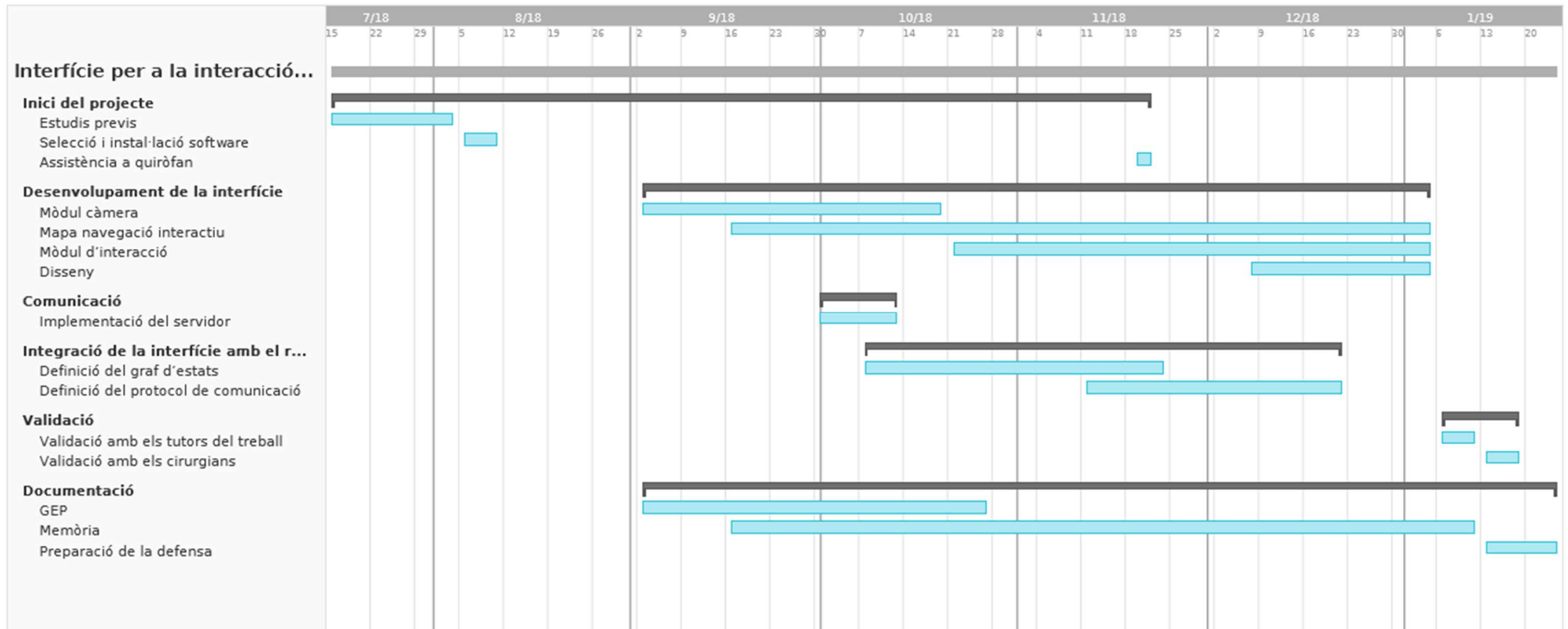
- Proves del sistema integrat amb l'equip
- Demostració als cirurgians
- Presa de decisions a partir dels consells dels cirurgians
- Implementació del disseny final

## 5.2.6 DOCUMENTACIÓ

Apart de la implementació, calia realitzar la part de documentació. A l'inici, amb l'assignatura de GEP s'havia d'entregar una sèrie de lliuraments que podien servir com a guia i base per a la memòria. Durant la realització del projecte s'ha anat redactant la memòria.

- Entregues de GEP
- Memòria

## 5.2.7 DIAGRAMA DE GANTT



## 6 PRESSUPOST ECONÒMIC

Per determinar el cost econòmic del projecte cal tenir en compte diferents tipus de costos. Des dels costos de personal, fins a tots aquells costos que venen donats pels recursos que es necessiten a la realització del projecte.

### 6.1 COSTOS DIRECTES PER ACTIVITAT

El cost de personal s'ha quantificat a partir d'un escenari en el que intervenen diferents rols: la desenvolupadora, la dissenyadora, la directora i el tester. Per cadascun d'aquests rols s'ha assignat la quantitat d'hores que realitza cadascun d'ells i el seu preu per hora (segons el mercat actual).

<b>Rol</b>	<b>Hores estimades</b>	<b>€/h</b>	<b>Cost</b>
Desenvolupador/a (DV)	300	25	7500
Dissenyador/a (DS)	120	25	3000
Director/a (DIR)	60	35	2100
Tester (T)	60	20	1200
<b>Total</b>	<b>540</b>		<b>13800</b>

**Interfície per a la interacció cirurgia-robot**

Pressupost econòmic

<b>Tasca</b>	<b>Hores dedicació</b>	<b>Responsables</b>	<b>Cost</b>
<b>Inici del projecte</b>	<b>80</b>	<b>DV 100%</b>	<b>2000</b>
Estudis previs	50		1250
Selecció i instal·lació software	20		500
Assistència a quiròfan	10		250
<b>Desenvolupament de la interfície</b>	<b>225</b>	<b>DV / DS / DIR 60%-30%-10%</b>	<b>5590</b>
Mòdul càmera	30		780
Mapa navegació interactiu	100		2600
Mòdul d'interacció	50		1300
Disseny	35		910
<b>Comunicació</b>	<b>10</b>	<b>DV-DIR 90%-10%</b>	<b>260</b>
Implementació del servidor	10		260
<b>Integració i sincronització</b>	<b>60</b>	<b>DV-DS-DIR 50%-25%-25%</b>	<b>1650</b>
Definició del graf d'estats	30		825
Definició del protocol de comunicació	30		825
<b>Validació</b>	<b>40</b>	<b>DV-T 20% - 80%</b>	<b>840</b>
Validació amb els tutors del treball	30		630
Validació amb els cirurgians	10		210
<b>Documentació</b>	<b>125</b>	<b>DV-DS-DIR 50%-25%-25%</b>	<b>3437,5</b>
Assignatura de gep	50		1375
Memòria	75		2062,5

## 6.2 COSTOS INDIRECTES

Tots aquells costots associats a l'espai de treball també s'han de tenir el compte. En aquests costos s'inclouen les despeses del local, material bàsic de despatx, sous personals de gestió, etc. S'ha quantificat que del total d'aquests costos un 10% és el cost corresponent a la realització del treball al laboratori. Estimant un cost setmanal de 500€, i sabent que la durada del projecte és de 27 setmanes, es calcula un cost de **1350€**.

## 6.3 AMORTITZACIONS

A part dels costos del personal també cal estimar els costos donats pels recursos que s'han utilitzat durant tot el projecte. Per quantificar-los s'estima que del cost total del projecte, els costos derivats del lloc de treball suposen un 10% respecte al total. A més, intervenen també els costos del hardware. A continuació es mostra una taula amb les amortitzacions:

<b>Producte</b>	<b>Preu</b>	<b>Percentatge utilització</b>	<b>Unitats</b>	<b>Cost</b>
Robot Staubli	60000€	10%	1	6000€
Portàtil	700€	40%	1	280€
Pantalla tàctil	300€	50%	1	150€
Sistema de control	1000€	25%	1	250€
Làser	50€	100%	1	50€
Sistema de compensació trocar	40€	100%	1	40€
<b>TOTAL</b>				<b>6770€</b>

## 6.3 COSTOS DE CONTINGÈNCIA

Suposarem que els costos es poden incrementar en un 10% respecte als càlculs realitzats.

Aquest 10% s'aplica a la suma dels costos de personal i els indirectes.

Concepte	Preu	%	Cost
Personal	13777,5€	10%	1377,75€
Costos indirectes	1350€	10%	135€
Amortitzacions	6770€	10%	677€
<b>TOTAL</b>			<b>2189,75€</b>

## 6.4 POSSIBLES IMPREVISTOS

A l'estimació de la gestió econòmica del projecte també s'han de tenir molt en compte els possibles imprevistos que puguin sorgir. Aquests imprevistos acostumen a suposar que el temps del projecte s'allargui, és a dir, que implica dedicar més hores per part dels participants. A més, en funció de l'imprevist podria ser que aquest suposi un cost extra, per exemple, si s'espatlla una màquina i cal comprar-ne una de nova. Per aquest treball els possibles imprevistos són:

### - Averies:

- **Avaria del robot:** si el robot deixés de funcionar, caldria reposar la peça que s'ha trencat o espatllat. Això és poc probable i no és rellevant pel projecte ja que al final el que importa de la comunicació amb el robot és que la màquina que controla el robot i la interfície es comuniquin. A més, el robot també podria fallar per software.

- **Avaria d'alguna de les màquines:** en aquest cas sí que caldria o bé comprar-ne una de nova o reinstal·lar tot el sistema. Aquest imprevist té una probabilitat d'un 10% de passar, i suposaria un retràs d'una setmana.



**- Retards:**

- **Error difícil de solucionar:** pot passar que a nivell de codi existeixi algun error que no sigui fàcil de solucionar. Aquest imprevist té una probabilitat d'un 25% de passar, i suposaria un retràs d'una setmana.

- **Disponibilitat per fer les reunions amb els especialistes:** s'han de realitzar reunions periòdiques amb els directors del TFG, els cirurgians... Podria ser que per horaris sigui difícil de quadrar les reunions. . Aquest imprevist té una probabilitat d'un 10% de passar, i suposaria un retràs d'una setmana.

- **Els altres components del TFG no funcionen correctament o no estan llestos:** el control del robot o el sistema de visualització són components importants pel desenvolupament del projecte, si el seu funcionament no és correcte, algunes de les tasques del projecte es veuran afectades. . Aquest imprevist té una probabilitat d'un 15% de passar, i suposaria un retràs d'una setmana.

Per la taula d'estimació dels costos addicionals que podrien suposar els imprevistos, s'ha fet un càlcul de les hores de retràs que suposarien. Aquestes hores es multiplicaran pel preu per hora ponderat en mitjana dels 4 rols esmentats:  $(25 \cdot 300 + 25 \cdot 120 + 35 \cdot 60 + 20 \cdot 60) / 540 = 25,55 \text{€}/\text{h}$ .

<b>Imprevist</b>	<b>Probabilitat</b>	<b>Hores</b>	<b>Preu</b>	<b>Cost</b>
Averia màquina	10%	80	25,55€/h	204,4€
Error desenvolupament	25%	80	25,55€/h	511€
No disponibilitat horària	10%	80	25,55€/h	204,4€
Altres components	15%	80	25,55€/h	306,6€
<b>TOTAL</b>				<b>1226,4€</b>

## 6.5 PRESSUPOST FINAL

<b>Concepte</b>	<b>Cost</b>
Personal	13800€
Costos indirectes	1350€
Amortitzacions de recursos	6770€
Contingència	2194,75€
Imprevistos	1226,4€
<b>TOTAL</b>	<b>25341,15€</b>

## 7 IMPACTE MEDIAMBIENTAL

La realització d'aquest projecte requereix principalment d'un portàtil i, més cap a la fase d'integració, del sistema de teleoperació complet. Per això, suposarem que el 100% del temps de la realització s'utilitza el portàtil mentre que la resta de mòduls caldran al 30%.

El làser i el sistema de compensació del trocar estan implementats amb una placa Arduino. El sistema de control i la interfície per a la realització de les proves s'executen a dos ordinadors de sobretaula. El consum dels diferents tipus de màquines són:

Robot Staübli:

- Actiu: 200W
- Mode estalvi: 56W
- Apagat: 5W

Placa Arduino:

- Actiu: 30W
- Mode estalvi: 12W
- Apagat: 1W

Ordinador de sobretaula:

- Actiu: 70W
- Mode estalvi: 25W
- Apagat: 1,5W

Suposarem que les 540h de la realització del projecte el portàtil està actiu i que la resta de sistemes estaran actius un 30% del temps:

$$540h \times 70W + 0.3 \times 540h \times (200W + 2 \times 30W + 70W) = \mathbf{91260Wh}$$

Respecte a la reutilització de recursos, cal dir que els ordinadors de sobretaula i el robot ja estaven al laboratori per a tasques d'investigació per tant no ha calgut comprar-ne de nous.

## 8 IMPACTE SOCIAL

La cirurgia robòtica està representant una gran millora a moltes tècniques quirúrgiques com per exemple per a l'extirpació de pròstata arrel d'un càncer, amb l'ajuda del Da Vinci. Els graus de llibertat que pot oferir un robot així com la precisió i la reducció de tremolor permeten un accés molt més fàcil a determinades parts de l'anatomia sense danyar-les.

La plataforma desenvolupada representarà una evolució de la tècnica quirúrgica de la fetoscòpia làser ja que s'hi afegeix la participació d'un robot. Aquesta evolució suposarà generar una millora en diversos aspectes:

- Seguretat de les pacients: gràcies a la precisió del robot i a l'automatització de tasques que es realitzaven manuals com l'extracció del làser i la compensació del trocar que podien derivar en accidents.
- Reducció de costos econòmics: a causa del decrement de morbiditat i a la reducció del temps de quiròfan. De totes maneres, per a rendibilitzar la inversió és molt important la maximització en l'ús del sistema.
- Reducció del temps: gràcies al mapa interactiu el cirurgià es situa molt millor dins de la superfície de la placenta i s'incrementa l'economia de moviments durant la cirurgia.

Els hospitals que utilitzin aquest sistema per a la realització d'aquesta tècnica quirúrgica es veuran beneficiats per tots els punts esmentats i així milloraran la qualitat dels seus serveis.

## 9 ESTUDI DELS REQUISITS DE LA INTERFÍCIE

A l'hora d'iniciar aquest TFG, el més important era determinar les característiques principals de l'aplicació per tal de que fos útil, fàcil, usable, i el més important: que cobrés totes les necessitats de la fetoscòpia làser per a la STFF. Per això, a l'inici del treball s'havia de fer diversos estudis per determinar aquestes necessitats. El primer era familiaritzar-se amb els avenços que ja realitzats pel grup de recerca en aquest projecte i a partir d'allà, estudiar tots els requisits i necessitats de la cirurgia en general, de la fetoscòpia làser en concret, del robot i de les capacitats del cirurgià.

Amb l'ajuda de l'equip d'investigadors i dels cirurgians que hi col·laboren, es va anar formant poc a poc una idea clara de les necessitats més bàsiques. A continuació es descriu cadascun dels estudis dels requisits que es van fer.

### 9.1 REQUISITS GENERALS D'UNA CIRURGIA

Per aquest estudi, el primer que calia era estudiar de quin tipus de cirurgia es tracta. Existeixen molts tipus de cirurgies classificades per diferents característiques, però en aquest cas està clar que es parla de teleoperació amb la intervenció d'un robot i la cirurgia robòtica està enfocada a les **cirurgies mínimament invasives o laparoscòpies**.

La cirurgia mínimament invasiva consisteix a fer petites incisions a la pell del pacient i introduir una càmera endoscòpica per veure la zona en qüestió i també les eines que calguin per realitzar l'operació.

Per tant, el primer que es va determinar era que calia una **eina fina** que es pugui introduir dins de la pacient a través d'un orifici petit i, per tant, que porti una **càmera endoscòpica** per a que el cirurgià pugui manipular i observar la zona afectada.

## 9.2 REQUISITS CONCRETS DE LA FETOSCÒPIA LÀSER

Per entendre la fetoscòpia làser en concret, calia estudiar prèviament la Síndrome de Transfusió Fetus Fetal i entendre també en què consisteix la fetoscòpia làser que s'aplica a aquesta malaltia com a tractament. L'eina que s'ha d'utilitzar ha de ser més fina (3mm) que les eines que s'utilitzen habitualment per les laparoscòpies (8mm) per tal de no fer malbé el sac amniòtic i per les petites dimensions del camp quirúrgic. A més, apart d'incorporar la fibra de la càmera, també ha de portar el **làser** per coagular les connexions vasculares dels dos fetus. La interfície per tant, ha de monitoritzar l'estat del làser en tot moment.

A més, també calia entendre tot el procediment de la cirurgia per saber quines havien de ser les funcionalitats principals de la interfície així com la informació que cal mostrar. Després de diverses reunions amb el responsable i codirector del treball, es van acabar definint les fases més imprescindibles de la fetoscòpia làser:

1. **Preparació:** preparació del robot amb el fetoscopi, determinar la posició de la base del robot per maximitzar el volum de treball i la seva manipulabilitat.
2. **Inserció:** realitzar el/s talls pertinents a l'abdomen de la pacient i introduir el trocar/s per crear les vies d'accés a l'úter i, finalment introduir el fetoscopi amb l'ajuda de l'ecògraf.
3. **Localització de la placenta:** localitzar la placenta dins del sac amniòtic.
4. **Localització de les insercions dels cordons umbilicals a la placenta.**
5. **Localització de l'equador:** L'equador és la regió amb major probabilitat de localització de les anastomosis.
6. **Localització i tipologia de les anastomosis:** Localització de totes les anastomosis per planificar, segons criteris quirúrgics, l'ordre de coagulació. Aquest procés inclou el seguiment de les estructures vasculares per identificar origen dels vasos implicats. Es poden donar tres tipus d'anastomosis: Arteria-Arteria, Arteria-Vena i Vena-Vena. Aquesta informació és rellevant per determinar l'ordre de coagulació.
7. **Determinació de l'ordre de coagulació:** l'ordre de la coagulació és rellevant per controlar el flux vascular d'un fetus a l'altre durant la coagulació. Es podrien generar complicacions si

l'ordre no és correcte.

#### **8. Coagulació de les anastomosis en l'ordre estipulat**

**9. Coagulació les connexions entre anastomosis:** per assegurar que realment s'han separat els dos sistemes vasculars, es coagulen també els camins entre les anastomosis, sobretot localitzades a l'equador (tècnica coneguda com Salomon).

**10. Revisió:** abans de finalitzar la cirurgia, es revisa que totes les anastomosis estiguin ben coagulades i no falti cap connexió per tancar.

**11. Re-Coagulació:** Procés de re-coagulació si l'anastomosi no ha quedat ben coagulada.

**12. Sortida:** un cop s'ha revisat totes les anastomosis, s'extreu el fetoscopi de dins de l'abdomen de la pacient amb cura de no fer malbé les membranes ni el sac amniòtic.

**13. Sutura dels orificis:** Després de sortir es sutura la part superficial de la via d'accés.

## 9.3 ESTUDI DE LES CAPACITATS I NECESSITATS DEL CIRURGIÀ

Durant la fase de disseny de la interfície, un dels factors més importants és la capacitat de percepció del cirurgià per assimilar tota la informació que aquesta li pot proporcionar. Per això, a més de fer reunions periòdiques amb els cirurgians per determinar les seves principals necessitats, s'ha estudiat cadascuna de les fases de la fetoscòpia làser per tal de minimitzar la càrrega cognitiva alhora que es maximitza la informació rellevant proporcionada a l'usuari. Aquesta aproximació permet mostrar la informació necessària sense interferir en la concentració dels cirurgians en la cirurgia.

A més, un dels problemes que planteja aquesta cirurgia (i moltes altres del mateix tipus) és la desorientació espacial. La superfície que arriba a mostrar la càmera és molt reduïda en comparació amb l'àrea total de la placenta i en moltes ocasions és fàcil perdre's. Aquest és un dels principals motius pels que s'ha decidit desenvolupar el mapa interactiu on es mostrarà un pla amb els recorreguts ja visitats i on es pugui anar marcant punts d'interès com les insercions dels cordons umbilicals a la placenta, el sistema vascular superficial placentari, les anastomosis, l'equador, etc.

## 9.4 ESTUDI DE LA REPRESENTACIÓ DE LES DADES

El mapa interactiu és una simplificació bidimensional de la superfície tridimensional generada per la placenta. Aquesta aproximació permet expressar la informació d'una manera més entenedora, sense perdre informació rellevant pels cirurgians. Per entendre aquesta representació, el primer que s'ha de tenir en compte és el tipus de moviment que pot realitzar el fetoscopi, a l'estar condicionat per un punt de fulcre.

Els moviments descrits es poden representar per un conus amb el vèrtex en el punt de fulcre i la base amb un diàmetre que abasta la superfície total de la placenta. El mapa expressa, a partir d'una discretització de les coordenades de l'extrem del fetoscopi, el que es mostra en el centre de la imatge de la càmera. La manera més apropiada és canviar la representació de les coordenades de la punta del fetoscopi (centre de la imatge) de cartesianes a esfèriques. D'aquesta manera, qualsevol punt de la placenta, es pot expressar com a funció de les components angulars de les coordenades esfèriques. Donat que el punt central de la imatge és independent de la profunditat si es mantenen fixes aquests dos angles, la simplificació 3D a 2D és possible. La figura Fig. 1 mostra un esquema clarificador d'aquesta transformació.

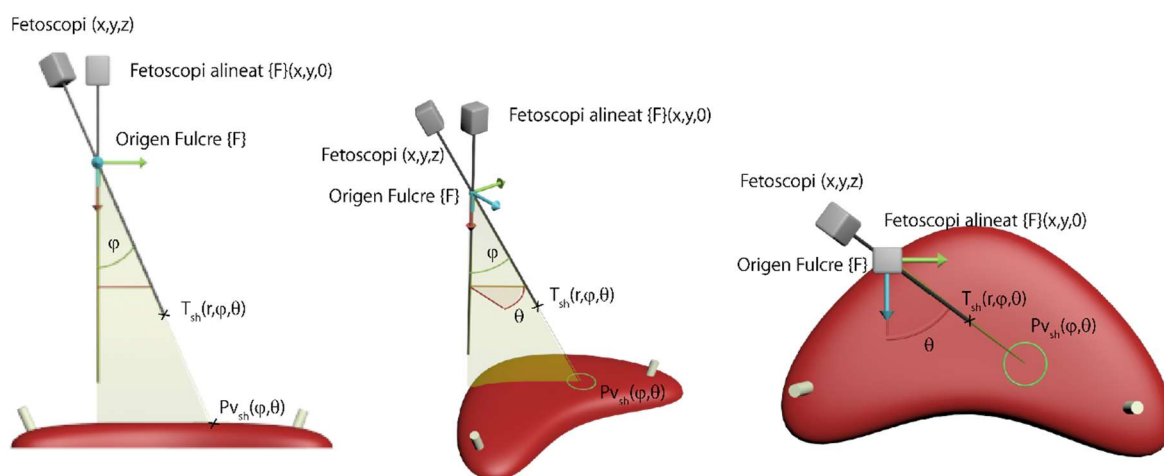


Fig. 1 Esquema de la representació d'un punt de la placenta en coordenades esfèriques



## 9.5 ESTUDI DE L'ESTRUCTURA DE DADES PER A LA FETOSCOPIA LÀSER

A partir de les diferents fases de la cirurgia i de l'estudi de l'anatomia rellevant en aquesta, s'han definit aquelles estructures de dades que són imprescindibles. Els punts d'interès que definitivament cal tenir en compte per la seva visualització al mapa són:

- Equador
- Cordons umbilicals
- Arteries (dels dos fetus)
- Venes (dels dos fetus)
- Anastomosis (Arteria-Arteria, Arteria-Vena o Vena-Vena)

Gràcies a la representació d'aquests punts de l'anatomia de la pacient, els cirurgians seran capaços de situar-se molt millor al mapa i realitzar la cirurgia més eficientment. A més, al mapa també és important marcar la trajectòria del robot, per així mostrar a l'usuari el recorregut que està fent.

## 9.6 ASSISTÈNCIA A QUIRÒFAN

Per entendre molt millor el procediment d'aquesta tècnica quirúrgica, l'equip de cirurgians va oferir la oportunitat d'assistir a dues fetoscòpies làser del síndrome de transfusió fetus-fetal. La primera va ser el dia 20 de novembre a l'hospital Sant Joan de Dèu. Per desgràcia s'havia adelantat la cirurgia i no es va poder presenciar més que els últims 5 minuts de la cirurgia. Posteriorment, al desembre, es va tenir la oportunitat d'assistir a una altra, aquest cop a l'Hospital de la Maternitat i Sant Ramón., a càrrec del famós cirurgià Eduard Gratacós, amb l'ajuda de l'Elisenda Erixach.

Gràcies a aquesta oportunitat, es va poder veure d'aprop el funcionament de cadascuna de les fases i detectar les necessitats de la cirurgia, sempre intentant optimitzar cadascuna de les tasques. Els principals problemes que es van detectar van ser que són auxiliars els encarregats de la retracció i extracció del làser i també que és el cirurgià el que ha de mantenir el trocar fixe al punt de fulcre.

# 10 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

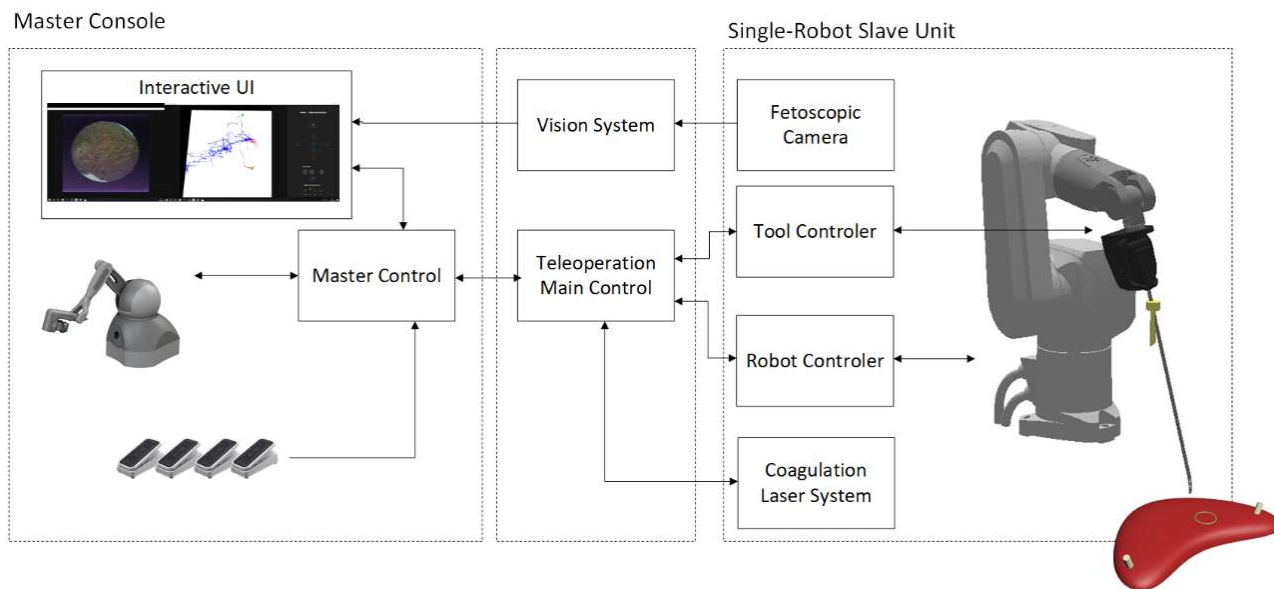


Fig. 2 Esquema de l'arquitectura del sistema de teleoperació

L'arquitectura del sistema de teleoperació està composta per dos mòduls principals: Màster i Slave. A part d'aquests dos mòduls, existeix el mòdul de control del sistema de teleoperació, que és l'encarregat de controlar el *master* i el *slave* i les comunicacions entre mòduls.

- Màster: El mòdul màster o local està format pel conjunt d'elements que permeten a l'usuari comandar el mòdul *slave*, rebre informació del sistema i de l'entorn remot de treball. En aquest cas en concret, està format pels submòduls:
  - Dispositiu hàptic de control de posició del robot
  - Conjunt de pedanals per controlar accions auxiliars com, per exemple, activació làser o retirada d'emergència del fetoscopi.
  - Interfície d'usuari
- Slave: El mòdul *slave* o remot està format pel conjunt d'actuadors (braç robòtic) i sensors que interactuen en l'entorn remot i recullen informació del seu estat.
  - Robot de fetoscòpia
  - Sistema d'actuació de la fibra òptica portadora del làser, emissor làser
  - Sistema de compensació del trocar

- Sistema de visió
- Sistema central de control: mòdul encarregat de generar les accions a realitzar per *slave* donades les ordres del mòdul màster.

## 10.1 DESCRIPCIÓ DELS COMPONENTS

### 10.1.1 SISTEMA CENTRAL DE CONTROL DE TELEOPERACIÓ

És el responsable del càlcul de la cinemàtica del robot, el sistema de compensació del trocar i de l'actuació del làser. Aquest control té en compte les restriccions imposades per l'espai de treball i la tasca (per exemple: restricció de moviments pel fulcre). Per una altra part, monitoritza l'estat dels components del *master* i *slave* i és l'encarregat de la comunicació entre mòduls. Dins aquest mòdul, també s'inclou el processament de imatge, que permet dotar al sistema de teleoperació de certa intel·ligència per interpretar la informació de l'entorn de treball (placenta) i compensar els moviments del mateix, fer seguiment actiu dels punts d'interès, etc.

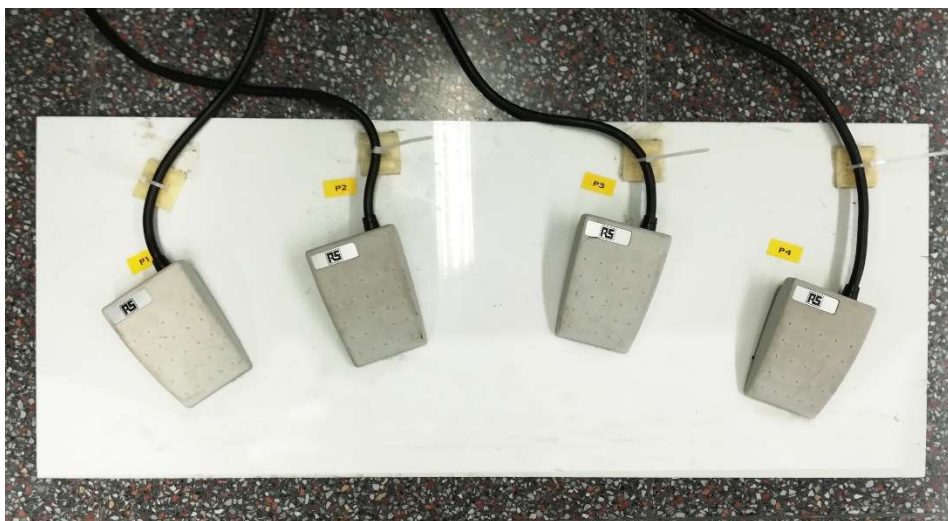
### 10.1.2 MÀSTER



Fig. 3 Dispositiu hàptic

El màster és un dispositiu hàptic que s'utilitza a investigació, modelat 3D i moltes altres aplicacions. Disposava d'una estructura semblant a un bolígraf que permet a l'usuari amb la mà reproduir els moviments que voldria que fes el robot. El dispositiu terminal disposa de dos botons per activar i desactivar la teleoperació (botó de teleoperació). Gràcies a aquest mètode, el sistema proporciona més seguretat i el cirurgià té un millor control del robot. És a dir, mentre l'usuari mantingui algun dels botons premut, tots els moviments del màster es reproduiran també al robot, quan el deixi anar, el robot es quedarà quiet encara que el cirurgià estigui movent el dispositiu màster. Aquesta funcionalitat permet al cirurgià un control molt més còmode del robot dins de l'espai de moviments del màster.

#### 10.1.3 PEDALS



*Fig. 4 Pedals. Coagulació – NA – NA - Emergència*

A l'espai de treball del cirurgià, a més de la interfície i el màster, podrà també disposar d'uns pedals per interactuar amb el robot i realitzar algunes funcionalitats auxiliars. Després d'estudiar les necessitats dels cirurgians i veure les seves costums a l'hora d'operar i de les possibles situacions que es poden donar a una cirurgia, al laboratori s'ha decidit utilitzar dos pedals amb dos funcionaments molt clars:

- **Pedal d'emergència:** en cas d'una situació d'emergència es prem el pedal i el robot realitzarà un moviment de retrocés en l'eix Z. Un cop fet aquest moviment, el robot es quedarà quiet fins que el cirurgià indiqui al sistema que tot és correcte i es pot, o bé recuperar la posició on estava abans de l'emergència, o passar a l'estat de repòs des d'on podrà reprendre la cirurgia.
- **Pedal de coagulació:** sempre i quan el làser estigui preparat per coagular, és a dir, amb l'extrem del làser fora de la cànula del fetoscopi, si l'usuari prem aquest pedal el làser s'activarà.

#### 10.1.4 ROBOT

El robot és una màquina composta per un conjunt de sis braços articulats que es mouen seguint les ordres del sistema central i del dispositiu hàptic. L'eina mèdica que fa servir és el fetoscopi i a través de la seva cànula també es passa el la fibra òptica del làser i de la càmera fetoscòpica.



*Fig. 5 Robot Staübli RX60B*

#### 10.1.5 UI

La UI és la interfície gràfica que s'encarrega de mostrar la informació a l'usuari –en aquest cas, al cirurgià- de l'estat de la cirurgia alhora que li permet interactuar amb el mapa interactiu i el robot. Com ja s'ha comentat, es divideix en tres mòduls:

- La visualització de la càmera del fetoscopi
- El mapa interactiu en realitat augmentada de la placenta, amb els camins visitats pel robot i els punts d'interès marcats pel cirurgià.
- Un conjunt de quadres d'informació i botons per interactuar amb el robot i el mapa.

Tot i que el seu desenvolupament s'ha realitzat amb un terminal portàtil, la versió final del projecte integra el sistema de visió i la interfície en un mateix terminal.

## 10.1.6 SISTEMA DE VISIÓ



*Fig. 6 Càmera fetoscòpica*

El sistema de visió fa l'adquisició de les imatges de la càmera i per cadascuna d'elles n'extreu informació. Concretament, aquest sistema segmenta les imatges i calcula la transformació que s'ha produït entre una imatge i l'anterior, identificant així el moviment que s'ha produït a l'abdomen de la pacient. Aquests moviments són principalment pseudo-síncrons amb freqüència variable donats per la respiració o pel flux vascular, tot i que en certs moments la pacient també pot patir espasmes.

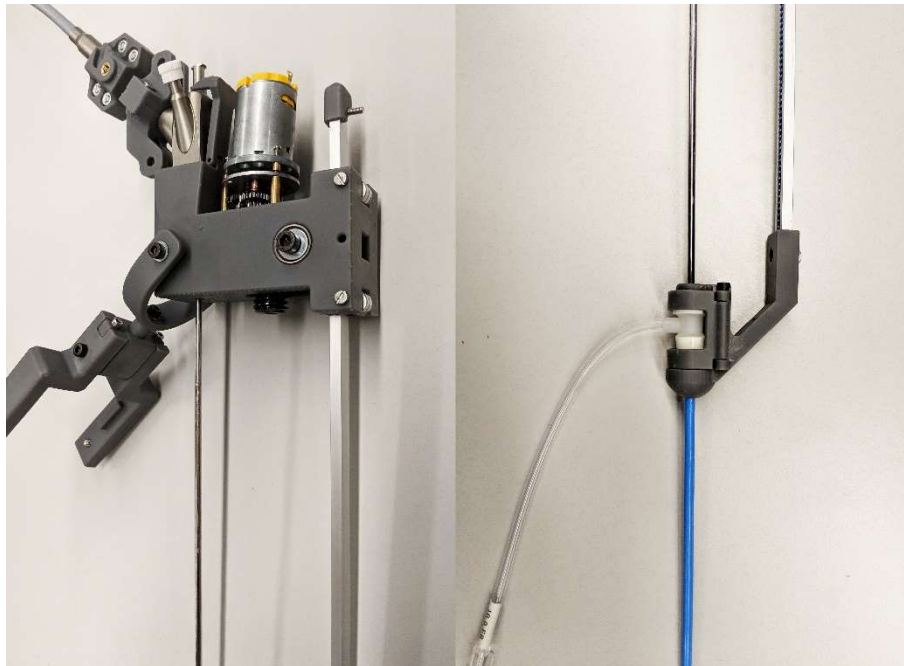
## 10.1.7 LÀSER

El làser consisteix a una fibra llarga que s'introdueix a través d'un dels canals funcionals del fetoscopi. La seva funció és tallar i coagular les connexions entre els sistemes vasculars dels fetus per mantenir la seva independència. Al laboratori s'ha treballat en un mecanisme fixat al fetoscopi que permet desplaçar el làser cap a fora o cap a dins de la cànula, per tal de poder-lo fer aparèixer només quan es vulgui coagular.



*Fig. 7 Làser de coagulació introduït al fetoscopi.  
Demostració del làser extret de la cànula*

## 10.1.8 SISTEMA DE COMPENSACIÓ TROCAR



*Fig. 8 Sistema de compensació del trocar*

El sistema de compensació de trocar el manté immòbil per evitar lesions provocades pel lliscament entre la cànula del trocar i la paret abdominal. Un sistema mecànic automatitzat realitza un moviment oposat a l'avenç del fetoscopi.

## 10.2 ESPECIFICACIONS HARDWARE DELS MÒDULS

### 10.2.1 SISTEMA CENTRAL DE CONTROL DE TELEOPERACIÓ

Plataforma PC d'altres prestacions (intel i7, 8GB RAM) amb GPU (NVidia GT760) amb capacitat de càlcul en paral·lel (OpenGL).

### 10.2.2 MÀSTER

El dispositiu màster hàptic Touch de 3D SYSTEMS de 6 graus de llibertat i 3 de realimentació de força. Permet controlar fàcilment components mecànics. Té dos botons en l'element terminal que es fan servir per embragar el moviment del robot.



### 10.2.3 ROBOT

Un dels objectius del projecte és el disseny i construcció d'un robot específic per fetoscòpia. Donat que durant la realització del TFG aquest robot no estava finalitzat, els desenvolupaments de software i compensació de trocar s'han realitzat en un robot comercial. El sistema és prou modular com per poder aplicar tot el desenvolupament a qualsevol dels dos robots.

El robot que s'ha utilitzat per la realització de les proves i la integració del sistema ha estat un Robot Staübli RX60B amb controladora CS7s. Aquest robot disposa de sis graus de llibertat (sis articulacions rotacionals distribuïdes segons model Puma 560) amb comunicació via Ethernet. Disposada d'una llibreria de comunicació i moviment d'alt nivell integrable en C++.

### 10.2.4 UI + SISTEMA DE VISIÓ

La interfície gràfica i el sistema de visió s'integren a un mateix terminal i en un mateix *software*. Per poder suportar la càrrega de la UI i de la càmera, cal utilitzar una màquina de gama mitja alta. A més, per poder realitzar tots els càlculs del sistema de visió caldrà que la màquina disposi d'una GPU dedicada de qualitat mitja-alta.

### 10.2.5 LÀSER

És un làser de coagulació d'alta potència que s'utilitza a quiròfan per aquest tipus de cirurgies. Per realitzar les proves al laboratori s'ha utilitzat una font de llum per imitar la funcionalitat.

### 10.2.6 COMUNICACIONS

Els mòduls independents que participen al sistema de control de teleoperació són:

- El sistema central
- La controladora del robot
- El làser
- El sistema de compensació del trocar

## Interfície per a la interacció quirúrgica-robot

### Arquitectura del sistema

- El dispositiu màster (amb els pedals incorporats)
- La interfície d'usuari
- La càmera fetoscòpica

Tot el flux de comunicacions dels mòduls màster i slave és filtrat pel sistema central de control, sent aquest el que es comunica amb tots els mòduls. Les comunicacions estan basades en client-servidor utilitzant sockets TCP-IP on el sistema central actua com a client i la resta com a servidors. S'utilitza una xarxa privada Ethernet 100Mb.

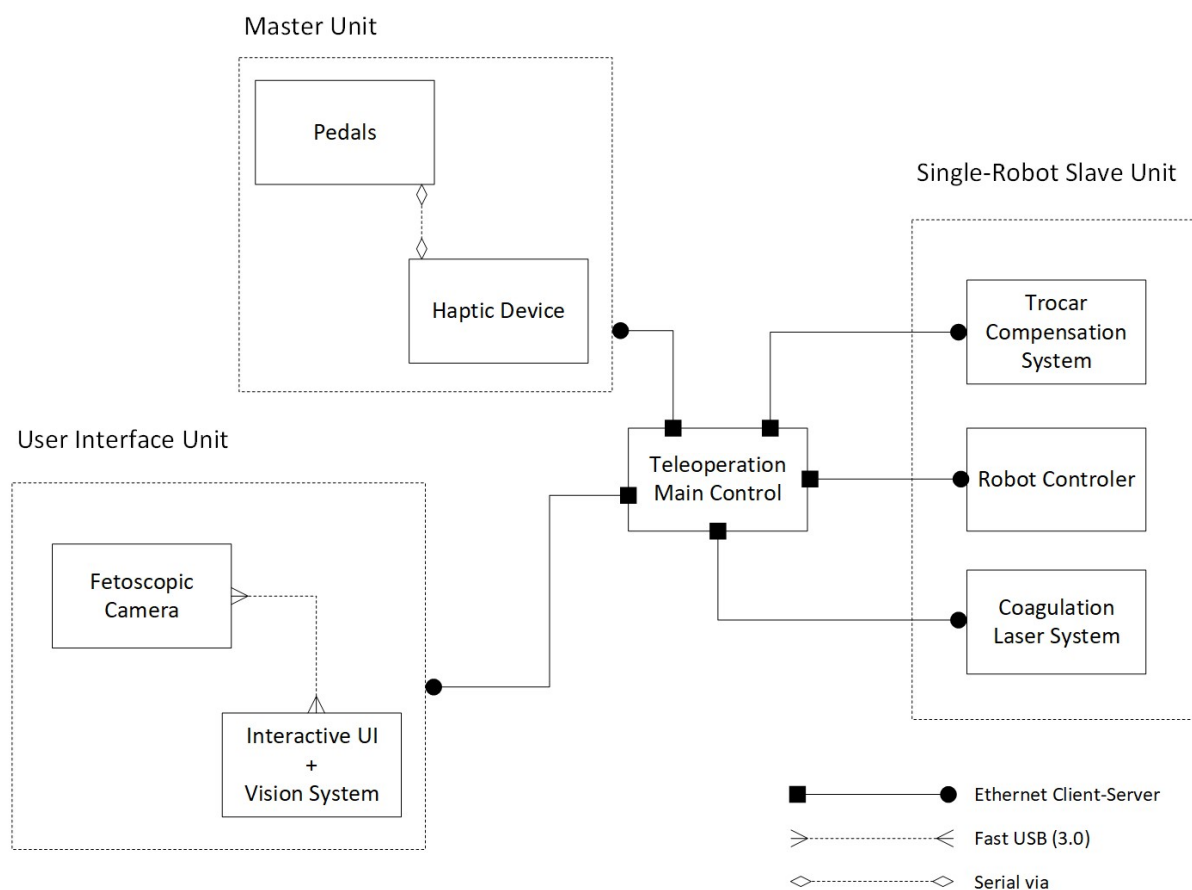


Fig. 9 Esquema de les connexions entre mòduls

# 11 CONTROL DE LA TELEOPERACIÓ

El sistema de teleoperació es situarà dins el quiròfan. La part esclau es situa al costat de la pacient en una posició que optimitzi el volum de treball del robot. Depèn de la localització de la placenta (anterior, lateralitzada o posterior), el robot s'ha de situar en una posició diferent respecte la pacient. La part màster estarà retirada de la pacient però dins el mateix quiròfan. El cirurgià es troba assegut davant de la pantalla amb la interfície gràfica, el dispositiu hàptic en una posició que maximitzi l'ergonomia i el control del mateix: el colze recolzat sobre una superfície donat que l'ha d'agafar amb la mà i els dos pedals als peus per poder embragar els moviments del dispositiu hàptic i activar el feix làser. A través de la UI pot veure la càmera i consultar o modificar la informació del mapa interactiu.

A partir dels estudis de les necessitats de cada fase de la cirurgia, s'han definit quatre modes en que el cirurgià pot treballar amb el robot i que poden ser seleccionats a través de la UI en qualsevol moment:

IDLE: Aquest mode és l'estat per defecte del robot. En aquest mode, la teleoperació està desactivada i el robot es troba en estat de repòs mantenint la seva posició. El sistema està a l'espera de noves ordres. Sempre que l'usuari vulgui canviar d'un estat a un altre haurà de passar per aquest mode per seguretat i control d'estats

FREE NAVIGATION: En aquest mode, el cirurgià pot teleoperar lliurement amb el màster. Els moviments només es transmeten si el sistema està embragat (pedal de teleoperació). El mode *free navigation* permet navegar per sobre de la placenta. En qualsevol moment es poden marcar punts rellevants, seleccionar el seu tipus i estat (per exemple: una inserció umbilical, anastomòsis i el seu estat: identificada, coagulada o revisada post-coagulació). També, si vol, pot iniciar el mode de TRACK POINT en el punt en que es troba.

TRAJECTORY: Per seleccionar aquest mode s'ha de seleccionar un dels punts del mapa interactiu ja marcats prèviament i el robot iniciarà un desplaçament cap al punt en qüestió. El robot es desplaçarà

a través de les trajectòries ja visitades (lliures de col·lisió). El cirurgià podrà parar la navegació o també podrà pausar-la i reiniciar-la.

TRACK POINT: En aquest mode, el robot inicia un *tracking* del punt on es troba. Aquest procediment ha estat desenvolupat per un dels enginyers de l'equip i consisteix al processament de les imatges de la càmera per a la identificació i seguiment d'estructures vasculares a la superfície de la placenta. Gràcies a aquest algorisme es pot realitzar un ajustament de la posició que pot haver variat pels moviments de la placenta (respiració, bateg i moviments asíncrons).

En qualsevol d'aquests modes, si es dona una situació d'emergència com una possible penetració del fetoscopi dins la placenta, el cirurgià disposa d'un pedal d'emergència que quan el prem el robot fa un moviment de retrocés en l'eix Z immediatament. El sistema de seguiment automàtic del sistema vascular pot ajudar a mantenir una distància de seguretat, però el pedal permet una reacció immediata dels cirurgians.

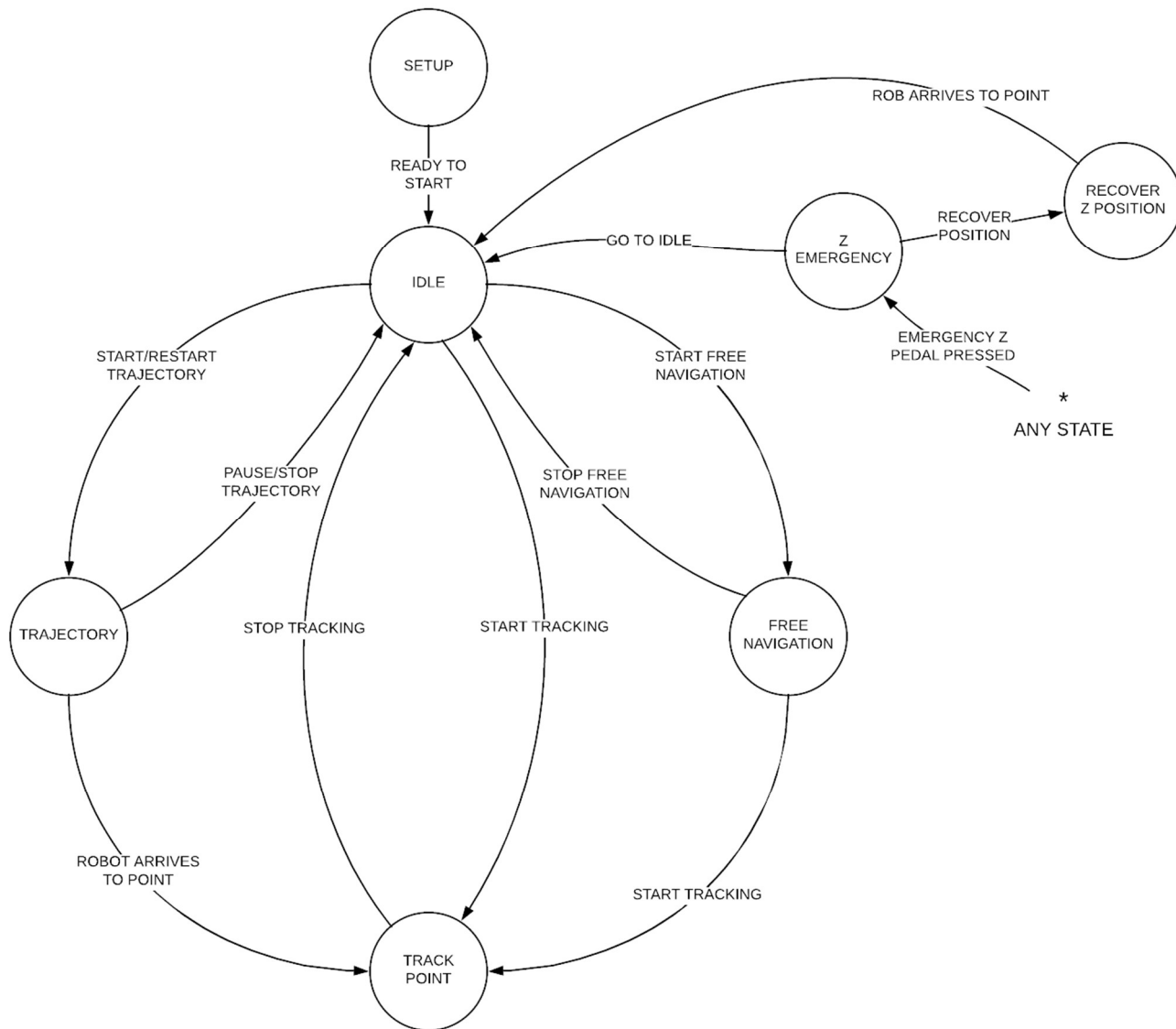
## 11.1 MÀQUINA D'ESTATS

El sistema central de control és l'encarregat de determinar quin és l'estat del sistema i per gestionar totes les situacions possibles, s'ha generat una màquina d'estats.

La màquina d'estats respon a les diferents fases de la cirurgia per tal d'adaptar-se al màxim a les necessitats i procediments de la mateixa:

1. Localització de les insercions umbilicals
2. Localització de la regió equador: zona aproximadament equidistant a les insercions. Aquesta zona és on es concentren amb major probabilitat les anastomosis.
3. Localització de les anastomosis i navegació pel sistema vascular per verificar-les.
4. Coagulació, segons ordre estimat pels cirurgians, de cada una de les anastomosis.
5. Coagulació de la regió entre dues anastomosis si es considera necessari per eliminar potencials capil·lars interconnectats.
6. Revisió i, re-coagulació si s'estima necessari, de les anastomosis.

### 11.1.1 GRAF D'ESTATS



### 11.1.2 DESCRIPCIÓ DELS ESTATS

**SETUP:** Inicialització del sistema. En aquest estat, el sistema central està establint la comunicació amb tots els mòduls del sistema, inicialitza el robot i el situa a la posició inicial (entrada del punt de fulcre). Aquest estat és l'estat inicial del sistema i serà el sistema central el que passarà a l'estat de IDLE quan el robot i tots els mòduls estiguin preparats per iniciar la teleoperació.

IDLE: El sistema està en espera, amb el robot aturat o mantenint l'alçada relativa a la placenta si es troba a prop d'aquesta. Des d'aquest mode es pot passar a qualsevol dels altres modes a través de la UI: FREE NAVIGATION, TRAJECTORY i TRACK POINT. IDLE actua com a estat de seguretat per canviar de mode, evitant canvis sobtats en el comportament del robot i assegurant el canvi de mode a partir d'un doble canvi d'estat. Aquest plantejament augmenta la seguretat del sistema.

FREE NAVIGATION: Aquest mode permet la lliure navegació del robot per l'espai de treball per localitzar els diferents punts d'interès i registrar-los en el mapa interactiu. Des d'aquest mode el cirurgià pot decidir fer TRACK POINT del punt on es troba i també pot decidir marcar el punt com a punt d'interès. Si el marca, podrà escollir quin tipus de punt és i el seu estat. Per a més informació, veure apartat 13.4.3.

TRAJECTORY: L'usuari podrà pausar o parar la navegació en qualsevol moment. A més, quan el robot arribi al punt destí, passarà automàticament a l'estat de TRACK POINT en aquell punt.

TRACK POINT: L'usuari pot parar el *tracking* des de la UI (passaria a l'estat de IDLE).

Z EMERGENCY: En qualsevol moment, des de qualsevol estat si hi ha una emergència l'usuari podrà parar el sistema i activar un moviment en retrocés pitjant el pedal d'emergència. L'usuari, un cop fet el moviment, podrà escollir entre tornar a la posició en la que estava el robot abans de l'emergència o quedar-se en repòs (IDLE).

RECOVER Z POSITION: Quan el robot ha realitzat el moviment en retrocés per una emergència, l'usuari pot seleccionar aquest estat per recuperar la posició on estava. Quan el robot arribi, es passarà automàticament a l'estat de IDLE.

### 11.1.3 DESCRIPCIÓ DE LES TRANSICIONS DEL GRAF

A l'hora d'efectuar les transicions d'un estat a un altre, hi intervenen diferents components del sistema. Per una banda i, clarament la que més hi participa, és la interfície gràfica, oferint botons per canviar d'un mode a un altre. Per una altra banda, el robot també canvia d'estat, per exemple, quan està en mode *TRAJECTORY* i ja ha arribat al seu punt destí, passa

automàticament a l'estat de *TRACK\_POINT*. I per últim, també hi intervenen els pedals, activant l'estat *d'EMERGENCY* en cas de que es doni algun problema durant la intervenció. A continuació es mostren una sèrie de taules per mostrar les transicions possibles:

Des de IDLE:

<u>FREE NAVIGATION</u>	<u>TRAJECTORY</u>	<u>TRACKING</u>	<u>Z EMERGENCY</u>
Selecció de mode a la interfície	Selecció a la interfície	Selecció a la interfície	Pedal

Des de FREE NAVIGATION:

<u>IDLE</u>	<u>TRACKING</u>	<u>Z EMERGENCY</u>
Botó <i>STOP</i> a la interfície	Botó <i>TRACK POINT</i> a la interfície. Inicia <i>tracking</i> del punt actual en que es troba el robot	Pedal

Des de TRAJECTORY:

<u>IDLE</u>	<u>TRACKING</u>	<u>Z EMERGENCY</u>
Botó <i>STOP</i> a la interfície	El robot arriba al punt destí	Pedal

Des de TRACK POINT:

<u>IDLE</u>	<u>Z EMERGENCY</u>
Botó <i>STOP</i> a la interfície	Pedal

Des de Z EMERGENCY:

<u>IDLE</u>	<u>RECOVER Z POSITION</u>
Botó <i>IDLE</i> a la interfície	Botó <i>RECOVER POSITION</i> a la interfície

Des de RECOVER Z POSITION:

IDLE

Botó *STOP* a la interfície

Z EMERGENCY

Pedal

**TAULA RESUM:**

	<b>IDLE</b>	<b>FREE NAVIGATION</b>	<b>TRAJECTORY</b>	<b>TRACK POINT</b>	<b>Z EMERGENCY</b>	<b>RECOVER Z POSITION</b>
<b>SETUP</b>	MÒDULS PREPARATS				PEDAL	
<b>IDLE</b>		UI	UI	UI	PEDAL	
<b>FREE NAVIGATION</b>	UI			UI	PEDAL	
<b>TRAJECTORY</b>	UI			ARRIBA AL PUNT	PEDAL	
<b>TRACK POINT</b>	UI				PEDAL	
<b>Z EMERGENCY</b>	UI					UI
<b>RECOVER Z POSITION</b>	ARRIBA AL PUNT				PEDAL	

## 11.2 SEGURETAT DEL SISTEMA

El sistema disposa de diverses mesures de seguretat redundants i multinivell. Cada capa d'implementació utilitza les seves pròpies restriccions per a tenir un sistema robust i controlat. Els diferents nivells i mesures preses a cadascun d'ells són:

1. Control del robot a baix nivell: per cadascuna de les articulacions del robot, es controla que els increments d'angles que s'apliquen estiguin al rang de l'articulació. A més, el robot disposa d'un sistema de seguretat que en cas d'una possible pujada de tensió automàticament desactiva els motors i activa els frens.



2. Control del robot a alt nivell: es controlen les velocitats i acceleracions màximes i els límits del volum de treball restringit per a què el robot no surti del seu espai.
3. Sistema central: a partir dels moviments que fa el cirurgià amb el dispositiu màster, el sistema central genera un increment de desplaçament que abans de ser enviat al robot és validat per donar ordres coherents amb l'espai de treball del robot i els increments màxims de les articulacions.
4. Software: a nivell de software es controlen tots els paràmetres d'entrada de cada funcionalitat, missatge i ordre, generant un error quan aquests són erronis.
5. Pedal d'emergència: Si es dona una situació d'emergència en que el robot està fent malbé algun teixit o calgués retirar el robot de l'interior de la pacient per qualsevol motiu, aquest pedal automàticament para tots els mòduls i provoca un moviment de retrocés en l'eix Z.
6. Pedal de teleoperació o "Deadman": Amb aquest pedal, la teleoperació només funciona quan el cirurgià està prement-lo. Amb aquesta funcionalitat, el sistema proporciona una capa més de seguretat, ja que només quan l'usuari realment vulgui fer servir el dispositiu màster i moure el robot serà quan premerà el pedal.

## 12 INTERACCIÓ ENTRE ELS MÒDULS

A continuació es descriu la comunicació entre els mòduls del sistema. El sistema central (SCT) és el cervell del sistema. Es comunica amb tots els mòduls i gestiona les ordres que arriben de la UI en funció de l'estat del sistema i del robot. Per tant, els components que formen el *slave* són el robot, el làser i el sistema de visió, mentre que el UI, el dispositiu hàptic i els pedals són els màsters.

El sistema central es comunica amb el robot per indicar-li l'increment de desplaçament que ha de realitzar. Aquest increment el calcula a partir del moviment del dispositiu hàptic i només l'envia en cas que el pedal de teleoperació estigui premut. A més, quan es vol iniciar el mode de *tracking*, envia l'ordre al sistema de visió per a que comenci a fer els càlculs de processament de la imatge pertinents. No es pot oblidar que, a partir de les ordres que rep del cirurgià per part de la UI, pot preparar o treure el làser i gestionar l'estat i mode del sistema. A continuació es pot veure una taula amb els missatges que intercanvia amb els mòduls:

<b>Emissor</b>	<b>Receptor</b>	<b>Descripció del missatge</b>
SCT	UI	Estat del sistema (SETUP, IDLE, FREE NAV, TRACK, TRAJ....)
SCT	UI	Estat de tots els mòduls
SCT	UI	Estat d'un mòdul (ID, ESTAT)
SCT	UI	Estat de connexió de tots els mòduls
SCT	UI	Estat de connexió d'un mòdul
SCT	UI	Estat de la teleoperació (Estat del sistema, POSE, estat làser i del botó de teleoperació)
UI	SCT	Canvi de mode (seleccionat per l'usuari)
UI	SCT	Canvi d'estat d'un mòdul (seleccionat per l'usuari)
SCT	MASTER	Increment de forces en el mode <i>tracking</i>
MASTER	SCT	Increment de moviment realitzat per l'usuari amb el dispositiu hàptic
MASTER	SCT	Estat dels pedals
SCT	LASER	Posar làser
SCT	LASER	Treure làser
SCT	LASER	Coagular
LASER	SCT	Làser posat

## Interfície per a la interacció cirurgià-robot

Interacció entre els mòduls

LASER	SCT	Làser tret
LASER	SCT	Làser coagulant
SCT	VISIÓ	Iniciar <i>tracking</i> d'un punt
SCT	VISIÓ	Aturar <i>tracking</i> d'un punt
VISIÓ	SCT	Increment de desplaçament respecte al punt

## 13 DESENVOLUPAMENT DE LA INTERFÍCIE

El desenvolupament de les funcionalitats que ha de realitzar la interfície d'usuari es van definir a la fase inicial del projecte. En concret, la base de la interfície havia de consistir a una interfície usable amb diverses vistes o mòduls independents:

- Mòdul de visió: un *widget* o finestra per a la visualització de la càmera
- Mapa interactiu: Un *widget* per a la visualització i interacció amb el mapa placentari
- Mòdul d'interacció: conjunt de botons i quadres d'informació per la interacció cirurgià-*slave*.

A continuació es descriu el procediment que s'ha seguit a l'hora de desenvolupar aquestes vistes.

### 13.1 SELECCIÓ DE LES TECNOLOGIES

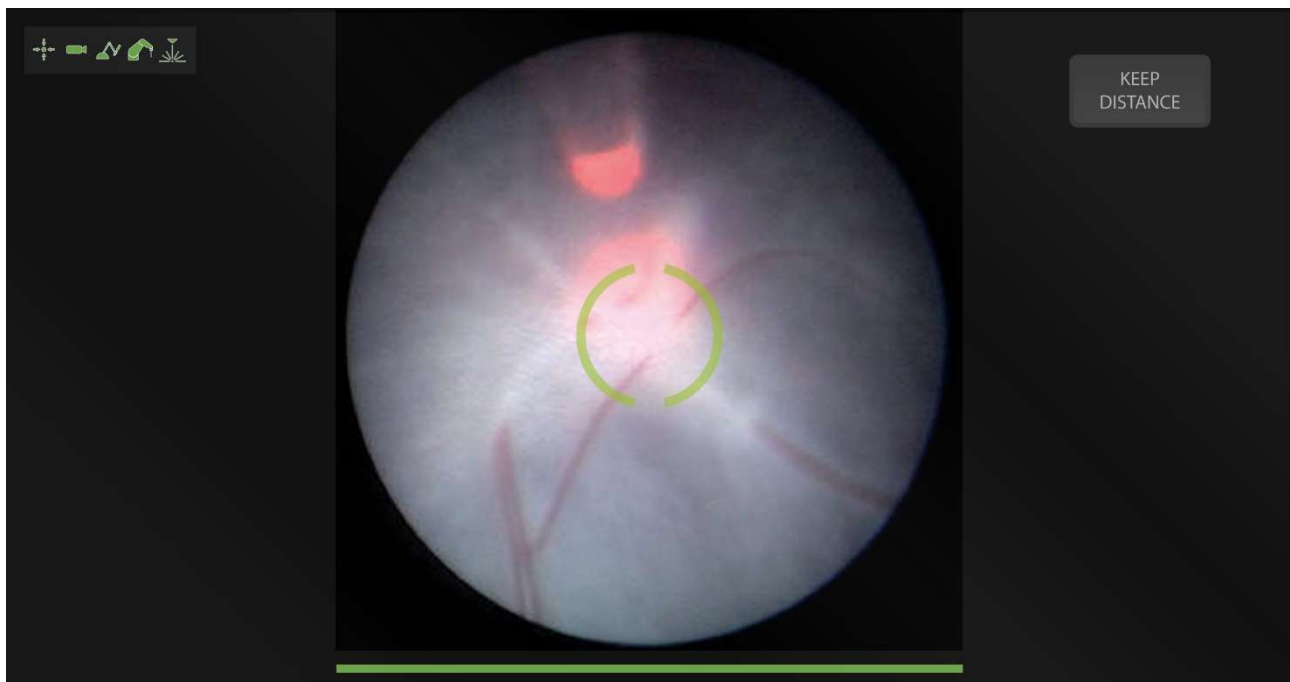
Qt és una llibreria desenvolupada en C++ orientada a implementar interfícies d'usuari. Ofereix moltes funcionalitats (des de diferents plantilles per a la disposició dels components a un *widget* fins a extensions per OpenGL, xarxa comunicacions, etc.). La major part de les funcionalitats no són de pagament. La interfície s'ha desenvolupat utilitzant aquesta llibreria precisament per aquestes característiques. A més, està disponible per a C++, que és el llenguatge que s'ha decidit que s'utilitzaria donat el seu alt rendiment i seguretat, potencial de desenvolupament i llibreries disponibles. Qt disposa d'un sistema d'*events* propi: utilitza *signals (events)* i *slots (handlers)* que es poden incorporar a qualsevol classe de C++ que hereti d'un QObject, de manera que la comunicació entre objectes sigui molt més fàcil.

## 13.2 MÒDUL DE VISIÓ

Per a la visualització de la càmera fetoscòpica s'ha implementat un *widget* usant la classe `QGraphicsView`, que permet mostrar diversos components gràfics per capes. D'aquesta manera, es poden superposar indicadors per donar informació bàsica al cirurgià i realitat augmentada. Per exemple, el mode actual i l'apuntador central al punt a marcar com a punt d'interès (cordó umbilical, anastomosi...).

La càmera que captura la imatge fetoscòpica es connecta al PC de la interfície mitjançant un port USB 3.0. Per a la seva visualització cal disposar dels *drivers* instal·lats. La càmera escollida, de la família uEye, disposa d'una *SDK* pròpia de desenvolupament integrada amb les funcionalitats de OpenCV. La recepció de la càmera es fa a través d'un *thread* associat al *widget* que s'executa a l'inici de l'aplicació i que funcionarà permanentment. En cas d'estar en el mode de *tracking*, aquest *thread* també es comunica amb el sistema de visió per que processi la imatge i realitzi els càlculs pertinents. A cada imatge capturada, el *widget* rep un *signal* de Qt i la col·loca a la finestra, mostrant així l'*streaming* de la càmera en estricte temps real.

El mòdul de visió conté altes informacions rellevants del sistema i l'estat de la teleoperació que permeten als usuaris obtenir informació del mateix sense haver de canviar de vista. Quan es produeix un canvi de mode, l'indicador de mode de teleoperació es modifica amb la informació correcta i l'apuntador central canvia de color. Si l'estat actual és *free navigation* el color de l'apuntador és de color verd (per indicar que es permet la selecció de punts). En qualsevol altre mode, el . A més, si el robot està embragat via els botons del dispositiu hàptic i el mode de teleoperació correspon a *free navigation* es mostra una barra verda a sota de la visualització de la càmera per informar a l'usuari que el robot es pot moure lliurement. A Fig. 10 es pot veure una captura de la visualització de la càmera fetoscòpica en l'estat de *free navigation*, realitzant la coagulació.



*Fig. 10 Mòdul de vista de càmera fetoscòpica*

El botó "KEEP DISTANCE" es farà servir per bloquejar el moviment en l'eix de les Z del robot, fixant així la distància de la punta del fetoscopi a la placenta.

## 13.3 MAPA INTERACTIU

El mapa interactiu és una de les parts més rellevants i innovadores de la interfície. Aquest ofereix una sèrie de funcionalitats per complir amb les necessitats de la tècnica quirúrgica de la fetoscòpia làser.

Aquestes funcionalitats són:

- Mapa global de la placenta
- Representació de la trajectòria recorreguda per l'eina per situar al cirurgià dins de l'anatomia de la placenta
- Representació dels punts d'interès:
  - o Equador
  - o Cordons umbilicals dels dos fetus
  - o Venes (diferenciades per cadascun dels fetus)

- Artèries (diferenciades per cadascun dels fetus)
- Anastomosis (segons tipus: Vena-Vena, Artèria-Vena, Artèria- Artèria)
- Rotació, translació i zoom del mapa per a la fàcil manipulabilitat d'aquest
- Selecció dels punts marcats (anastomosis i cordons) a partir del clic al mapa per poder decidir el punt destí dins el mode *navigate to*.

Per representar un mapa amb aquestes característiques, es va decidir començar per un mapa en 2D i amb potencial de continuar amb el seu desenvolupament cap a una versió tridimensional. Per la seva implementació, la millor opció era OpenGL. Gràcies a aquesta llibreria, els component gràfics es carreguen a la targeta gràfica (GPU), deixant així la CPU per a l'execució de la interfície i el sistema de visió.

Qt ofereix un mòdul per OpenGL que permet utilitzar un QOpenGLWidget amb els objectes i funcionalitats de la llibreria (*Vertex Array Objects, Vertex Buffer Objects, Shaders...*). El desenvolupament del mapa es va iniciar amb la creació d'una aplicació base que utilitzés aquesta extensió. Inicialment, la idea era aconseguir dibuixar un pla a l'espai i entendre com anar afegint nous elements. A partir d'aquí, es va decidir dibuixar el pla a partir de NxM cel·les que representarien una discretització de la placenta. Cada cel·la canvia de color en funció de si l'usuari el marca com a punt d'interès (o ha estat visitat pel robot). La mida adient del mapa s'ha calibrat realitzant diverses proves i recorrent la placenta d'un extrem a l'altre. La placenta que s'utilitza és una imitació en mides reals creada específicament per fer proves al laboratori. En un futur, la mida es podrà definir via proves ecogràfiques que permetin determinar les característiques de la pacient.

Pel canvi de color de les cel·les s'ha desenvolupat una estructura de tal manera que les coordenades i normals dels vèrtexs del mapa siguin independents del color (estiguin a dos VBO diferents). Així, l'únic paràmetre de cada vèrtex que cap carregar a la GPU a cada iteració de dibuixat és el color.

La rotació, translació i zoom de l'escena es generen a partir de les ordres del ratolí (clic dret = rotació, clic esquerre = translació, roda = zoom). Per la seva implementació s'ha hagut de comprendre el

conjunt de matrius de transformació que utilitza OpenGL sobre l'escena:

1. Matriu de la càmera: determina la posició de la càmera respecte a l'escena. En aquest cas, es decideix posar-la a la posició (0,0,-600). Cal especificar que a OpenGL la càmera sempre dirigeix el seu centre de visió cap a l'origen de coordenades. Aquesta matriu és la que es modifica a l'hora de fer zoom, desplaçant la càmera endavant o endarrere sobre l'eix de la z.
2. Matriu de projecció: determina com veu la càmera. En aquest treball s'ha considerat apropiat utilitzar una càmera perspectiva amb un angle d'obertura de  $45^\circ$  i un zNear i zFar que permeten veure l'escena en qualsevol cas. Aquesta matriu és fixa durant tota l'execució de l'aplicació.
3. Matriu del món (o de transformació): determina com està posicionat l'objecte dins de l'escena. Inicialment, el pla té el seu centre a l'origen de coordenades i la seva normal paral·lela a l'eix de les z, mirant cap a la càmera. Aquesta matriu és la que es modifica a l'hora de realitzar rotació i translació amb el ratolí.

En el mode *free navigation*, el sistema de control envia de manera periòdica la posició en coordenades del mapa on es troba el robot, l'estat del botó de teleoperació del màster i l'estat del làser. Si aquesta posició no estava visitada ja, la cel·la corresponent canvia de color. D'aquesta manera l'usuari pot saber la trajectòria dels seus moviments sobre l'anatomia de la placenta. A més, per a que el cirurgià pugui situar-se al mapa en tot moment, es dibuixa un marcador en forma de cercle sobre l'última posició rebuda del sistema de control.

La selecció dels punts d'interès es fa a partir d'un conjunt de botons dins del mòdul d'interacció. L'equador, les venes i artèries són components de l'anatomia llargs, per això, els botons associats a aquests tenen dos estats: activats o desactivats. Quan un d'ells (i només un) està activat, totes les cel·les del mapa per on passa el robot passen a tenir el color associat a aquell tipus de punt. Les anastomosis i els cordons umbilicals, en canvi, són punts concrets que es marquen una sola vegada i es dibuixa un quadrat més gran sobre el mapa del color corresponent.



## 13.4 MÒDUL D'INTERACCIÓ

El mòdul de control consta de tres parts diferenciades:

- Informació de connectivitat dels mòduls: mostra l'estat de la connexió amb cadascun dels mòduls.
- Estat del làser: mostra l'estat del làser (*retracted*, *extended* o *emmiting*) i permet la possibilitat de estendre o treure el làser de la cànula del fetoscopi.
- Conjunt de botons per a la selecció dels punts d'interès (només visibles en el mode *free navigation*)

### 13.4.1 CONNEXIÓ DELS MÒDULS

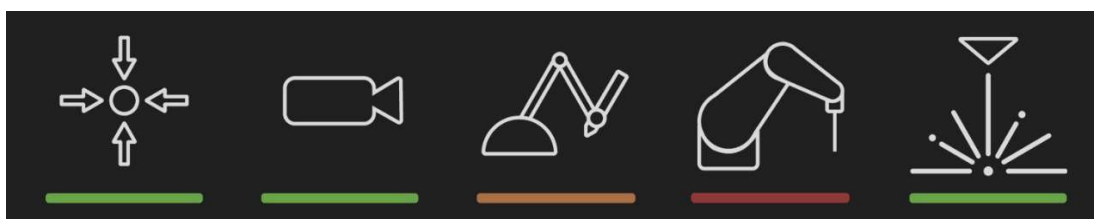


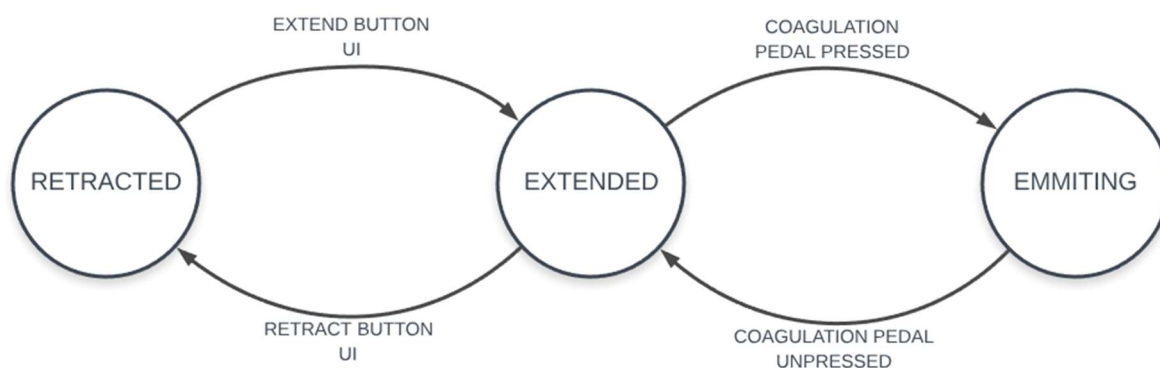
Fig. 11 Widget de la connexió dels mòduls

Com es pot veure a la Fig. 11, aquest widget informa a l'usuari de l'estat de connexió del sistema de control, el dispositiu hàptic, el robot, la càmera i el làser. Aquesta informació ve donada a partir dels missatges rebuts per part del sistema de control, exceptuant l'estat de la càmera que el determina la interfície a partir de si la càmera està connectada via USB i s'estan rebent les imatges correctament. Els altres mòduls mantenen comunicació constant amb el sistema de control i és aquest el que monitoritza el seu estat i informa a la UI.

Per cada icona es disposen de tres possibles estats: no connectat, petició de connexió enviada (però no establerta encara) i connectat. Aquests tres estats es representen amb els colors vermell, taronja i verd, respectivament.

### 13.4.2 ESTAT DEL LÀSER

El làser pot estar en tres estats: dins de la cànula (RETRACTED), fora (EXTENDED) i coagulant (COAGULATING). A les reunions amb els cirurgians es va exposar la possibilitat de canviar l'estat del làser tant a través de la UI com amb els pedals. Actualment a les cirurgies la coagulació s'efectua amb un pedal, mentre que la extracció del làser a fora de la cànula es fa manualment. Per això, després de proposar-los les diverses possibilitats, els cirurgians es van decantar per la opció de treure/posar el làser a través de la interfície i coagular amb el pedal com es fa actualment. És a dir, segueix el graf d'estats de la següent figura:



A continuació es mostren les tres possibles representacions del *widget* en funció de l'estat del làser:

RETRACTED

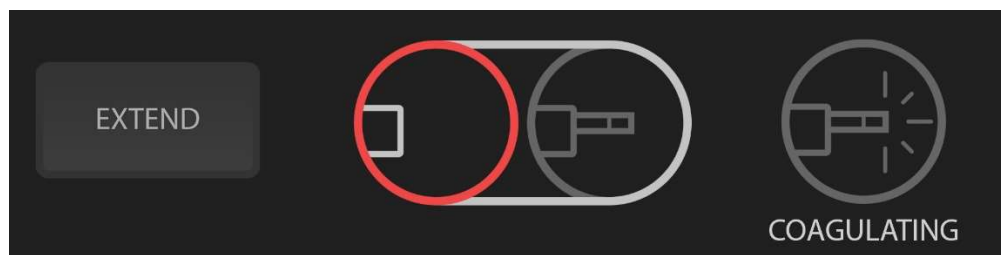
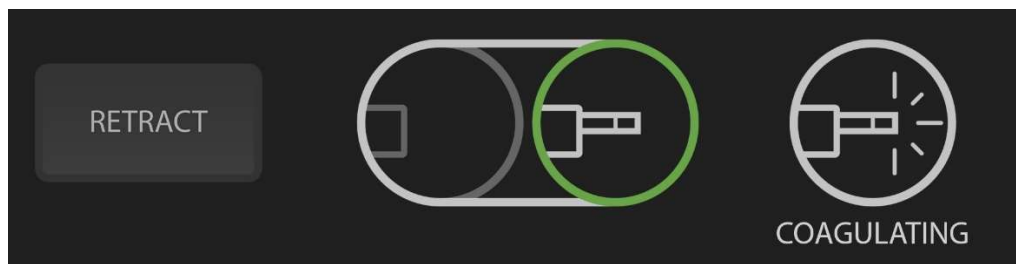


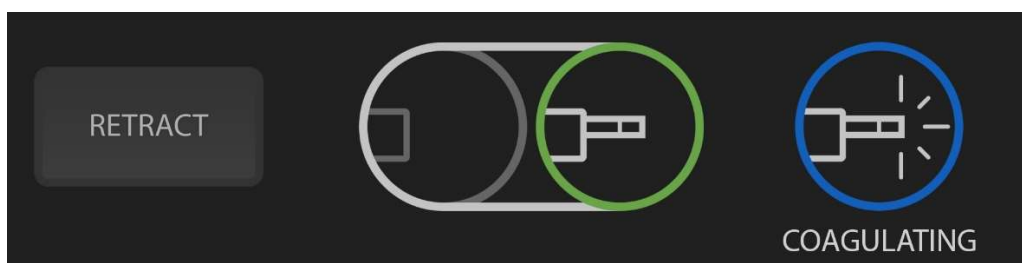
Fig. 12 Widget de l'estat del làser (RETRACTED)

EXTENDED



*Fig. 13 Widget de l'estat del làser (EXTENDED)*

COAGULATING



*Fig. 14 Widget de l'estat del làser (COAGULATING)*

El sistema de control és el que es comunica amb el làser i gestiona la màquina d'estats de manera que només existeixin les transicions mostrades al graf.

### 13.4.3 SELECCIÓ DE PUNTS D'INTERÈS

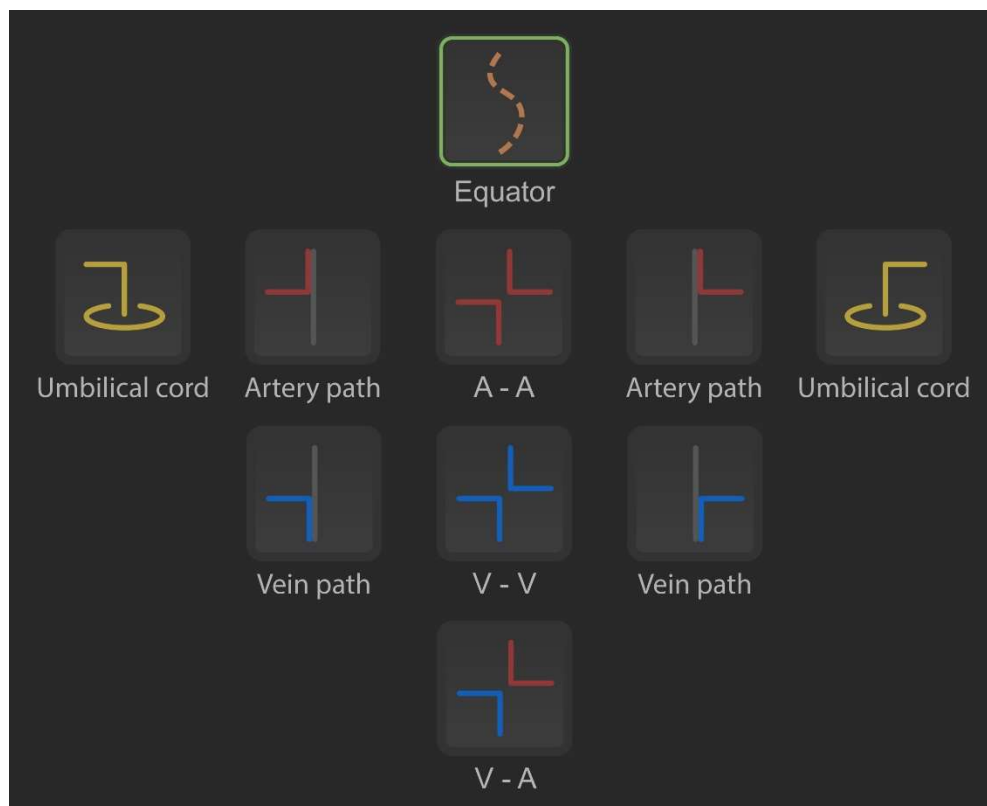


Fig. 15 Widget per a la selecció de punts d'interès

Al mode de *free navigation* i només en aquest mode es mostrarà un *widget* com el de la Fig. 15 per permetre a l'usuari marcar els punts d'interès al mapa. Existeixen dos tipus de botons, els de recorregut i els puntuals. Els botons de recorregut s'associen a:

- L'equador
- Artèria del fetus A
- Artèria del fetus B
- Vena del fetus A
- Vena del fetus B

Aquests botons tenen dos estats: activat o desactivat. Quan un d'aquests botons està activat, el recorregut que descriu el robot es representa al mapa amb el color corresponent al tipus seleccionat. D'aquesta manera, el cirurgià pot resseguir les venes i artèries dels dos fetus per localitzar més fàcilment les anastomosis.

Els botons de tipus puntuals estan associats a:

- Cordó Umbilical A
- Cordó Umbilical B
- Anastomosis Artèria-Artèria
- Anastomosis Vena-Artèria
- Anastomosis Vena-Vena

Quan es prem un d'aquest botons es dibuixa un quadrat al punt on es troba el robot. Així, l'usuari pot marcar aquests punts al mapa i permetre la navegació autònoma del robot a aquests.

#### 13.4.4 SELECCIÓ DEL MODE DEL SISTEMA

El sistema de control s'encarrega de la gestió de l'estat de tot el sistema de teleoperació. L'usuari, quan aquest està en un estat correcte, podrà escollir el mode en que vol treballar gràcies a un *widget* amb una sèrie de botons per a realitzar les transicions (sempre gestionades pel sistema de control).

El graf d'estats del sistema global es pot trobar a la secció 11.1, però a continuació es mostra un esquema amb les transicions que pot realitzar l'usuari a través de la interfície. A la Fig. 16 següent es pot veure el widget a l'estat de *idle*.

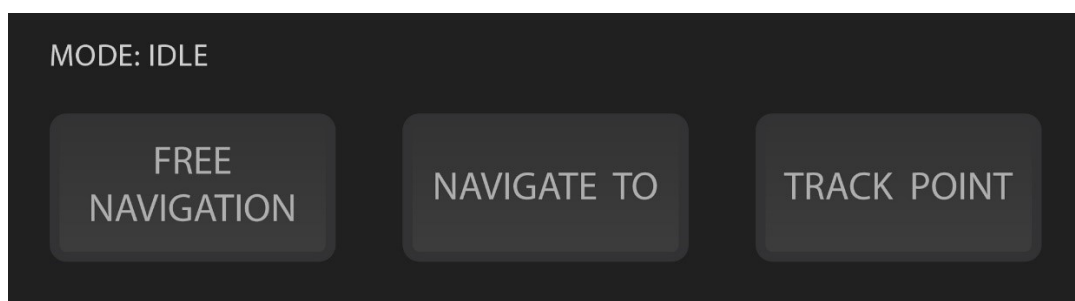


Fig. 16 Widget per a la selecció del mode del sistema

## 13.5 DISSENY FINAL

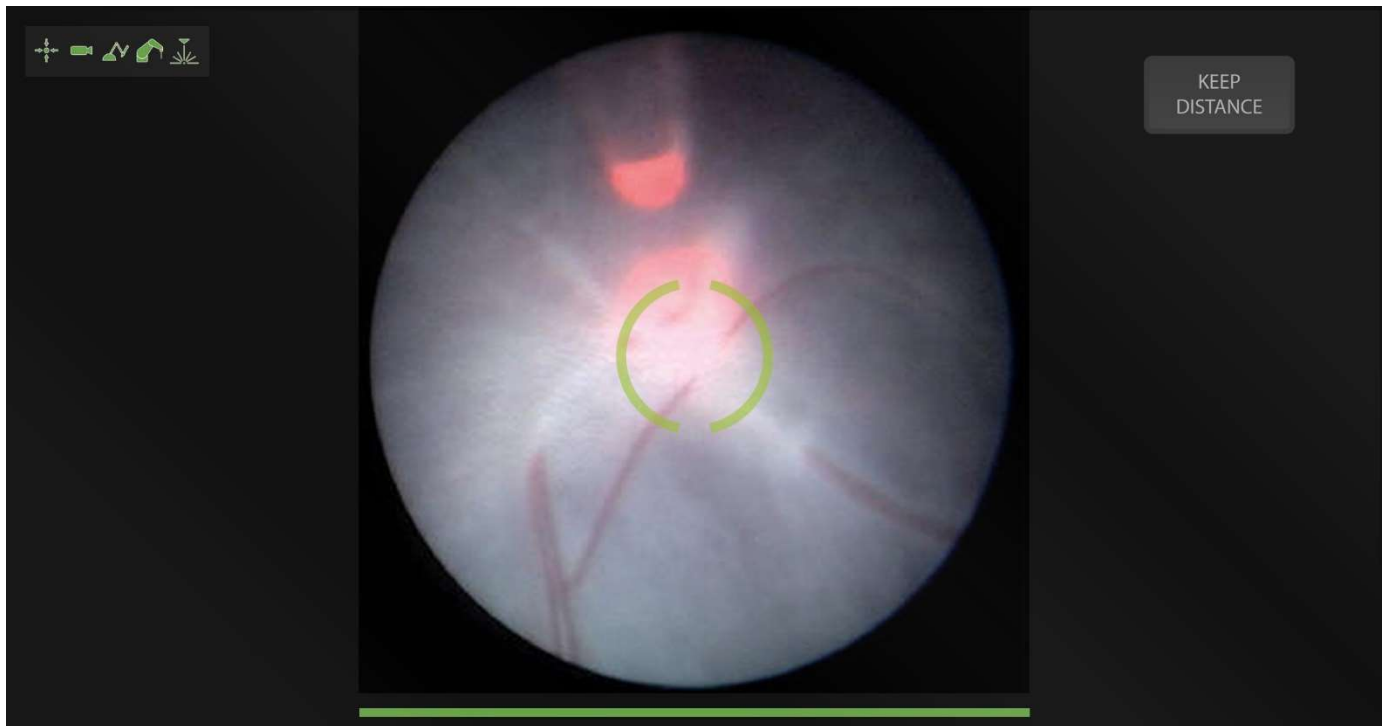


Fig. 17 Captura de la visualització de la càmera fetoscòpica



Fig. 18 Captura del mapa interactiu i el mòdul d'interacció

## 13.6 COMUNICACIONS

Les comunicacions són un element clau per al funcionament del sistema. Gràcies a la modularitat d'aquest, cada comunicació té el seu propi període de transmissió i recepció. Per exemple, el dispositiu hàptic treballa amb un període d'1ms mentre que el robot utilitza un període de 18ms. Tot el càlcul de la lògica del sistema de control ha de trigar, com a molt, el període del robot. Per aquest motiu, la idea inicial per a la implementació de les comunicacions era utilitzar la llibreria Winsock2, però mancava molta documentació i claredat als codis exemple i Qt ofereix un mòdul d'alt nivell per a comunicacions via TCP mitjançant *sockets* molt més fàcils de fer servir.

En conclusió, per a la comunicació de la interfície amb el sistema de control i com que aquest actua com a client, la UI havia de ser el servidor. Per això, s'ha utilitzat un `QTcpServer` i un `QTcpSocket` per crear el sistema de comunicació.

## 13.7 INTEGRACIÓ I TEST

La definició del protocol de comunicació entre els diferents mòduls era una de les tasques més importants d'aquest treball. Per començar, per poder oferir totes les funcionalitats necessàries es van decidir les funcions de la interfície d'usuari a cadascuna de les fases de la cirurgia. Posteriorment, a partir d'un anàlisi crític de la informació necessària per a la comunicació entre la interfície i el sistema de control, es van definir els missatges de comunicació descrits al capítol 12.

Un cop el protocol de comunicació estava definit i com que el desenvolupament del sistema de control i, en general, de tot el sistema, s'estava realitzant el paral·lel es va crear una aplicació per simular el sistema central. Gràcies a aquesta aplicació, el desenvolupament de la interfície no es quedava bloquejat i es podien realitzar les proves de comunicació pertinents en local, a més d'anar validant cadascuna de les noves tasques sense esperar a la integració final.

A la fase final del projecte, es va realitzar la integració de tots els mòduls i provar que tots els missatges i ordres s'estaven efectuant correctament.

## 13.8 ESTRUCTURA DE LA IMPLEMENTACIÓ

Un dels objectius principals d'aquest treball és realitzar una plataforma que serveixi com a base per a la implementació de noves interfícies d'usuari aplicades a altres tècniques quirúrgiques amb característiques similars a la fetoscòpia làser. Per aquest motiu, l'estructura del codi ha estat realitzat de la manera més modular possible. Cadascun dels mòduls que s'han anat esmentant anteriorment, han estat implementats per separat, mantenint la independència a l'hora de fer canvis. Les diferents agrupacions de classes de C++ creades es podrien resumir en el següent llistat:

- **Comunicació:** s'encarrega de la comunicació amb el sistema de control, de rebre i enviar els missatges adients en cada instant.
- **Visió:** Aquest mòdul engloba dos parts diferents. Per una banda, el *thread* i el *widget* que s'encarreguen de la visualització de la càmera a la interfície. Per una altra, el sistema de processat d'imatges que determina els moviments que es produeixen a l'anatomia arrel del bateg o la respiració de la pacient.
- **Mapa:** El *widget* d'OpenGL que representa el mapa en 2D de la placenta i en el que es van dibuixant els punts d'interès i recorreguts efectuats pel cirurgià amb el fetoscopi.
- **Control:** és el conjunt de *widgets* que s'encarreguen de mostrar informació del sistema a l'usuari així com permeten interaccionar amb el mapa i el làser.



## 13.9 PRESA DE DECISIONS CONSCIENTS DEL HARDWARE

En aquest treball intervenen molts components hardware que condicionen les operacions del sistema. Per la implementació de la interfície d'usuari, s'ha hagut de tenir molt en compte el funcionament d'aquests:

### 13.9.1 ROBOT

- El període del seu bucle d'execució condicionava el càlcul a realitzar pel sistema de control. Les ordres rebudes per part del dispositiu hàptic, la interfície, els pedals... havia de ser processada i acabar resultant en una ordre concreta cap a la controladora del robot.
- Els graus de llibertat del robot i l'espai de treball d'aquest
- La cinemàtica a partir del plantejament en que l'eina s'ha de moure a partir d'un punt de fulcre fixe. Això implica la transformació de coordenades cartesianes a coordenades esfèriques (consultar capítol 9.5).

### 13.9.2 MASTER

- El període del seu bucle d'execució és d'1ms, fent així possible el càlcul del sistema de control esmentat.
- A partir dels botons de l'element terminal del dispositiu hàptic es permet o es bloqueja el moviment del robot.
- A partir dels pedals es realitzen funcionalitats auxiliars com la coagulació amb el làser o l'alerta d'emergència.

### 13.9.3 LÀSER

- El làser té tres estats possibles, gestionats per un pedal del màster o per la interfície.
- Està controlat amb una placa Arduino amb un servidor que rep les ordres i informa del seu estat.

### 13.9.4 SISTEMA DE COMPENSACIÓ DEL TROCAR

- Aquest sistema necessita saber el desplaçament que s'ha realitzat en Z en cada moment per compensar-lo i mantenir el trocar fix al punt de fulcre.
- És un sistema controlat per una altra placa amb un servidor de la mateixa manera que el làser.

# 14 AVALUACIÓ

L'avaluació del mòdul UI s'ha realitzat tant a nivell de desenvolupament com d'usabilitat. A nivell desenvolupament, s'ha validat el codi i avaluat la funcionalitat de cada submòdul desenvolupat. Un cop testejats cadascun dels submòduls de forma independent, s'ha avaluat la seva integració dins el mòdul UI. Finalment, s'ha realitzat una avaluació de integració global de la UI dins el sistema de teleoperació. A nivell usabilitat, s'ha realitzat una sèrie de proves amb el sistema de teleoperació complet. Primerament, amb l'equip d'enginyeria per avaluar la integració de tots el mòduls i el seu correcte funcionament, descartant potencials errors que posin en perill la integritat de la pacient i de l'equip de cirurgia. Un cop passada aquesta fase amb èxit, s'han realitzat diversos tests amb l'equip de cirurgians involucrats en el projecte (usuaris finals).

## 14.1 TESTS AMB L'EQUIP DE CIRURGIANS

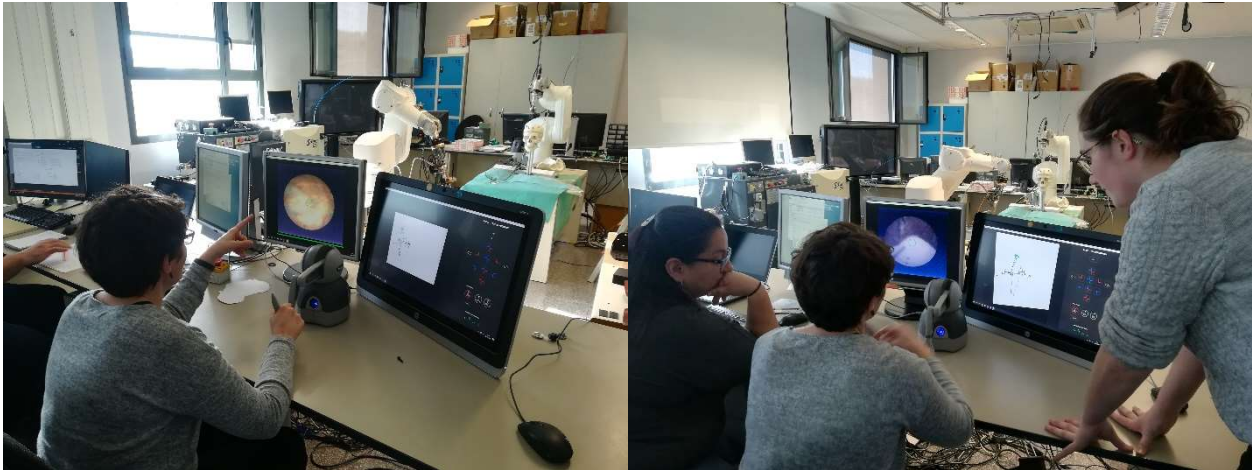
Al finalitzar la primera versió del sistema, amb les funcionalitats més bàsiques descrites i evolucionades durant les repetides reunions amb els cirurgians, es va realitzar una prova inicial del sistema. Aquesta prova va servir per mostrar el sistema integrat i funcional. A més, es van poder recollir impressions i suggeriments dels cirurgians per poder evolucionar el sistema i, en concret, la UI. L'objectiu era poder modelar un disseny útil i agradable per a la realització de la cirurgia amb el sistema de teleoperació. Un punt clau era com transmetre la informació als cirurgians sense distreure'ls de la tasca principal: maximitzar la informació minimitzant la càrrega cognitiva. En una segona sessió de tests, es va provar l'evolució del sistema de teleoperació, amb majors funcionalitats, seguretat i percepció de l'entorn de cirurgia. Respecte la UI, es va presentar i avaluar una nova versió de la mateixa amb les prestacions exposades en aquest treball.

En els diferents tests han participat la Dra. Johanna Parra, ginecòloga adjunta de l'Hospital Sant Joan de Déu i la Dra. Elisenda Eixarch, ginecòloga i membre del Grup d'Investigació en Medicina Fetal i Perinatal.

## 14.2 CONCLUSIONS DELS TESTS

Ambdós tests van concloure satisfactòriament i varen obtenir l'aprovació de l'equip de cirurgia. Es va debatre sobre algunes funcionalitats a millorar o desenvolupar com, per exemple, la possibilitat d'activar/desactivar la fixació de la distància entre la placenta i el fetoscopi. Gràcies a aquesta millora, el cirurgià no s'ha de preocupar per aquest paràmetre alhora de navegar per sobre de la placenta ja es troba a una distància correcta per a la visualització de l'anatomia. Un altre punt destacat va ser la possibilitat d'ocultar del mapa els camins ja recorreguts, mantenint només la representació de les anastomosis i dels cordons umbilicals per tenir una millor claredat del mapa en un moment donat.

Apart dels comentaris per a la millora de la plataforma actual, a les reunions es va parlar també dels següents passos a seguir amb el sistema de teleoperació desenvolupat. La intenció és que el sistema s'acabi utilitzant amb normalitat com a alternativa en les fetoscòpies làser.



*Fig. 19 Tests amb les cirurgianes (Johanna Parra i Elisenda Eixarch)*

## 15 VIES DE CONTINUÏTAT

El desenvolupament del sistema de teleoperació i, en concret, de la seva interfície d'usuari han estat satisfactoris i han complert les expectatives inicials. Els objectius concrets del treball han estat assolits tot i que, degut al temps limitat de realització del TFG, noves funcionalitats i possibles millores resten per la seva futura implementació. El següent objectiu a assolir per tot l'equip és la realització de tests amb animals (ovelles) als quiròfans de l'Hospital de Bellvitge en els propers sis mesos.

Pel que refereix a l'evolució de la interfície d'usuari, s'ha de implementar i validar diverses funcionalitats demanades pels cirurgians. Algunes de les més rellevants inclouen canvis o noves funcionalitats en el mapa (opcions de visualització segons tipus: punts d'interès o estructures vasculars; o per fetus al que pertanyen, etc.),

Per tant, tot el sistema desenvolupat al laboratori arribarà a ser una realitat. Per aconseguir aquest objectiu caldrà continuar treballant per implementar les funcionalitats que han demanat els cirurgians, augmentar la seguretat del sistema per poder operar en animals.

Aquestes cirurgies "simulacre" consisteixen a introduir una placenta artificial dins l'abdomen d'una ovel·la no gestant i realitzar la operació, utilitzant les eines quirúrgiques habituals comandades pel sistema de teleoperació. Aquestes proves són molt útils per provar la plataforma en un entorn biològic real, molt més aproximat a la realitat que les proves que es poguessin realitzar al laboratori.

Més endavant, la intenció és que la interfície evolucioni per oferir cada vegada més funcionalitats i sigui el més clarificadora possible. Per exemple, el mapa podria ser una representació tridimensional de la placenta real, generada a partir d'una ecografia i una ressonància de la pacient.

## 16 CONCLUSIONS DEL TREBALL

La introducció de la robòtica a l'àmbit de la cirurgia ha suposat un avenç significatiu per moltes tècniques quirúrgiques. Aquest treball ha demostrat ser una solució tecnològica efectiva per a la fetoscòpia làser. La incorporació de la plataforma de teleoperació desenvolupada al laboratori pot oferir un seguit d'avantatges respecte a la cirurgia manual:

- Precisió i repetibilitat augmentada, gràcies a l'ús del braç robòtic i el sistema de navegació. El sistema permet canvi d'escala *master-slave* i filtratge de tremolor.
- Menor fatiga durant la cirurgia. La interacció amb el màster és molt més ergonòmica que la cirurgia manual.
- Major seguretat, gràcies al sistema de seguretat multinivell, als algorismes d'anàlisi de la imatge que permeten mantenir la distància entre el fetoscopi i la placenta constant així com el pedal d'emergència dissenyat per fer una retracció ràpida de l'eina.

Més concretament, la interfície d'usuari ofereix un seguit d'avantatges respecte a la cirurgia que s'aplica actualment:

- Major control sobre la coagulació efectiva de les anastomosis. La interfície d'usuari permet la visualització de les anastomosis pre i post coagulació.
- Reducció del temps d'intervenció, gràcies a l'ús del mapa com a eina de planificació de les anastomosis en temps de intervenció.
- Augment de l'economia de moviment gràcies a la introducció del mapa de navegació interactiu. Permet navegar entre punts de forma ràpida i minimitzant els camins per anar d'un punt d'interès a un altre.

La interfície d'usuari proposada en aquest treball s'ha integrat amb èxit al sistema de teleoperació desenvolupat al laboratori per part de l'equip d'enginyers. El protocol de comunicacions definit ha permès un intercanvi d'informació eficient i descriptiva amb tots els mòduls del sistema.

El sistema ha demostrat ser prou modular com per poder integrar nous mòduls com per exemple mostrar la imatge d'una anastomosis abans i després de la coagulació. També permet que es pugui utilitzar a altres cirurgies mínimament invasives. La implementació mostra una clara divisió entre la base de l'aplicació comú per a qualsevol tipus de CMI i la part específica per a la fetoscòpia làser.

Finalment, cal remarcar que la interfície d'usuari ha estat validada per dues ginecòlogues cirurgianes (Johanna Parra i Elisenda Eixarch) que han donat el vist-i-plau a la seva continuïtat. El sistema de teleoperació, incloent la UI ha despertat l'interès dels cirurgians per passar a la següent fase de proves: la pràctica de test de la cirurgia amb animals. Es planeja que aquestes proves en entorns biològics s'iniciïn al mes de juny de 2019.

## 17 GLOSSARI

Cirurgia: La cirurgia és la branca de la medicina que manipula físicament les estructures del cos amb objectius de diagnòstic, prevenció o curació. Habitualment, pressuposa l'accés a l'interior de l'organisme mitjançant perforació o incisió a la pell.

Cirurgia mínimament invasiva (CMI): "La Cirurgia Mínimament Invasiva (CMI) és el conjunt de tècniques diagnòstiques y terapèutiques que per visió directa, o endoscòpica, o per altres tècniques de imatge, utilitza vies naturals o mínimes incisions per introduir eines i actuar a diferents territoris del cos humà. La laparoscòpia i la fetoscòpia són cirurgies de tipus CMI." [3]

Cirurgia robòtica: La cirurgia robotitzada és una tècnica que permet realitzar procediments quirúrgics de cirurgia mínimament invasiva on el cirurgià controla els braços d'un robot des d'una consola i aquests realitzen la operació.

Anastomosis: "Connexió entre dos vasos, que pot ser espontània o com a resultat d'una intervenció quirúrgica. En el cos humà hi ha una gran quantitat de anastomosis, tant entre artèries com entre venes, normalment de petit calibre.

Aquestes anastomosis permeten que, en inutilitzar-se un dels vasos, el vas indemne pugui suplir a l'oclòs o lligat i que no ocorri cap necrosis per falta de circulació. Hi ha alguns òrgans on aquestes anastomosis són escasses, com succeeix en el cor i el cervell, per la qual cosa la oclusió d'una de les artèries dóna lloc a un infart".

Fetoscòpia làser: La fetoscòpia làser és el tractament quirúrgic que s'aplica a la síndrome de transfusió feto-fetal. Consisteix a l'extirpació de les anastomosis que uneixen els vasos d'un dels dos fetus a l'altre.



## 18 BIBLIOGRAFIA

[1] Clínica Universidad de Navarra. Definición de Anastomosis. Diccionario clínico.

<https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/anastomosis>

[2] Wikipedia. 2018. Definición de Cirugía. <https://es.wikipedia.org/wiki/Cirug%C3%ADa>

[3] Centro de diagnóstico y Terapéutica Endoluminal. 2016. Definición de Cirugía Minimamente Invasiva. <https://cdyte.com/pacientes/glosario/cirugia-minimamente-invasiva/>

[4] IMED Hospitales. 2017. Web oficial Da Vinci.

<https://davinci.imedhospitales.com/sistema-robotico-da-vinci/>

[5] Lola M. Morente. 2017. Todo lo que debes saber sobre Da Vinci, el robot quirúrgico.

<http://www.expansion.com/tecnologia/2017/04/15/58f24ada22601d67308b460b.html>

[6] Abex, Exceléncia Robótica. <http://www.abexsl.es/es/robot-da-vinci/que-es>

[7] Ana Alfageme. 2016. Conoce al 'supercirujano' de las manos de acero.

[https://elpais.com/elpais/2016/11/01/talento\\_digital/1478021936\\_889288.html](https://elpais.com/elpais/2016/11/01/talento_digital/1478021936_889288.html)

[8] Comissió Europea. SARAS Project. <http://saras-project.eu/JNO'SGKL'GAJIL'G>

[9] Departament d'ESAI de la Universitat Politècnica de Catalunya.

<https://esaii.upc.edu/ca/docencia>

[10] Masami Yamamoto C., Julio Astudillo D., Daniel Pedraza S., Hernán Muñoz S., Álvaro Insunza F., José Fleiderman D., Rodrigo Riveros. *Tratamiento por fetoscopia del síndrome de transfusión feto fetal en Clínica alemana de Santiago*

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75262009000400006](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75262009000400006)

[11] César Meller, Lucía Vázquez, Olivia Cambiaso, Horacio Aiello y Lucas Otaño. *Terapia fetal con ablación láser por fetoscopia en un embarazo gemelar monocorial complicado con síndrome transfundido-transfusor.*

[https://www1.hospitalitaliano.org.ar/multimedia/archivos/noticias\\_attachs/47/documentos/16201\\_153-157-HI-4-4Clinico-Meller.pdf](https://www1.hospitalitaliano.org.ar/multimedia/archivos/noticias_attachs/47/documentos/16201_153-157-HI-4-4Clinico-Meller.pdf)

[12] Fundació Privada CELLEX. <https://medicinafetalbarcelona.org/cellex/WP3.html>

[13] Moisés Huamán Guerrero; Masami Yamamoto Cortez. *Síndrome de transfusión feto fetal.* [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2304-51322015000300012](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-51322015000300012)

[14] Acunsa. *Clínica Universidad de Navarra.* <http://noticias.acunsa.es/la-historia-de-la-anestesia/>

