

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Biomèdica

**Títol:** Desenvolupament d'un sistema de localització de pacient en temps real basat en BLE per a un bloc quirúrgic

**Document:** Memòria

**Alumne:** Rosa Gairín Neras

**Tutor:** Miquel Llover Téllez

**Departament:** Informàtica, Matemàtica aplicada i Estadística

**Àrea:** Millora de processos hospitalaris

**Convocatòria (mes/any):** Setembre/2023

## TAULA DE CONTINGUTS

<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ANTECEDENTS.....	4
1.2. OBJECTE.....	5
1.3. ABAST.....	5
<b>2. CONCEPTES PREVIS .....</b>	<b>6</b>
2.1 EL PROCÉS QUIRÚRGIC .....	6
2.1.1. <i>Etapas procés quirúrgic</i> .....	7
2.1.2. <i>Equip quirúrgic</i> .....	11
2.2. ÀREA QUIRÚRGICA.....	12
2.2.1. <i>Les àrees quirúrgiques</i> .....	12
2.2.2. <i>Zones quirúrgiques</i> .....	13
2.3. SISTEMA RTLS .....	14
2.4. TECNOLOGIA BLE.....	15
2.5. SENYAL RSSI .....	16
<b>3. ESTUDI DE MERCAT .....</b>	<b>17</b>
<b>4. NORMATIVA I ASPECTES LEGALS.....</b>	<b>19</b>
<b>5. CONCEPTE D'ENGINYERIA.....</b>	<b>20</b>
5.1. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.....	21
5.2. ESTUDI DEL BLOC QUIRÚRGIC.....	22
5.3. EXTRACCIÓ DE LES DADES .....	23
5.3.1. <i>Obtenció de dades de les antenes</i> .....	23
5.3.2. <i>Obtenció de dades mitjançant observació</i> .....	25
5.4. ANÀLISI DE LES DADES .....	26
5.5. FILTRATGE I PROCESSAMENT DEL SENYAL RSSI .....	27
5.6. APLICACIÓ D'ALGORITMES D'INTEL·LIGÈNCIA ARTIFICIAL.....	28
<b>6. IMPLEMENTACIÓ I RESULTATS.....</b>	<b>30</b>
6.1. ANÀLISI DE LES DADES .....	30
6.2. TRACTAMENT DE LES DADES .....	33
6.2.1. <i>Filtratge del senyal</i> .....	33
6.2.2. <i>Processament del conjunt de dades</i> .....	35
6.2.3. <i>Avaluació del conjunt de dades resultant</i> .....	36
6.3. APLICACIÓ D'ALGORITMES IA.....	37
6.4. VISUALITZACIÓ DELS RESULTATS .....	40
<b>7. CONCLUSIONS .....</b>	<b>43</b>
<b>8. REFERÈNCIES .....</b>	<b>44</b>

<b>9. ANNEXOS</b> .....	<b>47</b>
ANNEX A. PLANIFICACIÓ .....	47
A.1. Taula de planificació.....	47
A.2. Cronograma .....	48
ANNEX B. CODI.....	48
ANNEX C. PRESSUPOST .....	49
C.1. Mà d'obra .....	49
C.2. Recursos .....	49
C.3. Materials.....	49
C.4. Pressupost total .....	50
ANNEX D. COMITÈ D'ÈTICA.....	50
ANNEX E. PLÀNOLS .....	51
ANNEX F. CÀLCULS I JUSTIFICACIONS .....	53
F.1. Anàlisi de dades .....	53
F.2. Filtratge del senyal .....	55
F.3. Visualització de resultats.....	56

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Antecedents

En els últims anys, el sistema sanitari ha estat sotmès a grans reptes originats per la manca de recursos econòmics i de professionals qualificats. La pandèmia de la covid-19 ha acabat de tensar el sistema, portant-lo a situacions extremes: dilatades llistes d'espera, professionals esgotats, manca de recursos materials... Per aquest motiu es fa imprescindible focalitzar els esforços en intentar millorar l'eficiència dels processos sanitaris.(1)

En l'entorn hospitalari, un dels processos més complexos és el procés quirúrgic. En aquest, existeixen múltiples etapes que es duen a terme en diferents escales temporals: indicació, sol·licitud, preoperatori, intervenció quirúrgica i postoperatori. A més, hi intervenen una gran varietat de professionals de perfils i serveis molt heterogenis. Es fa imprescindible doncs que hi hagi una comunicació fluida de la informació que acompanya al procés.

Una funcionalitat clau en l'etapa d'intervenció quirúrgica és la de poder mostrar la posició i l'estat del pacient dins del bloc quirúrgic perquè en tot moment els professionals tinguin una visió conjunta del procés. Una bona solució seria disposar d'un sistema RTLS (Real-Time Location System) per poder monitorar la ubicació de cada pacient en temps real.

Enaltis és una empresa de consultoria i tecnologia que es dedica a la millora de processos assistencials mitjançant metodologies *Lean Healthcare*. Des de fa 2 anys es troben realitzant un projecte de millora dels processos quirúrgic i mèdic en un hospital comarcal de 400 llits del sistema de salut de Catalunya. Per donar suport a aquesta millora de procés es vol desenvolupar un sistema de localització del pacient. Actualment, aquest hospital ja disposa d'una trentena d'antenes amb tecnologia BLE (*Bluetooth Low Energy*) instal·lades a l'àrea quirúrgica que poden captar el senyal de balises en forma de polsera ("tags") que són col·locades als pacients.

## **1.2. Objecte**

L'objectiu principal del treball consistirà en desenvolupar un sistema RTLS per aconseguir localitzar els diferents pacients que es troben dins del bloc quirúrgic del centre hospitalari. Aquest bloc disposa de 8 quiròfans centrals, 1 quiròfan de cirurgia major ambulatoria i 3 quiròfans de cirurgia menor. Es vol conèixer la posició del pacient com a mínim a nivell d'espai o sala (àrea d'acollida, preanestèsia, quiròfans, REA...) i idealment amb una precisió de llit (80cm). És essencial que aquest sistema proporcioni una informació fiable i estable en tot moment.

## **1.3. Abast**

El desenvolupament del projecte seguirà els següents punts:

- Recollir i interpretar la informació que capten les diferents antenes.
- Obtenir informació sobre les diferents ubicacions dins del bloc quirúrgic i les possibles posicions i moviments dels pacients sobre el plànol.
- Identificar i obtenir ubicacions reals de pacients mitjançant l'observació del procés.
- Analitzar la qualitat del senyal rebut per les antenes i comprovar-ne l'estabilitat.
- Provar diferents algorismes sobre els senyals rebuts per les antenes per tal de determinar la posició i comparar-ne la precisió i fiabilitat tenint en compte posicions reals observades.
- Implementar el sistema RTLS amb l'algoritme òptim.
- Posar el sistema en producció i comprovar-ne l'eficàcia.

## 2. CONCEPTES PREVIS

Per poder entendre tot el transcurs del treball explicaré alguns dels conceptes clau per entendre com funciona un bloc quirúrgic i com es podria implementar un sistema RTLS per a aquest procés hospitalari.

### 2.1 El procés quirúrgic

Per al desenvolupament d'una intervenció quirúrgica és imprescindible tenir en compte diversos aspectes per garantir la seguretat i l'èxit de l'operació. Una preparació adequada del quiròfan és essencial perquè la sala d'operacions esdevingui un entorn segur per al pacient. Això implica mantenir una estricta asèpsia i neteja per prevenir infeccions i evitar qualsevol contaminació que pugui posar en risc la salut del pacient durant la intervenció.

Una altra clau per a un procés quirúrgic exitós és tenir un personal ben entrenat i capacitat. Tots els membres de l'equip quirúrgic, com ara cirurgians, infermers, anestesiològics i tècnics d'anestèsia, han de rebre una formació adequada i actualitzada sobre les tècniques quirúrgiques més avançades, les mesures d'asèpsia, la seguretat del pacient i la comunicació efectiva. La formació contínua és essencial per garantir una atenció de qualitat i minimitzar els errors durant la cirurgia.

El rendiment quirúrgic també és una part a tenir en compte quan es parla del procés quirúrgic. Aquest concepte fa referència al temps real durant el qual es porta a terme una intervenció quirúrgica, des de l'inici fins a la finalització, i és conegut com a "temps efectiu pell a pell". Per avaluar aquest rendiment s'utilitza l'índex d'ocupació del quiròfan, que estableix la relació entre el temps disponible i el temps real durant el qual el quiròfan està ocupat per pacients. En el marc de la indústria de la salut, es considera que un quiròfan és eficient quan s'aprofita el 80% del temps disponible. Això implica que el 20% restant es destina a activitats no assistencials o períodes inactius, com ara la neteja del quiròfan. (2)

Segons diversos estudis, el cost per minut d'un quiròfan varia segons la regió, amb una mitjana d'aproximadament 30 € a Amèrica i uns 15 € a Europa, l'Àsia-Pacífic, Orient Mitjà i Àfrica (EMEA). S'ha estudiat que reduir 30 minuts a quiròfan equival a estalviar una quantitat similar a la reducció d'un dia d'estada hospitalària en euros. (3,4)

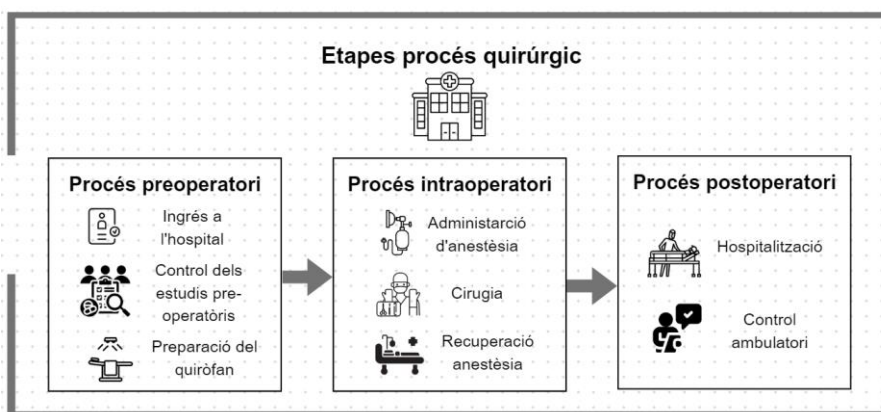
La desinfecció i esterilització del material quirúrgic és un altre aspecte crucial per prevenir infeccions i garantir la seguretat del pacient. Tots els instruments i equips utilitzats durant la cirurgia han de ser sotmesos a un procés d'esterilització adequat per assegurar que estiguin en condicions òptimes i lliures de qualsevol contaminació. Això esdevé una prioritat per a l'equip quirúrgic abans de cada procediment.

Durant el procés quirúrgic, també s'han de prendre diverses precaucions de seguretat per evitar accidents o complicacions innecessàries. Això inclou una correcta identificació del pacient i del procediment que s'ha de realitzar, per garantir que es realitzi la cirurgia correcta al pacient correcte. A més, és important estar preparat per abordar situacions imprevistes o emergències que puguin sorgir durant la cirurgia.

En conclusió, un procés quirúrgic exitós requereix una preparació meticulosa del quiròfan, un personal ben entrenat i capacitat, mètodes adequats de desinfecció i esterilització, així com la presa de precaucions de seguretat durant la cirurgia. La planificació i classificació de les cirurgies també són factors importants a tenir en compte per proporcionar una atenció de qualitat i assegurar el benestar del pacient. (5)

### 2.1.1. Etapes procés quirúrgic

A continuació s'expliquen detalladament les etapes del procés quirúrgic. Com es pot observar en la Il·lustració 1 les 3 etapes són la fase preoperatòria, intraoperatòria i postoperatòria. (6)



Il·lustració 1: Representació de les etapes del procés quirúrgic

## Fase Preoperatoria

El procés preoperatori és el conjunt de fases que precedeixen a una intervenció quirúrgica. L'objectiu d'aquest procés és garantir que el pacient estigui en les millors condicions possibles abans de sotmetre's a l'operació, reduint així els riscos de complicacions i millorant el seu estat de salut. Aquest procés inclou diverses fases:

1. **Indicació:** La cirurgia és indicada quan un professional de la salut determina que és necessària per al tractament d'una malaltia o afecció específica.
2. **Sol·licitud:** Un cop es determina que la cirurgia és la millor opció per al pacient, el metge o cirurgià responsable presenta una sol·licitud formal per a la cirurgia.
3. **Programació:** En aquesta fase, s'estableix quan es realitzarà la intervenció quirúrgica. Això pot implicar coordinar amb el pacient, el cirurgià, l'equip quirúrgic i el quiròfan per assegurar una planificació precisa i oportuna.
4. **Ingrés a l'hospital:** Ha de ser realitzada per personal administratiu format. Els seus objectius són l'admissió administrativa del pacient, la seva correcta identificació i la seva hospitalització (sala d'hospitalització general, Unitat de Cures Intensives, altres).
5. **Control dels estudis preoperatoris:** Ha de ser realitzada per anestesiòlegs o infermeres. Els seus objectius són controlar les anàlisis de sang necessàries (hemograma, heptagrama funció renal, altres), estudis cardiovasculars (electrocardiografia, altres), estudis d'imatge (radiografia, ecografia, ressonàncies), entre altres.

Les etapes del procés preoperatori inclouen les següents:

- **Visita clínica prèvia:** El metge realitza una revisió de l'estat de salut del pacient (analítiques i proves).
- **Preparació física:** Es duen a terme activitats físiques i respiratòries.
- **Preparació psicològica:** Els pacients han de ser psicològicament preparats per a la intervenció, el pacient ha d'entendre els procediments que s'aplicaran durant la intervenció i els possibles riscos associats.
- **Preparació alimentària:** La dieta del pacient s'ha de controlar per evitar intestins inflamats durant la cirurgia.
- **Instruccions prèvies a l'operació:** El pacient ha de seguir les instruccions proporcionades per l'anestesiòleg per a la preparació de la cirurgia i per a l'obtenció del protocol postoperatori indispensable. Per exemple, la prescripció d'antibiòtics o bé quan es demana al pacient que suspengui la pauta d'anticoagulant oral uns dies abans de la intervenció.



## Fase Intraoperatòria

La fase intraoperatòria dins del procés quirúrgic és un període crític que comprèn el temps que dura la intervenció quirúrgica, des del moment que el pacient entra a la sala d'operacions fins que és traslladat a la unitat de destí postquirúrgica. L'objectiu d'aquesta etapa és dur a terme amb èxit la cirurgia del pacient i resoldre el problema de salut que l'afecta. En aquesta fase, el quiròfan es condiciona i es disposa per a la intervenció quirúrgica, assegurant que tots els instruments, equips i materials necessaris estiguin a punt i que l'entorn sigui estèril. A més, es proporciona al pacient una medicació preoperatòria, com sedants o altres fàrmacs necessaris, per garantir que estigui còmode i relaxat durant la cirurgia.

Cal assenyalar que, un cop el pacient és al quiròfan, els artífexs de l'acte quirúrgic han de mantenir l'asèpsia (absència de gèrmens que puguin provocar una infecció) dins la sala d'operacions. Això no només inclou evitar la contaminació bacteriana de l'entorn quirúrgic, sinó també seguir estrictament els protocols relacionats amb el procediment operatori per garantir la concentració i la seguretat (com per exemple, els *checklists* quirúrgics).

La fase intraoperatòria es divideix en tres etapes principals:

Inducció anestèsica: Aquesta etapa ha de ser realitzada per un anestesiològ i un tècnic d'anestèsia. L'objectiu és realitzar l'anestèsia requerida pel pacient, segons el procediment a realitzar (anestèsia local, regional o general). El pacient ha d'estar adequadament adormit per a la cirurgia, i això requereix una supervisió experta i constant per part de l'anestesiològ.

Cirurgia: L'objectiu és realitzar la cirurgia amb precisió i eficàcia. L'equip quirúrgic ha de verificar i preparar adequadament tots els instruments i equips necessaris per al procediment. Durant la cirurgia, és fonamental el monitoratge constant del pacient (signes vitals, nivells d'oxigen i freqüència cardíaca), per garantir la seva seguretat. Bàsicament, existeixen tres tipus de cirurgies (7):

- Cirurgia Menor: Aquesta cirurgia no requereix ni ingrés ni passar per una sala de preparació preoperatòria i s'utilitza només anestèsia local. Per exemple, quan algú es sotmet a l'extracció d'un pèl o un quist petit a la pell.
- Cirurgia Major Ambulatòria (CMA): La CMA requereix d'un estudi preanestèsic, ja que el tipus d'anestèsia va més enllà de la local. D'aquesta manera, s'inclou la sedació, anestèsia intradural o regional i en alguns casos, la màscara laríngia, que és molt similar a l'anestèsia general, però la sedació no arriba a ser tan profunda com en la general.

- Cirurgia amb ingrés: La cirurgia amb ingrés requereix, a més del tipus d'anestèsia esmentat anteriorment per a la CMA, l'anestèsia general. El pacient roman com a mínim 6 hores d'estada dins d'un llit d'hospital.

Recuperació anestèsica: Després de finalitzar la cirurgia, aquesta etapa és realitzada per un anestesiològ i un tècnic d'anestèsia, juntament amb un ajudant, si és necessari. L'objectiu és realitzar la recuperació anestèsica del pacient de manera segura i efectiva. Aquesta etapa és crucial per garantir que el pacient es desperti còmodament de l'anestèsia. En aquest moment, el pacient és monitorat estretament per avaluar la seva resposta a l'anestèsia i el seu estat general. També permet el contacte amb el pacient tan aviat com recupera la consciència, i el cirurgià pot revisar l'estat del pacient, proporcionar instruccions postoperatòries i respondre a qualsevol pregunta o preocupació que tingui el pacient o els seus familiars.

### **Fase Postoperatòria**

L'etapa postoperatòria és la tercera i última fase crítica del procés quirúrgic, dedicada a garantir una recuperació segura i exitosa del pacient. Després de completar la cirurgia, la persona és traslladada a la unitat de reanimació, on és monitorada de prop per assegurar-se que s'està despertant amb èxit de l'anestèsia. Una vegada que el pacient es considera prou recuperat, es prenen dues vies possibles: l'hospitalització, que implica traslladar-lo a una planta quirúrgica dins de l'hospital, o el donar-li l'alta perquè pugui continuar el procés de recuperació a casa seva. (8)

Durant el període postoperatori, es realitza una avaluació exhaustiva de la funció general del pacient, es valora el resultat del procediment quirúrgic i es controla de manera atenta la zona afectada per detectar qualsevol signe d'infecció o complicació. És una etapa crucial per garantir que el pacient evolucioni de manera favorable i per prevenir possibles complicacions.

L'etapa postoperatòria es divideix en dues fases:

1. Control durant l'hospitalització: Aquesta fase implica un seguiment meticulós que es realitza encara en un entorn hospitalari immediatament després de la cirurgia. Sota una atenció estreta de l'equip mèdic, es monitora la ferida quirúrgica, es controla la dieta i el repòs del pacient, s'administren els medicaments necessaris i s'observen les molèsties o símptomes que puguin sorgir.

2. Control ambulatori: Un cop el pacient està estabilitzat i ha superat la fase immediata del postoperatori, comença una etapa de seguiment en forma d'atenció ambulatoria. Durant aquesta fase, el pacient assisteix a cites prèviament programades amb el cirurgià o l'equip mèdic per seguir monitorant la seva recuperació. Aquestes cites són importants per al pacient, ja que ajuden a assegurar que segueixi les indicacions postoperatòries i prengui les mesures necessàries per a una recuperació completa.

### **2.1.2. Equip quirúrgic**

En un bloc quirúrgic d'un hospital, participen diversos professionals de la salut que treballen en equip per garantir l'èxit i la seguretat de les intervencions quirúrgiques. A continuació, es descriuen algunes de les principals funcions de cadascun d'ells (9):

Cirurgià: És el metge especialista encarregat de realitzar la intervenció quirúrgica. La seva funció és dur a terme el procediment quirúrgic al pacient. Ha de tenir amplis coneixements i habilitats en la seva especialitat per dur a terme l'operació de manera precisa i segura.

Anestesiòleg: Aquest professional s'ocupa d'administrar l'anestèsia al pacient abans de la cirurgia i supervisar el seu estat durant tot el procediment. És responsable de garantir que el pacient no senti dolor i estigui en un estat adequat per a la cirurgia.

Infermer/a quirúrgic/a: Els infermers quirúrgics tenen un paper essencial en el bloc quirúrgic. S'encarreguen de preparar la sala d'operacions abans de la cirurgia, ajuden el cirurgià durant el procediment i s'asseguren de mantenir un ambient estèril i segur durant tota l'operació.

Instrumentista quirúrgic/a: És el professional encarregat d'assistir el cirurgià durant l'operació proporcionant els instruments i materials necessaris. Ha de tenir un profund coneixement sobre els instruments quirúrgics i saber anticipar-se a les necessitats del cirurgià.

Circulant de quiròfan: Té la responsabilitat de gestionar tot el que ocorre fora del camp estèril. S'encarrega de la logística del quiròfan, assegurant-se que tot el material necessari estigui disponible, a més de registrar i supervisar l'administració de medicaments i l'equip utilitzat.

Tècnic/a de raigs X: En algunes cirurgies, pot ser necessari utilitzar imatges de raigs X o altres estudis d'imatge. El tècnic de raigs X ajuda a obtenir i proporcionar les imatges necessàries.

Personal de neteja i esterilització: S'encarreguen de netejar i esterilitzar tot el material quirúrgic i les instal·lacions del quiròfan per mantenir un ambient asèptic i reduir el risc d'infeccions.

El portalliteres o auxiliar de quiròfan: és el professional encarregat de traslladar el pacient des de l'habitació o acollida fins a la sala d'operacions, ajudant a col·locar-lo adequadament a la taula quirúrgica i ajustant la seva posició segons les indicacions del cirurgià. També facilita la transferència postoperatoria del pacient i el trasllat de mostres biològiques del pacient durant el procediment quirúrgic.

És important destacar que, en un equip quirúrgic, cada membre té un rol específic, però treballen de manera coordinada per garantir la seguretat i el benestar del pacient durant tot el procés quirúrgic. La comunicació efectiva i la col·laboració són fonamentals per aconseguir resultats exitosos a la cirurgia.

## **2.2. Àrea quirúrgica**

La Unitat Quirúrgica està composta per diverses àrees que treballen de forma coordinada per proporcionar una atenció integral al pacient durant el procés quirúrgic. Aquestes àrees són el quiròfan, que consta de les sales d'operacions, l'àrea preanestèsica i la central d'equips i esterilització (CEIE), així com el servei de recuperació, el magatzem de material de consum, les oficines administratives i els vestidors. Els esforços conjunts d'aquestes àrees garanteixen una atenció satisfactòria per als pacients (10).

### **2.2.1. Les àrees quirúrgiques**

Quiròfan: És l'àrea central on es porten a terme les intervencions quirúrgiques. Generalment, hi ha diverses sales d'operacions equipades amb tecnologia avançada i tot el material necessari per realitzar diferents tipus de cirurgies. Cada quiròfan té un ambient estèril per evitar infeccions i assegurar la seguretat del pacient. Poden existir diferents tipus de quiròfan segons la cirurgia a la qual es sotmet el pacient:

- Quiròfan convencional: On es duen a terme la cirurgia major ambulatoria i cirurgia amb ingrés.
- Quiròfan de cirurgia menor o local

Unitat de reanimació o REA: També coneguda com a sala de recuperació post anestèsica, és on els pacients són traslladats després de la cirurgia per controlar la seva recuperació inicial. Aquí, el personal mèdic monitora els signes vitals del pacient fins que es desperta de l'anestèsia i es troba en un estat estable.

Àrea preanestèsica: És l'espai on es prepara al pacient abans de la cirurgia. L'anestesiòleg i el personal d'infermeria realitzen una avaluació mèdica completa per assegurar-se que el pacient estigui en condicions òptimes per a la cirurgia i per planificar el tipus d'anestèsia que s'utilitzarà. Aquesta sala també fa la funció de buffer entre l'acollida i el quiròfan.

Central d'equips i esterilització (CEIE): Aquesta àrea és responsable de netejar, esterilitzar i mantenir l'equip quirúrgic. Aquí s'asseguren que tots els instruments i materials utilitzats en les cirurgies estiguin en perfectes condicions i lliures de qualsevol risc d'infecció.

Magatzem de material de consum: És el lloc on es guarda tot el material d'un sol ús i subministraments mèdics necessaris per a les cirurgies, com guants, gases, embenats, talles estèrils, etc.

Oficines administratives: En aquesta àrea es gestionen els registres i la documentació dels pacients, es programen les cirurgies i s'executen totes les tasques administratives relacionades amb l'àrea quirúrgica.

Vestidors: Són els espais on el personal mèdic i d'infermeria es canvia de roba abans d'ingressar a l'àrea quirúrgica. Aquests vestidors estan dissenyats per garantir la màxima higiene.

La Unitat de Cirurgia Sense Ingrés (UCSI): Aquesta àrea té dues funcions principals. En primer lloc, és un punt d'acollida per a tots els pacients que venen del seu domicili per sotmetre's a una cirurgia. En segon lloc, té com a finalitat atendre procediments quirúrgics sense necessitat d'hospitalització. Els pacients són admesos a l'hospital, es sotmeten a la cirurgia i reben l'alta el mateix dia, un cop han recuperat la consciència. Aquesta unitat ofereix cirurgies de baix risc i curta durada, cosa que permet una recuperació ràpida i un ús més eficient dels recursos hospitalaris. (11)

### **2.2.2. Zones quirúrgiques**

En una unitat quirúrgica, sovint es divideix l'espai en zones per facilitar el flux de treball i garantir l'asèpsia. Cada zona té un propòsit específic i està dissenyada per mantenir una separació adequada entre àrees contaminants i àrees estèrils, amb l'objectiu de prevenir infeccions i assegurar la seguretat del pacient i del personal mèdic. (12)

Zona bruta o zona negra: És l'àrea on el personal es prepara abans d'entrar al quiròfan. Aquí es troba la zona de vestuari i banys, on el personal es canvia de roba i s'afegeix l'equip de protecció. També es poden ubicar els armaris per guardar pertinences personals i objectes no estèrils. També inclou les oficines i admissió quirúrgica.

Zona intermèdia o zona grisa: És una zona de transició entre la zona bruta i la zona estèril del quiròfan. Aquesta àrea compta amb una secció de rentat quirúrgic, una central d'equips, sala d'anestèsia, sala de recuperació (REA) i sala sèptica.

Zona estèril o zona blanca: És l'àrea on es realitza la cirurgia. És un ambient altament controlat i estèril per prevenir infeccions. Aquí es troben el pacient, l'equip mèdic, els instruments quirúrgics i tot el necessari per efectuar l'operació de manera segura.

L'àrea quirúrgica disposa de diversos passadissos que connecten les diferents zones i sales. Aquests passadissos estan dissenyats per facilitar el flux de treball i el moviment del personal mèdic i dels pacients amb seguretat i eficiència (13).

1. Passadissos entre les zones: Connecten la zona negra, la zona grisa i la zona blanca, permetent el desplaçament del personal entre les diferents àrees amb el nivell d'asèpsia requerit.
2. Passadissos entre les sales d'operacions (passadís net): Aquestes vies de pas connecten les diferents sales d'operacions, facilitant el trasllat dels pacients, dels equips i del material quirúrgic entre intervencions.
3. Passadissos de pacients postanestèsia (passadís brut): Connecten la zona estèril amb la zona de recuperació postanestèsica (REA), on es traslladen els pacients després de les cirurgies per monitorar la seva recuperació inicial.

### **2.3. Sistema RTLS**

Un sistema RTLS (Real-Time Locating System) és una tecnologia que permet rastrejar i localitzar en temps real la posició de diferents objectes o persones en un entorn determinat. Aquest sistema utilitza diverses tecnologies, com ara les ones de radiofreqüència, les ones ultrasòniques, el Bluetooth, el WiFi, els infrarojos o bé una combinació d'elles per aconseguir una localització precisa. (14)

El funcionament bàsic d'un sistema RTLS implica diversos components:

- Balises o "tags": Són dispositius petits i lleugers que s'afegeixen als objectes o es porten per les persones que es volen localitzar. Cada etiqueta té una identificació única que permet diferenciar-les entre elles.
- Antenes o receptors: Són els sensors que capten el senyal emès per les balises i el transmeten al sistema central.

- Sistema central: És el cervell del sistema RTLS, on s'analitzen i processen les dades rebudes de les antenes. Aquest sistema interpreta la informació rebuda i calcula la ubicació de les etiquetes en temps real.
- Interfície d'usuari: És una interfície gràfica o una aplicació que permet als usuaris visualitzar les posicions en temps real de les etiquetes en un mapa o representació gràfica de l'entorn.

Aquest sistema té una gran varietat d'aplicacions en diversos sectors, com ara la logística i el seguiment de mercaderies, la gestió de flotes, la indústria, la sanitat, la seguretat, els serveis de transport públic, els esports, entre altres.

Els avantatges d'utilitzar un sistema RTLS inclouen una millor eficiència operativa, una gestió més precisa dels recursos, una millora de la seguretat i la localització ràpida d'objectes o persones en situacions d'emergència. A més, aquest tipus de sistemes permeten recopilar dades i generar informes per a l'anàlisi i la presa de decisions.

## **2.4. Tecnologia BLE**

Bluetooth Low Energy (BLE) és una tecnologia de comunicació inalàmbrica dissenyada per connectar dispositius electrònics amb un consum d'energia molt baix. Es va desenvolupar com una extensió del protocol Bluetooth clàssic (Bluetooth 4.0/5.0) per satisfer les necessitats de dispositius que no requereixen una gran quantitat de transmissió de dades i han de funcionar amb bateries de baixa capacitat durant períodes de temps llargs. (15)

### Principals característiques del BLE:

- Baix consum energètic: La tecnologia BLE està dissenyada per minimitzar el consum d'energia, cosa que permet que els dispositius puguin funcionar durant mesos o fins i tot anys amb una sola bateria o una petita pila de botó.
- Connexions ràpides: Les connexions BLE es poden establir molt ràpidament, en qüestió de mil·lisegons, i això permet una connexió quasi instantània entre dispositius.
- Distància de cobertura: La distància de cobertura del BLE és més limitada que la del Bluetooth clàssic, ja que està optimitzada per a aplicacions d'energia baixa. La distància típica és d'uns 10 metres, però pot variar depenent del dispositiu i l'entorn.
- Tecnologia Beacons: El BLE inclou la capacitat de funcionar de beacons, habilitant la transmissió d'informació a altres aparells propers. Aquesta característica és beneficiosa per serveis basats en la ubicació i el màrqueting de proximitat.

- Freqüències d'operació: El BLE utilitza les mateixes bandes de freqüència que el Bluetooth clàssic, de 2,4 GHz. Pot experimentar interferències d'altres dispositius que utilitzen la mateixa freqüència, afectant la fiabilitat de la comunicació.

El Bluetooth de baixa energia (BLE) és una tecnologia àmpliament utilitzada en una diversitat de dispositius i àmbits. Una de les seves aplicacions més rellevants per l'estudi és en l'assistència mèdica, especialment en el monitoratge de pacients i en la connectivitat amb dispositius mèdics.(16)

## 2.5. Senyal RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) és l'escala que mesura el nivell de potència del senyal rebuda en xarxes sense fils, com ara Wi-Fi, xarxes cel·lulars, Bluetooth, etc. El valor RSSI es representa normalment en dBm (decibels en relació amb un mil·liwatt) i indica la força del senyal rebut pel receptor. Com més alt sigui el valor RSSI, més fort serà el senyal rebut. Per tant, un valor RSSI més baix indica un senyal més feble. (17) En diverses tecnologies sense fil, es poden considerar diferents intervals de valors RSSI com a bons o acceptables, segons l'equip específic i l'entorn. Com es mostra en la Taula 1 un valor RSSI entre -30 i -55 dBm generalment es considera un senyal excel·lent, entre -55 i -67 dBm és bo, entre -71 dBm i -80 dBm és acceptable, i allò per sota de -80 dBm es considera feble o deficient.

<b>Valors RSSI (dBm)</b>	<b>Nivell de senyal</b>
Entre -30 i -55 dBm	Senyal excel·lent
Entre -55 i -67 dBm	Senyal bo
Entre -71 i -80 dBm	Senyal acceptable
Per sota de -80 dBm	No feble o deficient

Taula 1: Nivell de senyal en funció del valor RSSI

És important tenir en compte que només el valor RSSI pot no proporcionar una visió completa de la qualitat d'una connexió sense fil. Altres factors com ara la interferència, el soroll i la relació senyal-soroll (SNR) també juguen un paper crucial en determinar el rendiment i l'estabilitat generals d'un enllaç sense fil. (18)



### 3. ESTUDI DE MERCAT

En aquest apartat s'estudia l'estat actual del camp de posicionament intern en l'àmbit sanitari. Es comença estudiant el seu desenvolupament des dels seus inicis fins a l'actualitat focalitzant-nos en el paradigma espanyol.

Els primers intents de posicionament intern es van realitzar a la dècada de 1990 utilitzant tecnologies de visió per computador<sup>1</sup>. Va permetre avenços en el passat, però es trobava limitada per la seva baixa precisió i complexitat. A partir dels anys 2000, les eines d'identificació per radiofreqüència (RFID de l'anglès: Radio-Frequency Identification) van començar a destacar. Aquestes funcionaven de manera eficient juntament amb mètodes de posicionament geodèsic com el GPS per àrees exteriors. En canvi, per zones interiors aquestes tecnologies no eren adequades degut a la reducció de senyal. Per aquests escenaris, es van utilitzar xarxes WIFI malgrat les seves limitacions (alt consum i cost). (19)

En l'actualitat, l'evolució constant de les tecnologies sense fils ha obert noves oportunitats per a la localització d'objectes o persones en interiors. Una de les tecnologies emergents és la dels sistemes de localització en temps real, que ofereixen la capacitat de rastrejar i localitzar persones i actius de manera precisa i immediata. L'augment de la demanda d'una atenció més eficient i una gestió més precisa dels recursos dins dels centres sanitaris ha impulsat l'adopció d'aquesta tecnologia. La seva implementació pot variar en funció de la mida i els recursos de l'hospital així com les regulacions locals. La integració d'aquests sistemes permetrà millorar la comunicació del personal mèdic, la conversió de registres electrònics i el seguiment de mostres i pacients. Segons un estudi de Zebra (20) el 96% dels hospitals planeja adoptar l'ús de RTLS pel seguiment més efectiu dels pacients durant el tractament. La tecnologia segueix evolucionant i millorant per abordar reptes més específics i proporcionar solucions més efectives. (21)

El Bluetooth Low-Energy (BLE) s'està convertint en una de les tecnologies dominants per a aplicacions de sistemes RTLS en la indústria sanitària. Les solucions BLE són econòmiques i compatibles amb equips i sistemes actuals. Amb "tags" Bluetooth, els RTLS poden oferir una detecció precisa de fins a 1,5 metres, fet que els fa ideals per a aplicacions mèdiques. (22)

---

<sup>1</sup> La visió tècnica o per computador és una estratègia per captar i processar informació visual a través de càmeres i sensors.

El mercat global de sistemes RTLS per al sector de la salut es presenta fragmentat, amb empreses clau com **AiRISTA Flow** (en el seguiment de pacients i personal mèdic, millorant la coordinació i l'eficiència hospitalària), **TeleTracking Technologies** (en la gestió de fluxos de pacients i actius en temps real per reduir temps d'espera), **GE Healthcare** (en el rastreig i la gestió d'equips mèdics essencials, optimitzant la seva disponibilitat), **Versus Technology** (en la localització de pacients i actius mèdics per a una atenció més eficient), **CentTrak** (en el rastreig de pacients millorant la seva seguretat i el flux de treball), entre d'altres. (23,24)

En el context de l'estudi de mercat a Espanya es troben diverses propostes de sistemes RTLS per a la localització de pacients en àrees hospitalàries:

**Situm** (25) és una empresa líder espanyola que ofereix solucions RTLS especialment adaptades als hospitals. Utilitza sensors avançats en dispositius mòbils i algoritmes intel·ligents per a la localització precisa dels pacients en diverses àrees hospitalàries, incloent-hi l'àrea quirúrgica. D'aquesta manera permet al personal mèdic monitorar els moviments dels pacients en temps real, millorant la gestió i la seguretat durant els procediments quirúrgics.

D'altra banda, en col·laboració amb Minsait (Indra), Telefònica ha desenvolupat **MySphera** (26), una solució integral destinada a millorar la gestió hospitalària. Basada en tecnologies d'IoT (Internet of Things), analítica de dades i posicionament en interiors, MySphera busca incrementar l'eficiència i l'experiència del pacient mitjançant el seguiment d'actius, el monitoratge del flux de pacients i l'optimització de recursos hospitalaris.

A Girona destaquen dues empreses pioneres en aquest camp: SEMIC i Meibit.

Smart Hospital (27), de **SEMIC**, és un middleware<sup>2</sup> innovador que transforma la gestió de la informació hospitalària. Mitjançant diverses tecnologies de localització, s'integra amb HIS i programari extern per millorar processos hospitalaris. Automatitza el seguiment de pacients i la localització d'actius, oferint aplicacions per millorar l'experiència dels pacients i familiars.

**Meibit** (28) proporciona solucions basades en tecnologia d'identificació per radiofreqüència (RFID) i NFC (en anglès Near-Field Communication). Utilitzen etiquetes RFID per rastrejar i gestionar actius mèdics en temps real, millorant l'eficiència i la seguretat hospitalària.

---

<sup>2</sup> Middleware: Intermediari de programari que ajuda diferents programes a comunicar-se i treballar junts de manera fluida.

## 4. NORMATIVA I ASPECTES LEGALS

L'aplicació d'un sistema de Localització en Temps Real (RTLS) per supervisar pacients en entorns hospitalaris implica consideracions legals i normatives fonamentals. Assegurar la conformitat amb la normativa europea de protecció de dades i garantir la confidencialitat i seguretat dels pacients són prioritats essencials. L'estudi realitzat compleix en tot moment amb la normativa vigent europea de protecció de dades, incloent-hi el Reglament General de Protecció de Dades (RGPD) 2016/679 i la Llei Orgànica 3/2018 de protecció de dades personals i garantia dels drets digitals (LOPDGDD) a escala d'Espanya (29,30). Aquestes estipulen les obligacions i responsabilitats per al tractament de dades personals, especialment les dades sensibles de salut, com les que es recopilen mitjançant aquest sistema RTLS.

La recopilació de dades per a l'estudi en qüestió compleix totes les premisses esmentades anteriorment. Enaltis SL compta amb l'accés a un servidor MQTT per a la visualització i l'extracció de les dades. Les dades emprades es mantenen en un estat d'anonimat, ja que la identificació dels pacients es basa en una cadena alfanumèrica ('mac') vinculada a un número de polsera. En cap circumstància es disposa d'informació identificativa com noms o gènere, ni cap altra dada que pugui conduir a la identificació directa del pacient. D'aquesta manera es garanteix la correcta separació entre la localització del pacient i la seva identificació.

Quan s'implementa un sistema RTLS en hospitals, és important tenir en compte les normatives electromagnètiques i les mesures d'aïllament per garantir el funcionament fiable i segur del sistema. (31)

En el context de les normatives electromagnètiques, s'ha complert amb la **Directiva 2014/30/UE (Directiva EMC)** (32,33), que estableix els requisits per a la compatibilitat electromagnètica dels equips electrònics i elèctrics en el mercat europeu. Aquesta premisa és fonamental per prevenir interferències electromagnètiques entre el sistema RTLS i altres equips mèdics o sistemes sensibles. A més, la norma **IEC 60601-1-2** (34), específica per als equips mèdics, assegura que les emissions electromagnètiques del sistema RTLS no interferiran amb els equips mèdics ni comprometran la seguretat dels pacients.

Les mesures d'aïllament electromagnètic són essencials per evitar interferències en sistemes com el RTLS en entorns hospitalaris. Això inclou optimitzar el disseny de les antenes, ajustar la potència de transmissió, seleccionar freqüències poc susceptibles a interferències i ubicar les antenes estratègicament. Àrees crítiques com quiròfans poden requerir solucions de blindatge, i es recomanen proves de compatibilitat electromagnètica per garantir el funcionament segur i eficaç, en conformitat amb les normatives vigents.

Cal destacar que en el cas de l'estudi, ja es disposava de la instal·lació del sistema RTLS en funcionament i ha estat prèviament revisada pel servei de Manteniment i Electromedicina del mateix hospital.

## 5. CONCEPTE D'ENGINYERIA

L'objectiu principal d'aquest estudi és millorar l'eficàcia i eficiència del procés quirúrgic dins qualsevol hospital. Com ja s'ha esmentat en apartats anteriors la implementació d'un sistema de Localització en Temps Real (RTLS) per al seguiment de pacients emergeix com una de les solucions per abordar els reptes presents en aquest procés.

Mitjançant la localització en temps real, es pot rastrejar amb precisió el moviment dels pacients des de la seva arribada fins a la sala d'operacions, assegurant que es trobin en la ubicació adequada en el moment precís. D'aquesta manera, es garanteix la correcta execució dels procediments seguint els protocols establerts. Permet registrar de manera automàtica el temps quirúrgics en els historials clínics dels pacients. A més, aquest sistema RTLS pot proporcionar actualitzacions en temps real als familiars del pacient durant la intervenció quirúrgica, donant-los tranquil·litat i informació sobre l'estat del pacient.

La localització en temps real optimitza el flux de treball minimitzant els retards entre operacions, mantenint un ritme constant i aprofitant al màxim el temps del personal mèdic. D'altra banda, un sistema RTLS possibilita una gestió més eficient de l'espai a l'àrea quirúrgica. Això és vital per assegurar que les sales d'operacions estiguin lliures quan es requereixen, reduint els temps d'inactivitat i aprofitant l'espai limitat de manera òptima. Aquest enfocament millora el rendiment quirúrgic i, com a resultat, redueix el cost global de les intervencions.

Una funcionalitat secundària del sistema i que es pot activar amb un mínim cost, pot ser la de localització d'actius dins del bloc quirúrgic. Això pot incloure la localització ràpida d'equipament mòbil com torres d'endoscòpia o carros d'anestèsia, millorant encara més l'eficiència i la gestió dels recursos en l'àmbit quirúrgic.

Aquesta tecnologia permet la programació precisa d'operacions i l'assignació eficient de quiròfans, reduint les llistes d'espera i millorant la sincronització entre l'equip quirúrgic. També proporciona una millora en la informació als familiars dels pacients. A més, millora la sincronització entre l'equip quirúrgic. Finalment, serveix com a eina de recopilació de dades per a futurs anàlisis i millores en el sistema hospitalari.

## 5.1. Plantejament del problema

El treball proposat té com a objectiu millorar la precisió d'un sistema de Localització en Temps Real (RTLS) amb tecnologia BLE a l'àrea quirúrgica d'un hospital comarcal de 400 llits del sistema de salut de Catalunya. Per implementar aquest sistema, s'han instal·lat un total de 29 antenes BLE distribuïdes estratègicament. Les antenes capturen els senyals emesos per les balises, que són polseres distintives assignades als pacients en el moment d'ingressar a l'àrea quirúrgica. Cal destacar que aquest sistema RTLS també s'està posant a prova en un altre hospital comarcal de 150 llits del sistema de salut català.

Actualment, existeix un sistema de localització implementat per un proveïdor, però aquest sistema presenta limitacions en la seva funcionalitat i rendiment. Aquest sistema no processa adequadament el senyal. L'objectiu és utilitzar les dades del senyal per aconseguir una determinació precisa i en temps real de la ubicació de cada pacient. A més, s'aspira a millorar la precisió de la localització fins al nivell de llit en algunes de les sales quirúrgiques.

Hi ha diversos factors que poden dificultar l'assoliment de la precisió desitjada. Un dels factors crítics és la interferència de senyals. En un entorn hospitalari, hi ha una gran quantitat d'equips electrònics i dispositius que emeten senyals. Aquesta saturació pot provocar interferències amb les lectures de les antenes BLE, afectant la qualitat i fiabilitat de les dades capturades dels "tags". A més, els obstacles físics presents a l'entorn, com parets i estructures, poden actuar com a barreres per a les ones de Bluetooth, resultant en una propagació irregular del senyal. (35)

Un altre factor determinant és la configuració de les antenes BLE. La seva ubicació i orientació poden causar un impacte significatiu en la precisió del sistema RTLS. A més, la variabilitat del senyal BLE afegeix un repte addicional. El problema pot ser ocasionat per factors com la distància entre les antenes i les polseres, l'angle d'observació i les condicions ambientals. La inconsistència en el senyal pot provocar fluctuacions en la precisió de la localització, dificultant la predicció fiable de la posició dels pacients.

L'estudi en qüestió pretén abordar aquests problemes i desenvolupar solucions efectives que proporcionin un nivell més gran de precisió i fiabilitat en la localització dels pacients. Per aconseguir aquesta millora, s'han seguit una sèrie de passos al llarg del projecte, els quals es detallen a continuació.

## 5.2. Estudi del bloc quirúrgic

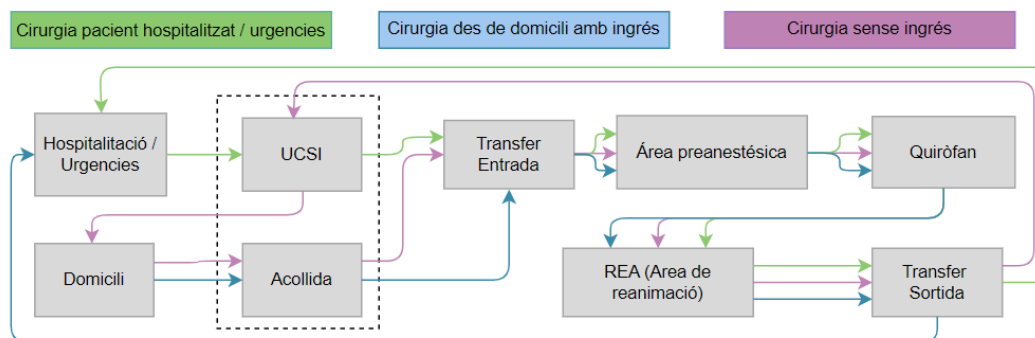
En aquest apartat s'analitza les àrees del bloc quirúrgic de l'hospital així com les posicions de les antenes sobre aquest. També s'estudien els possibles moviments i fluxos dels pacients dins aquesta àrea. L'àrea quirúrgica de l'hospital compta amb 9 quiròfans per a cirurgia major, 3 per a cirurgia local, una sala de reanimació (REA), una sala de preanestèsia i una unitat de cirurgia sense ingrés (UCSI o acollida).

Les 29 antenes BLE es troben distribuïdes per aquesta àrea. Com es pot observar en la *taula 1*, cada quiròfan de cirurgia major i local disposa d'una antena. En canvi, per les àrees de reanimació, preanestèsia i UCSI, es disposa de fins a 5 antenes per garantir una millor cobertura i localització precisa. A més, s'ha implementat una antena a l'entrada i la sortida del bloc quirúrgic, així com a l'ascensor de pujada a planta. Cal tenir en compte que en el moment de l'estudi i recollida de dades les antenes de l'àrea preanestèsia estaven desactives per obres. Per tal de veure on estan col·locades les antenes sobre el plànol de l'àrea quirúrgica es troba adjunt a l'apartat "ANNEX E. PLÀNOLS" el Plànol 1 Plànol 1. A més també es troba la disposició de les antenes i distribució de llits hospitalaris en l'àrea de reanimació en el Plànol 2, que servirà per a la localització de pacients pel que fa a llit.

Àrea quirúrgica	Distribució Antenes
Quiròfans majors	9 antenes (una per cada quiròfan): Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8 i Q11.
Quiròfans locals	3 antenes (una per cada quiròfan): SC1, SC2 i SC3
Àrea de Reanimació	5 antenes: REA_C (central), REA_E (est), REA_S (sud), REA_O (oest) i REA_N (nord)
Unitat de cirurgia sense ingrés	5 antenes: UCSI_C (central), UCSI_E (est), UCSI _S (sud), UCSI _O (oest) i UCSI _N (nord)
Àrea preanestèsia	4 antenes: Preanestèsia nord, sud, est i oest.
Transfers (Entrada i sortida del bloc quirúrgic)	2 antenes: TRANSFER_E (entrada) i TRANSFER_S (sortida)
Ascensor	1 antena: ASCENSOR_BQ

Taula 1: Distribució de les antenes dins el bloc quirúrgic

Per tal d'estudiar el flux del pacient dins l'àrea quirúrgica s'ha de tenir en compte que varia segons la cirurgia requerida i la procedència del pacient. L'objectiu és assegurar una atenció segura i eficient mentre es manté una separació adequada entre àrees contaminants i àrees estèrils per prevenir infeccions i garantir el benestar del pacient. En la II-lustració 2 es pot observar un esquema dels recorreguts més freqüents. El sistema RTLS podrà seguir el desplaçament del pacient des de la sala UCSI / Acollida fins al punt d'entrada de l'àrea quirúrgica (transfer entrada), on serà acompanyat a l'àrea preanestèsia (sense senyal). Seguidament, el pacient serà conduït al quiròfan assignat. Després de la intervenció es recuperarà de l'anestèsia dins la REA, i serà traslladat de nou a la UCSI o bé és transferit a una planta, passant pel transfer de sortida.



II-lustració 2: Flux de pacients dins l'àrea quirúrgica

### 5.3. Extracció de les dades

La recopilació de dades per l'estudi es basa en dues metodologies fonamentals:

#### 5.3.1. Obtenció de dades de les antenes

L'obtenció d'aquestes dades es centra en la recollida i interpretació de la informació captada per les diverses antenes mitjançant MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). MQTT (36) és un protocol de comunicació que permet la transferència eficient de dades entre dispositius connectats (àmpliament utilitzat per dispositius IoT). En aquest cas, el protocol permet recopilar les dades de les antenes de manera sistemàtica i eficient. Aquest procés facilita la recollida periòdica del senyal RSSI en intervals de temps determinats per a totes les polseres actives al llarg del dia.

Per a la recopilació de dades per l'estudi, s'ha desenvolupat un script en Python anomenat 'connecta\_mqtt', que es connecta al protocol MQTT i permet recuperar les dades en format de text. Aquestes dades estan organitzades segons el temps de lectura i contenen tota la informació rellevant sobre el senyal rebut per les diferents antenes. Podeu trobar el codi d'aquest script a l'annex B de l'estudi.

Com es pot observar a la Taula 2, les dades segueixen el següent format:

Topic	Timestamp	Type	Mac	BleName	ibeaconUuid	Ibeacon Major	Ibeacon Minor	rsi	Ibeacon TxPower	battery
REA_C	2023-05-24 08:38:58.667	iBeacon	AC233FF57883	B6	15000000000000000000 4AC233FF57883	0	0	-76	-59	100
Q4	2023-05-24 08:38:58.789	iBeacon	AC233FEE1F4C	B6	15000000000000000000 4AC233FEE1F4C	0	0	-65	-59	100
Q4	2023-05-24 08:38:59.098	iBeacon	AC233FEE1F5B	B6	15000000000000000000 4AC233FEE1F5B	0	0	-40	-59	100
Q7	2023-05-24 08:38:58.839	iBeacon	AC233FEE1F3C	B6	15000000000000000000 4AC233FEE1F3C	0	0	-67	-59	100
Q7	2023-05-24 08:38:58.889	iBeacon	AC233FEE1F4F	B6	15000000000000000000 4AC233FEE1F4F	0	0	-54	-59	100
Q2	2023-05-24 08:38:58.785	iBeacon	AC233FEE1F4C	B6	15000000000000000000 4AC233FEE1F4C	0	0	-62	-59	100

Taula 2: Dades captades per les antenes

Les columnes de la *taula 2* contenen diverses categories d'informació:

- **Topic:** Nom de l'antena que capta el senyal
- **Timestamp:** Data i hora exacta en què es realitza cada lectura.
- **Type:** Tipus de tecnologia utilitzada per la lectura, en el nostre cas 'iBeacon'.
- **Mac:** Adreça MAC o identificador únic de cada polsera.
- **BleName:** Nom del dispositiu Bluetooth (BLE) relacionat amb la lectura.
- **ibeaconUuid:** Identificador universalment únic (UUID) associat a la tecnologia iBeacon.
- **Ibeacon Major, Ibeacon Minor:** Valors major i menor associats a la tecnologia iBeacon.
- **Rssi:** Valor de RSSI que ha captat l'antena en qüestió
- **TxPower:** Potència de transmissió del dispositiu en la lectura.
- **battery:** Estat de la bateria associada a la polsera.



### 5.3.2. Obtenció de dades mitjançant observació

Aquesta etapa es basa en identificar i obtenir ubicacions reals de pacients mitjançant l'observació del procés. Per recollir dades vaig assistir al bloc quirúrgic de l'hospital el dia 24 de maig d'enguany des de les 9:00 h a les 15:00 h. Així doncs, vaig poder estudiar de manera pràctica els moviments dels pacients quan entren a l'àrea quirúrgica.

Durant aquesta observació, em vaig centrar en la recopilació de dades des de la sala de reanimació. Aquesta àrea és de particular interès, ja que permet veure quan el pacient entra pel transfer d'entrada i és traslladat al quiròfan assignat, així com, quan el pacient ja s'ha sotmès a la cirurgia i reposa a la REA. Aquesta sala compta amb 12 boxs on els pacients es recuperen abans de ser traslladats de nou a la UCSI o bé són hospitalitzats.

Al final del matí vaig recopilar diverses activitats de diferents pacients. Com es pot observar en la Taula 3 registrava el número de polsera assignat a cada individu, el quiròfan on s'efectuava l'operació i el número de box on es recuperava a la REA. També vaig prendre nota del temps d'entrada i sortida de cada àrea registrada. Aquesta recollida detallada de dades va permetre obtenir una visió pràctica del moviment dels pacients durant el seu pas pel bloc quirúrgic.

Pacient	Polsera	Quiròfan	UCSI out	Quiròfan in	REA IN	REA out	BOX
1	124	Q8	8:23	8:26	10:17	12:00	BOX 3
2	182	Q1	8:13	8:30	9:51	14:00	BOX 11
3	159	Q6	8:28	8:44	10:49	12:37	BOX 2
4	130	Q3	8:31	8:33	11:57	18:39	BOX 9
5	190	Q1	10:14	10:17	12:02	12:39	BOX 12
6	143	Q7	8:19	8:21	12:12	14:00	BOX 3

Taula 3: Dades recopilades durant observació

La recopilació d'aquestes dades servirà principalment per aconseguir un conjunt de dades fiables que s'utilitzarà per contrastar la informació captada per les antenes. D'aquesta manera, s'obtindrà una referència per processar els senyals RSSI i, determinar la posició precisa del pacient.

## 5.4. Anàlisi de les dades

En aquesta secció, s'explica l'anàlisi de la qualitat i estabilitat del senyal rebut per les antenes. L'enfocament d'aquest, es basa en la comparació dels senyals RSSI emesos per cada pacient. Això, permet determinar les seves característiques i, juntament amb les dades recollides a l'hospital, veure com es comporta el senyal quan un pacient es troba en una àrea específica durant determinats períodes de temps.

S'ha optat per utilitzar **Jupyter Notebook**, una eina que permet l'anàlisi de dades d'una manera visual i senzilla. Les metodologies principals utilitzades per observar el senyal RSSI són les següents:

Per tenir una visió general s'ha emprat el "**diagrama de caixa**" (37), una representació gràfica que il·lustra la distribució dels valors RSSI i destaca la mediana, els quartils i possibles valors atípics. Aquest tipus de diagrama mostra de manera visual la variabilitat i la dispersió dels valors, ajudant a entendre millor el comportament del senyal i la seva força en diferents situacions. Seguidament, s'ha aplicat el "**diagrama de senyal RSSI**", una representació gràfica que mostra la variació del nivell de potència del senyal rebuda en funció del temps. Aquesta representació permet observar el comportament del senyal al llarg del temps, destacant la seva variabilitat i estabilitat. També ajuda a identificar com els senyals de les antenes més properes que poden superposar-se i influir en els resultats.

Mitjançant aquestes metodologies, s'ha assolit una comprensió més profunda de la qualitat i estabilitat del senyal RSSI, així com de les relacions amb les antenes properes. Aquesta anàlisi permet definir el processament posterior que s'aplicarà sobre el senyal per tal de millorar la precisió del sistema RTLS.

## 5.5. Filtratge i processament del senyal RSSI

Després de dur a terme l'anàlisi del senyal, el següent pas és explorar i aplicar diversos filtres per millorar la qualitat del senyal. En aquesta fase de millora, s'han avaluat i implementat dos tipus de filtres específics: el filtre de mitjana mòbil i el filtre de Kalman.

El **filtre de mitjana mòbil** és una tècnica que s'ha implementat per millorar la qualitat del senyal. Aquest filtre opera mitjançant la creació d'una finestra temporal que es desplaça a través del senyal. Dins d'aquesta finestra, es calcula la mitjana dels valors del senyal, i aquesta mitjana es considera com el nou valor del senyal en aquest punt. S'han fet diverses proves amb diferents llindars de finestra per determinar la configuració que millora la qualitat del senyal sense perdre'n les característiques essencials.

El **filtre de Kalman** també s'ha utilitzat per a l'optimització del senyal. És una eina potent que es basa en un model dinàmic per estimar i actualitzar els valors del senyal. S'han executat ajustos en els paràmetres d'aquest filtre per adaptar-lo a les particularitats del senyal RSSI i millorar-ne la qualitat. El paràmetre clau d'aquest filtre és el "mesurament\_noise" que indica quina incertesa tenen les dades. El valor adequat dependrà del nivell de soroll i variabilitat de les mesures. Per a un nivell alt de soroll, com ara entorns hospitalaris, s'utilitzen valors per sobre de 10. (38)

A més d'aquests dos filtres, s'ha incorporat un **filtre de màxim** que s'aplica de manera periòdica cada X segons. Aquesta tècnica és útil per identificar el valor màxim del senyal en un interval de temps específic, ajudant a destacar senyals forts o pics d'intensitat que podrien ser crítics per a l'aplicació. També ajuda a eliminar valors atípics i a millorar la gestió de les interferències amb les antenes més properes. Tot i que l'ús d'aquest filtre pot causar un petit retard en la resposta del senyal, aquest retard no té un impacte significatiu en l'aplicació.

Un cop s'ha dut a terme l'anàlisi i aplicat els diversos filtres a tot el conjunt de dades, s'ha utilitzat l'antena amb el senyal més intens com a referència per determinar la ubicació del pacient. A partir d'aquesta informació, s'han comparat les dades d'observació, que inclouen les localitzacions reals dels pacients, amb les prediccions obtingudes mitjançant els diferents filtres. Això ha permès determinar quin dels filtres proporciona una major precisió o exactitud (accuracy) en la localització dels pacients a nivell d'àrea.

## 5.6. Aplicació d'algoritmes d'intel·ligència artificial

Després de processar les dades, s'han aplicat diversos algoritmes d'intel·ligència artificial per crear un model de localització de pacients a escala de llit (box) amb alta precisió. L'enfocament d'aquests algoritmes es basa en l'aprenentatge automàtic, que permet al sistema millorar mitjançant l'experiència i l'anàlisi de grans conjunts de dades de senyals. Els algoritmes utilitzats en aquest estudi són els següents:

**Random Forest:** Aquest algoritme (39) és una tècnica d'aprenentatge automàtic que utilitza múltiples arbres de decisió. Aquesta combinació de prediccions dels arbres ajuda a millorar la precisió i a prevenir l'overfitting<sup>3</sup>. Funciona seleccionant mostres aleatòries del conjunt de dades i característiques per a cada arbre, i després combina les seves prediccions per a obtenir una resposta final. És eficaç en classificació i regressió, i és conegut per la seva robustesa i adaptabilitat a diverses tasques.

**Aprenentatge profund-Basat en Localització:** És una tècnica que utilitza xarxes neuronals profundes per determinar la ubicació o posició d'un objecte o dispositiu en un entorn específic. Aquesta tecnologia és especialment rellevant en aplicacions de localització en temps real, com la localització de dispositius mòbils, i la geolocalització en àmbits interiors. L'enfocament es basa en l'entrenament d'una xarxa neuronal profunda amb dades etiquetades que contenen la ubicació coneguda de dispositius en l'entorn. Aquesta xarxa neuronal aprèn patrons i característiques de les dades d'entrada, com senyals de sensors, o dades de connectivitat, per predir la ubicació. Hi ha diversos algoritmes relacionats amb aquesta tècnica (40):

- 1) RNN (Recurrent neural network): Les RNN són algorismes d'aprenentatge profund dissenyats específicament per a dades seqüencials o temporals. La seva funcionalitat rau en la capacitat d'emmagatzemar informació de passos de temps anteriors i aplicar-la a prediccions futures. Això és útil per capturar relacions seqüencials en dades en evolució, com ara els moviments dels pacients en un entorn hospitalari.

---

<sup>3</sup> L'overfitting és quan un model d'aprenentatge automàtic s'ajusta massa als detalls del conjunt de dades d'entrenament i no pot fer prediccions precises en nous conjunts de dades.

- 2) LSTM (Long Short-Term Memory): Les xarxes LSTM s'han dissenyat específicament per complementar les RNN tradicionals. Són especialment útils en tasques que involucren seqüències llargues i dependències temporals complexes. Això és important, quan es vol tenir en compte el comportament dels pacients al llarg del temps i les seves localitzacions passades per predir les futures.
- 3) GRU (Gated Recurrent Unit): És una variant de les xarxes neuronals recurrents (RNN) que es fa servir en tasques que involucren seqüències de dades, com el processament del llenguatge natural o la predicció temporal. El GRU és similar a l'algoritme LSTM ja que té mecanismes per gestionar la memòria a llarg termini, però és una mica més senzill i eficient.

**Mètriques per avaluar el model d'IA:** Són eines importants per mesurar el rendiment dels models d'intel·ligència artificial. Dues d'aquestes mètriques clau són (41):

Matriu de Confusió (confusion matrix): Aquesta matriu és una representació visual de la rendibilitat del model per a tasques de classificació. La matriu té quatre cel·les principals:

- Vertaders Positius (VP): Són aquells elements que en la realitat són positius i que han estat classificats com a tals pel model o algoritme.
- Vertaders Negatius (VN): Són aquells elements que en la realitat són negatius i que han estat classificats com a tals pel model o algoritme.
- Falsos Positius (FP): Són casos en què el model o algoritme classifica incorrectament elements com a positius, quan en realitat són negatius.
- Falsos Negatius (FN): Són casos en què el model o algoritme classifica incorrectament elements com a negatius, quan en realitat són positius.

Informe de Classificació (classification report): Aquest informe proporciona diverses mètriques que resumeixen el rendiment del model de classificació (42):

- Precisió (accuracy): Mesura la proporció de les prediccions positives del model que són correctes. Ajuda a comprendre quantes de les prediccions positives són veritablement positives.  $\text{Precisió} = \text{TP} / \text{TP} + \text{FP}$
- Recuperació (recall): Indica la proporció de totes les instàncies positives reals que el model ha identificat correctament. És útil per avaluar la quantitat de classes positives que està identificant el model.  $\text{Recall} = \text{TP} / \text{TP} + \text{FN}$
- Puntuació F1: Mitjana ponderada de la precisió i la recuperació proporcionant un equilibri entre aquestes dues mètriques.  $\text{F1} = 2 * (\text{precisió} * \text{recall}) / (\text{precisió} + \text{recall})$

## 6. IMPLEMENTACIÓ I RESULTATS

Per a dur a terme aquest estudi, s'ha emprat l'aplicació Jupyter Notebook amb el llenguatge de programació Python.

### 6.1. Anàlisi de les dades

Com s'ha explicat a l'apartat 5.4 (Concepte d'enginyeria) l'anàlisi de les dades s'ha basat en estudiar les característiques del senyal RSSI rebut per les diferents antenes. S'ha centrat en analitzar les dades del dia 24 de maig d'enguany, ja que és el dia que es van recopilar ubicacions reals a l'hospital. Es disposa el codi relacionat amb l'anàlisi a l'enllaç de l'annex B amb el nom "Anàlisi dades RSSI 24-05 àrea" i "Anàlisi dades RSSI 24-05 rea". A més, també es troba disponible el codi on es guarden totes les funcions utilitzades per a l'anàlisi ("project\_functions").

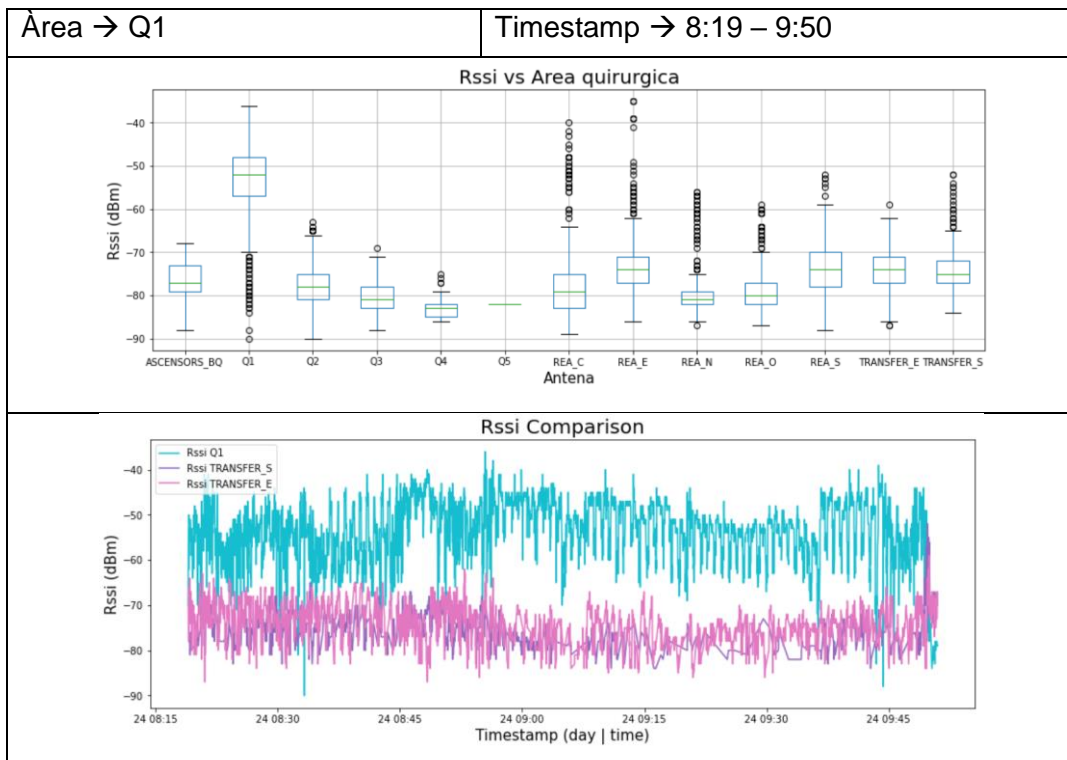
El primer pas ha estat llegir tots els arxius de text d'interès (des de les 7:00 a les 15:00) i crear un data set conjunt. D'aquest conjunt, s'han filtrat les columnes d'interès per l'estudi ('tòpic', 'mac', 'timestamp' i 'rssi'). D'aquesta manera, s'obté el data set següent (Il·lustració 3) en el qual la columna 'tòpic' identifica les diferents antenes; 'mac' conté cadenes de text que fan referència a les adreces de les polseres, el 'timestamp' emmagatzema la data i l'hora de cada lectura; i la columna 'rssi' conté els valors de senyal en dBm.

	topic	mac	timestamp	rssi
0	UCSI_S	AC233FEE1F4C	2023-05-24 07:12:00.235	-65
1	Q11	AC233FEE1F4C	2023-05-24 07:12:00.239	-76
2	UCSI_N	AC233FEE1F4C	2023-05-24 07:12:01.136	-57
3	UCSI_E	AC233FEE1F4C	2023-05-24 07:12:01.154	-66
4	SC3	AC233FEE1F4C	2023-05-24 07:12:01.144	-85

*Il·lustració 3: Data set d'interès*

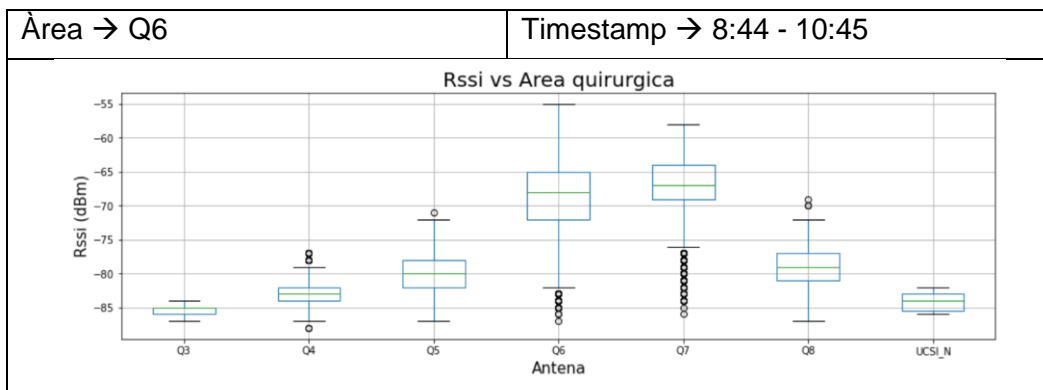
Seguidament, s'ha estudiat el comportament dels senyals rebuts per a diferents adreces 'mac', és a dir, s'ha realitzat un estudi sobre la ubicació de diversos pacients en moments específics. Per tant, s'ha filtrat el data set en funció de l'adreça 'mac' d'interès i el timestamp corresponent. S'han seleccionat pacients de qui es té informació sobre la seva ubicació exacta i s'ha analitzat la qualitat i la variabilitat del senyal. L'enfocament es centra principalment en les àrees dels quiròfans centrals i la sala de reanimació. A continuació, es mostra l'anàlisi de 2 pacients:

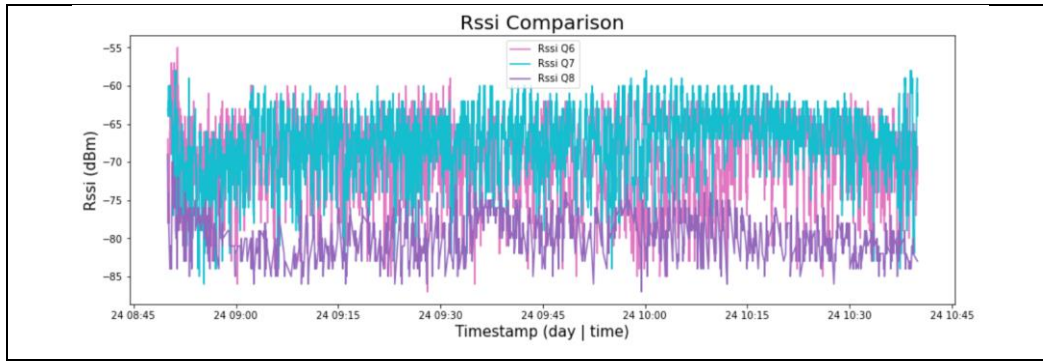
**Pacient 1: AC233FF57883 (Polsera 182)**



Els gràfics anteriors proporcionen una visió del comportament del senyal pel **pacient 1**. Aquest pacient va ser sotmès a cirurgia al quiròfan 1 des de les 8:19 fins a les 9:50. En l'anàlisi del boxplot, és evident que l'antena 'Q1' presenta la força de senyal RSSI més destacada. Al segon gràfic, que mostra la intensitat del senyal en funció del temps, s'han destacat també altres antenes com 'TRANSFER\_S' i 'TRANSFER\_E', les quals van captar senyals significatius. En aquest gràfic es mostren diverses interferències entre les 3 antenes, però 'Q1' és la que presenta més intensitat de senyal (-40 a -70 dBm).

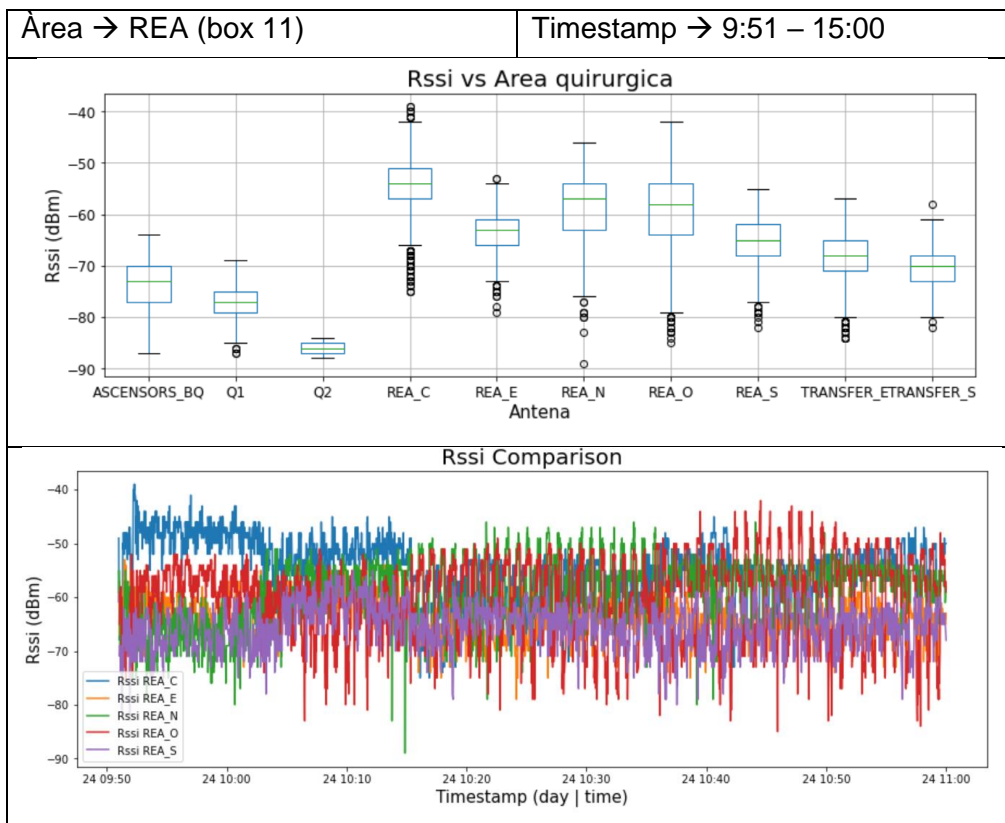
**Pacient 2: AC233FF57868 (Polsera 159)**





Pel que fa al **pacient 2**, ubicat al quiròfan 6 de les 8:44 a les 10:45, el diagrama de caixa assenyalava que el senyal de l'antena 'Q7' és més potent que la de 'Q6'. No obstant això, en la representació temporal d'aquests dos senyals es pot veure com coincideixen en molts punts sense que sigui clar quin predomina. El valor del senyal RSSI també indica que no és tan fort com el dels altres pacients, amb oscil·lacions entre -55 i -80 dBm. Aquesta situació podria ser atribuïda a una possible ubicació o orientació inadequada de l'antena 'Q6'.

**Pacient 1: AC233FF57883 (Polsera 182)**





Durant l'estada del pacient 1 a l'àrea de reanimació, es fa evident que en el diagrama de caixa, les antenes amb el senyal més significatiu són 'REA\_C', 'REA\_E', 'REA\_S', 'REA\_N' i 'REA\_O'. A més, es destaca que les antenes 'TRANSFER\_S' i 'TRANSFER\_E' també juguen un paper important a causa de la seva proximitat a la sala. En el gràfic del senyal en funció del temps, es pot observar que el senyal RSSI varia segons la ubicació del pacient dins la sala (segons el box). El senyal del pacient 1 (ubicat en el box 11), l'antena que rep més intensitat és 'REA\_C'. Aquesta distribució té sentit perquè el box 11 es troba al centre de la REA.

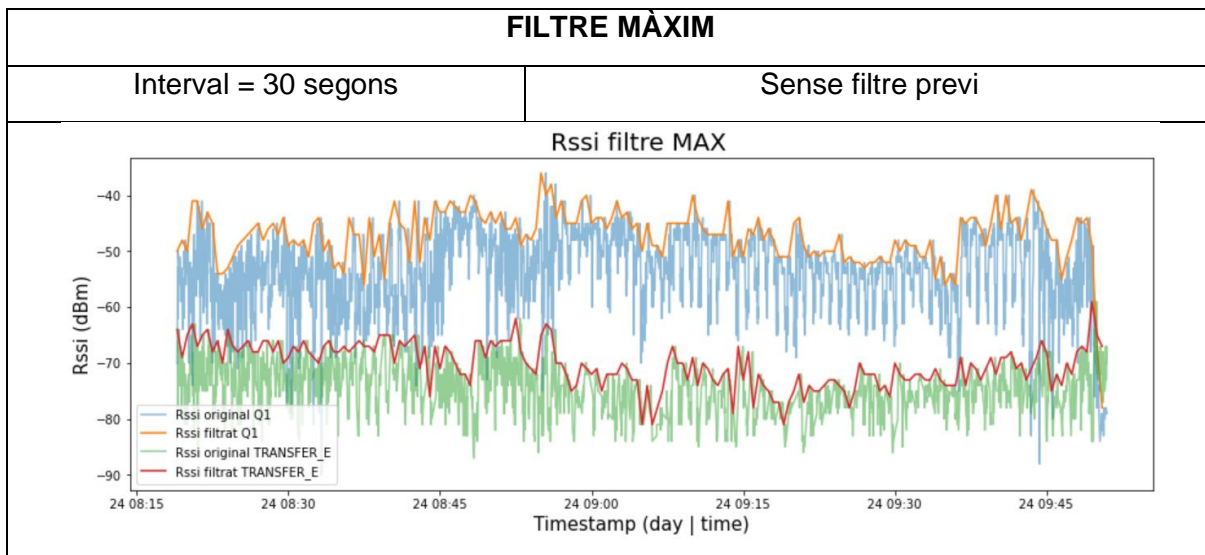
En resum, aquestes observacions mostren que el senyal presenta moltes interferències amb les antenes properes a la ubicació real del pacient. S'ha fet un estudi per diversos pacients (es poden trobar més exemples a l'apartat F de l'annex) i en general el comportament del senyal és semblant al del pacient 1. El pacient 2 sembla que és una excepció. En la majoria de casos el senyal RSSI es presenta bastant inestable, és a dir, fluctua molt en el temps. Això subratlla la necessitat de processar i filtrar aquest senyal per poder obtenir una millor qualitat i, d'aquesta manera, determinar la ubicació precisa del pacient.

## **6.2. Tractament de les dades**

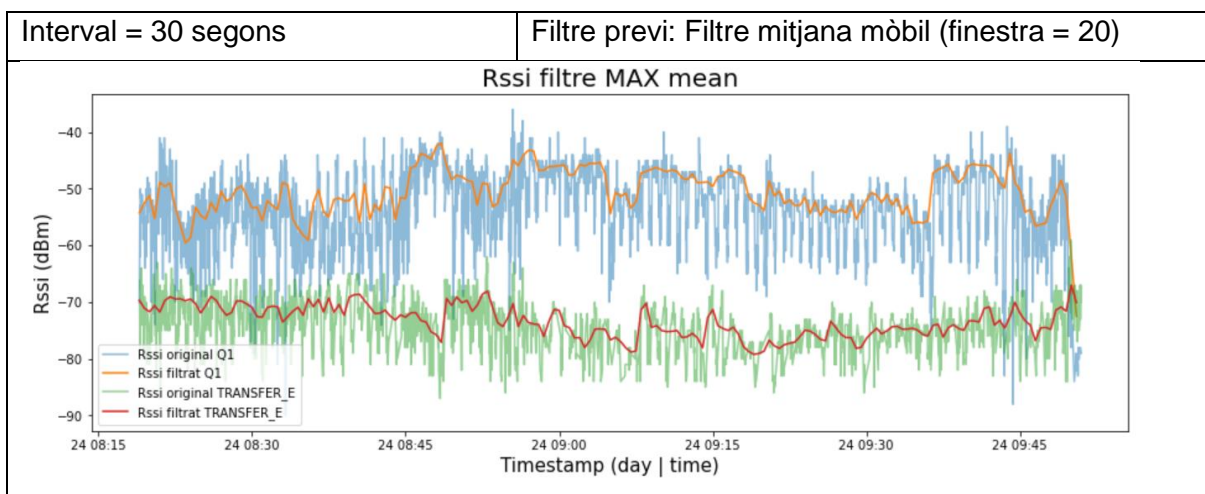
Un cop s'ha fet l'anàlisi de la qualitat del senyal, el següent pas és centrar en identificar la manera més adient de filtrar i processar-lo amb l'objectiu de millorar la seva estabilitat i fiabilitat.

### **6.2.1. Filtratge del senyal**

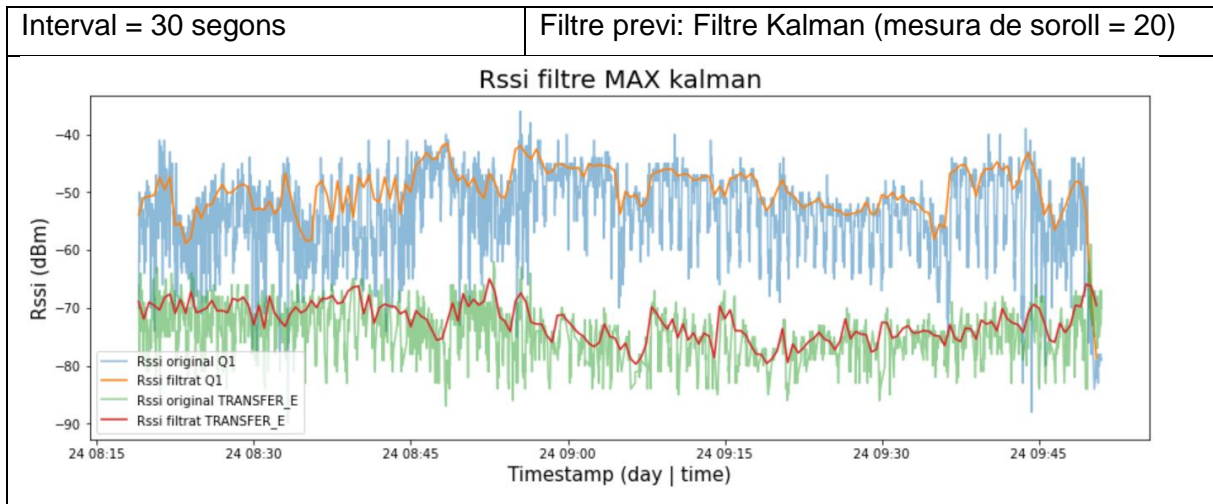
Com es detalla a la secció 5.5. Filtratge i processament del senyal RSSI de l'apartat concepte d'enginyeria s'han utilitzat diferents filtres: el filtre de mitjana mòbil, el filtre de Kalman i el filtre de màxim sobre aquests. S'han ajustat els paràmetres d'aquests filtres per veure el comportament d'aquests sobre el senyal original. A continuació, es mostren alguns exemples de l'aplicació dels filtres sobre el senyal del Pacient 1 quan es troba al quiròfan 1. Es poden observar més casos a l'apartat: ANNEX F. CÀLCULS I JUSTIFICACIONS.



En el gràfic previ, es presenta l'aplicació del filtre de màxim sense filtrar prèviament i amb un interval de 30 segons. S'aprecia que els senyals de les antenes 'Q1' i 'TRANSFER\_S' ja no mostren gaire interferència entre ells. Aquests senyals apareixen més suavitzats i amb menys fluctuacions en comparació amb les seves versions originals. No obstant això, en seleccionar només els punts màxims, sembla que podria estar perdent-se la forma original dels senyals.



En aquest cas, s'ha aplicat un filtre de mitjana mòbil de 20 punts previ al filtre màxim. S'ha observat que aplicant un filtre de mitjana mòbil amb una finestra més gran (20 punts) sobre el senyal RSSI, s'observa que aquest senyal presenta menys fluctuacions en comparació amb una finestra més petita. A més, aquest filtre amb una finestra més gran és eficaç a l'hora de reduir el soroll i les interferències procedents d'antenes properes o pertorbacions ambientals. Per tant, proporciona una lectura de senyal més estable i fiable. Tanmateix, cal tenir en compte que, aplicant una finestra més gran, aquest filtre pot trigar més temps a respondre a canvis significatius en el senyal. Sembla que en aquest cas el senyal filtrat preserva millor la forma del senyal original.



L'aplicació prèvia del filtre de Kalman mostra un comportament similar en la reducció de fluctuacions en comparació amb el filtre anterior. En el gràfic, es presenta el senyal amb un valor de mesura de soroll de 20. Quan s'incrementa el valor d'aquest paràmetre, s'observa una major estabilitat en el senyal RSSI i una notable reducció en la presència de valors atípics o extrems.

Els dos últims gràfics semblen preservar millor la forma del senyal, mentre que el primer, en considerar únicament els valors màxims, podria introduir certes distorsions. En general, s'observa que l'aplicació de filtres comporta una notable reducció en les fluctuacions i en la presència de valors atípics en el senyal. A més, en la majoria dels casos, s'aconsegueix eliminar les interferències provinents d'antenes properes. Això posa de manifest l'eficàcia del filtratge en la millora de la qualitat del senyal i en l'eliminació de sorolls no desitjats.

### 6.2.2. Processament del conjunt de dades

Després d'una anàlisi gràfica sobre el comportament dels diversos filtres, es va prendre la decisió d'aplicar-los al conjunt de dades complet i avaluar-ne la precisió. Aquest procés de filtratge va requerir diverses etapes prèvies de tractament de les dades. El codi utilitzat per a aquest procés es pot trobar al repositori de GitHub, a l'

ANNEX B. CODI B, sota l'arxiu titulat "Posicionament a nivell d'àrea data 24-05".

En una primera instància, les dades es van dividir en funció de les diferents adreces MAC (pacients), i es van crear arxius independents per a cada un d'ells. Posteriorment, es va procedir a llegir cada un d'aquests arxius, i es van agrupar les lectures del senyal RSSI per antena. Aquesta subdivisió va permetre l'aplicació del filtre de mitjana mòbil i el filtre de Kalman. Seguidament, s'aplica un segon filtre de valor màxim amb diferents intervals de temps per aconseguir un senyal més estable. Per estudiar l'impacte d'aquest últim filtre, també s'aplica als valors RSSI inicials. Cada resultat d'aquesta aplicació es va emmagatzemar en diferents carpetes per cada filtre utilitzat ('topic\_kalman'; 'topic\_mitja'; 'topic\_maxim'). Cadascuna d'elles conté tots els valors RSSI filtrats per a cada antena i els seus corresponents temps de lectura

A continuació, es llegeix cada carpeta tòpic per tal d'organitzar el conjunt de dades filtrat per cada pacient. En aquesta nova disposició de dades, les columnes mostren els senyals RSSI de cada antena, juntament amb els timestamps corresponents. Amb l'objectiu d'evitar valors en blanc, es va optar per assignar un valor de -99 dBm als casos en què les antenes no van registrar senyal en una determinada lectura. Per últim, es va crear una columna de resposta que identificava el senyal RSSI més intens i n'associava el nom de l'antena corresponent. D'aquesta manera, es prediu la ubicació del pacient en cada lectura. Aquest processament de les dades contribueix a obtenir un conjunt de dades més estructurat i informatiu per a futurs anàlisis. En la Taula 4 s'observa el format resultant de les dades d'aquests arxius.

Timestamp (data-hora)	ASC_BQ (dBm)	Q1 (dBm)	Q2 (dBm)	Q3 (dBm)	Q4 (dBm)	REA_C (dBm)	REA_E (dBm)	REA_N (dBm)	REA_O (dBm)	REA_S (dBm)	T_E (dBm)	T_S (dBm)	Resposta (àrea)
2023-05-24 08:20:30	-99	-48,09	-72,43	-77,78	-84,33	-75,39	-68,30	-80,10	-78,95	-66,82	-67,81	-72,89	Q1
2023-05-24 08:21:00	-99	-46,25	-69,62	-77,67	-99	-75,13	-68,69	-78,38	-77,90	-70,51	-69,58	-72,39	Q1
2023-05-24 08:21:30	-99	-48,57	-44,48	-78,58	-99	-70,94	-71,47	-73,87	-78,49	-65,20	-66,72	-70,23	Q1
2023-05-24 08:22:00	-84,87	-46,53	-76,08	-78,05	-99	-71,32	-67,20	-76,10	-76,09	-63,43	-66,56	-73,29	Q1

Taula 4: Conjunt de dades resultant pacient 1 (AC233FF57883)

### 6.2.3. Avaluació del conjunt de dades resultant

Per avaluar l'eficàcia dels diferents filtres, s'han comparat les ubicacions obtingudes a la columna 'resposta' amb les dades d'observació que contenen les ubicacions exactes dels pacients. En aquest procés, s'han dut a terme diverses proves utilitzant diferents intervals de temps per al filtre de màxim, així com diferents mides de finestra per al filtratge de mitjana i diferents valors de soroll de mesura per al Kalman. Posteriorment, s'ha calculat la precisió de cada mètode de filtratge mitjançant la fórmula (prediccions correctes / prediccions totals).

Aquesta anàlisi ha permès determinar quins paràmetres i configuracions obtenen els millors resultats en termes de precisió a l'hora de localitzar el pacient en l'àmbit de quiròfan.

Pacient	Area	Polsera	Mac	Quir IN	Quir OUT	accuracy Maxim	accuracy Kalman	accuracy Mitja	
0	1	Q1	182	AC233FF57883	08:19:00	09:51:00	97.837838	97.837838	97.837838
1	2	Q1	190	AC233FF57875	10:17:00	12:02:00	100.000000	99.526066	99.526066
2	3	Q1	190	AC233FF57875	12:39:00	13:28:00	98.989899	98.989899	98.989899
3	4	Q1	169	AC233FF57870	13:39:00	15:07:00	97.674419	97.674419	97.674419
4	5	Q3	130	AC233FEE1F4C	08:33:00	11:56:00	99.754300	100.000000	100.000000
5	6	Q3	193	AC233FF5786E	12:32:00	14:56:00	100.000000	100.000000	100.000000
6	7	Q4	125	AC233FEE1F5B	08:35:00	14:48:00	99.846390	99.846390	99.846390
7	8	Q5	167	AC233FF57866	08:23:00	09:00:00	98.666667	96.000000	98.666667
8	9	Q5	191	AC233FF5786F	10:25:00	14:22:00	99.303944	99.767981	99.535963
9	10	Q6	159	AC233FF57868	09:00:00	09:50:00	43.564356	37.623762	33.663366
10	11	Q6	140	AC233FEE1F4D	13:55:00	14:31:00	45.454545	45.454545	36.363636
11	12	Q7	143	AC233FEE1F4F	08:21:00	12:12:00	99.352052	99.352052	99.568035
12	13	Q7	185	AC233FF57887	12:52:00	15:09:00	100.000000	100.000000	100.000000
13	14	Q8	124	AC233FEE1F3C	08:26:00	10:17:00	99.103139	99.551570	99.551570
14	15	Q8	176	AC233FF57879	10:42:00	12:36:00	99.563319	99.563319	100.000000
15	16	Q8	138	AC233FEE1F47	12:54:00	14:44:00	99.248120	99.248120	99.248120

Taula 5: Precisió de la localització dels pacients per a diferents filtres. Paràmetres per filtre màxim: interval = 30 s; Filtre Kalman: mesura\_soroll =20 i interval = 30 s; Filtre mitjà: finestra =20 i interval = 30 s.

Com s'observa a la Taula 5, s'han calculat les precisions de les ubicacions de 16 pacients utilitzant els paràmetres especificats a peu de taula. Els resultats obtinguts indiquen que l'aplicació del filtre de Kalman o la mitjana mòbil abans del filtre de màxim no té un impacte significatiu en la precisió. Per aquest motiu, es pot concloure que només aplicant el filtre de màxim és suficient. La taula mostra que la majoria de les prediccions coincideixen amb les ubicacions reals, amb una precisió que varia entre el 97% i el 100%. No obstant això, s'observa que la ubicació per al quiròfan 6 no és precisa (43% i 45%). Com s'ha comentat en l'anàlisi de dades, aquesta imprecisió pot ser atribuïda a una possible mala disposició o col·locació de l'antena '6', ja que es produeixen moltes interferències amb l'antena 'Q7'.

### 6.3. Aplicació d'algoritmes IA

L'aplicació dels algoritmes d'intel·ligència artificial està orientada a la localització dels pacients a nivell de box (llit hospitalari) dins la sala de reanimació. El codi per a aquesta funcionalitat es troba disponible al vincle de l'annex B amb el nom "Posicionament del pacient dins REA (a nivell de llit/box)".

En primer lloc, s'ha realitzat la preparació del conjunt de dades, que consisteix en la combinació dels fitxers resultants després de l'aplicació dels filtres amb les dades d'observació. Es disposa d'un total de 6 pacients, dels quals es té informació sobre la seva ubicació a nivell de box durant un temps determinat. Es combinen els conjunts de dades per poder aplicar els algorismes d'intel·ligència artificial. Es filtren les dades pel 'mac' dels 6 pacients i pel timestamp corresponent a l'estada dins de la REA. També es canvia la columna 'resposta' per les ubicacions a nivell de box. Finalment, s'apliquen els algorismes d'IA, que es detallen a la secció 5.6 de l'apartat concepte d'enginyeria.

### 1) Random Forest

<pre> Classe codificada 0: BOX 11 Classe codificada 1: BOX 12 Classe codificada 2: BOX 2 Classe codificada 3: BOX 3 Classe codificada 4: BOX 9  Confusion Matrix: [[109  0  0  0  0]  [  0 17  0  0  0]  [  0  0 39  1  0]  [  0  0  0 83  0]  [  2  0  0  1 41]]         </pre>	<pre> Classification Report:               precision    recall  f1-score   support       0         0.98      1.00      0.99        109      1         1.00      1.00      1.00         17      2         1.00      0.97      0.99         40      3         0.98      1.00      0.99         83      4         1.00      0.93      0.96         44   accuracy              0.99        293  macro avg              0.99      0.98      0.99        293  weighted avg           0.99      0.99      0.99        293         </pre>
--	---

L'aplicació del model Random Forest per la classificació de boxs demostra un rendiment altament bo. La matriu de confusió i el report de classificació reflecteixen que el model és molt precís en classificar les ubicacions dels pacients per a diferents boxs. La matriu de confusió mostra que la majoria de les prediccions són correctes, ja que hi ha valors alts a la diagonal principal (TP). Els valors fora de la diagonal són gairebé nuls, indicant una baixa quantitat d'errors. La puntuació F1 és particularment alta, la qual cosa indica un bon equilibri entre la precisió i la sensibilitat. La precisió mitjana global és del **99%**, el que implica que el model té una capacitat molt bona per classificar correctament les ubicacions dels pacients en tots els boxs.

### 2) Recurrent neural network (RNN)

<pre> Confusion Matrix: [[75  0  0  0  0]  [  0  8  0  0  0]  [  0  0 28  0  0]  [  0  0  0 68  0]  [  0  0  0  2 30]]         </pre>	<pre> Classification Report:               precision    recall  f1-score   support     BOX 11         1.00      1.00      1.00         75    BOX 12         1.00      1.00      1.00          8    BOX 2          1.00      1.00      1.00         28    BOX 3          0.97      1.00      0.99         68    BOX 9          1.00      0.94      0.97         32   accuracy              0.99        211  macro avg              0.99      0.99      0.99        211  weighted avg           0.99      0.99      0.99        211         </pre>
---	--

En aquest escenari, s'ha aplicat una seqüència temporal de 10, és a dir, s'han utilitzat les últimes 10 mostres o punts de dades com entrada per alimentar el model d'aprenentatge. Els resultats obtinguts pel model RNN demostren un rendiment robust i eficaç en la classificació d'ubicacions dels pacients en diferents boxs. Presenta una precisió mitjana global del 99%, indicant una capacitat molt alta per fer prediccions precises. La matriu de confusió revela que la majoria de les prediccions són correctes. No obstant això, en l'anàlisi de la classificació, es pot observar una sensibilitat (94%) lleugerament més baixa en la classificació del 'BOX 9'.

### 3) Long Short-Term Memory (LSTM)

Confusion Matrix:	Classification Report:				
		precision	recall	f1-score	support
[[75 0 0 0 0]	BOX 11	1.00	1.00	1.00	75
[ 0 8 0 0 0]	BOX 12	0.80	1.00	0.89	8
[ 0 0 28 0 0]	BOX 2	1.00	1.00	1.00	28
[ 0 1 0 67 0]	BOX 3	1.00	0.99	0.99	68
[ 0 1 0 0 31]]	BOX 9	1.00	0.97	0.98	32
	accuracy			0.99	211
	macro avg	0.96	0.99	0.97	211
	weighted avg	0.99	0.99	0.99	211

Per aquest model també s'ha utilitzat una seqüència temporal de 10 mostres. El model LSTM obté resultats molt similars als del RNN, ja que presenta una precisió mitjana és del **99%**. La majoria de les classes tenen puntuacions de precisió, recall i puntuació F1 perfectes o molt altes. No obstant això, cal assenyalar que la classe "BOX 12" mostra una precisió lleugerament més baixa que la resta (80%). En resum, el model és altament efectiu en la majoria de les classes, tot i que pot no ser tan precís en la detecció de la classe "BOX 12".

### 4) Gated Recurrent Unit (GRU)

Confusion Matrix:	Classification Report:				
		precision	recall	f1-score	support
[[75 0 0 0 0]	BOX 11	1.00	1.00	1.00	75
[ 0 8 0 0 0]	BOX 12	1.00	1.00	1.00	8
[ 0 0 28 0 0]	BOX 2	1.00	1.00	1.00	28
[ 0 0 0 68 0]	BOX 3	0.97	1.00	0.99	68
[ 0 0 0 2 30]]	BOX 9	1.00	0.94	0.97	32
	accuracy			0.99	211
	macro avg	0.99	0.99	0.99	211
	weighted avg	0.99	0.99	0.99	211

Finalment, el model GRU mostra el mateix rendiment que RNN amb una precisió general del **99%** i una lleugera disminució en la sensibilitat (94%) de la classe 'BOX 9'. Per tant, aquest model és capaç de fer prediccions molt precises per a totes les categories considerades.

Després d'analitzar els resultats dels models Random Forest, RNN, LSTM i GRU per classificar les ubicacions dels pacients als diferents llits hospitalaris, tots els models han obtingut resultats satisfactoris amb una precisió mitjana del 99%. No obstant això, destaca el model RNN i GRU, ja que han obtingut un rendiment lleugerament superior en les mètriques. Aquesta diferència fa que el model **RNN** sigui la millor elecció per a aquesta tasca, ja que aconsegueix els millors resultats en la classificació d'ubicacions dels pacients amb un alt nivell de precisió i eficiència computacional.

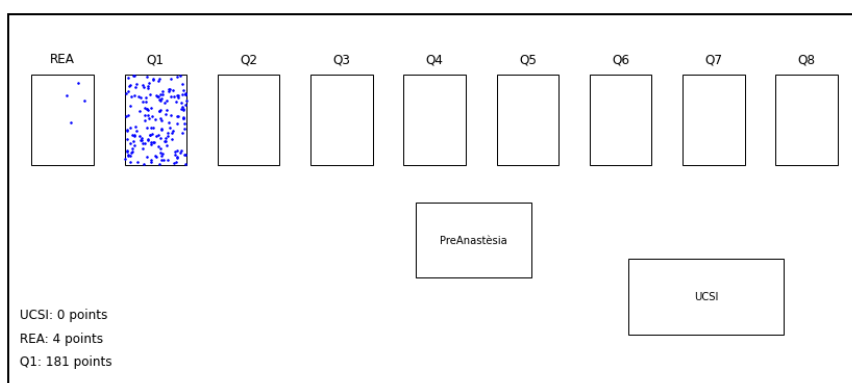
## 6.4. Visualització dels resultats

Amb l'objectiu de representar els resultats de la localització a nivell de sala i llit, s'ha desenvolupat un diagrama que il·lustra l'àrea quirúrgica (per àrea) i la sala de reanimació (per llit). Aquesta representació gràfica facilita l'anàlisi i la interpretació dels resultats obtinguts en la localització dels pacients després de passar pel procés de filtratge del senyal i l'aplicació dels algorismes d'IA. Pel que fa al filtratge, s'ha aplicat un filtre màxim amb un interval de 30 segons, mentre que la IA s'ha basat en la xarxa neuronal RNN. A mesura que es revisen les dades predictives, es designa un punt a l'àrea on el sistema detecta que es troba el pacient.

Podeu trobar el codi per a aquesta aplicació a l'Annex B amb els noms "Visualització dels Resultats (a nivell d'àrea)" i "Visualització dels Resultats (a nivell de box)". A continuació, es mostren els resultats d'aquesta representació gràfica per als dos pacients que s'han analitzat a la secció d'anàlisi de dades (6.1).

### 1) Posicionament a nivell d'àrea o sala

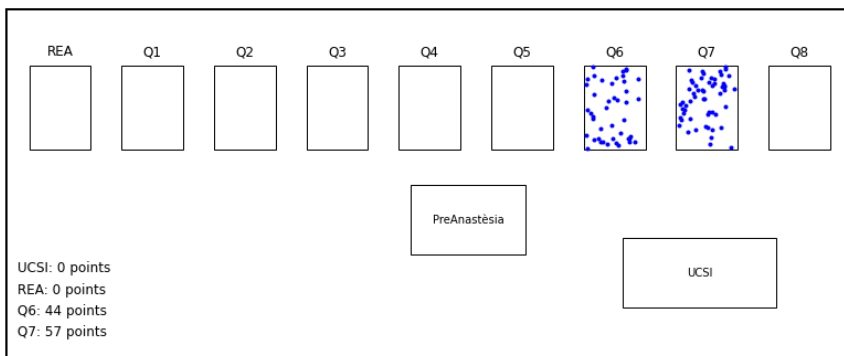
Pacient 1: AC233FF57883 → Q1



Il·lustració 4: Localització del pacient 1 durant la cirurgia



Pacient 2: AC233FF57868 → Q6



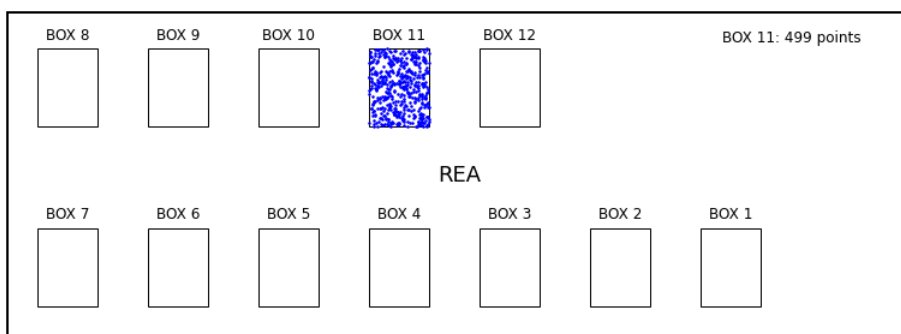
Il·lustració 5: Localització pacient 2 durant la cirurgia

Les dues visualitzacions anteriors mostren els resultats de l'aplicació del filtratge del senyal per als dos pacients esmentats. Com es pot observar, pel que fa a la localització del pacient 1 (Il·lustració 4), es té constància que es troba realment a quiròfan 1. Amb les dades recopilades, es pot apreciar que la majoria de les prediccions s'han detectat en aquesta mateixa àrea. No obstant això, també es poden observar mesures corresponents a l'àrea REA. Això pot deure's a la seva proximitat o, fins i tot, al fet que el pacient hagi estat traslladat a l'àrea rea al final del període d'estudi. Aquest exemple és representatiu de la majoria de les situacions de localització al quiròfan.

En canvi, en el cas del pacient 2 (Il·lustració 5), que realment es troba a quiròfan 6, es detecta un error significatiu en la localització. Com s'ha esmentat anteriorment, aquesta inexactitud pot deure's a la col·locació inadequada de l'antena 'Q6', ja que s'ha observat que quan el pacient es troba a 'Q7', el sistema produeix resultats fiables (similars al cas del pacient 1).

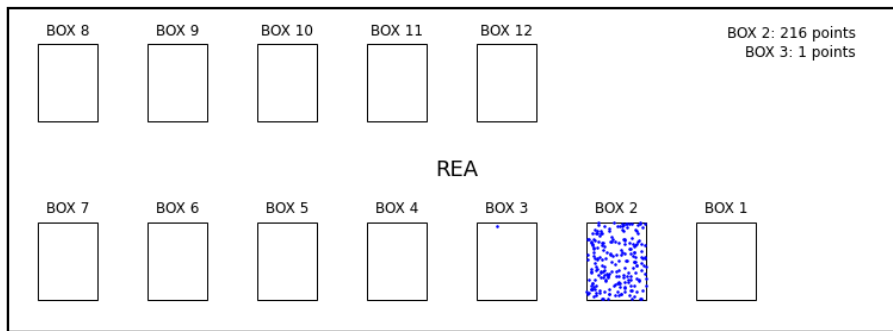
**2) Posicionament a nivell de llit dins la REA**

Pacient 1: AC233FF57883 → BOX 11



Il·lustració 6: Localització del pacient 1 dins la REA

Pacient 2: AC233FF57868 → BOX 2



Il·lustració 7: Localització pacient 2 dins la REA

En aquest escenari, es mostren els mateixos pacients després de ser traslladats a l'àrea de reanimació (Il·lustració 6, Il·lustració 7). S'analitzen els resultats obtinguts mitjançant l'aplicació del filtratge i l'algorisme d'intel·ligència artificial (RNN) per a la localització al nivell del llit. S'aprecia una alta precisió en els dos casos, ja que la majoria dels punts es troben en la ubicació corresponent. Com s'ha esmentat anteriorment, les precisions d'aquest model són molt elevades. No obstant això, es poden detectar petites imprecisions en alguns casos, com es pot veure en el cas del pacient 2.

## 7. CONCLUSIONS

El treball efectuat ha aportat una millora significativa en la precisió d'un sistema RTLS dissenyat per localitzar pacients dins del bloc quirúrgic d'un hospital comarcal del sistema de salut català. Mitjançant l'aplicació de condicionament de dades i tècniques d'intel·ligència artificial, s'ha aconseguit augmentar de manera substancial la precisió d'aquest sistema, permetent la localització precisa dels pacients tant a nivell d'espai o sala com a nivell de llit.

El desenvolupament del projecte ha permès assolir diversos objectius importants, que inclouen:

- 1) La recopilació de dades a partir de les antenes mitjançant un script de Python que es connecta al protocol MQTT del sistema.
- 2) L'avaluació de la disposició estratègica de les antenes dins del bloc quirúrgic mitjançant l'estudi del plànol de l'àrea quirúrgica.
- 3) L'estudi de les ubicacions i moviments reals dels pacients mitjançant l'observació directa del procés, per tal de comparar aquestes dades amb els senyals RSSI.
- 4) La interpretació i anàlisi de la qualitat i estabilitat dels senyals captats per les antenes mitjançant diagrames i gràfics en un entorn de Jupyter Notebook.
- 5) La implementació d'un sistema de processament i filtratge de dades organitzat, que inclou la classificació per adreça MAC (identificació del pacient) i per tipus d'antena.
- 6) L'avaluació i determinació de quin tipus de condicionament o filtratge de dades millora de forma més eficaç la precisió del sistema. S'ha observat que l'ús d'un filtre de màxim millora la qualitat del senyal, redueix les interferències amb antenes properes i elimina valors atípics. Això ha permès assolir una precisió de localització a nivell de quiròfan o sala igual o superior al 97% en la majoria dels casos.
- 7) La identificació de problemes amb l'antena del quiròfan 6, que ha mostrat una precisió molt baixa i moltes interferències amb l'antena 'Q7' tot i l'aplicació del filtratge. Aquest comportament ja s'havia observat en el sistema actual, suggerint la necessitat de revisar la col·locació o orientació de l'antena en qüestió.
- 8) L'ús d'algoritmes d'intel·ligència artificial i xarxes neuronals per determinar la ubicació dels pacients a nivell de llit. El model RNN ha demostrat ser altament eficaç, amb una precisió del 99%.

En conclusió, s'ha dissenyat un model òptim i precís per a la localització de pacients a nivell d'àrea i llit per a un bloc quirúrgic.

## 8. REFERÈNCIES

1. Martínez-Ibáñez V, Ochoa O, Romea S, Campos A. ESENCIAL: Transformando la Gestión en las Instituciones Sanitarias (pp. 30-79). AUTOR-EDITOR; 2020.
2. ¿Cómo mejorar la eficiencia en quirófanos? [Internet]. Union Medical. 2020 [citad 31 agost 2023]. Disponible a: <https://um.com.co/blog/aumentar-uso-del-quirofano/>
3. Chen BP, Clymer JW, Turner AP, Ferko N. Global hospital and operative costs associated with various ventral cavity procedures: a comprehensive literature review and analysis across regions. J Med Econ. 2 novembre 2019;22(11):1210-20.
4. Shippert RD. A Study of Time-Dependent Operating Room Fees and How to save \$100 000 by Using Time-Saving Products. Am J Cosmet Surg. 1 març 2005;22(1):25-34.
5. <https://yoamoenfermeriablog.com/author/yoamoenfermeria>. Yo Amo Enfermería Blog. 2018 [citad 7 agost 2023]. Características y clasificación del área física del quirófano. Disponible a: <https://yoamoenfermeriablog.com/2018/10/29/quirofano-caracteristicas/>
6. Formación DAE. ▷ Etapas del proceso quirúrgico [Internet]. Daeformacion. 2021 [citad 28 juliol 2023]. Disponible a: <https://daeformacion.com/etapas-proceso-quirurgico/>
7. Eugenia HV. Hospital Victoria Eugenia Cruz Roja. 2023 [citad 7 agost 2023]. ¿Qué diferencia hay entre cirugía mayor y menor ambulatoria? ¿Qué diferencias hay respecto a una cirugía con ingreso o estancia? Disponible a: <https://hospitalveugenia.com/blog/consejos-de-salud/cirugia-menor-y-mayor-ambulatoria-y-cirugia-con-ingreso/>
8. DAVRIEUX CF, PALERMO M, SERRA E, HOUGHTON EJ, ACQUAFRESCA PA, FINGER C, et al. STAGES AND FACTORS OF THE “PERIOPERATIVE PROCESS”: POINTS IN COMMON WITH THE AERONAUTICAL INDUSTRY. Arq Bras Cir Dig ABCD. 7 febrer 2019;32(1):e1423.
9. default - Stanford Medicine Children’s Health [Internet]. [citad 3 agost 2023]. Disponible a: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=equipo-quirurgico-90-P06109>
10. Estructura física del haria de quirófano - TEMA 1: ESTRUCTURA FÍSICA Y CIRCULACIÓN EN EL ÁREA - Studocu [Internet]. [citad 7 agost 2023]. Disponible a: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/enfermeria-comunitaria/estructura-fisica-del-haria-de-quirofano/35094870>
11. Ochoa Labarta LM, Pajuelo Gallego A, Delgado Carrasco ML, Narbona Calvo B. Unidad de cirugía sin ingreso y estancia preoperatoria. Cir Esp. 1 febrer 2000;67(2):210-1.
12. Areas- Quirúrgicas ( Área negra, área gris, área blanca) instrumentos quirúrgico - Mtra. Margarita - Studocu [Internet]. [citad 7 agost 2023]. Disponible a: <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-autonoma-gabriel-rene-moreno/anatomia-y-fisiologia-humana/areas-quirurgicas-area-negra-area-gris-area-blanca-instrumentos-quirurgico/26845931>
13. enfermeriacelayane. Unidad didáctica 2: Organización y funcionamiento del área quirúrgica [Internet]. Licenciatura en Enfermería y Obstetricia. 2018 [citad 3 agost 2023]. Disponible a: <https://blogs.ugto.mx/enfermeriaenlinea/unidad-didactica-2-organizacion-y-funcionamiento-del-area-quirurgica/>

14. What is RTLS? | An Introduction to Real-Time Locating Systems [Internet]. [citat 7 agost 2023]. Disponible a: <https://www.atlasrfidstore.com/what-is-rtls-an-introduction-to-real-time-location-systems/>
15. Cómo funciona Bluetooth Low Energy: el protocolo estrella de IoT [Internet]. [citat 7 agost 2023]. Disponible a: <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/03/17/como-funciona-bluetooth-low-energy/>
16. BLE (Bluetooth Low Energy): ¿qué es y cómo usarlo en IoT? – Novidá [Internet]. [citat 7 agost 2023]. Disponible a: <https://www.novida.com/es/blog/ble/>
17. MetaGeek [Internet]. [citat 7 agost 2023]. Understanding RSSI Levels. Disponible a: <https://www.metageek.com/training/resources/understanding-rssi/>
18. NetSpot [Internet]. [citat 7 agost 2023]. RSSI: How to check RSSI value with NetSpot. Disponible a: <https://www.netspotapp.com/wifi-signal-strength/what-is-rssi-level.html>
19. Wang B, Toobaei M, Danskin R, Ngarmnil T, Pham L, Pham H. Evaluation of RFID and Wi-Fi technologies for RTLS applications in healthcare centers. En: 2013 Proceedings of PICMET '13: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET). 2013. p. 2690-703.
20. Bazán J. World Diagnostics News. [citat 21 agost 2023]. Zebra Technologies|La atención médica seguirá evolucionando durante 2022 centrándose en dos importantes ejes. Disponible a: <https://www.diagnosticsnews.com/empresas/38346-zebra-technologies-la-atencion-medica-seguira-evolucionando-durante-2022-centrandose-en-dos-importantes-ejes>
21. Astafiev AV, Zhiznyakov AL, Privezentsev DG. Development of Indoor Positioning Algorithm Based on Bluetooth Low Energy beacons for Building RTLS-Systems. En: 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2019. p. 1-5.
22. Healthcare Real-Time Location System (RTLS) Represents a US\$16.7 Billion Market Opportunity for Vendors [Internet]. [citat 21 agost 2023]. Disponible a: <https://www.abiresearch.com/blogs/2023/05/16/rtls-healthcare/>
23. Sistema de localización en tiempo real (RTLS) Crecimiento del mercado, tendencias | 2022-27 [Internet]. [citat 21 agost 2023]. Disponible a: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/real-time-location-system-market>
24. <https://www.emergenresearch.com> ER. Location-Based Services (LBS) And RTLS Market Size, Share, Industry Forecast by 2032 [Internet]. [citat 21 agost 2023]. Disponible a: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/location-based-services-and-real-time-location-systems-market>
25. Situm - Guiado de pacientes y monitorización de empleados en hospitales [Internet]. Situm. [citat 18 agost 2023]. Disponible a: <https://situm.com/es/soluciones/guiado-de-pacientes-y-monitorizacion-de-empleados-en-hospitales/>
26. MYSPHERA | Streamlining patient flow using RTLS [Internet]. [citat 18 agost 2023]. Disponible a: <https://www.mysphera.com/>
27. IoT y movilidad en Hospitales Smart Hospital [Internet]. [citat 18 agost 2023]. Disponible a: <https://page.semic.es/smarthospital/#app-t%C3%ADtulo>

28. meibitco. Sanidad [Internet]. Meibit - Identification Solutions. [citad 18 agost 2023]. Disponible a: <https://www.meibit.com/sanitat/>
29. Ley de Protección de Datos sanitarios y médicos 2023 [Internet]. Grupo Atico34. 2023 [citad 7 agost 2023]. Disponible a: <https://protecciondatos-lopd.com/empresas/sanitarios/>
30. Jefatura del Estado. Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales [Internet]. Sec. 1, Ley Orgánica 3/2018 des 6, 2018 p. 119788-857. Disponible a: <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3>
31. How to Avoid Electromagnetic Interference in Medical Devices | MADES [Internet]. 2021 [citad 1 setembre 2023]. Disponible a: <https://mades.es/blog/how-to-avoid-electromagnetic-interference-in-medical-devices/>
32. Directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014 , sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición) Texto pertinente a efectos del EEE [Internet]. OJ L feb 26, 2014. Disponible a: <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/30/oj/spa>
33. Directiva 2014/30 / UE Compatibilidad electromagnética (EMC) - IMQ [Internet]. [citad 1 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.imq.it/es/directivas-de-la-ue/directiva-de-compatibilidad-electromagnetica-EMC>
34. IEC 60601-1-2 (Electromagnetic Compatibility of Devices) [Internet]. [citad 1 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.johner-institute.com/articles/product-development/and-more/iec-60601-1-2/>
35. Golmie N, Dyck RE, Soltanian A, Tonnerre A, Rébala O. Interference Evaluation of Bluetooth and IEEE 802.11b Systems. Wirel Netw. 5 gener 2003;9:201-11.
36. MQTT - The Standard for IoT Messaging [Internet]. [citad 5 setembre 2023]. Disponible a: <https://mqtt.org/>
37. Diagrama BoxPlot [Internet]. Proyectos Gestión Conocimiento. 2018 [citad 5 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/>
38. GitHub [Internet]. [citad 5 setembre 2023]. Real\_Time\_Location\_System/Final\_RTLS.ipynb at main · mohammadalikhazen/Real\_Time\_Location\_System. Disponible a: [https://github.com/mohammadalikhazen/Real\\_Time\\_Location\\_System/blob/main/Final\\_RTLS.ipynb](https://github.com/mohammadalikhazen/Real_Time_Location_System/blob/main/Final_RTLS.ipynb)
39. What is Random Forest? | IBM [Internet]. [citad 4 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.ibm.com/topics/random-forest>
40. Rajasekaran R. Quick Look at RNN, LSTM, GRU and Attention [Internet]. Medium. 2020 [citad 4 setembre 2023]. Disponible a: <https://rramjee.medium.com/quick-look-at-rnn-lstm-gru-and-attention-58ad79e2528b>
41. profesorDATA. Evaluando los modelos de Clasificación en Aprendizaje Automático: La matriz de confusión. [Internet]. profesorDATA.com. 2020 [citad 4 setembre 2023]. Disponible a: <https://profesordata.com/2020/08/07/evaluando-los-modelos-de-clasificacion-en-aprendizaje-automatico-la-matriz-de-confusion-claramente-explicada/>
42. Precision, Recall, F1, Accuracy en clasificación - IArtificial.net [Internet]. 2019 [citad 4 setembre 2023]. Disponible a: <https://www.iartificial.net/precision-recall-f1-accuracy-en-clasificacion/>

## 9. ANNEXOS

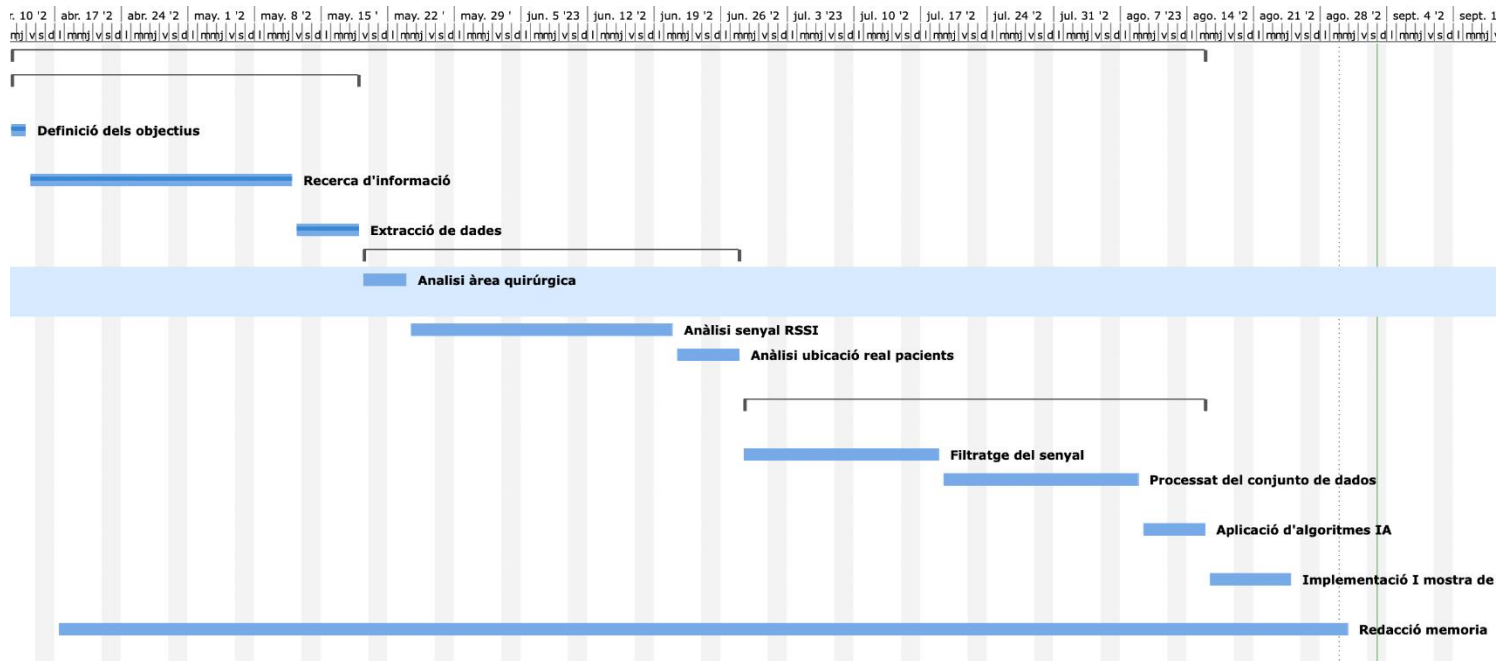
### ANNEX A. PLANIFICACIÓ

#### A.1. Taula de planificació

	Nom de la tasca	Durada (dies)	Començament	Fi	Treball (h)
<b>PROJECTE</b>	Localització de pacients per un bloc quirúrgic	95	12/04/2023	22/08/2023	378
<b>Pas 1</b>	<b>Posada a punt del projecte</b>	27	12/04/2023	18/05/2023	88
	Definició dels objectius	2	12/04/2023	13/04/2023	8
	Recerca d'informació	20	14/04/2023	11/05/2023	60
	Extracció de dades	5	12/05/2023	18/05/2023	20
<b>Pas 2</b>	<b>Anàlisi de dades</b>	28	19/05/2023	27/06/2023	102
	Anàlisi àrea quirúrgica	3	19/05/2023	23/05/2023	12
	Anàlisi senyal RSSI	20	24/05/2023	20/06/2023	70
	Anàlisi ubicació real pacients	5	21/06/2023	27/06/2023	20
<b>Pas 3</b>	<b>Tractament de les dades</b>	40	28/06/2023	22/08/2023	160
	Filtratge del senyal	15	28/06/2023	18/07/2023	60
	Processament del conjunt de dades	15	19/07/2023	08/08/2023	60
	Aplicació d'algoritmes IA	10	09/08/2023	22/08/2023	40
<b>Pas 4</b>	<b>Implementació i mostra de resultats</b>	7	23/08/2023	31/08/2023	28
<b>Pas 5</b>	<b>Redacció memòria</b>	98	17/04/2023	30/08/2023	0

Taula 6: Planificació del projecte

## A.2. Cronograma



## ANNEX B. CODI

Com que aquest projecte conté codi, s'ha creat un repositori al GitHub per facilitar un accés més senzill i organitzat.

Enllaç: [https://github.com/rosagairin/TFG\\_rtls.git](https://github.com/rosagairin/TFG_rtls.git)



## ANNEX C. PRESSUPOST

En aquest apartat es mostren els costos estimats de la realització d'aquest projecte.

### C.1. Mà d'obra

Tenint en compte que la Taula 6 de planificació de l'apartat anterior s'han destinat unes 378 hores de feina aproximadament, i s'ha estimat que el sou d'un enginyer biomèdic júnior aproximat és de 25 €/hora:

Personal	Sou/hora	Total hores	TOTAL
Enginyer biomèdic	25 €	378	9.450 €

### C.2. Recursos

Per a la realització del meu treball, he utilitzat Jupyter Notebook i Anaconda 3, que proporcionen una eina robusta d'edició de codi i anàlisi de dades, respectivament. A través de Jupyter Notebook, he creat documents interactius que combinen codi i visualitzacions. La llicència d'aquestes dues eines és totalment gratuïta.

Recursos	Quantitat	Preu	Enllaç
Jupyter Notebook	1	Llicència Open Source	<a href="#">Link 1</a>
Anaconda 3 (Python 3.8.5)	1	Llicència Open Source	<a href="#">Link 2</a>
Client MQTT Explorer	1	Llicència Open Soure	<a href="#">Link 3</a>
Broker MQTT (servidor)	1	Llicència Open Soure	<a href="#">Link 4</a>
HUAWEI MateBook X 2017	1	1.400 €	

### C.3. Materials

Per implementar la infraestructura del sistema RTLS, són essencials les antenes i els braçalets destinats als pacients. A continuació, es presenta una taula que mostra les quantitats requerides específiques per a l'hospital que s'ha analitzat, així com els preus individuals per unitat.

Materials	Quantitat	Preu/Unitat	Preu total	Model
Antena BLE 5.0	29	98,75 €	2.863,75 €	<a href="#">Link 1</a>
Beacon braçalet (B7)	50	19,70 €	985 €	<a href="#">Link 2</a>

#### C.4. Pressupost total

A continuació es mostra el cost total del projecte:

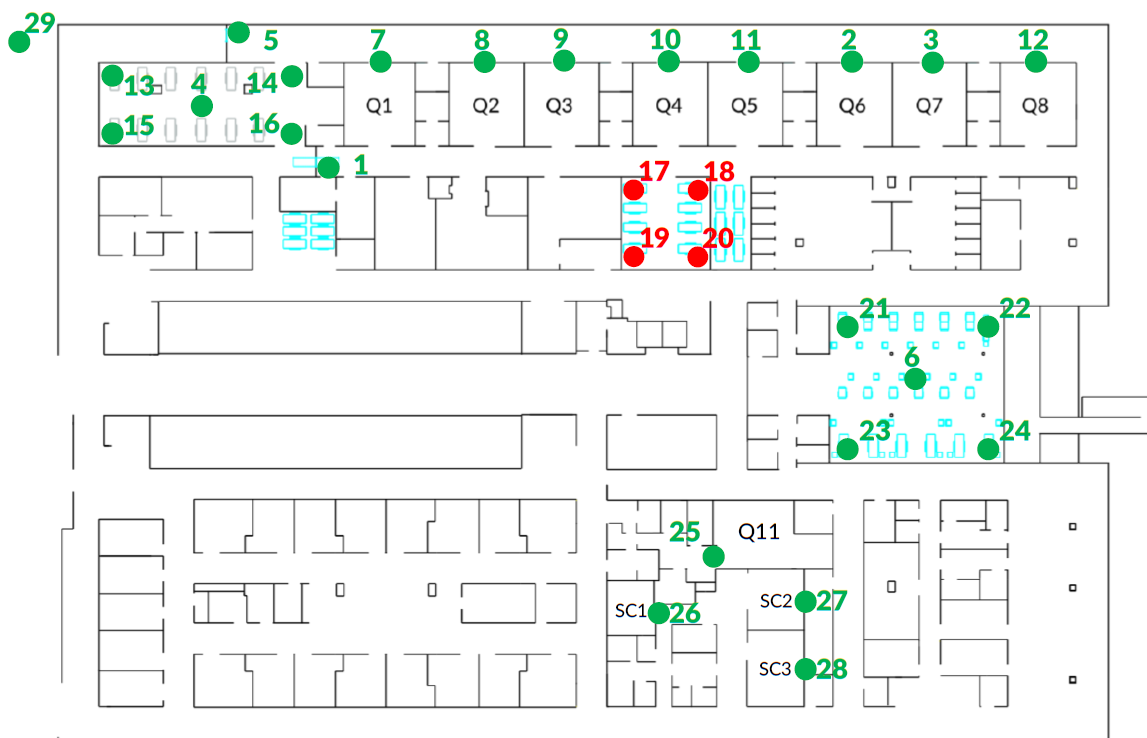
Descripció	Hores	Preu	Quantitat	Cost
Enginyer biomèdic	378	25 €	1	9.450 €
Jupyter Notebook	-	-	1	-
Anaconda 3 (Python 3.8.5)	-	-	1	-
HUAWEI MateBook X 2017	-	1.400 €	1	1.400 €
Antena BLE 5.0	-	98,75 €	29	2.863,75 €
Beacon braçalet (B7)	-	19,70 €	50	985 €
<b>IMPORT TOTAL</b>				<b>14.698,75 €</b>

#### ANNEX D. COMITÈ D'ÈTICA

No aplica en aquest cas.

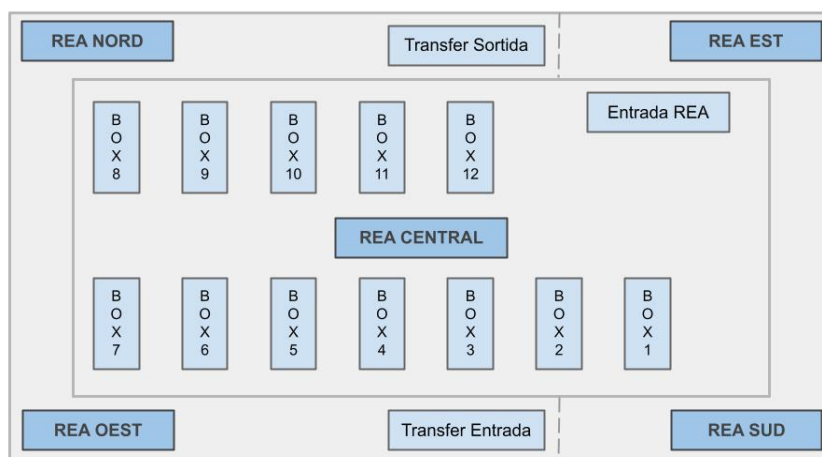
## ANNEX E. PLÀNOLS

En la següent secció, es presenten els plànols necessaris per a la implementació del projecte. A continuació, es mostra el plànol de l'àrea quirúrgica que descriu el posicionament estratègic de les antenes dins del bloc quirúrgic. A més, s'incorpora una taula per a una millor comprensió de les àrees i la ubicació de les antenes (Taula 7: Número i localització de les antenes.).



Plànol 1: Posicionament de les antenes a l'àrea quirúrgica

En el plànol següent mostra la disposició dels 12 boxs que conté l'àrea de reanimació. També es pot veure la col·locació de les antenes (Rea Est, Oest, Sud, Nord i Central) i els transfers (Sortida i Entrada).



Plànol 2: Disposició dels boxs i antenes a la REA.

Sistema de localització de pacients per a un bloc quirúrgic

1	Transfer ENTRADA	16	REA sud
2	Quiròfan central 6	17	Preanestèsia nord
3	Quiròfan central 7	18	Preanestèsia est
4	REA central (àrea reanimació)	19	Preanestèsia oest
5	Transfer SORTIDA	20	Preanestèsia sud
6	UCSI central	21	UCSI nord
7	Quiròfan central 1	22	UCSI est
8	Quiròfan central 2	23	UCSI oest
9	Quiròfan central 3	24	UCSI sud
10	Quiròfan central 4	25	Quiròfan 11 (cirurgia major)
11	Quiròfan central 5	26	Quiròfan local 1 (cirurgia menor)
12	Quiròfan central 8	27	Quiròfan local 2 (cirurgia menor)
13	REA nord	28	Quiròfan local 3 (cirurgia menor)
14	REA est	29	Ascensor
15	REA oest		

Taula 7: Número i localització de les antenes.

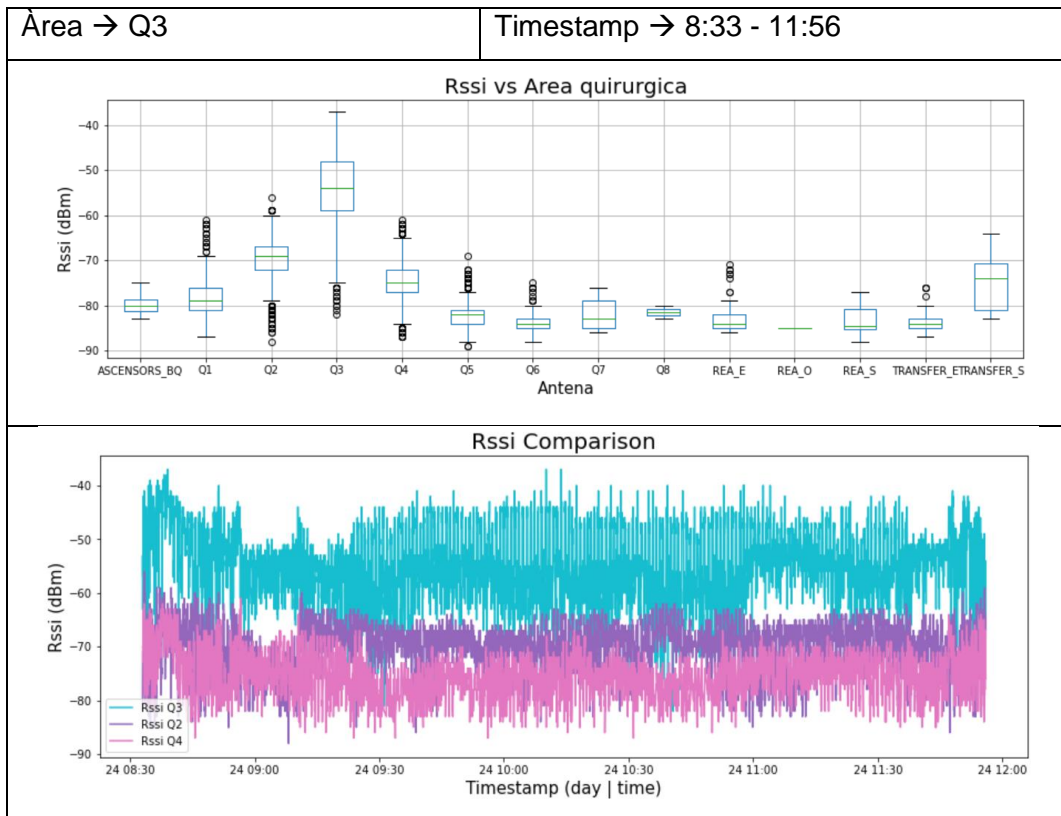
## ANNEX F. CÀLCULS I JUSTIFICACIONS

En aquest apartat, es presenten més resultats visuals i gràfiques amb l'objectiu de justificar el processament del senyal i l'ús d'algoritmes d'intel·ligència artificial per a la localització de pacients.

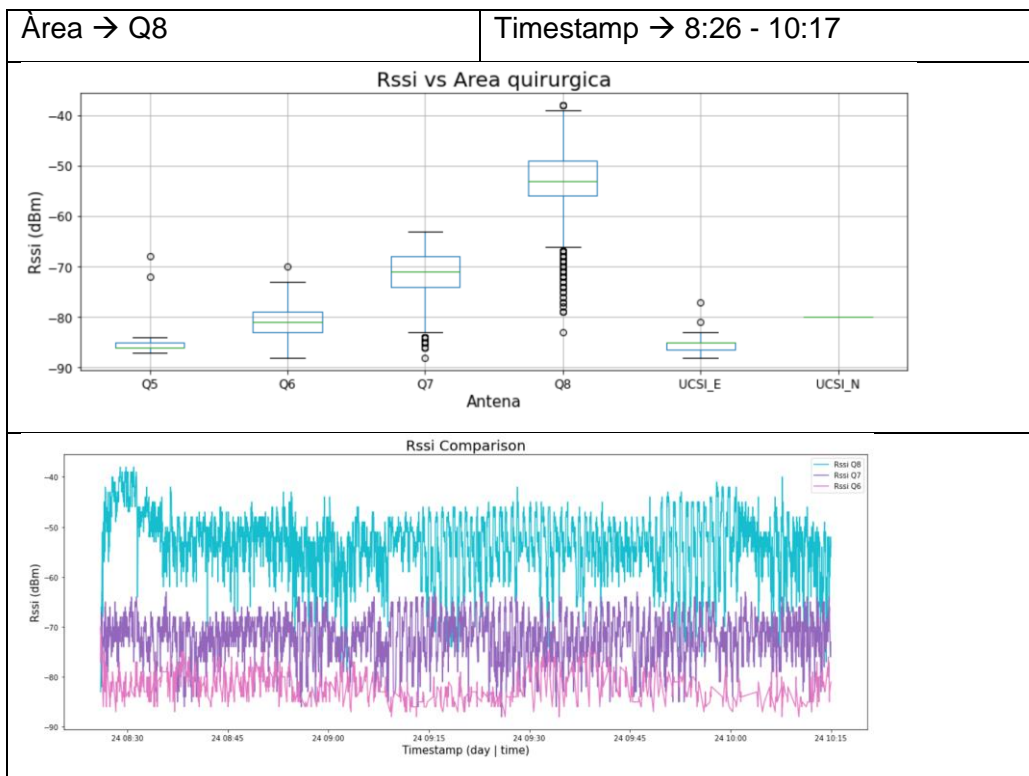
### F.1. Anàlisi de dades

Es mostren més exemples dels senyals RSSI sense filtrar, així com el diagrama de caixa i el comportament del senyal en funció del temps.

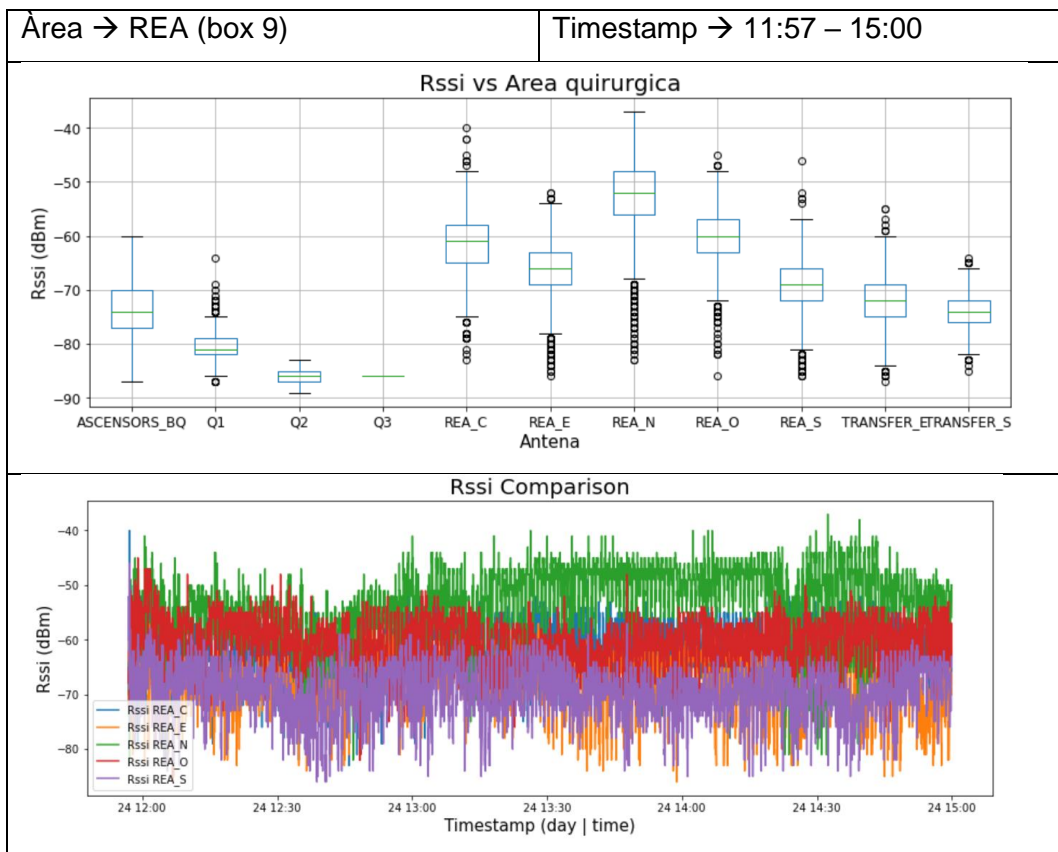
**Pacient:** AC233FEE1F4C (Polsera 130)



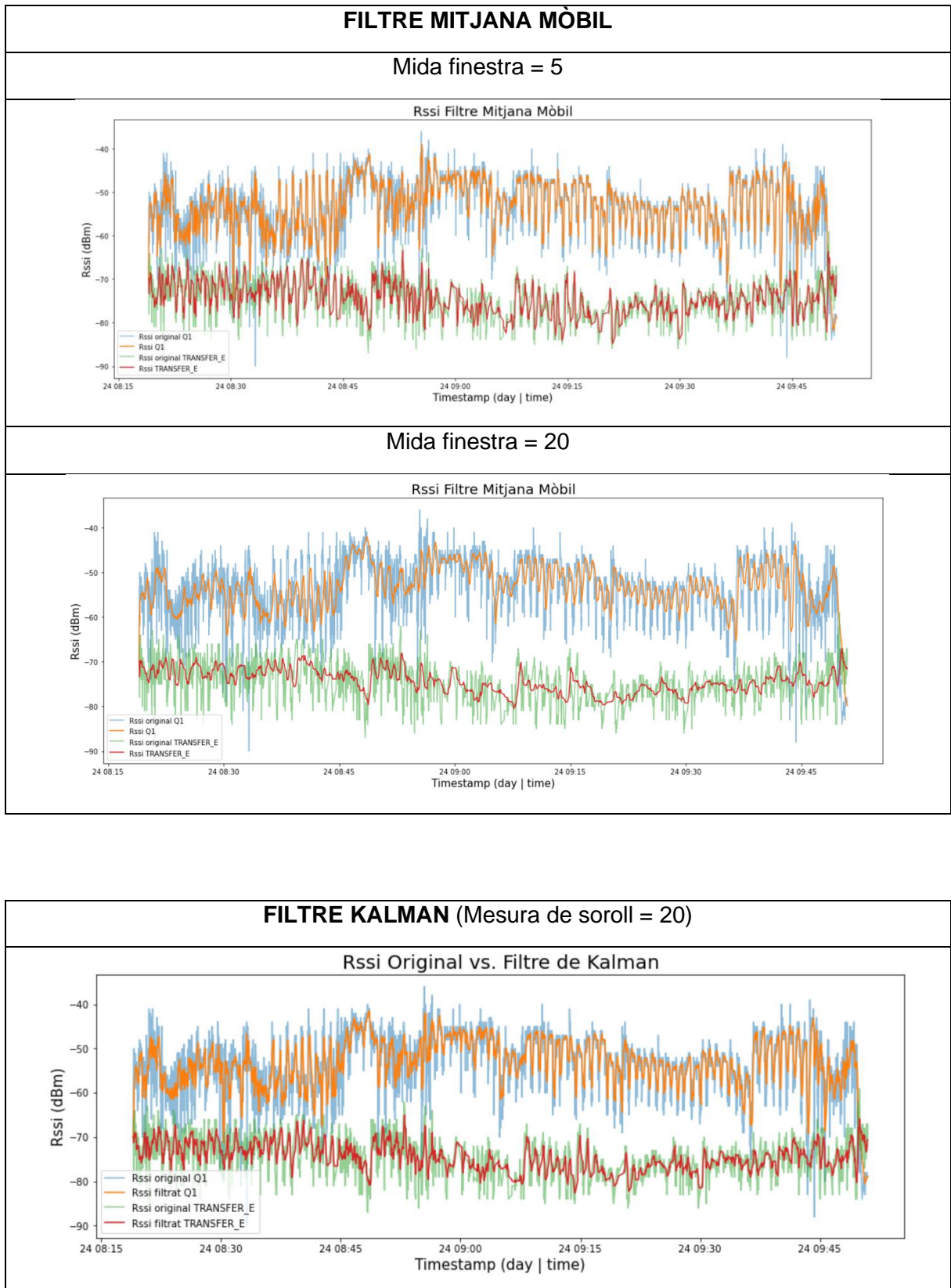
Pacient: AC233FEE1F3C (Polsera 124)



Pacient: AC233FEE1F4C (Polsera 130)

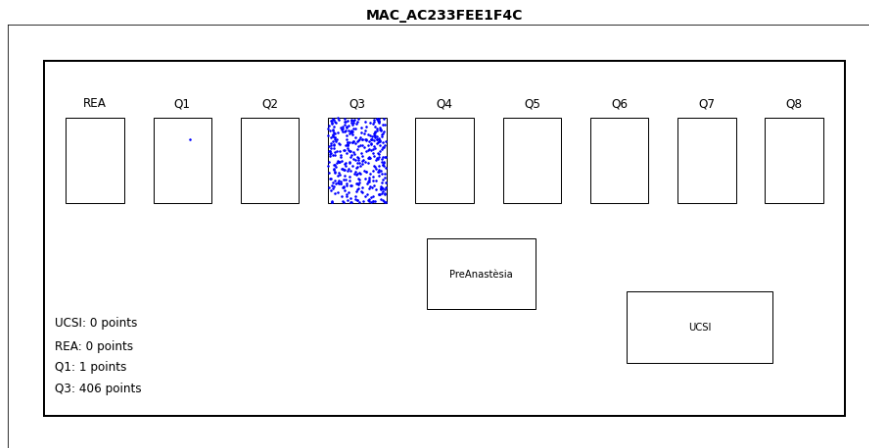


## F.2. Filtratge del senyal

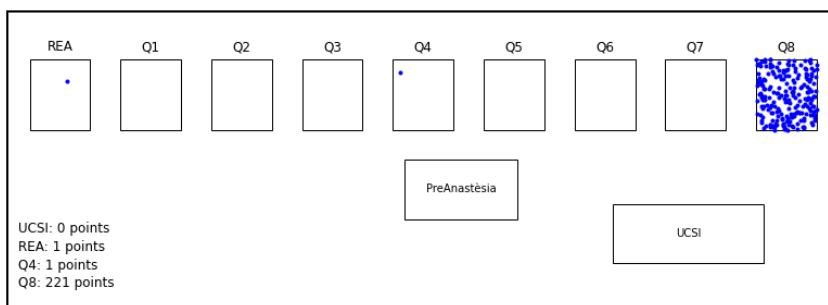


### F.3. Visualització de resultats

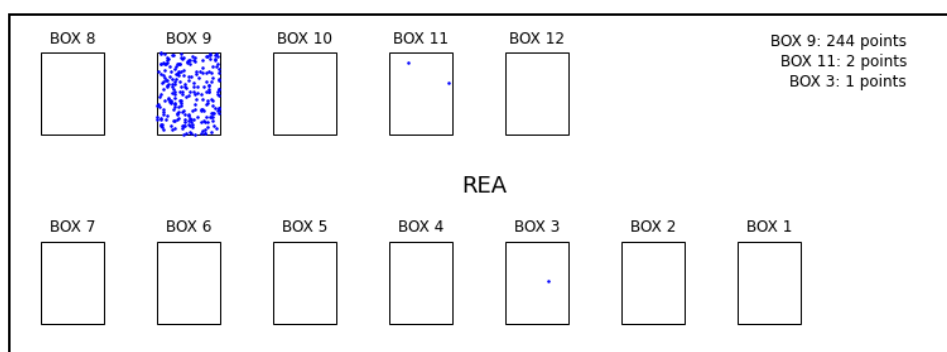
Pacient AC233FEE1F4C → Q3



Pacient AC233FEE1F3C → Q8



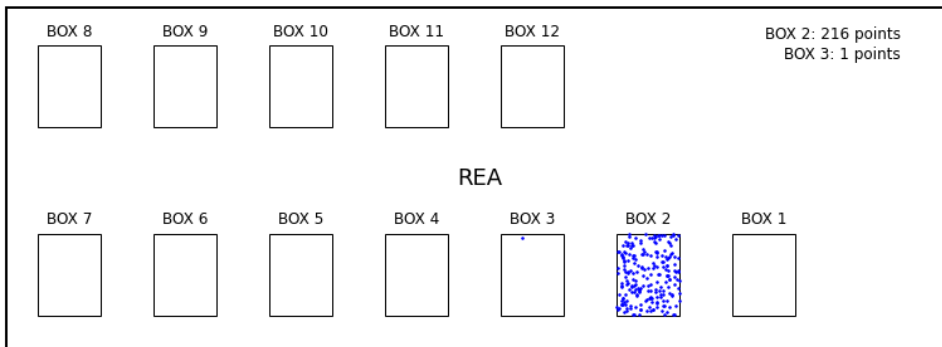
Pacient AC233FEE1F4C → BOX 9





Sistema de localització de pacients per a un bloc quirúrgic

Pacient AC233FF57868 → BOX 2



Pacient AC233FEE1F3C → BOX 3

